

**Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud,
Ecole des Mines de Paris
& Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts**

**DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie
Filière Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives**

**LA MODELISATION PLUIE-DEBIT
SUR LES BASSINS VERSANTS DE NOUVELLE CALEDONIE**

Valérie GENTHEN-BAUDRY

Maître de stage : Vazken ANDREASSIAN

**CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE, DU GENIE
RURAL, DES EAUX ET FORETS
Groupement d'Antony, Division qualité et Fonctionnement Hydrologique
BP 44, 92163 ANTONY Cedex**

Septembre 1999



TABLES DES MATIERES

Remerciements

INTRODUCTION	1
--------------	---

CHAPITRE I.: CONTEXTE GENERAL DE LA NOUVELLE CALEDONIE

1. PRESENTATION DES CONDITIONS CLIMATIQUES EN NOUVELLE CALEDONIE.....	2
1.1. LES PRECIPITATIONS.....	3
1.2. LA TEMPERATURE ET L'EVAPOTRANSPIRATION	3
2. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE	4
2.1. GENERALITES	4
2.2. LES REGIMES HYDROLOGIQUES	6

CHAPITRE III : PRESENTATION DES DONNEES

1. LES RESEAUX DE MESURE	7
1.1. DIFFERENTS RESEAUX	7
1.2. PROBLEMES RENCONTRES	7
2. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS	8
3. PRESENTATION DETAILLEE PAR BASSIN.....	9
Caractéristiques géographiques physiques et géologiques :	9
Données pluviométriques :	9
Les données de débits :	10
3.1. COTE OUEST	10
3.1.1. Bassin versant de la Dumbéa	10
3.1.2. Bassin de la Tontouta.....	11
3.1.3. Bassin de la Foa.....	12
3.1.4. Bassin versant de la Néra (rivière Boghen).....	13
3.1.5. Bassin versant de la Pouembout	14
3.1.6. Bassin versant de la Faténaoué.....	15
3.2. COTE EST.....	16
3.2.1. Bassin du Diahot.....	16
3.2.2. Bassin versant de la Ouaième	17
3.2.3. Bassin versant de la Tiwaka.....	18
3.2.4. Bassin de la Houailou	19
3.2.5. Bassin versant de la Thio	20
3.3. REGION SUD	21
3.3.1. Bassin versant de la Rivière bleue	21

CHAPITRE III : PRESENTATION DU MODELE GR4

1. LA MODELISATION PLUIE-DEBIT.....	24
1.1. DEFINITION D'UN MODELE.....	24
1.2. LA MODELISATION PLUIE-DEBIT	24
1.3. LES APPLICATIONS DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT	24
2. DIFFERENTS TYPES DE MODELES.....	25
2.1. LES MODELES FONDES SUR LA PHYSIQUE.....	25
2.2. LES MODELES CONCEPTUELS	25
2.3. LES MODELES EMPIRIQUES	26
2.4. LES MODELES LINEAIRES	26

3. MODELE UTILISE	26
3.1. PRESENTATION DU MODELE GR4J	26
3.2. FONCTIONNEMENT DU MODELE	27
3.2.1. <i>Modèle GR4J, Schéma structurel</i>	27
3.2.2. <i>fonctionnement du modèle</i> :	28
3.3. UTILISATION DU MODELE GR4J	29
4. CONCLUSION	30

CHAPITRE IV : RESULTATS DE LA MODELISATION AVEC GR4J

1. PREMIERS RESULTATS	31
1.1. INFLUENCE DE L'ETP (CF. TABLEAU 1)	31
1.2. OPTIMISATION DE LA PLUIE	32
1.3. FIXATION DU PARAMETRE LIE AU RESERVOIR SOL	32
1.4. INFLUENCE SUR LE CRITERE DE NASH DE L'AJOUT DE NOUVELLES DONNEES PLUVIOMETRIQUES	34
1.5. INFLUENCE DE LA PONDERATION DES STATIONS SUR LE CRITERE DE NASH ET SUR LE FACTEUR D'OPTIMISATION DE LA PLUIE	34
1.6. RESULTATS RETENUS AU CALAGE	36
2. RESULTATS PAR BASSIN VERSANT	37
2.1. PRESENTATION DES TABLEAUX DE RESULTATS PAR BASSINS VERSANTS	37
2.1.1. <i>Bassin versant de la Dumbéa</i>	37
2.1.2. <i>Bassin versant de la Tontouta</i>	38
2.1.3. <i>Bassin versant de la Néra (rivière Boghen)</i>	38
2.1.4. <i>Bassin versant de la Pouembout</i>	39
2.1.5. <i>bassin versant de la Faténoué</i>	39
2.1.6. <i>Bassin versant du Diahot</i>	39
2.1.7. <i>Bassin Versant de la Ouaième</i>	40
2.1.8. <i>Bassin versant de Houailou</i>	40
2.1.9. <i>Bassin versant de la Thio</i>	41
2.1.10. <i>Bassin de la rivière Bleue</i>	42
2.2. VISUALISATION DES HYDROGRAMMES OBTENUS SUR LE BASSIN VERSANT DE LA DUMBEA	42
3. DISCUSSIONS SUR LES FONCTIONS OBJECTIFS	46
3.1. VISUALISATION DES HYDROGRAMMES POUR LES FONCTIONS OBJECTIF \sqrt{Q} ET $\log(Q+M/40)$	46
3.2. VISUALISATION DES HYDROGRAMMES DANS LE DOMAINE DES BASSES EAUX	47
3.3. CONCLUSION	49

CHAPITRE V : ESSAIS DES MODELES IHACRES ET TOPMODEL ET COMPARAISON AVEC GR4J SUR LE BASSIN DE LA TONTOUTA

1. ESSAI DE MODELISATION AVEC LE MODELE IHACRES	51
1.1. PRESENTATION DU MODELE	51
1.2. RESULTATS OBTENUS	52
2. ESSAI DE MODELISATION AVEC LE MODELE TOPMODEL	53
2.1 PRESENTATION DU MODELE	53
2.2 RESULTATS OBTENUS	54
3. CONCLUSION	57

CONCLUSION

Annexes
Bibliographie

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement pour leur soutien ou leur collaboration durant ce stage de DEA :

L'équipe hydrologie du CEMAGREF : mon maître de stage, Vazken Andreassian, Claude Michel et Charles Perrin pour leur disponibilité et leurs précieux conseils.

Mes collègues du bureau 129, dont Marine pour son aide précieuse et le partage de ses connaissances.

Mon employeur, le Territoire de Nouvelle Calédonie et mes supérieurs hiérarchiques, Gilbert Grivault, Guy Lenoël et Dominique Rossignol pour leur confiance et leur soutien dans la mise en place de cette année de formation.

Mireille Gentien et Olivier Axler qui m'auront soutenu moralement et aidée de façon efficace pendant cette année de D.E.A.

INTRODUCTION

L'objet de ce rapport de stage de DEA est de présenter les premiers résultats obtenus en appliquant un modèle pluie-débit aux bassins versants de Nouvelle Calédonie.

La Nouvelle Calédonie est un territoire constitué d'une île principale de 400 km de long et 50 km de large, avec un réseau hydrographique très dense, et d'îles de plus petite taille ne comportant pas de réseau superficiel.

Le climat est tropical océanique avec une saison des cyclones, de décembre à mars qui provoque des crues d'une intensité extrême.

Le réseau de mesures hydrométriques composé actuellement de 25 stations limnimétriques et 54 stations pluviométriques a été installé par l'ORSTOM à partir des années 60 pour les limnigraphes, et des années 70 pour les pluviographes.

Il existe également un réseau de mesures de pluies côtières géré par le service de la météorologie.

Durant ces dix dernières années un gros effort a été mené pour le traitement et la valorisation des données de débits. En raison de la « jeunesse » du réseau de mesure pluviométrique et du manque de recul par rapport aux données, aucun essai de modélisation pluie-débit n'a été fait de façon systématique sur l'ensemble des bassins versants.

La modélisation pluie-débit aurait des applications immédiates dans les domaines suivants en Nouvelle Calédonie :

- Prévision des étiages, plus particulièrement pendant les périodes de sécheresse dues au phénomènes EL NINO.
- Prévision des crues et lutte contre les inondations
- Production de débits sur les bassins non jaugés
- Reconstitution de débits pour combler les lacunes de mesures.

Le sujet de ce stage qui s'est déroulé au CEMAGREF était de tester l'applicabilité du modèle GR4J sur les bassins versants de Nouvelle Calédonie.

Ce modèle a été mis au point par l'équipe de Claude Michel du CEMAGREF, il a la particularité d'être de conception simple, de comporter peu de paramètres et d'être très robuste. Il a cependant été mis au point et testé dans des régions à climat tempéré et n'a jamais été appliqué en climat tropical.

Dans ce rapport nous présenterons tout d'abord le contexte calédonien et les données d'entrée du modèle : les pluies journalières, les débits moyens journaliers observés et les ETP.

Après une présentation du modèle choisi, les modélisations seront réalisées pas à pas, avec à chaque étape, des choix d'options qui seront appliquées à l'ensemble des bassins versants.

La présentation des résultats globaux sera suivie d'une étude plus détaillée sur le bassin versant de la Dumbéa.

Enfin, deux autres modèles plus complexes, comportant un nombre plus grand de paramètres, IHACRES et TOPMODEL seront testés et comparés à GR4J sur le bassin versant de la Tontouta.

CHAPITRE I

Contexte général de la Nouvelle Calédonie



Carte 1: La Nouvelle Calédonie

1. Présentation des conditions climatiques en Nouvelle Calédonie.

La Nouvelle Calédonie, située au nord du tropique du Capricorne, dans le courant des alizés, jouit d'un climat tropical océanique.

Quatre saisons sont identifiables :

- ❑ la saison chaude, de mi-novembre à mi-avril : c'est l'époque des dépressions tropicales et cyclones,
- ❑ une saison de transition, de mi-avril à mi-mai : la pluviosité diminue et la température de l'air décroît sensiblement,

- ❑ la saison fraîche, de mi-mai à mi-septembre : avec quelques pluies et les températures les plus basses de l'année,
- ❑ une seconde saison de transition de mi-septembre à mi-novembre : la température moyenne augmente progressivement, c'est la période la plus sèche de l'année.

1.1. Les précipitations

Les précipitations annuelles en Nouvelle Calédonie sont caractérisées par une dissymétrie dans leur répartition spatiale. En effet l'île principale de la Nouvelle Calédonie, appelée la Grande Terre, est orientée Nord-Ouest/Sud-Est et est séparée en deux dans le sens de la longueur par une chaîne de montagne de hauteur moyenne égale à 1100 m. Les vents dominants soufflent d'un secteur compris entre l'Est-Nord-Est et le Sud-Est et la côte est enregistre des précipitations qui sont à peu près le double de celles de la côte ouest.

On constate une grande irrégularité interannuelle des valeurs de pluie, les coefficients de variations annuelles dépassent fréquemment 0,3. Ceci s'explique notamment par l'influence des passages cycloniques ou dépressionnaires sur la hauteur de pluie annuelle, leur fréquence étant extrêmement variable d'une année sur l'autre.

Les valeurs moyennes annuelles rencontrées sont comprises entre 1000 et 3000 mm/an, les valeurs maximales annuelles peuvent atteindre plus de 5000 mm/an sur la côte est pendant les années humides ; les valeurs minimales annuelles sont inférieures à 400 mm/an pendant les années sèches sur la côte ouest.

Les précipitations journalières maximales en 24 heures sont dues dans la plupart des cas à des événements cycloniques et parfois plus rarement à des orages localisés.

Les valeurs maximales journalières rencontrées atteignent 700 mm sur la côte est, et 350 mm sur la côte ouest.

1.2. La Température et l'évapotranspiration

La température annuelle moyenne est comprise entre 22 et 24 degrés sur l'ensemble de la Nouvelle Calédonie et semble être très peu influencée par la latitude (pas plus de deux degrés de différence entre le Nord et le Sud). Les maxima se trouvent en février, les minima en juillet/août.

La moyenne mensuelle des maxima varie entre 25°8 et 29°, la moyenne mensuelle des minima varie entre 16°3 et 20°3.

L'évaporation Piche varie annuellement de 1160 mm à 1376 mm. Elle atteint ses valeurs maximales au cours du 3^{ème} trimestre et ses valeurs minimales de mai à juillet.

L'évaporation potentielle annuelle calculée par la formule de Penman oscille entre 1250 mm et 1500 mm selon les régions.

2. Le réseau hydrographique

2.1. Généralités

La forme, la structure et la topographie de la Nouvelle Calédonie ont imposé sa forme actuelle au réseau hydrographique.

La chaîne centrale crée une ligne de partage des eaux entre la côte est et la côte ouest. Le relief est dissymétrique avec des pentes abruptes et des vallons encaissés à l'Est, et des longs versants terminés par des plaines côtières à l'Ouest.

Le substratum géologique ne permet pas la formation de véritables sources sauf dans de rares cas.

Cette structure ne permet pas le développement de grands bassins versants, les rivières s'écoulent perpendiculairement à la chaîne et sont plutôt courtes. Le bassin le plus vaste a une superficie de 437 km².

Le Diahot est le seul cours d'eau qui s'écoule parallèlement à la grande terre, le long d'un accident tectonique. Il a une longueur d'environ 100 km.

Il existe quatre grands groupes de rivières :

- ❑ les rivières de la côte Sud-Est qui reçoivent des précipitations comprises entre 2500 et 4000 mm/an et ont des pentes relativement fortes.



Photo 1 : La Rivière Bleue (Côte Sud-Est)

- ❑ Les rivières du Sud de la côte ouest : leurs cours supérieurs sont identiques à ceux de la côte Sud-Est, mais dans leur cours inférieur elles se terminent dans des baies larges et très découpées.
Sur ce versant les précipitations annuelles sont comprises entre 4000 et 1000 mm.
- ❑ Les rivières de la côte est sont très nombreuses, elles s'écoulent dans des chenaux très étroits au départ, puis s'élargissent pour aboutir parfois à des embouchures très vastes.
La pluviométrie annuelle est de 1500 à 4000 mm sur ce versant.



Photo 2 : La Ouaième (côte est)

- ❑ Les rivières de la côte ouest, groupées en éventail, convergent en général vers de grandes baies en contournant les massifs résistants. Les plaines alluviales dans ce contexte peuvent contenir d'importantes nappes phréatiques.
Ce versant est le moins arrosé avec des pluviométries annuelles de 1500 à moins de 1000 mm.



Photo 3: rivière de la côte ouest

- Le Diahot, comme expliqué précédemment est un cas un peu à part et est le seul dans sa catégorie.

2.2. Les régimes hydrologiques

La petite taille des bassins versants et la nature des terrains en général peu perméables font que les débits sont très fortement influencés par les précipitations. On retrouve donc la même irrégularité saisonnière et interannuelle pour ces valeurs.

On donnera pour avoir un aperçu des ordres de grandeur quelques valeurs de débits spécifiques pour chaque catégorie de rivières :

Catégorie	Nom	Module annuel spéc. (l/s/km ²)	Bilan d'écoulement annuel (mm)	Débit spéc. de crue (médiane) (m ³ /s/km ²)	Débits D'étéage (médiane) (l/s/km ²)	Débits D'étéage (déc. Sec) (l/s/km ²)
I Côte SE	Riv. Des Lacs	73.2	2309	2.75	4.74	2.2
II Côte SO	Dumbéa	81.5	1940	6.43	8.83	5.4
III Côte Est	Tiwaka	56.1	2370	4.60	7.91	4.57
IV Côte Ouest	Boghen	27.9	878	3.70	2.70	1.53

CHAPITRE II

Présentation des données

1. Les réseaux de mesure

1.1. Différents réseaux

Il existe deux types de réseaux de mesure sur le territoire de Nouvelle Calédonie, qui sont gérés par deux organismes publics différents :

- **Le réseau de mesures de la Direction Territoriale de l'Agriculture et de la Forêt (DAF)**

La DAF est l'équivalent d'une DDAF en France métropolitaine. Son service hydrologie existe depuis 1990 et gère un réseau initialement installé par l'ORSTOM.

Ce réseau comporte 25 stations limnimétriques et 54 stations pluviométriques qui sont placées en amont des bassins versants.(cf carte réseau, annexe I)

- **Le réseau de mesures du service de la météorologie nationale**

Ce réseau essentiellement côtier et complémentaire du précédent permet de recueillir toutes les données nécessaires aux études climatiques.

Nous utiliserons dans le cadre de cette étude les données d'ETP et les données de quelques stations pluviométriques.

1.2. Problèmes rencontrés

Certaines difficultés d'acquisition de données sont dues à la spécificité du réseau calédonien :

- Isolement des stations :
 - accès difficiles : les stations sont visitées environ tous les deux mois, plus souvent en période d'étiage.
 - pas de branchement possible sur le réseau électrique
 - pas de télétransmission : les pannes ne sont pas immédiatement détectées.
- Conditions climatiques extrêmes :
 - difficultés pour jauger les rivières en hautes eaux : les rivières débordent très rapidement et inondent les pistes d'accès, les jaugeages s'avèrent très dangereux car ils doivent être réalisés pendant les événements cycloniques. Le niveau des rivières peut facilement s'élever de 10 m en 6 heures pendant ces périodes avec des vitesses rapides et de nombreux matériaux charriés.
 - Bouchage des pluviographes dès que les précipitations sont accompagnées de vents violents

Toutes ces difficultés entraînent des discontinuités dans les mesures de hauteurs d'eau et de pluie, compliquant l'élaboration des courbes d'étalonnage des stations.

Ces dernières années, un important travail de reconstitution et de production de données de débits exploitables a été réalisé. On a maintenant, sur certains bassins de longues séries sans lacune, exploitables pour des études hydrologiques complètes.

En revanche, en pluviométrie un gros effort reste à faire pour améliorer la donnée brute et l'utiliser à des fins de modélisation.

Dans le cadre de ce mémoire de DEA, nous ne chercherons pas à améliorer ou reconstituer les données pluviométriques, elles seront utilisées telles quelles pour la modélisation. Nous tiendrons compte, dans les interprétations et les résultats obtenus, des limites imposées par la qualité des données disponibles.

Les lacunes nombreuses dans les séries rendent difficile l'obtention des trois années consécutives de pluie requises par le modèle. Ces trois années sont absolument nécessaires et même probablement insuffisantes dans le cas de la Nouvelle Calédonie compte tenu de la forte variabilité interannuelle de la pluviométrie.

La représentativité des données acquises sur plusieurs stations de mesures réparties sur le même bassin versant doit être contrôlée pour chaque bassin versant.

Toutes ces contraintes cumulées font que seuls 12 bassins versants sur 25 seront retenus pour les essais de modélisation.

Sur ces bassins, les stations sont correctement étalonnées et les données sont de bonne qualité. Certaines stations permettront seulement un calage des paramètres mais pas de contrôle de ces paramètres sur une période différente de la période de calage, faute d'un nombre suffisant d'années de mesures.

Les 12 bassins versants étudiés seront présentés de façon globale puis un par un de façon plus détaillée.

2. Caractéristiques des Bassins versants

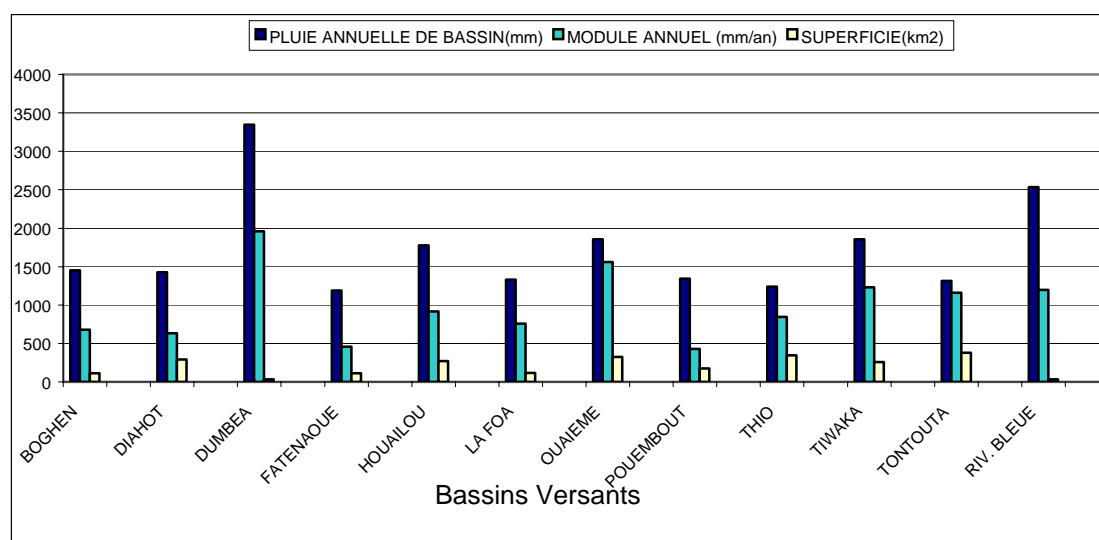


Figure 1 : Pluviométrie annuelle de bassin, module annuel et superficie des B.V

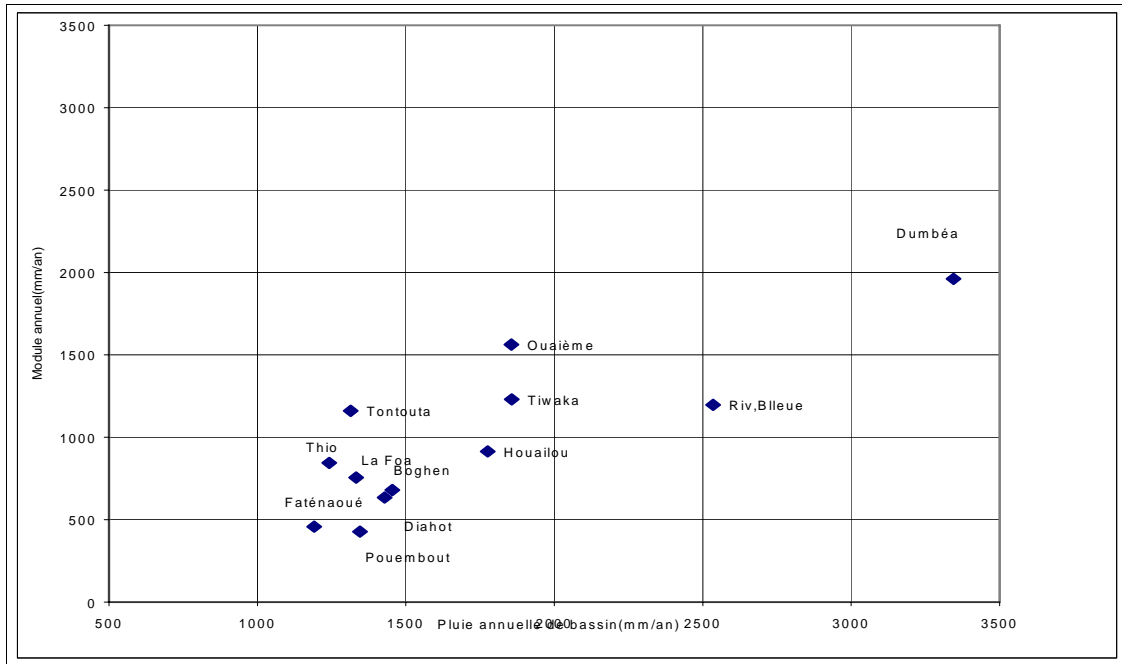


Figure 2 : Distribution des pluies annuelles et modules annuels

On peut observer sur ce graphique, la répartition des stations du Nord côte ouest (Faténaoué, Pouembout), du Centre (Thio, Boghen, La Foa, Tontouta), de la côte est (Houailou, Ouaième, Tiwaka), puis du Sud (Rivière bleue), dans le sens des pluviométries croissantes.

La rivière Dumbéa reste un cas exceptionnel avec un module et une pluviométrie de bassin très forte.

3. Présentation détaillée par bassin

Chaque bassin versant va maintenant être présenté en détail avec :

- ❑ une carte de localisation des stations de mesures pluviométriques et limnimétriques
- ❑ la présentation des caractéristiques géographiques physiques et géologiques
- ❑ la description de la végétation en place
- ❑ les données pluviométriques
- ❑ les données de débit

Pour plus de légèreté, les légendes des cartes sont très succinctes, les polygones rouges représentent les limites de bassins versants, les polygones marron représentent le réseau routier.

Caractéristiques géographiques physiques et géologiques

Données pluviométriques :

Les séries pluviométriques retenues par les modèles sont les années consécutives de pluviométrie journalière ne comportant pas de lacune. Les pluies constituent en effet l'entrée principale du modèle et sont donc indispensables.

Lorsqu'il y a plusieurs stations sur le même bassin versant, si une année est complète sur une station, les autres valeurs seront prises en compte et moyennées à l'échelle journalière, avec une pondération affectée à chaque station.

Lorsque deux stations comprennent des lacunes mais forment à elles deux une ou plusieurs années complètes, les valeurs sont prises en compte dans la modélisation.

Les données pluviométriques prises en compte dans la modélisation sur chaque bassin versant seront présentées sous forme d'histogrammes de pluie totale annuelle par station de mesure; cela permettra de mettre en évidence la variabilité interannuelle de la pluviométrie et la répartition des pluies sur le bassin versant.

Les années de mesure comprenant des lacunes ou des cumuls de pluies sur plusieurs jours apparaîtront en rouge sur les graphiques.

Il est possible d'affecter une pondération aux stations pluviométriques pour évaluer le mieux possible la pluviométrie sur le bassin. Par défaut, lorsqu'il y a plusieurs stations sur le même bassin, le modèle calcule la moyenne arithmétique.

Les données de débits :

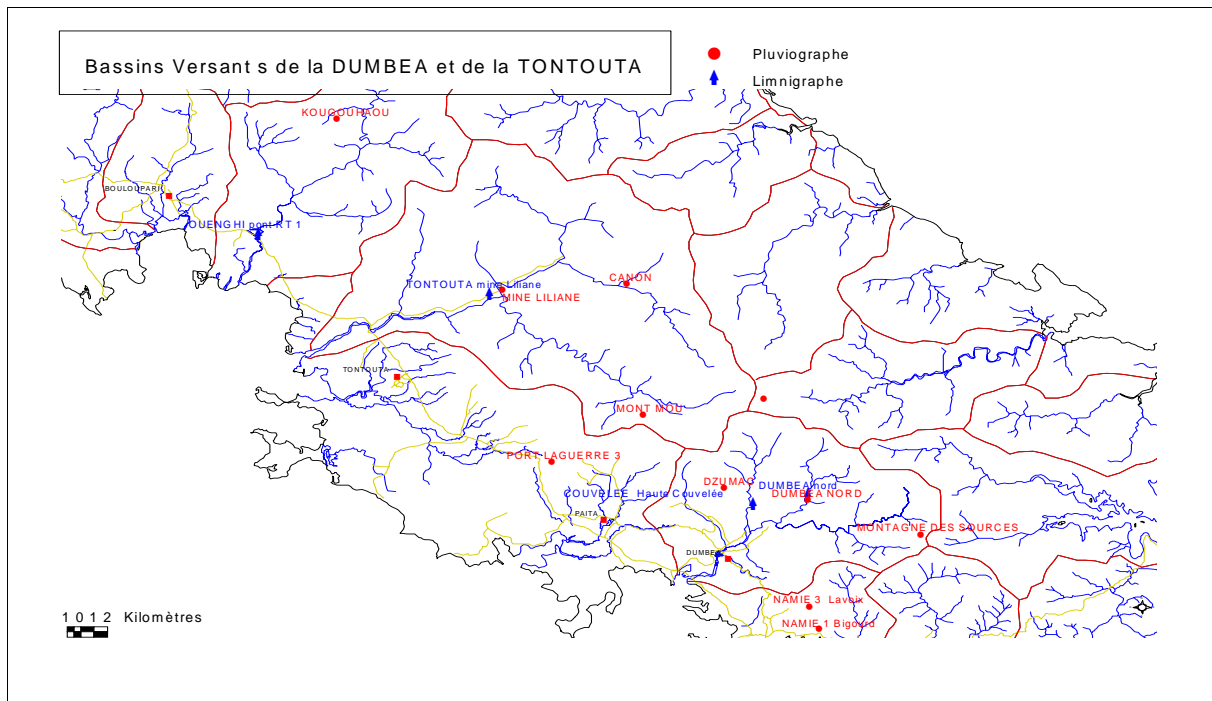
Ces données seront décrites plus rapidement car elles sont de façon générale plus fiables et plus homogènes, car elles ne proviennent que d'une seule station par bassin.

Enfin les stations de la côte ouest seront présentées en premier, du Sud vers le Nord suivies des stations de la côte est, du Nord vers le Sud, en terminant par l'unique station représentant le Sud : la Rivière Bleue.

3.1. COTE OUEST

3.1.1. Bassin versant de la Dumbéa

a) Carte



Carte 2 : Bassins versants de la Dumbéa et de la Tontouta

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1250 m - Alt. Moyenne : 583 m

Indice de compacité : 1.24 - Indice de pente de M. Roche : 0.34

La géologie des terrains est essentiellement constituée de péridotites et serpentines altérées en surface avec parfois des carapaces latéritiques.

La végétation est peu dense composée de maquis et forêts sèches sur la majeure partie du bassin.

Il existe des petits îlots de forêts humides dans le fond des talwegs.

c) Données pluviométriques et débitométriques

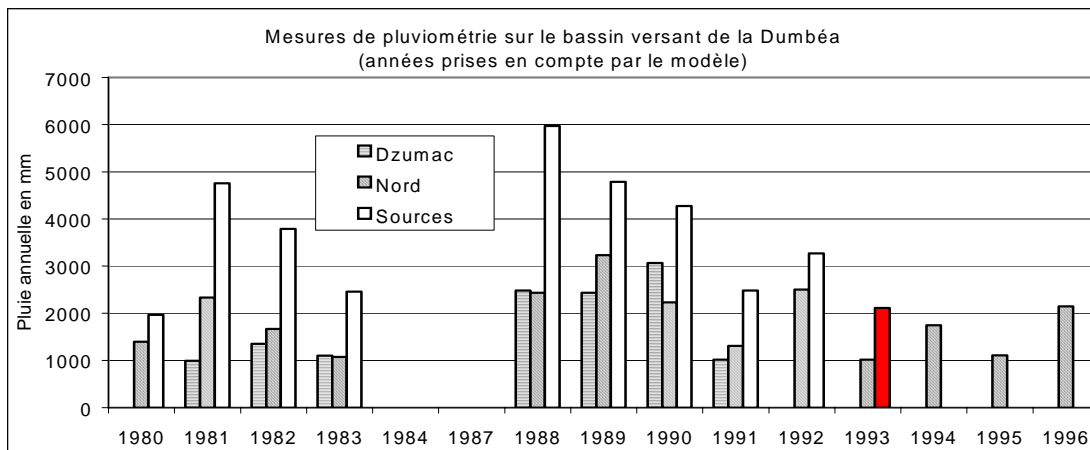


Figure 3 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Dumbéa

Sur ce graphique on peut constater sur les séries complètes (et incomplètes également), des valeurs de pluviométrie à peu près égales sur les stations de Dzumac et Dumbéa Nord. La pluviométrie est beaucoup plus importante sur la station de la Montagne des Sources qui se trouve très en amont sur le bassin versant.

Les pluies de bassin qu'il est possible de calculer de 94 à 96 sont donc très certainement sous-estimées.

Des pondérations de 0.5 ont été affectées aux stations de Dzumac et de la Montagne des sources compte tenu de leur situation par rapport aux stations de pluviométrie et de mesure de débit de Dumbéa Nord.

On dispose de débits observés de 1963 à 1969, de 1974 à 1987 et de 1989 à 1996, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 80-83 et 89-93 (les années 94 à 96 seront abandonnées pour conserver une bonne homogénéité des données pluviométriques).

3.1.2. Bassin de la Tontouta

a) Carte (cf Carte 2)

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1618 m - Alt. Moyenne : 542 m

Indice de compacité : 1.31 - Indice de pente de M.Roche : 0.19.

Le bassin versant de la Tontouta est composé essentiellement de harzburgite, avec quelques formations de gabbros et de dunités.

Il existe des affleurements de granite sur les flancs du Dzumac.

Le bassin est recouvert dans sa plus grande partie par un maquis.
 Il reste quelques poches de forêts sur les hauts massifs et dans les talwegs.

c) Données pluviométriques et débitométriques

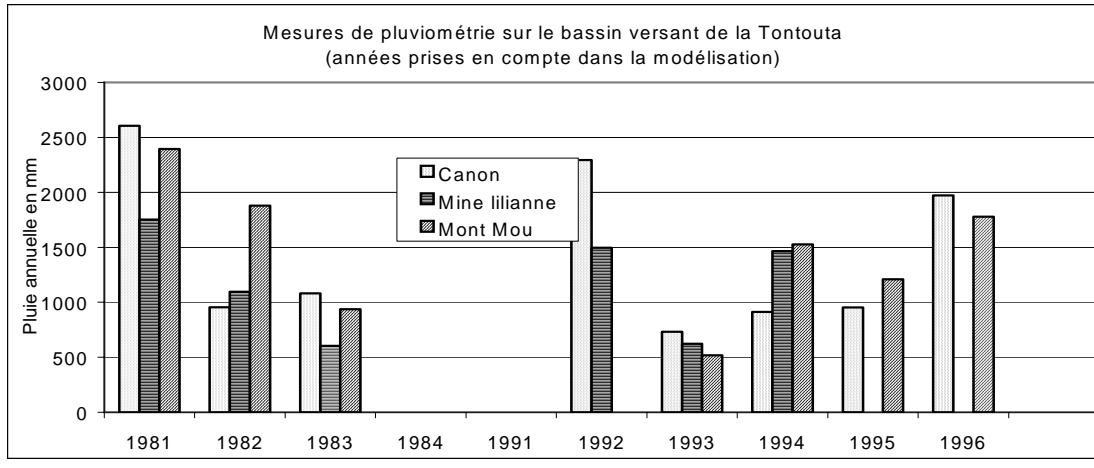


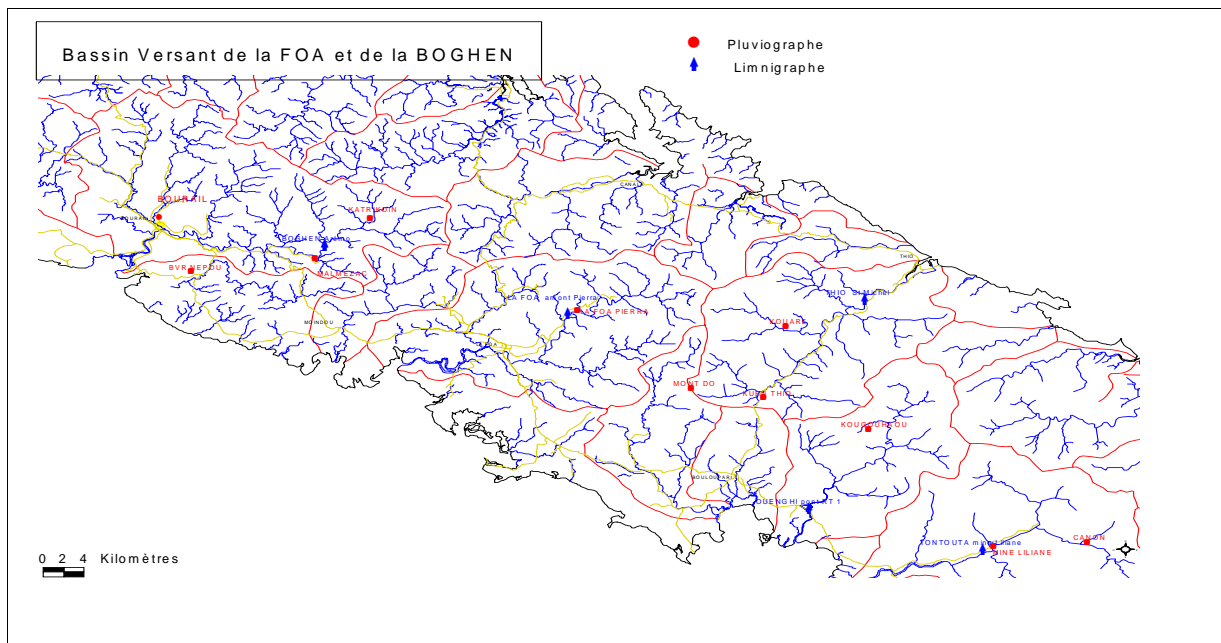
Figure 4 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Tontouta

Les données sont relativement hétérogènes sur ce bassin et ne permettent pas de déterminer un gradient de pluviométrie. La représentativité des données est assez bonne toutefois sur la période de 1992 à 1996.

On dispose de débits observés de 1960 à 1963 et 1968 à 1996. Les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 81-83 et 92-96.

3.1.3. Bassin de la Foa

a) Carte



Carte 3 : Bassins versants de la Foa et de la Boghen

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1058 m - Alt. Moyenne : 583 m

Indice de compacité : 1.25 - Indice de pente global (m/km) : 44

Les terrains sont métamorphiques, constitués par les schistes du crétacé.

La savane à niaoulis occupe le centre du bassin en dessous de 500m d'altitude.

En altitude, le bassin est recouvert de forêts.

c) Données pluviométriques et débitométriques

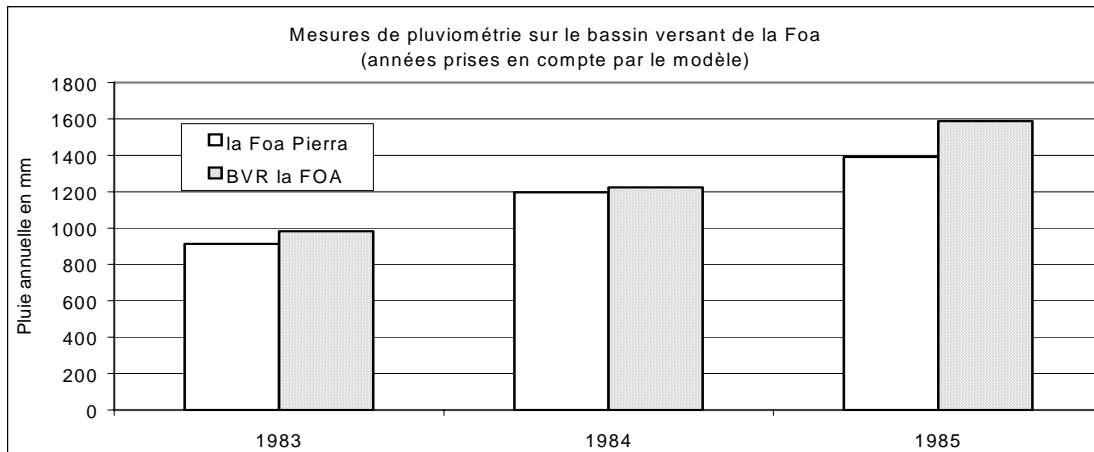


Figure 5 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Foa

Les données sur le bassin de la Foa sont relativement homogènes mais la période de mesure est réellement très courte.

On dispose de débits observés de 1980 à 1987 et 1989 à 1996, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 83-85.

3.1.4. Bassin versant de la Néra (rivière Boghen)

a) Carte (cf carte 3)

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1098 m - Alt. Moyenne : 419 m

Indice de compacité : 1.32 - Indice de pente global (m/km) : 30.7

Les terrains sont métamorphiques, constitués par les schistes du crétacé.

Il existe un petit massif serpentineux.

La végétation est essentiellement forestière dans la partie Nord du bassin.

La savane à niaoulis occupe le centre du bassin en dessous de 500m d'altitude.

c) Données pluviométriques et débitimétriques

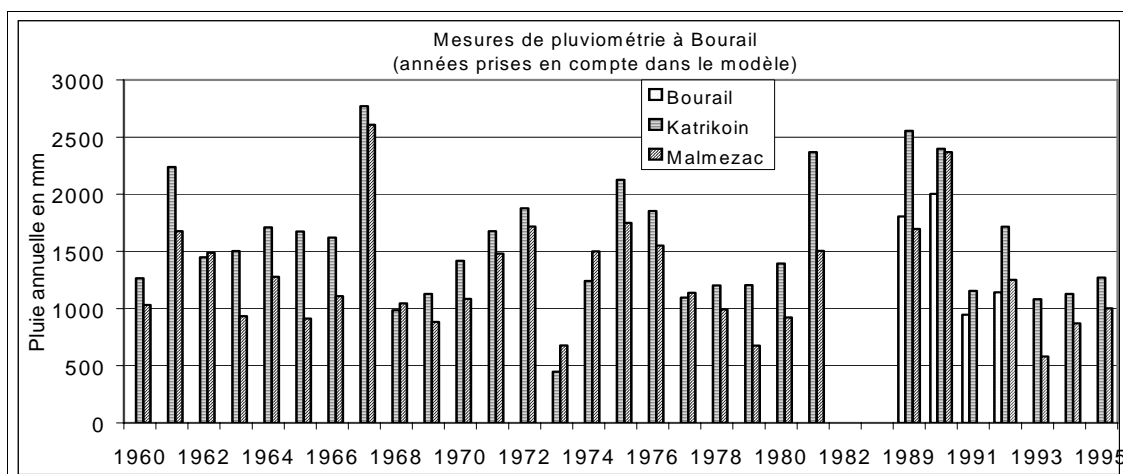


Figure 6 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Boghen

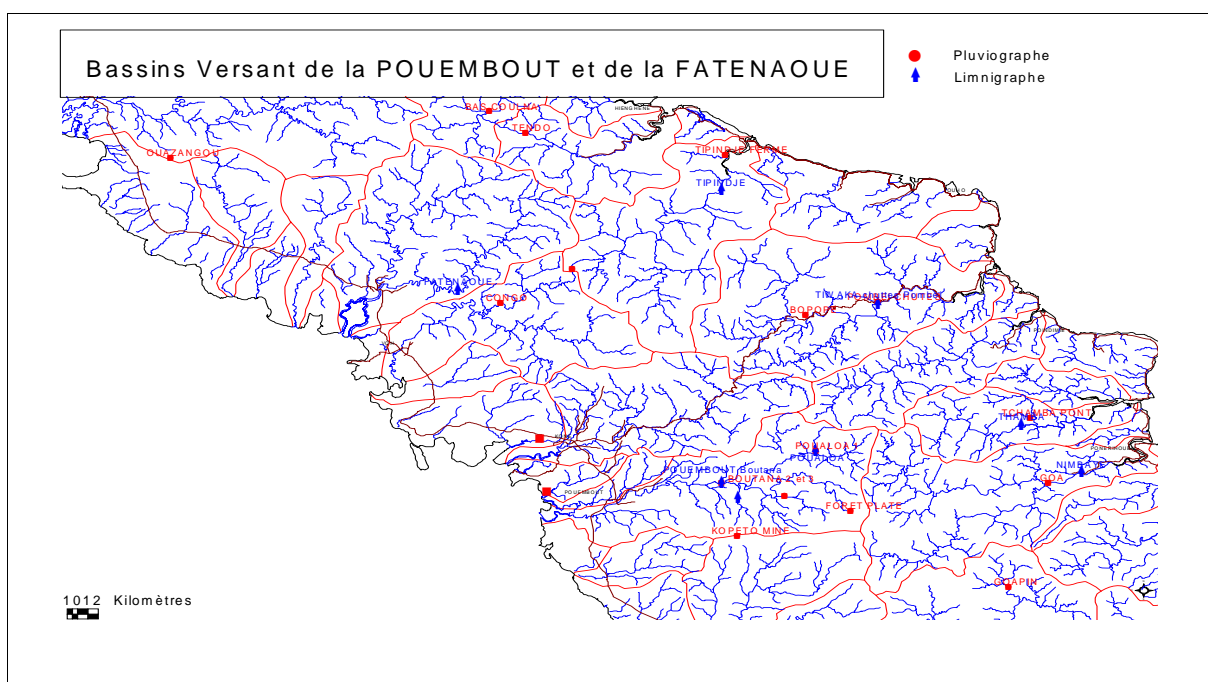
La série est homogène sur toute la période avec une meilleure précision pour les données de la station météorologique de Bourail de 89 à 93. On peut observer une pluviométrie annuelle plus importante sur la station de Katrikoin, placée plus en amont dans le bassin versant et proche d'une zone forestière.

Une pondération de 0.5 a été affectée à la station de Bourail en raison de sa distance par rapport au limnigraphe très en aval du bassin versant.

On dispose de débits observés de 1960 à 1996, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 60-82 et 89-96.

3.1.5. Bassin versant de la Pouembout

a) Carte



Carte 4 : Bassins versants de la Pouembout et de la Faténaoué

b) caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1134 m - Alt. Moyenne : 313 m

Indice de compacité : 1.22 - Indice de pente global (m/km) : 27.9

De l'amont vers l'aval :

Massif grauwackeux bordé au Nord par des séricitoschistes métamorphiques et au sud par les péridotites du Kopéto.

Entre les péridotites et les terrains métamorphiques, se trouve la formation de grès, de calcaires marneux ou marno-gréseux.

L'ensemble du bassin est recouvert de savane à niaoulis et forêt sèche.

Dans les hauts talwegs subsistent encore des forêts galeries.

Un massif forestier de 20 km² se situe autour de Forêt Plate.

c) Données pluviométriques et débitométriques

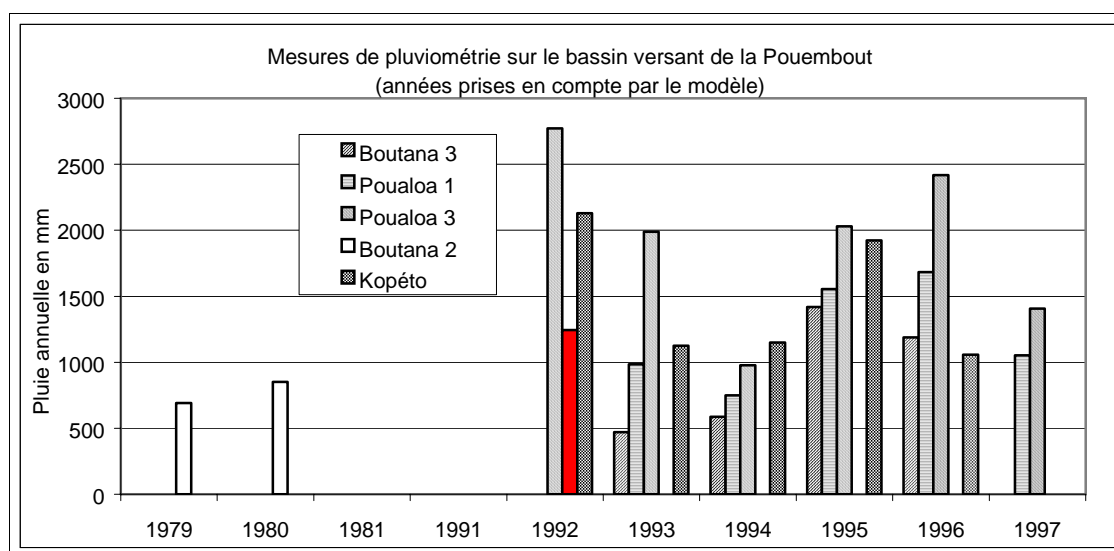


Figure 7 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Pouembout

Les stations Boutana 2 et Boutana 3 peuvent être assimilés à une seule station couvrant deux périodes différentes. Les données sont très hétérogènes et incomplètes sur la période mais montrent de façon claire le gradient croissant de la pluviométrie de Boutana vers Poualoo 1, puis Poualoo 3 (Forêt Plate sur la carte) situé en zone forestière.

Une pondération de 0.5 a été affectée à la station de Kopéto qui se trouve en limite de bassin versant.

On dispose de débits observés de 1961 à 1966 et de 1970 à 1997, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 79-80 et 92-96.

3.1.6. Bassin versant de la Faténaoué

a) Carte (cf carte 4)

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1168 m - Alt. Moyenne : env.300 m

Indice de compacité : 1.31 - Indice de pente de M. Roche : 0.34

Les terrains sont à 50% volcano-sédimentaires (schistes) et à 50% sédimentaires, avec quelques affleurements de péridotites.

La végétation est essentiellement composée de savane à niaoulis et de forêts.

c) Données pluviométriques et débitométriques

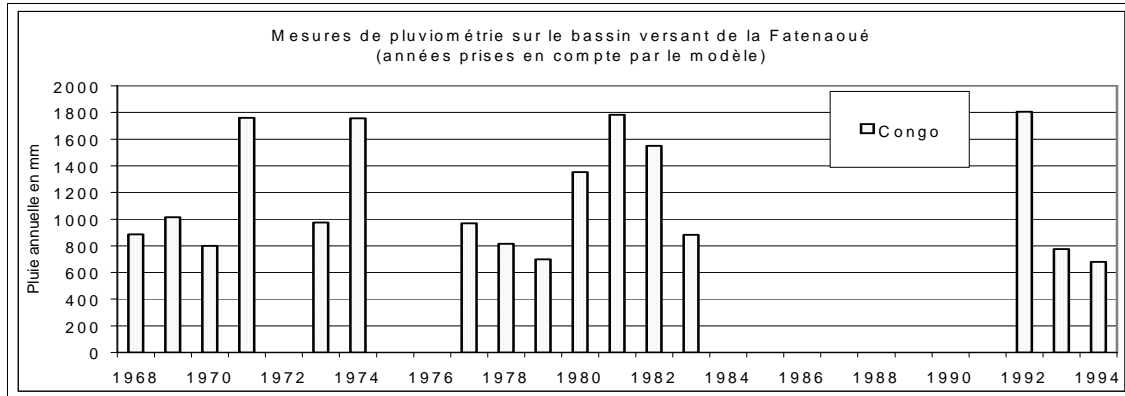


Figure 8 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Faténaoué

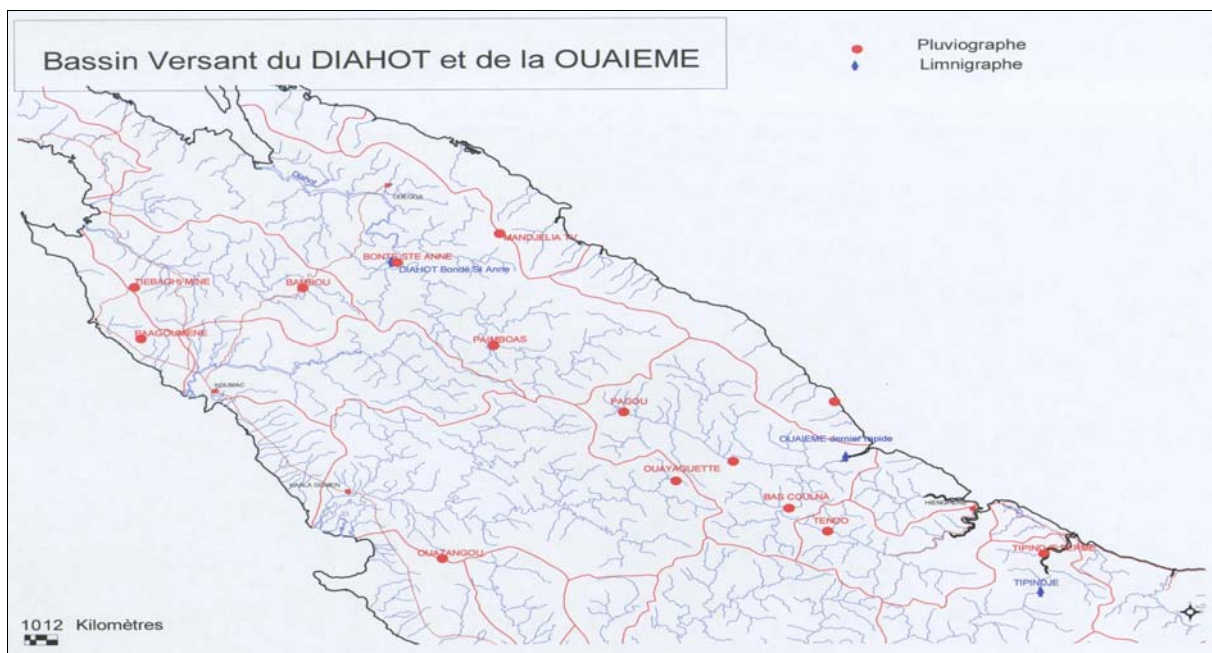
Nous ne disposons sur le bassin de la Faténaoué que d'une seule station de mesure de pluviométrie. Les données sont exploitables sur trois périodes distinctes.

On dispose de débits observés de 1960 à 1970, de 1981 à 1983 et de 1985 à 1996, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 68-70, 81-83 et 92-94.

3.2. COTE EST

3.2.1. Bassin du Diahot

a) Carte



Carte 5 : Bassins versant du Diahot et de la Ouaième

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1500m - Alt. Moyenne : 400 m

Indice de compacité : 1.44 - Indice de pente de M.Roche : 0.186

La géologie est répartie de la façon suivante :

Gneiss : 15%

Micaschistes et gneiss : 10%

Micaschistes et chloristoschistes : 30%

Schistes argileux noirs avec concrétions siliceuses : 5%

La végétation est répartie de façon suivante :

Forêt primaire sur la partie supérieure de bassin : 22%

Niaoulis sur la partie inférieure : 54%

Zone dénudée : 24%

c) Données pluviométriques et débitométriques

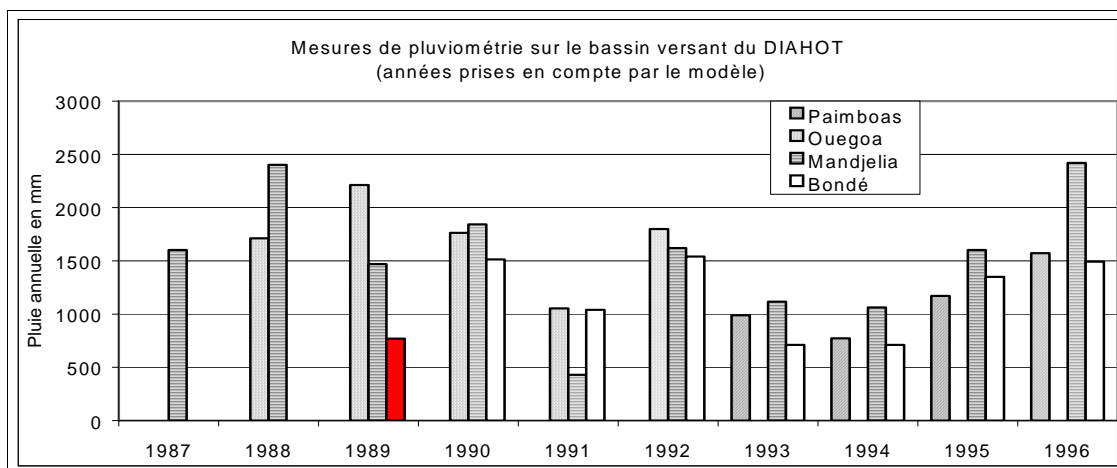


Figure 9 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant du Diahot

Les données sur ce bassin sont assez hétérogènes sauf pour la période 93-96 qui montre une pluviométrie cohérente et répartie de la même façon sur l'ensemble du bassin.

On dispose de débits observés de 1961 à 1996, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 87 à 96.

3.2.2. Bassin versant de la Ouaième

a) Carte (cf carte 5)

b) caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1628 m - Alt. Moyenne : 550 m

Indice de compacité : 1.44 - Indice de pente global(m/km) : 24

Les terrains sont composés de schistes de Hienghène peu métamorphiques, sériciteux avec inclusions de serpentines et de grès métamorphiques (séricitoschistes, micaschistes et gneiss). Il existe une importante lentille de roche ignée.

En rive gauche le bassin est recouvert d'une forêt tropicale dense, riche en espèces originales.

En rive droite c'est la savane à niaoulis avec couverture herbacée qui s'est développée.

c) Données pluviométriques et débitométriques

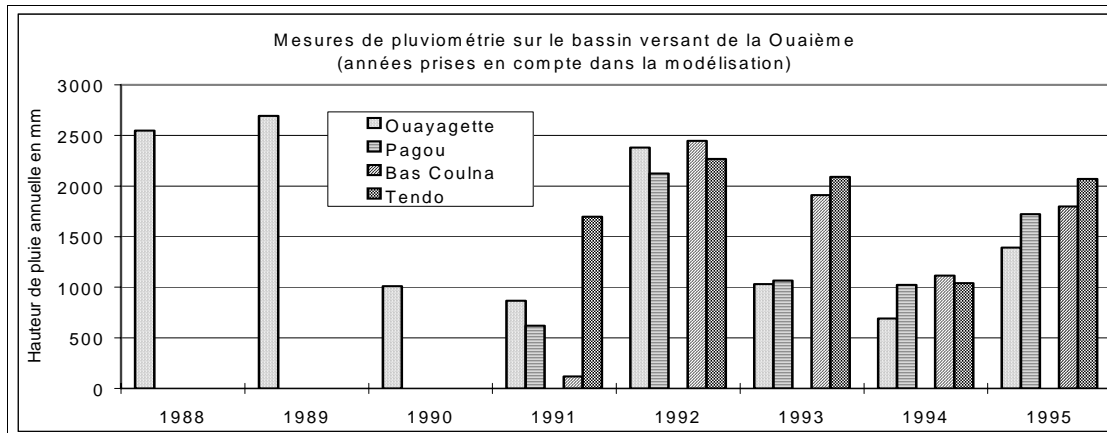


Figure 10 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Ouaième

Les données sur le bassin de la Ouaième sont très hétérogènes avec toutefois une bonne constance sur la station de Ouayagette qui ne comporte aucune lacune journalière sur toute la période prise en compte.

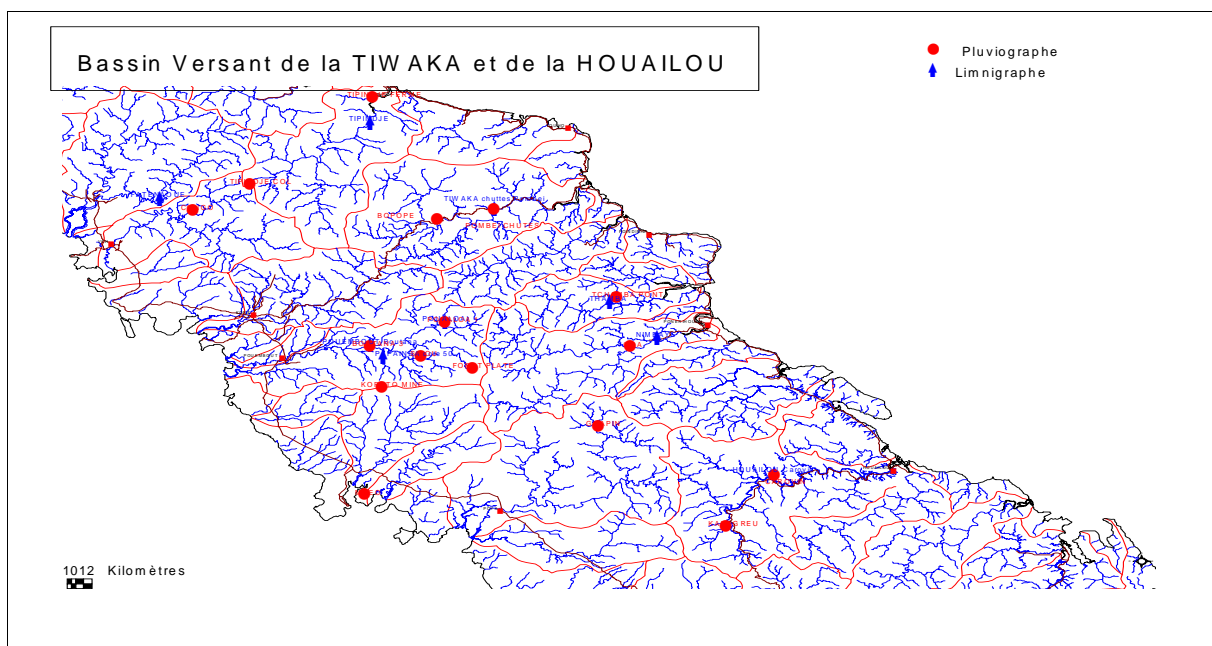
La définition de la pluie est bien meilleure sur la période de mesure de 1992 à 1995 mais ne permet pas de déterminer la distribution de la pluviométrie sur le bassin.

On dispose de débits observés de 1960 à 1965, de 1977 à 1987 et de 1989 à 1996.

Les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 88 à 96.

3.2.3. Bassin versant de la Tiwaka

a) carte



Carte 6 : Bassins versants de la Tiwaka et de la Houailou

b) caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1385 m - Alt. Moyenne : 397 m
Indice de compacité : 1.28 - Indice de pente global (m/km) : 27

La composition géologiques des terrains est la suivante :
séricitoschistes en majeure partie
formation de grauwackes
péridotites
phyllades et schistes ardoisiers
latérites ferrugineuses

Le bassin est assez boisé avec une forêt de moyenne altitude.
Il est recouvert de savane à niaoulis par plaques à basse altitude.
Le terrain nu et broussailleux dans la vallée.

c) Données pluviométriques et débitométriques

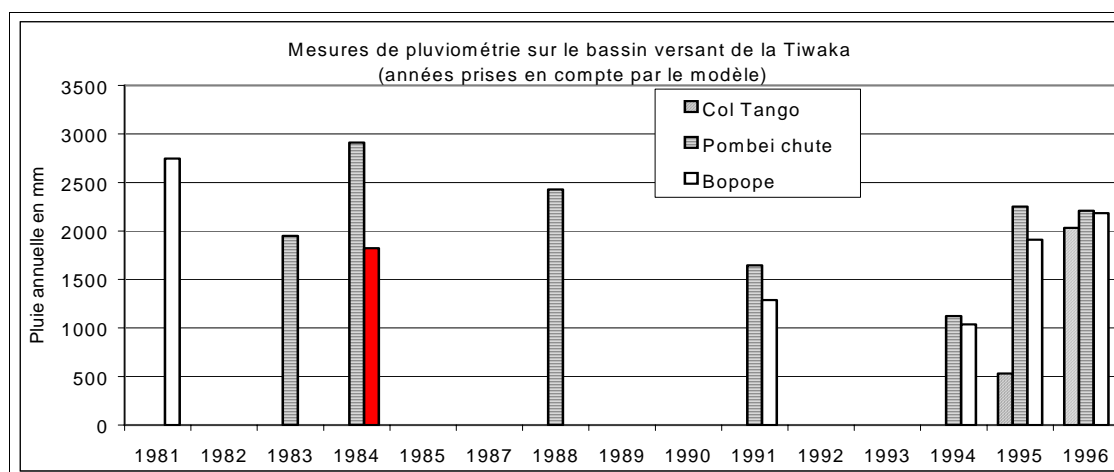


Figure 11 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Tiwaka

Les données sont de très faible densité sur ce bassin en raison des nombreuses lacunes dans les séries. On peut cependant observer une distribution des pluies homogène sur le bassin sur la période 94-96.

On dispose de débits observés de 1981 à 1997, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 94 à 96.

3.2.4. Bassin de la Houailou

a) Carte (cf Carte 6)

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1444 m - Alt. Moyenne : 360 m
Indice de compacité : 1.38 - Indice de pente de M. Roche : 0.25
Le terrain est constitué de séricitoschistes, serpentines, et schistes anciens.
Le bassin est boisé en altitude et couvert de savanes et forêts sèches dans sa majeure partie.

Les forêts humides se trouvent dans les talwegs.

c) Données pluviométriques

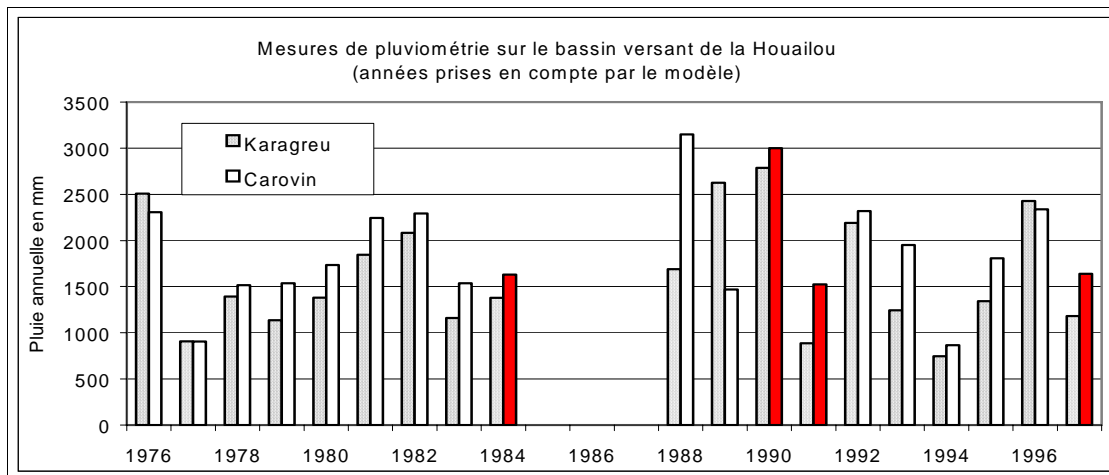


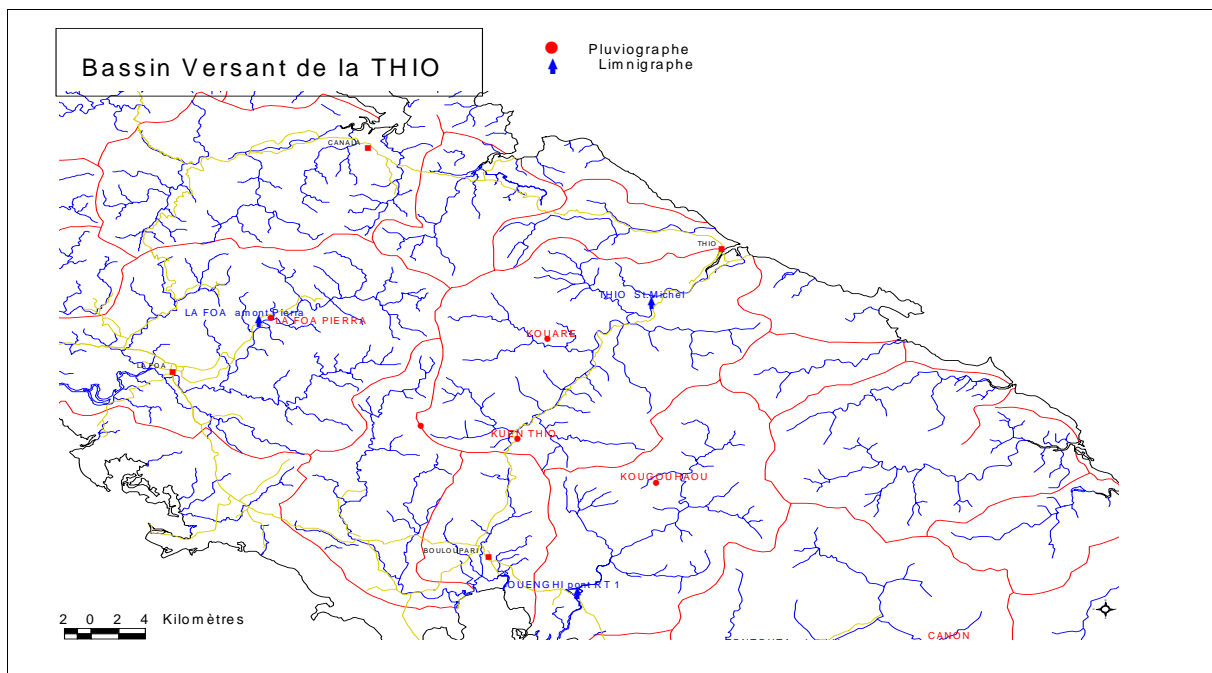
Figure 12 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Houailou

Les données récoltées sur le bassin de la Houailou sont relativement homogènes avec de façon générale (sauf en 1976 et 1996), une pluviométrie annuelle plus forte à Karagreu qu'à Carovin qui se situe plus en aval dans le bassin versant.

On dispose de débits observés de 1975 à 1995, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 76 à 80 et de 88 à 96.

3.2.5. Bassin versant de la Thio

a) Carte



Carte 7 : Bassin versant de la Thio

b) caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 1343 m - Alt. Moyenne : 407 m

Indice de compacité : 1.31 - Indice de pente de M.Roche : 0.195

Les péridotites constituent la totalité de la rive droite.

La rive gauche est constituée de formations volcano-sédimentaires.

Quelques serpentinites et basaltes émergent de ces formations

La végétation est composée essentiellement de maquis minier et forêts.

De grandes zones d'exploitations minières à ciel ouvert sont complètement dévégétalisées et très sensibles à l'érosion.

c) Données pluviométriques et débitométriques

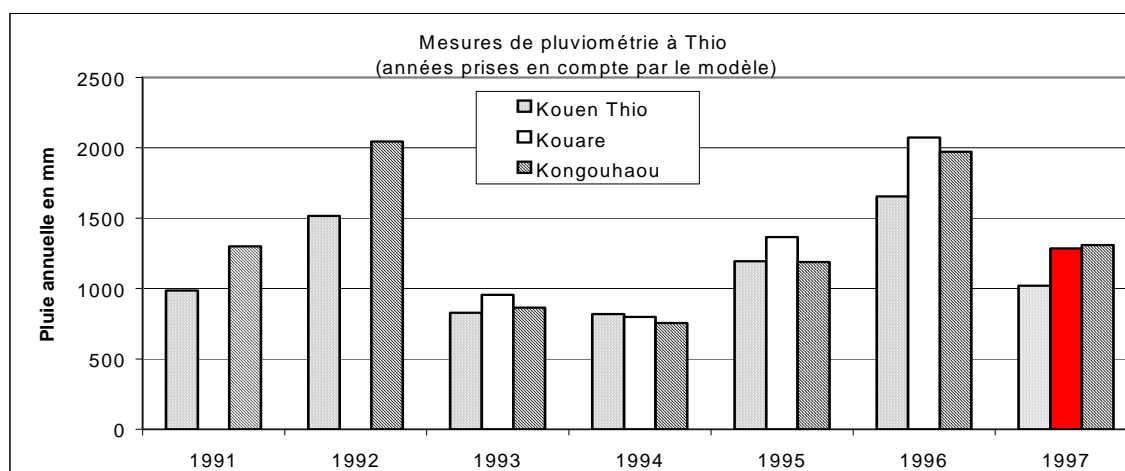


Figure 13 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Thio

On dispose d'une série de données relativement homogènes, en particulier sur la période 93-96 où l'on peut constater une distribution de la pluie annuelle quasi équivalente sur chaque station.

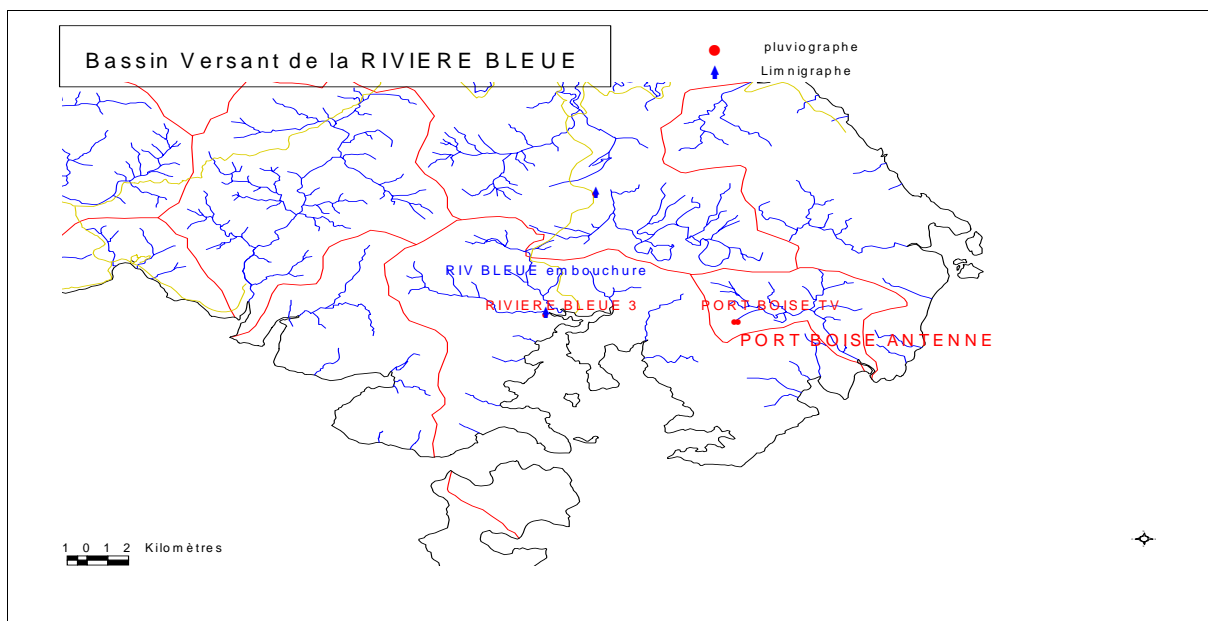
Un coefficient pondérateur de 0.5 est affecté la station Kongouhahou en raison de sa position par rapport aux autres stations.

On dispose de débits observés de 1981 à 1997, les modélisations pluie-débit seront testées sur les périodes 91 à 96.

3.3. REGION SUD

3.3.1. Bassin versant de la Rivière bleue

a) carte



Carte 8 : Bassin versant de la Rivière bleue

b) Caractéristiques géographiques et physiques, géologie et végétation

Point culminant : 621 m - Alt. Moyenne : 198 m

Indice de compacité : 1.22 - Indice de pente de M. Roche : 0.21

La composition géologique des terrains est la suivante :

Substratum : 33%

Formation de piémont : 21%

Dépôts fluvio-lacustres : 12%

Cuirasse ferrugineuse : 34%

Le bassin est recouvert d'un maquis composé d'arbustes de taille inférieure à 4 m, avec des lambeaux de forêt sur les pentes des massifs et un tapis herbacé dans les dépressions.

c) Données pluviométriques et débitométriques

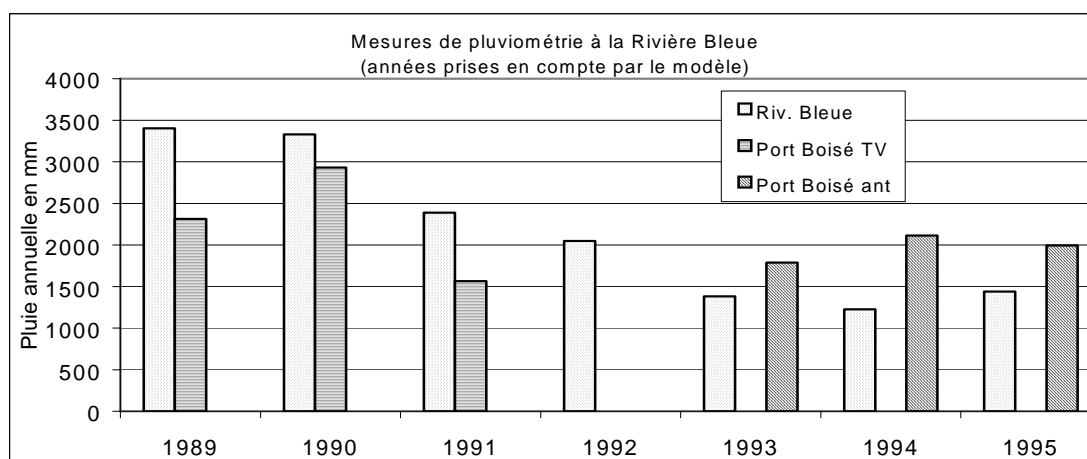


Figure 14: Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Rivière Bleue

On dispose de débits observés de 1974 à 1986 et de 1990 à 1994, les modélisations pluie-débit seront testées sur la période 1989-1994

4. Conclusion

Cette présentation systématique des bassins et des données pluviométriques et débitométriques les caractérisant était nécessaire pour situer le contexte général hydrologique de la Nouvelle Calédonie.

De façon générale, la Nouvelle Calédonie est composée de petits bassins versants plus ou moins arrosés en fonction de leur exposition. Les terrains sont relativement imperméables et l'intensité de la pluviométrie est un facteur favorisant le ruissellement.

Les données pluviométriques ont été décrites à l'échelle annuelle, les hétérogénéités seront encore plus marquées à l'échelle mensuelle et journalière.

Les pluies étudiées sont à priori de bonne qualité et ne présentent pas d'incohérence, mais par contre la quantité de lacunes ne permet pas de définir précisément la répartition de la pluviométrie sur les bassins versants.

Les débits présentés ici sont de bonne qualité et proviennent de stations correctement étalonnées.

Il existe également de nombreuses lacunes, mais cela à beaucoup moins d'importance que pour les pluies car les données de débits ne sont pas les données d'entrée principale dans les modèles pluie-débit utilisés.

Il était très important avant de se lancer dans une première modélisation pluie-débit de bien connaître la qualité des données principales d'entrée afin de mieux pouvoir critiquer les résultats obtenus.

Nous allons maintenant présenter le modèle utilisé dans ce premier essai de modélisation pluie-débit.

CHAPITRE II : Présentation des données.....	1
1. LES RESEAUX DE MESURE.....	7
1.1. DIFFERENTS RESEAUX.....	7
1.2. PROBLEMES RENCONTRES.....	7
2. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS.....	8
3. PRESENTATION DETAILLEE PAR BASSIN.....	9
Caractéristiques géographiques physiques et géologiques :.....	9
Données pluviométriques :.....	9
Les données de débits :.....	10
3.1. COTE OUEST.....	10
3.1.1. Bassin versant de la Dumbéa.....	10
3.1.2. Bassin de la Tontouta.....	11
3.1.3. Bassin de la Foa.....	12
3.1.4. Bassin versant de la Néra (rivière Boghen).....	13
3.1.5. Bassin versant de la Pouembout.....	14
3.1.6. Bassin versant de la Faténaoué.....	15
3.2. COTE EST.....	16
3.2.1. Bassin du Diahot.....	16
3.2.2. Bassin versant de la Ouaième.....	17
3.2.3. Bassin versant de la Tiwaka.....	18
3.2.4. Bassin de la Houailou.....	19
3.2.5. Bassin versant de la Thio.....	20
3.3. REGION SUD.....	21
3.3.1. Bassin versant de la Rivière bleue.....	21

FIGURE 1 : PLUVIOMETRIE ANNUELLE DE BASSIN, MODULE ANNUEL ET SUPERFICIE DES B.V	8
FIGURE 2 : DISTRIBUTION DES PLUIES ANNUELLES ET MODULES ANNUELS	9
FIGURE 3 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA DUMBEA	11
FIGURE 4 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA	12
FIGURE 5 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA FOA	13
FIGURE 6 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA BOGHEN	14
FIGURE 7 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA POUEMBOUT	15
FIGURE 8 :MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA FATENAOUÉ	16
FIGURE 9 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DU DIAHOT	17
FIGURE 10 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA OUAÏÈME	18
FIGURE 11 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TIWAKA	19
FIGURE 12 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA HOUAÏLOU	20
FIGURE 13 : MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA THIO	21
FIGURE 14: MESURES DE PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE BLEUE	22

Erreur! Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

CHAPITRE III

Présentation du modèle GR4

1. La modélisation pluie-débit

1.1. Définition d'un modèle

On définit un modèle par sa finalité comme tout moyen permettant de raisonner sur un phénomène en faisant appel à des entités ou à des processus élémentaires qui sont sensés être à leur origine, ou qui permettent de les reconstituer par combinaison et par assemblages.(KAUARK-LETTE,NASCIMENTO, 1993)

Le modèle est une image de la réalité, une simplification des phénomènes naturels avec un nombre de paramètres volontairement limité.

Le choix de ces paramètres dépend des théories tendant à expliquer les phénomènes étudiés, il est donc très étroitement lié à la vision qu'a le modélisateur du phénomène traité.

1.2. La modélisation pluie-débit

La modélisation pluie-débit est la mise au point de méthodes numériques pour connaître en un point donné, les débits sur un bassin versant. Les données principales utilisées sont les pluies observées sur le même bassin ou sur un bassin voisin.

Les modèles les plus simples s'appliquent sur les bassins sur lesquels les débits sont directement liés aux pluies. Cela exclut les bassins karstiques et les bassins fortement influencés par la fonte des neiges.

1.3. Les applications de la modélisation pluie-débit

(P-A. Roche, J.Bernier, J.Miquel et C.Michel (1998))

La plus simple des applications de la modélisation pluie débit est la production de débits sur les bassins non jaugés , le réseau de mesure pluviométrique est de manière générale plus dense que le réseau de mesures de débits.

Dans ce cas , la modélisation est un choix technique (voir économique) qui pourrait en théorie être remplacé par une mesure directe des débits.

Il existe de nombreux domaines dans lesquels, la modélisation pluie-débit est une nécessité.

Lorsque les données observées de débits ne suffisent pas pour répondre à un problème posé et qu'il faut prévoir quels seront les débits futurs

La production de débits à partir des débits observés est beaucoup plus problématique que la production de pluies à partir de pluies observées.

Le calcul de débits à partir d'observations (ou de production)de pluies est utilisée dans les domaines suivants :

- **Gestion des stocks** : Dans le cas de tous les problèmes liés aux étiages et aux réservoirs d'eau, il est facile de comprendre que la modélisation pluie-débit est un outils précieux pour prévoir ce qu'il arrivera en cas de sécheresse.

- ❑ **Prévision en période de crue** : L'observation des pluies pendant un épisode critique peut permettre de prévoir la crue avec un délai correspondant aux temps de concentration.
- ❑ **Gestion de barrages** : On dispose généralement de séries de mesures de pluviométrie plus longues que les séries de mesures de débits. Ces longues séries permettent de prévoir les valeurs extrêmes et d'optimiser la gestion des grands ouvrages.
- ❑ **Calcul de la distribution statistique d'une variable hydrologique**
- ❑ **Détection de l'influence d'une modification exogène d'un bassin versant** sur ses écoulements (urbanisation, déforestation, etc..)

Cette liste n'est pas exhaustive, mais montre que la modélisation pluie-débit est incontournable dans la plupart des études nécessitant l'estimation de débits futurs.

2. Différents types de modèles

Il existe plusieurs classifications de modèles (cf rapport bibliographique), nous choisirons de présenter la classification adoptée par l'équipe du CEMAGREF.

Il existe, quatre grandes classes de modèles : les modèles fondés sur la physique, les modèles conceptuels, les modèles empiriques et les modèles linéaires. (MICHEL C. 1999)

2.1. Les modèles fondés sur la physique

Le principe des modèles physiques est de raisonner sur l'existence de quatre milieux : la surface du sol, un milieu non saturé situé sous la surface du sol dans lequel l'eau pénètre verticalement, un milieu saturé formant une nappe s'écoulant de façon pseudo-horizontale en direction d'un talweg et un chenal dans lequel peut se produire un écoulement à surface libre. Pour chaque milieu sont utilisées des équations différentes : l'équation de St Venant pour les écoulements à surfaces libres, les équations dérivées de la loi de Darcy (équations de Richard et de Boussinesq) pour les écoulements souterrains.

Ce type de modèle nécessite une description physique du milieu souterrain exhaustive et précise qu'il est impossible de faire sans mettre en œuvre des moyens colossaux.

2.2. Les modèles conceptuels

Leur approche est fondée sur la physique mais renonce à l'exploitation directe des mesures de paramètres physiques.

On décompose la transformation pluie-débit en processus élémentaires (interception par la végétation, ruissellement, infiltration, écoulement de subsurface, percolation, etc....) que l'on imagine bien connus, et l'on utilise des équations empiriques relativement simples.

Lorsque ces modèles sont développés par leur concepteur pour une application précise, ils peuvent ne pas être performants dans des domaines différents car l'accent a été mis sur la description d'un ou de plusieurs processus aux dépens des autres.

Pour avoir un modèle assez général qui prenne en compte tous les processus élémentaires, il faut un grand nombre de paramètres qu'il faut caler sur des données observées de débit, ce calage présente de nombreuses difficultés.

2.3. Les modèles empiriques

Leur conception est totalement empirique et consiste à utiliser des outils mathématiques simples pour rendre compte des débits à l'exutoire du bassin, sans passer par des considérations physiques reliées au terrain. Le but étant de traduire efficacement les fonctions de production et de transfert.

Le nombre d'outils mathématiques utilisés comme le nombre de paramètres est obligatoirement très faible pour faciliter le calage.

Ces modèles sont déconnectés de la réalité physique, leur mise au point et leur calage se fait sur un jeu de paramètres qui n'ont pas de lien direct avec la description de processus naturels réels.

Ces modèles sont mis au point en partant de mécanismes acceptables les plus simples et en ne les compliquant que lorsque cela est absolument nécessaire.

2.4. Les modèles linéaires

Ce sont des modèles beaucoup plus simples qui reposent sur des relations linéaires par rapport aux paramètres entre les entrées et les sorties

L'avantage de ces modèles réside dans leur solide fondement mathématique, ils sont employés dans de nombreux domaines

Les modèles ARMA (modèles auto régressifs à moyenne mobile) sont des exemples typique de genre de modèle .

3. Modèle utilisé

3.1. Présentation du modèle GR4J

Le modèle que nous allons appliquer aux données provenant des bassins versants de Nouvelle Calédonie est un modèle empirique à processus continu appelé GR4J.

Ce modèle à été mis au point au Cemagref par Claude Michel à la division Hydrologie, à Antony, depuis le début des années 80.

Ce modèle a été l'objet de thèses de Nilo de Oliveira Nascimento (1995): Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'actions anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle du bassin versant, et de Zoubir Makhoulf (1994): Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres.

La particularité, et l'intérêt principal de ce modèle est qu'il ne comporte que quatre paramètres à caler.

C'est un modèle robuste, qui s'est révélé utile dans la gestion des ressources en eau ou pour des problèmes de prévision d'étiages, ainsi que pour la détection des modifications anthropiques du cycle hydrologique.

La version que nous avons utilisée fonctionne au pas de temps journalier.

Les données d'entrée utilisées sont :

- ❑ les pluies (plus les débits en calage)
- ❑ l'évapotranspiration

En sortie, il donne :

- ❑ les débits

L'optimisation des paramètres est effectuée selon une méthode pas à pas, dans un espace des transformées des paramètres.

Le but de ce modèle est non pas de « reproduire les processus réels intervenant dans un bassin versant, mais de rechercher des opérateurs numériques capables de reproduire les résultats de ces processus, c'est à dire les débits, tels qu'ils sont réellement observés ».

3.2. Fonctionnement du modèle

3.2.1. Modèle GR4J, Schéma structurel

(modèle à 4 paramètres)

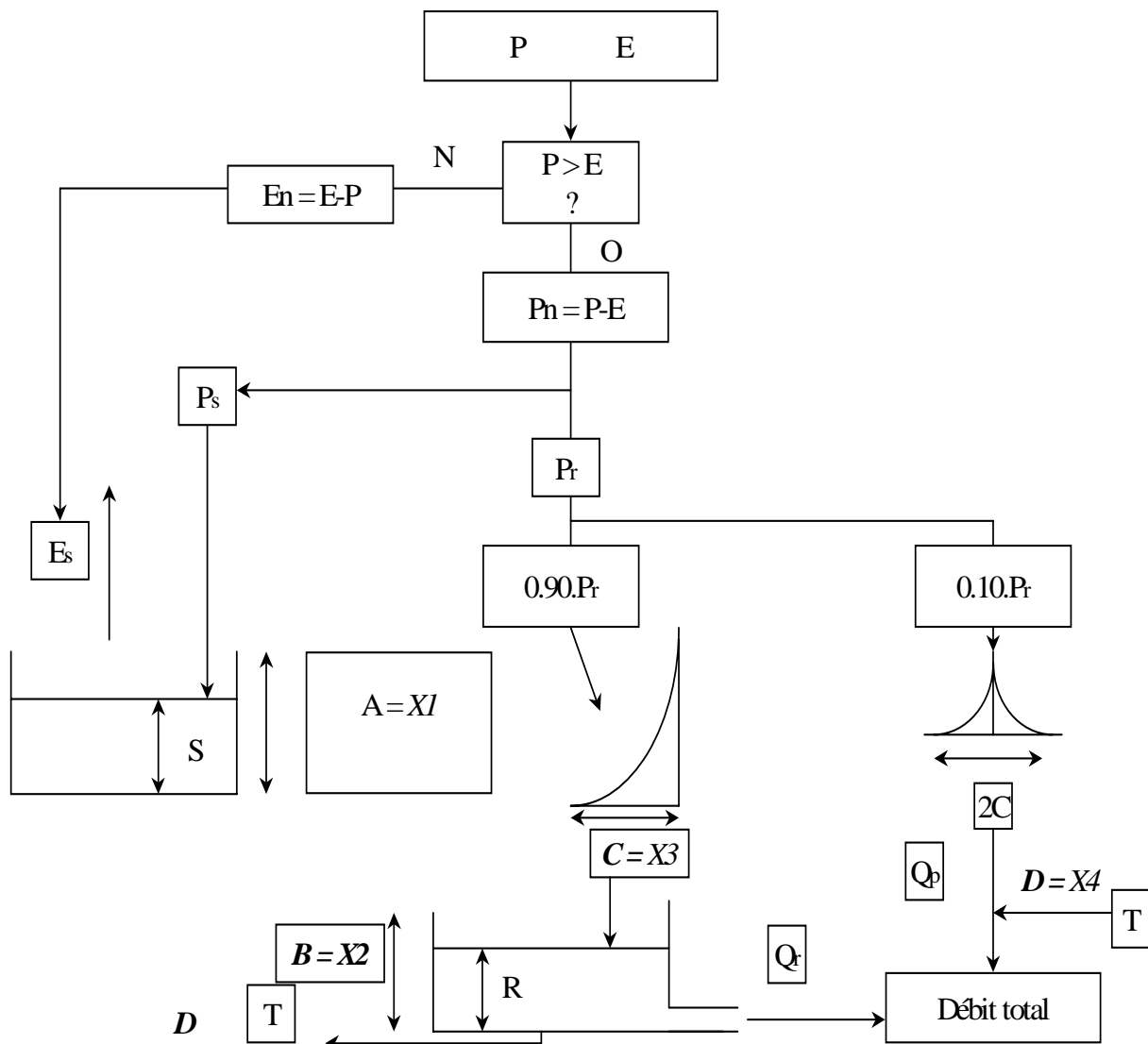


Figure 15 : Modèle GR4J, Schéma structurel

Signification des paramètres du modèle :

- A : Capacité maximale du réservoir sol : X1 (mm)
- B : Capacité du réservoir de routage : X2 (mm)
- C : Constante de temps des hydrogrammes unitaires : X3 (j)
- D : Paramètre d'échanges souterrains : X4 (sans dimension)

3.2.2. fonctionnement du modèle :

Nous ne décrivons pas dans ce rapport, les équations qu'il est possible de trouver dans l'article de N.de O.Nascimento, X. Yang et Z. Makhoul (1994)

Suivons pas à pas, le fonctionnement du modèle:

les précipitations incidentes (P) sont d'abord comparées à l'ETR.

Si $P < ETR$, la totalité de l'eau est interceptée, et l'évaporation nette ($ETR - P$) est prélevée dans le réservoir sol.

Si $P > ETR$, la pluie nette ($P - ETR$) est séparée en deux parties : la première conduit à rehausser le niveau du réservoir sol, la seconde à alimenter l'écoulement. La répartition entre ces deux voies se fait en fonction du taux de remplissage du réservoir sol (la variable NS), qui varie entre 0 et 1. Si ce taux est nul, toute l'eau sert à remplir le réservoir et il n'y a pas de contribution de cette pluie à l'écoulement. Si le niveau de remplissage est maximal, au contraire toute la pluie sert à l'écoulement. Entre ces deux extrêmes, le rendement de la pluie a la forme représentée en figure 16 :

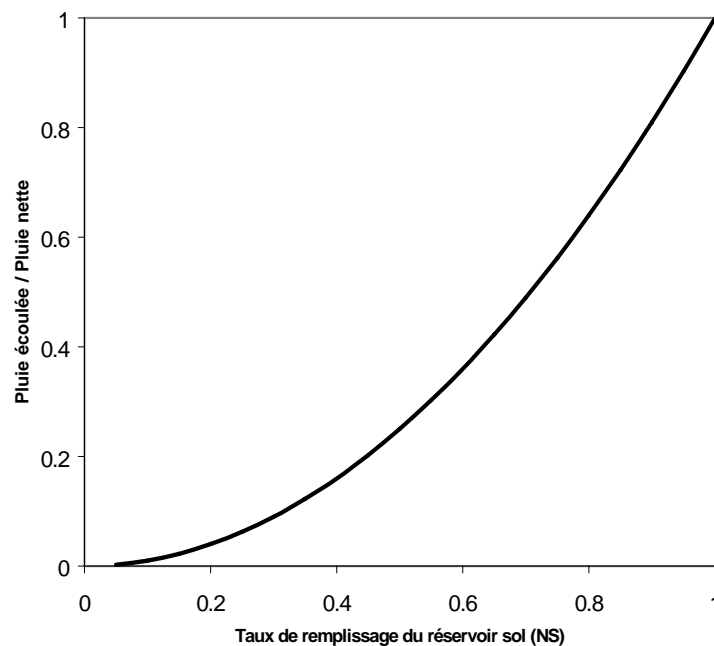


Figure 16 : Rendement de la pluie dans GR3

L'eau destinée à l'écoulement (Pr) est séparée en deux parties :

- ❑ 10% alimente un écoulement pseudo-direct, routé par un hydrogramme unitaire symétrique (c'est à dire dont le temps de montée égale le temps de décrue),
- ❑ 90% alimente un écoulement routé par l'intermédiaire d'un hydrogramme unitaire pour la montée de crue, et d'un réservoir de routage pour la décrue. Ce réservoir de routage est caractérisé par sa capacité. Sa loi de vidange non-linéaire reproduit les courbes de décrue telles qu'on peut les observer sur des hydrogrammes réels.

GR4 comporte quatre paramètres qui doivent être calés pour chaque bassin. Ces paramètres sont X1, la capacité maximale du réservoir sol, X3, le temps de base de l'hydrogramme unitaire, X2, la capacité du réservoir de routage, X1 un terme d'échange qui agit à la fois sur le réservoir de routage et sur la composante d'écoulement pseudo-direct.

Ce terme d'échange, s'il est positif, permet de prendre en compte les pertes profondes dans un bassin, qui ne correspondent ni à un stockage dans le réservoir sol, ni à une restitution à l'exutoire. Si au contraire il est négatif, ce terme correspond à un apport d'eau (apport de nappe par exemple).

3.3. Utilisation du modèle GR4J

L'utilisation du modèle GR4J est particulièrement simple.

De façon générale, pour pouvoir juger le fonctionnement d'un modèle sur un bassin versant, on effectue une simulation sur différentes périodes, et on procède ensuite à des validations croisées.

Cela consiste à caler un modèle sur une période et à effectuer un contrôle des paramètres calés sur une autre période indépendante, puis à recalculer un modèle sur la période précédemment utilisée pour le contrôle, et à le valider sur la première période de calage. Cette technique permet de détecter des périodes particulières dans leur caractéristiques hydrologiques entraînant un fonctionnement particulier du bassin, et non pas particulier au bassin.

Par ailleurs, la stabilité des valeurs des paramètres pour des périodes de simulation différentes rend compte de la fiabilité des valeurs calées.

Les critères de performance résultants de la modélisation sont, entre autres, des critères de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970).

Nous en définirons trois :

- ❑ un critère de Nash sur les débits, Nash sur (Q), qui rend compte de l'adéquation des débits simulés avec les débits observés, en donnant une importance plus particulière aux simulations sur les crues.
- ❑ un critère de Nash sur le log des débits, Nash sur $\log(Q+M/40)$, qui rend compte aussi de l'adéquation des débits calculés avec les débits observés, mais qui donne plus d'importance aux simulations sur les étiages.
- ❑ un critère de Nash sur la racine des débits, Nash sur $\sqrt[3]{(Q)}$, qui est intermédiaire entre les deux critères précédents.

Le critère de calage retenu ici pour l'optimisation des paramètres par la méthode pas-à-pas est le critère de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970), calculé sur les débits par :

$$Nash(Q) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q})^2} \right)$$

où Q_{obs} et Q_{cal} sont respectivement les débits observés et calculés, \bar{Q} est la moyenne des débits observés sur la période de calage et n le nombre de pas de temps considérés.

Les autres critères de Nash ont été calculés en utilisant la même formule mais en faisant subir au préalable une transformation sur les débits, soit en en prenant la racine carrée, soit en en prenant le logarithme après ajout d'une constante (Module des débits / 40) pour éviter d'avoir des problèmes dans le cas où le débit est nul.

A chaque fois qu'une modélisation est lancée, le programme crée deux fichiers de résultats :

- un fichier .res, dans lequel sont consignés les valeurs des paramètres calés, les données relatives au bassin versant (surface, température moyenne annuelle, pluviomètres, stations de débits...), les critères de qualité de la modélisation (critères de Nash en calage, critères de Nash en validation, rapport des volumes, statistiques sur les erreurs...)

Les paramètres affichés dans les résultats de la modélisation ne sont pas les paramètres vrais. Les transformations mathématiques qu'il faut appliquer aux paramètres affichés dans les résultats pour obtenir les paramètres vrais sont les suivantes:

- A = EXP (a)
- B = EXP (b)
- C = EXP (c) +0.5
- D = sinh (d)

Le coefficient correcteur de pluie X6 = EXP (x6)

- un fichier .LST, dans lequel on trouve, sous forme de tableau, les précipitations journalières sur la période de modélisation, les débits observés, l'évapotranspiration, dans les précipitations, et les débits calculés, en mm.

4. Conclusion

Le modèle GR4J, choisi pour sa simplicité générale (mise en œuvre, nombre de paramètres), sera donc le premier modèle testé de façon systématique sur les bassins versants de Nouvelle Calédonie.

Plusieurs questions se posent:

- Les données seront-elles suffisantes en qualité et en quantité pour faire tourner ce modèle de façon correcte?
- Le modèle calé en zone métropolitaine saura-t-il s'adapter aux conditions climatiques extrêmes rencontrées en Nouvelle Calédonie?
- Les résultats obtenus permettront-ils de réaliser des applications concrètes sur le Territoire?

L'objet du chapitre IV est de présenter les résultats et de tenter de répondre à ces questions.

CHAPITRE IV

Résultats de la modélisation avec GR4J

1. Premiers résultats

Dans un premier temps, on a fait fonctionner le modèle uniquement sur le calage des paramètres sur la plus longue période présentant des pluies et des débits dans la base de donnée. Le but étant d'obtenir un critère de Nash représentatif de la fiabilité de la modélisation pour chaque bassin versant.

Dans la mesure où le modèle était utilisé pour la première fois sur les données de Nouvelle Calédonie, l'approche s'est faite pas à pas.

Les étapes qui vont être décrites ci-dessous font toutes partie de la découverte du modèle testé avec des séries de données provenant des bassins versants de Nouvelle Calédonie.

Les essais de modélisation suivants ont permis de caler un protocole standard pour l'ensemble des bassins versants :

- ❑ essai de modélisation (optimisation) avec une donnée d'ETP mensuelle moyenne fixée de façon arbitraire à 300 mm /mois
- ❑ essai de modélisation avec une ETP mensuelle mesurée sur la station météorologique côtière la plus proche du bassin versant étudié.
- ❑ essai de modélisation avec optimisation de la pluie : les données de pluies moyennes sont multipliées par un coefficient correcteur
- ❑ essai de modélisation avec optimisation de la pluie et fixation de la valeur du paramètre représentant la capacité du réservoir sol.
- ❑ ajout de nouvelles stations pluviométriques sur un bassin versant.
- ❑ modification de la pondération de stations sur un bassin versant.

C'est ce dernier type de modélisation " avec optimisation de la pluie et fixation de la valeur du paramètre représentant la capacité du réservoir sol " qui sera retenu pour l'ensemble des bassins versants, nous décrirons cependant les résultats globaux obtenus pour chaque étape pour les bassins versants concernés.

1.1. Influence de l'ETP (cf. Tableau 1)

Le modèle a été testé pour la plupart des stations avec une ETP moyenne de 300 mm/mois, avant d'obtenir les données au service de météorologie de Nouméa.

Cette étape a montré que la précision sur la valeur de l'ETP avait très peu d'influence sur le calage du modèle et qu'elle n'avait pas forcément un effet positif sur la valeur du critère de

Nash.

Les essais d'optimisation d'ETP montrent une influence significative sur le critère de Nash, mais compte tenu de la remarque précédente cet effet bénéfique n'est peut-être dû qu'à la multiplication des paramètres.

MODELISATION GR4J : EVOLUTION DU CRITERE DE NASH EN FONCTION DE L'ETP					
BASSIN	Dumbéa 89-93	Houailou 76-80	Houailou 88-96	Thio 91-96	Rivière Bleue 89-94
ETP mensuelle = 300 mm/mois	86,6	78,4	73,5	83,3	Modélisation Non réalisée
ETP station proche Bassin Versant	85,6	73,7	80,1	72,3	89,3
Optimisation ETP	86,3	86,3	80,1	84,8	89,6

Tableau 1 : Evolution du critère de Nash en fonction de l'ETP

1.2. Optimisation de la pluie

Les premières expériences, ont montré que le modèle donnait de meilleurs résultats en **optimisant la pluie**. Ceci n'est pas étonnant car nous avons vu dans le chapitre précédent combien il était difficile d'estimer correctement la pluie avec les données disponibles sur les bassins versants de Nouvelle Calédonie.

Ce choix sera fait de façon systématique pour tous les bassins versants.

MODELISATION GR4J : EVOLUTION DU CRITERE DE NASH AVEC L'OPTIMISATION DE LA PLUIE							
BASSIN	Dumbéa 89-93	Houailou I 76-80	Houailou II 88-96	Thio 91-96	Rivière Bleue 89-94	Tontouta 92-96	Tiwaka 94-96
Optimisation	85,55	73,74	80,13	72,29	89,32	95,36	82,68
Optimisation pluie	91,55	76,24	80,13	82,02	89,6	96,66	82,88

Tableau 2 : Evolution du critère de Nash avec l'optimisation de la pluie

1.3. Fixation du paramètre lié au réservoir sol

L'atout majeur du modèle GR4J est son nombre limité de paramètres qu'il est intéressant de conserver pour maintenir la robustesse du modèle.

L'optimisation de la pluie a conduit à l'ajout d'un nouveau paramètre : le facteur multiplicateur de pluie. Pour conserver un nombre très faible de paramètres, nous allons fixer le paramètre réservoir sol en lui donnant une valeur moyenne standard de 330 mm. Cette

valeur a été choisie et appliquée sur les bassins versants de France métropolitaine (Edijatno, Nascimento, Yang, Makhlouf et Michel, 1999).

Les résultats obtenus sont les suivants :

EVOLUTION DU CRITERE DE NASH AVEC FIXATION DU PARAMETRE DU RESERVOIR SOL					
BASSIN	Diahot 87-96	Dumbéa 88-93	Faténaoué I 68-71	Faténaoué II 77-83	Houailou I 76-80
<i>Optimisation GR4J</i>	30,26	85,55	81,9	77,61	73,74
<i>Optimisation pluie GR4J</i>	35,28	91,55	82,02	78,16	76,24
<i>Optimisation GR3J</i>	29,65	75,48	81,85	77,52	66,3
<i>Optimisation pluie GR3J</i>	34,73	90,68	82,06	78,16	74,51

BASSIN	Houailou II 88-96	Ouaième 93-95	Pouembout 79-80	Thio 91-96	Tiwaka 94-96
<i>Optimisation GR4J</i>	80,13	81,86	70,21	72,29	82,68
<i>Optimisation pluie GR4J</i>	76,24	81,68	70,21	82,02	82,88
<i>Optimisation GR3J</i>	77,57	81,16	70,21	81,94	77,74
<i>Optimisation pluie GR3J</i>	79,59	81,45	70,21	81,97	80,63

BASSIN	Tontouta 92-96	Rivière Bleue 89-94
<i>Optimisation GR4J</i>	95,36	89,32
<i>Optimisation pluie GR4J</i>	96,66	89,6
<i>Optimisation GR3J</i>	88,18	55,21
<i>Optimisation pluie GR3J</i>	96,28	81,72

Tableau 3 : Evolution du critère de Nash avec fixation du paramètre du réservoir sol

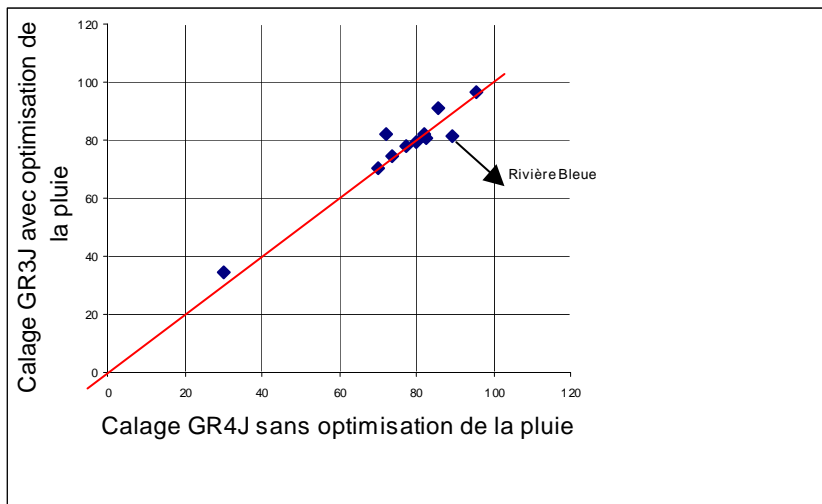


Figure 17 : Distribution des valeurs de Nash des calages GR3J avec optimisation de la pluie en fonction valeurs de Nash des calages GR4J sans optimisation de la pluie

On peut constater sur la Figure17 que dans la plupart des cas, les résultats de la modélisation "GR3J" avec optimisation de la pluie sont équivalents ou meilleurs que le calage de GR4J sans optimisation de la pluie. Le bassin de la rivière Bleue a un comportement différent et l'on constate une baisse significative de valeur du critère de Nash.

1.4. Influence sur le critère de Nash de l'ajout de nouvelles données pluviométriques

Pendant les premiers essais de modélisation, l'examen des cartes détaillées des bassins a permis de trouver deux stations supplémentaires exploitables pour le bassin de la Ouaième.(stations de Tendo et Ouayaguette)

L'obtention de quelques données pluviométriques supplémentaires provenant du service de la météorologie (stations côtières de Bourail et Ouégoa) ont également permis de tester l'effet de l'ajout de nouvelles stations

Les résultats sont présentés dans le Tableau 4 :

BASSIN	Boghen II 88-96	Diahot 87-96	Ouaième 93-95
	2 pluvios	3 pluvios	2 pluvios
<i>Optimisation GR3J</i>	73,3	29,7	81.1
<i>Optimisation pluie GR3J</i>	76,5	34,7	81.5
	3 Pluvios	4 pluvios	4 pluvios
<i>Optimisation GR3J</i>	72,4	43,3	78.5
<i>Optimisation pluie GR3J</i>	77	53,5	81.4

Tableau 4 : Variation du critère de Nash avec l'augmentation du nombre de pluviomètres

On obtient avec l'ajout de nouvelles stations sur la même période, une meilleure définition de la pluviométrie sur les bassins et de meilleurs résultats de modélisation.

1.5. Influence de la pondération des stations sur le critère de Nash et sur le facteur d'optimisation de la pluie

BASSIN PLUVIOMETRES	Nash	Facteur de correction de pluie
Dumbéa I 80-83		
Nord: 1 Dzumac: 0.1 Sources: 0.1	opt. pluie GR3J : 67.7	1.02
Nord: 1 Dzumac: 0.5 Sources: 0.5	opt. pluie GR3J : 76.7	1.04
Dumbéa I 89-93		
Nord:1 Dzumac:0.1 Sources:0.1	opt. pluie GR3J : 89.8	1.52
Nord:1 Dzumac:0.5 Sources:0.5	opt. pluie GR3J : 88.3	1.49
Ouaième 88-96		
Pagou:1 Bas coulna:1 Ouayaguette:1 Tendo:1	opt. pluie GR3J : 80.4	1.86
Pagou:1 Bas coulna:1 Ouayaguette:1 Tendo:0.5	opt. pluie GR3J : 63.26	1.90
Ouaième 91-96		
Pagou:1 Bas coulna:1 Ouayaguette:1 Tendo:1	opt. pluie GR3J : 81.46	1.09
Pagou:1 Bas coulna:1 Ouayaguette:1 Tendo:0.5	opt. pluie GR3J : 81.72	1.14
Thio 91-96		
Kuenthio:1Kouaré:1 Kongouhaou 1	opt. pluie GR3J : 78.64	0.92
Kuenthio:1Kouaré:1 Kongouhaou 0.5	opt. pluie GR3J: 81.4	0.97

Tableau 5 : Influence de la pondération des stations sur le critère de Nash et sur le facteur d'optimisation de la pluie

Le Tableau 5 met en évidence la sensibilité du modèle vis à vis de la définition de la pluviométrie, dans le cas des données traitées, il apparaît qu'il est plus important de connaître avec précision la répartition des pluies sur une période courte que d'allonger le nombre d'années mesurées.

Le choix des périodes à caler sera fait en fonction de la densité des stations avec une recherche des valeurs de pondération les plus représentatives du bassin.

1.6. Résultats retenus au calage

Le Tableau 6 présente les critères de Nash obtenus au calage sur toutes les stations étudiées dans les conditions suivantes:

- ❑ fonction objectif Q (debit)
- ❑ optimisation de la pluie
- ❑ fixation du réservoir sol à 330mm

BASSIN	NOMBRE de pluviomètres	Somme Des poids	Optimisation de pluie modèle GR3J
Boghen I 60-81	3	2.5	65.1
Boghen II 88-96	3	2.5	77
Diahot 87-96	4	4	43.3
Dumbéa I 80-83	3	2.5	76.7
Dumbéa II 88-93	3	2.5	88.3
Fatenaoué I 68-70	1	1	82
Faténaoué II 81-83	1	1	62.7
Faténaoué II 92-94	1	1	83
Houailou I 76-80	2	2	66.3
Houailou II 88-96	2	2	79.6
La foa 83-85	2	2	78.7
Ouaième 88-96	4	3.5	63.26
Ouaième 91-96	4	3.5	81.7
Pouembout I 79-80	5	4.5	70.2
Pouembout II 92-95	5	4.5	86.7
Thio 91-96	3	2.5	81.4
Tiwaka 94-96	3	3	77.7
Tontouta I 81-83	3	3	86.5
Tontouta II 92-96	3	3	96.3
Rivière Bleue 89-94	2	2	72

Tableau 6 : Résultats obtenus au calage sur toutes les stations étudiées

Les valeurs des critères de Nash obtenus au calage sur l'ensemble des bassins versants sont comprises ente 60 et 96 %, à l'exception du Diahot .

Ces valeurs sont loin d'être décevantes pour un modèle mis au point avec des données provenant de climats tempérés.

Nous allons maintenant procéder aux calages et contrôles sur chaque station en cherchant les périodes induisant le moins d'erreur possibles sur l'estimation de la pluviométrie.

2. Résultats par Bassin versant

Après avoir testé les calages du modèle sur l'ensemble des bassins versants, il est intéressant de tester les contrôles et observer le comportement des différents paramètres.

Les contrôles servent à valider avec les paramètres obtenus lors d'un calage, la modélisation sur une période différente.

Les paramètres vrais sont présentés dans les tableaux, rappelons leur signification:

- A** : capacité du réservoir sol en mm fixé pour toutes les modélisations à 330 mm
- B** : capacité du réservoir de routage
- C** : paramètre de l'hydrogramme unitaire lié au temps de concentration du bassin
- D** : paramètre d'échange souterrain en mm/jour
- 5** : taux de remplissage initial du réservoir en pourcentage
- 6** : facteur multiplicateur de la pluie

Les bassins de la Foa et de la Tiwaka ne seront pas traités dans cette partie car le faible nombre d'années consécutives de mesures pluviométriques ne permettent pas d'effectuer un contrôle sur une période différente de celle du calage.

2.1. Présentation des tableaux de résultats par Bassins versants

2.1.1. Bassin versant de la Dumbéa

RIVIERE : DUMBEA							
SUPERF. BV : 32.2							
Module observé 1962 mm/an							
3 pluviométriques : Dzumac 0.5 Dumbéa Nord 1 Sources 0.5							
Pluie annuelle de bassin, moyenne générale: 3345 mm/an							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt.pluie 80-83	76.69	330.30	34.12	2.07	-3.17	0.60	1.04
cont. 90-93	67.6						
opt.pluie 89-93	88.25	330.30	121.51	1.49	-10.86	0.60	1.49
cont. 80-83	69.8						

Tableau 7 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Dumbéa

On peut constater une grande différence sur les valeurs paramètres B et D selon les périodes testées.

La période 88-93 est de façon générale plus arrosée, la valeur du réservoir de routage est beaucoup plus grande ($B2/B1 = 3.55$) et le paramètre d'échange souterrain de valeur négative ce qui correspond à un gain se comporte de façon similaire: $D2/D1 = 3.43$.

Le paramètre 6, facteur d'optimisation de la pluie est plus important, le modèle essaie de gagner de l'eau.

Les valeurs de Nash chutent de 10 à 20 points au calage selon la période.

2.1.2. Bassin versant de la Tontouta

Erreur ! Liaison incorrecte.

Tableau 8 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Tontouta

Dans le cas du bassin de la Tontouta après un test de modélisation sur l'ensemble des données disponibles, nous conserverons la période 92-94 qui comporte moins de lacunes dans les données pluviométriques.

2.1.3. Bassin versant de la Néra (rivière Boghen)

RIVIERE : BOGHEN							
SUPERF. BV : 113							
module observé :		680 mm/an					
3 Pluvios : Katrikoin 1 Malmezac 1 Bourail 0.5							
Pluie annuelle de bassin, moyenne générale :						1454 mm/an	
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. pluie 60-81	65.08	330.30	75.19	1.24	-1.18	0.81	1.31
contrôle 88-96	56.9						
opt, pluie 88-96	77.04	330.30	50.91	1.30	-1.74	0.6	1.26
contrôle 60-816	54.5						
opt, pluie 88-92	77.19	330.30	45.15	1.34	-2.91	0.6	1.21
contrôle 92-96	62.8						
opt, pluie 92,96	80.77	330.30	57.97	1.18	1.76	0.6	1.30
contrôle 88-92	57.6						

Tableau 9 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Néra

On observe ici une assez bonne stabilité des paramètres et une chute de 10 à 20 points au contrôle pour chaque période testée, la période à conserver pour la modélisation est probablement 88-96.

2.1.4. Bassin versant de la Pouembout

RIVIERE : POUEMBOUT

SUPERF. BV : 176

Module observé 428 mm/an

5 pluvios : Boutana2 1 Pualoa3 1 Pualoa1 1 Boutana3 1 Kopeto 0.5

Pluie annuelle de bassin, moyenne d							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. Pluie 79-80	70.19	330.30	17.29	1.47	-0.38	0.6	1.00
contrôle 92-95	-4.7	330.30					
opt. Pluie 92-95	86.72	330.30	32.46	2.12	16.54	0.6	1.00
contrôle 79-80	25.6	330.30					

Tableau 10 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Pouembout

L'effet de la disparité des deux périodes modélisées est vraiment très net au contrôle alors que les valeurs des critères de Nash restent relativement élevés. Il paraît logique d'abandonner la période 79-80 sur ce bassin versant compte tenu de la définition de la pluie.

2.1.5. bassin versant de la Faténoué

RIVIERE : POUEMBOUT							
SUPERF. BV : 176							
Module observé 428 mm/an							
5 pluvios : Boutana2 1 Pualoa3 1 Pualoa1 1 Boutana3 1 Kopeto 0.5							
Pluie annuelle de bassin, moyenne d 1345 mm/an							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. Pluie 79-80	70.19	330.30	17.29	1.47	-0.38	0.6	1.00
contrôle 92-95	-4.7	330.30					
opt. Pluie 92-95	86.72	330.30	32.46	2.12	16.54	0.6	1.00
contrôle 79-80	25.6	330.30					

Tableau 11 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Faténoué

Nous avons ici 3 périodes différentes qui se comportent aussi bien au calage qu'au contrôle de façon relativement similaire.

2.1.6. Bassin versant du Diahot

RIVIERE : DIAHOT							
SUPERF. BV : 290							
Module observé : 634 mm/an							
4 Pluvios : Bondé Ste Anne 1 Mandjelia 1 Paimboas 1 Ouegoa 1							
Pluie annuelle de bassin, moyenne c 1429 mm/an							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
87-96	43.28	330.30	28.22	1.46	-3.59	0.75	2.46
opt. pluie 87-96	53.45	330.30	117.92	1.43	6.69	0.6	1.65
opt. pluie 87-91	53.9	330.30	157.59	1.44	18.29	0.6	1.92
contrôle 92-96	30						
opt. pluie 92-96	82.41	330.30	50.91	1.30	2.27	0.6	1.16
contrôle 87-91	34.4						

Tableau 12 : Résultats de la modélisation sur le bassin du Diahot

Les résultats sont très mauvais sur la période globale 87-96 et sur la période 87-91, les valeurs de Nash s'améliorent pour la période 92-96 pendant laquelle la pluie est réellement mieux définie. Le calage/contrôle du modèle sur les périodes 93-95 et 94-96 s'avère malheureusement impossible en raison des lacunes dans les données.

2.1.7. Bassin Versant de la Ouaième

RIVIERE : OUAIEME							
SUPERF. BV : 324							
Module observé : 1562,6 mm/an							
4 Pluvios : Pagou 1 Bas coulna 1 Ouayaguette 1 Tendo 0.5							
Pluie annuelle de bassin, moyenne 1920 mm/an							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. pluie 88-96	63.26	330.30	190.57	1.53	7.56	0.6	1.90
opt. pluie 91-96	81.72	330.30	15.49	2.10	-2.67	0.6	1.14
opt. pluie 91-94	80.6	330.30	17.64	1.73	-2.91	0.6	1.17
contrôle 93-96	79.4						
opt. pluie 93-96	83.96	330.30	24.29	2.01	-3.66	0.6	1.07
contrôle 91-94	75.2						

Tableau 13 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Ouaième

Les résultats du calage sur la période globale 88-96 sont très moyens en raison de la mauvaise définition des pluies sur la période 88-90. Les valeurs du critère de Nash s'améliorent si l'on élimine ces années dans la modélisation.

2.1.8. Bassin versant de Houailou

RIVIERE :HOUAILOU							
SUPERF. BV : 269							
Module observé : 914.8 mm/an							
2 Pluvios : Carovin 1 Karagreu 1							
Pluie annuelle de bassin, moyenne générale : 1779 mm							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. pluie 76-80	74.51	330.30	8.00	2.12	-1.37	0.75	0.79
contrôle 88-96	54.9						
opt. pluie 88-96	79.59	330.30	86.49	1.53	-5.64	0.55	0.83
contrôle 76-80	45.2						

Tableau 14 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Houailou

Sur ce bassin les critères de Nash sont assez bas.

Les valeurs des paramètres B et D sont très variables d'une période sur l'autre. Les données pluviométriques homogènes en densité comportent plus de lacunes dans la seconde période étudiées et les variabilités interannuelles sont également plus marquées.

2.1.9. Bassin versant de la Thio

RIVIERE :THIO							
SUPERF. BV : 344							
Module observé : 844,7 mm/an							
3 Pluvios : Kuenthio 1 Kouaré 1 Kongouhaou 0.5							
Pluie annuelle de bassin, moyenne générale : 1258 mm/an							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. pluie 91-96	81.4	330.30	33.12	1.89	-3.27	0.6	0.97
opt. pluie 91-94	91.57	330.30	104.58	1.96	2.15	0.6	1.23
contrôle 94-96	51.4						
opt. pluie 93-96	80.33	330.30	90.92	1.22	-3.78	0.6	1.15
contrôle 91-94	60.7						

Tableau 15 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Thio

Sur le bassin de la Thio, on dispose d'une seule période continue de données qui sera scindée en deux parties pour effectuer les contrôles croisés.

Les valeurs des critères de Nash sont assez élevées mais perdent 20 à 30 points au calage.

2.1.10. Bassin de la rivière Bleue

RIVIERE : RIV. BLEUE							
SUPERF. BV : 32.4							
Module observé 1197,4 mm/an							
3 Pluvio :Riv bleue 1 Port Boisé TV 1 Port Boisé ant.							
Pluie annuelle de bassin, moyenne c 2535 mm/an							
GR3J	Nash	A	B	C	D	5	6
opt. pluie 89-94	71.09	330.30	42.10	1.26	-5.99	0.6	0.39
opt. 89-91	79.58	330.30	43.82	1.27	-6.17	0.6	0.38
contrôle 93-94	-807.6						
opt. 93-94	64.81	330.30	38.47	1.07	-5.09	0	0.50
contrôle 89-91	*****						

Tableau 16 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la rivière Bleue

Le modèle présente des paramètres très proches en valeurs sur les deux périodes testées au calage mais les valeurs au contrôle montrent une incohérence totale du modèle. (la valeur ***** signifie « inférieur à -9999 »).

La visualisation de l'ensemble de ces tableaux et notamment la partie contrôle met en évidence les faiblesses du modèle.

Les périodes testées ont été sélectionnées pour tenter de s'affranchir des problèmes dus aux données pluviométriques.

On peut penser que les caractéristiques géographiques et physiques des bassins versants et des périodes testées (présences d'événements cycloniques) ont une influence sur les résultats obtenus.

Nous allons maintenant visualiser les hydrogrammes de crue calculés et observés sur une station pour laquelle la modélisation a donné des résultats satisfaisants: la Dumbéa.

2.2. Visualisation des hydrogrammes obtenus sur le bassin versant de la Dumbéa

Les valeurs extrêmes calculées sont indiquées numériquement sur les graphiques pour éviter de mettre des échelles trop grandes.

Visualisons tout d'abord les deux périodes de mesure étudiées :

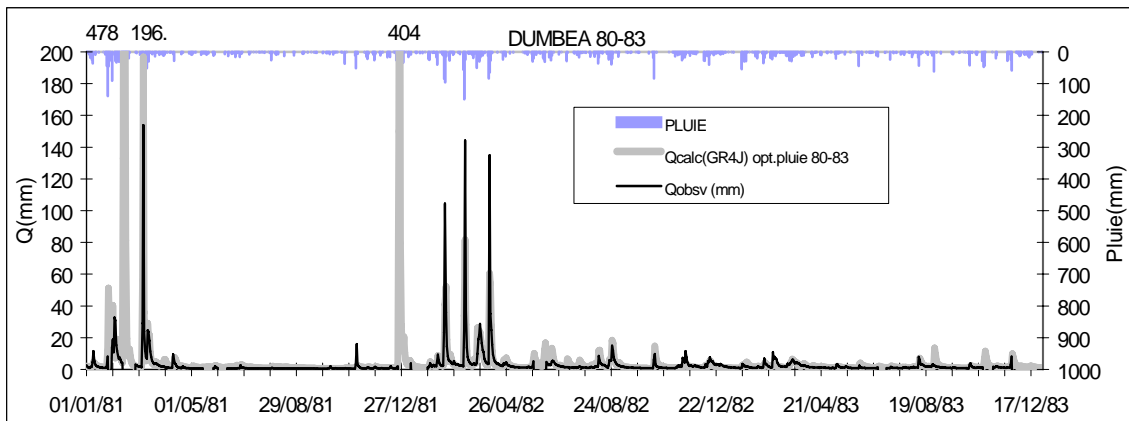


Figure 17 : Dumbéa, calage sur la période 80-83.

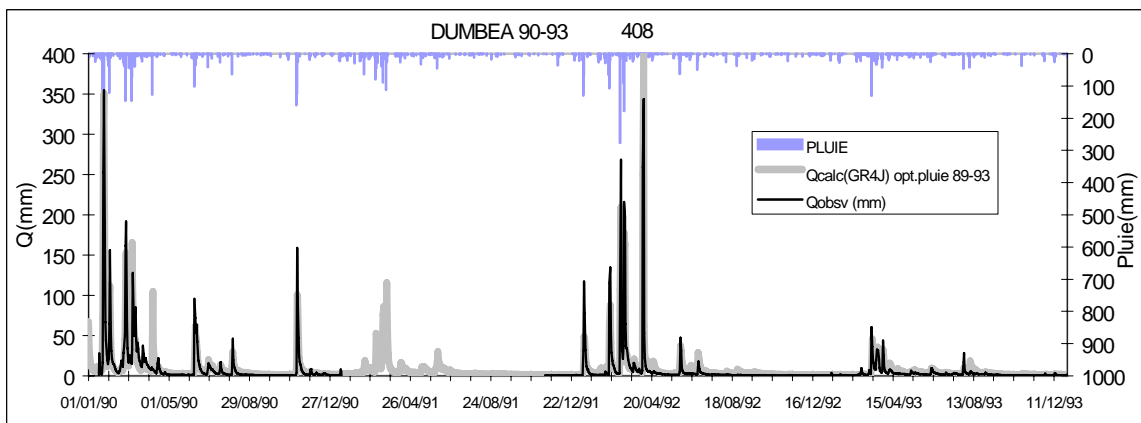


Figure 18: Dumbéa, calage sur la période 89-93

On voit clairement sur ces graphiques l'importance des crues cycloniques, et la forte variabilité inter annuelle des débits observés. Sur la Figure 2 plus particulièrement, on observe les crues de deux importantes dépressions de janvier 90 et avril 92.

La crue de janvier 1981 est en lacune dans les observations, son débit calculé est de 478 mm

Regardons maintenant l'effet des crues sur le calage du modèle en basses eaux sur les deux périodes observées.

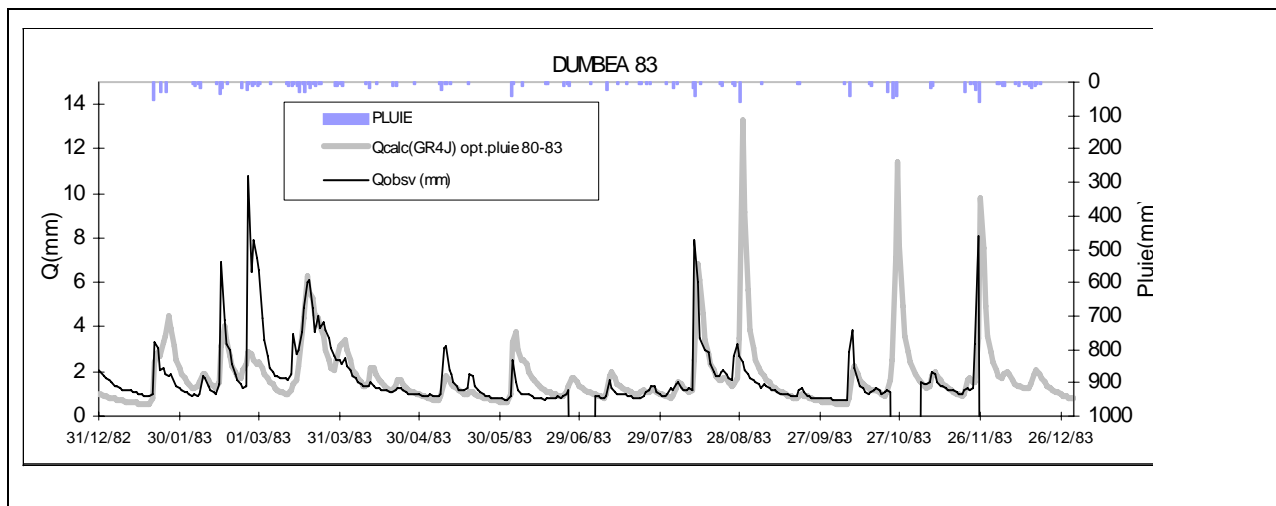


Figure 19 : Dumbéa, calage sur la période 80-83, visualisation de l'année 83

L'année 1983 est extraite du calage d'une période comportant des crues de moyenne intensité (par rapport à la période 89-93).

Les débits de basses eaux calculés sont assez proches des débits observés, les minimas sont bien représentés même si certains événements (mars 83 et août 83) sont très mal simulés.

Pour visualiser correctement l'année 1992 en hautes et basses eaux, il sera nécessaire de modifier les échelles de temps et de débit

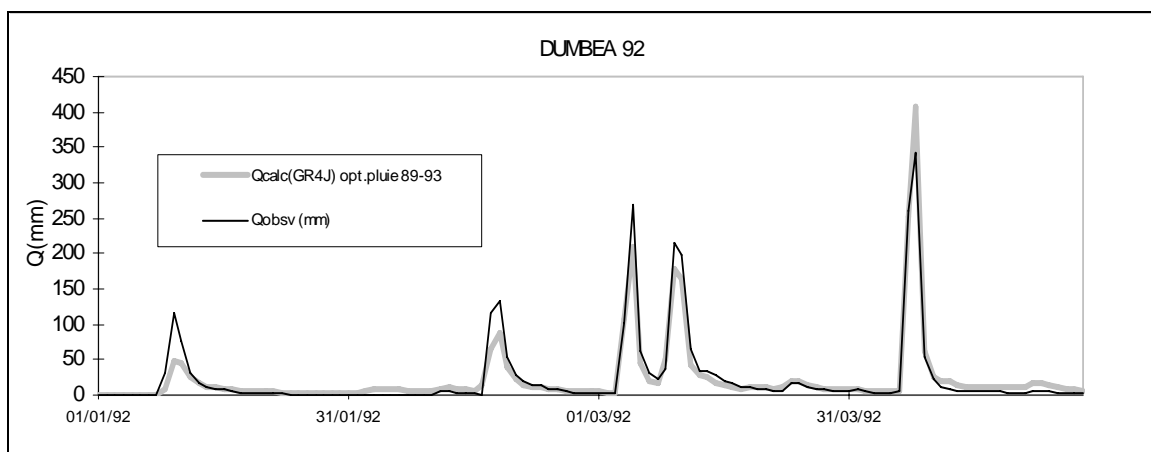


Figure 20 : Zoom sur les crues de l'année 92

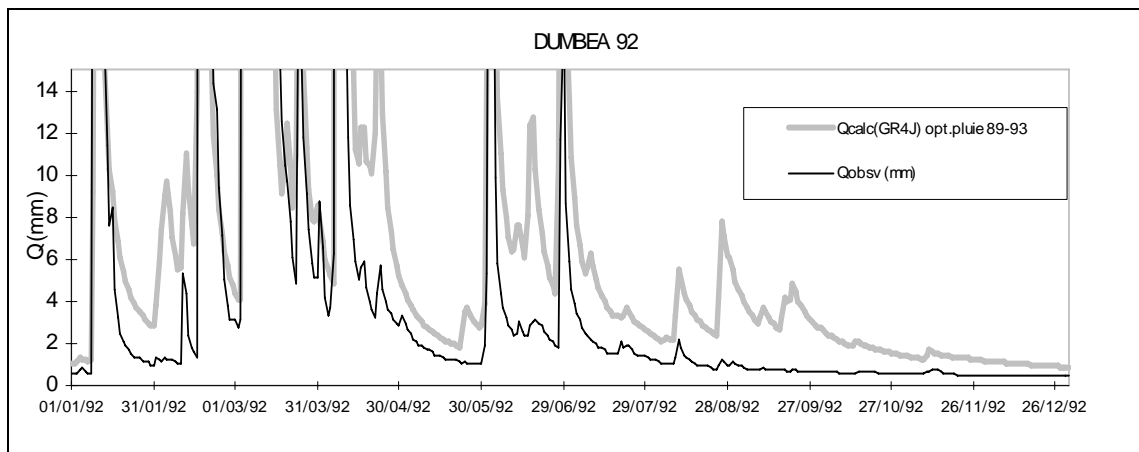


Figure 21: DUMBEA année 1992, Zoom sur les basses eaux

La fonction objectif choisie privilégie le calage des crues et la visualisation de ces graphiques à la même échelle montre que les événements de 1990 et 1992 ont une influence non négligeable sur le calage des basses eaux de la période 89-93

La visualisation des hydrogrammes observés montre bien que les périodes de crue ne sont pas représentatives du régime hydrologique moyen des rivières de Nouvelle Calédonie. Elles représentent seulement quelques jours par an, et en dehors des périodes cycloniques les débits restent comparativement très faibles.

Ces crues ont cependant une forte influence sur l'ensemble des débits obtenus lors du calage avec la fonction objectif Q et entraînent une erreur importante sur la détermination des débits d'étiages

Le changement de la fonction objectif de la modélisation peut être une solution à cette difficulté liée aux conditions climatiques extrêmes.

3. Discussions sur les fonctions objectifs

Rappelons que de façon générale, la fonction objectif Q privilégie dans son calage la définition des crues, que la fonction $\log(Q+M/40)$ privilégie la définition des basses eaux et que la fonction \sqrt{Q} est intermédiaire entre les deux.

Les résultats des calages avec les fonctions objectifs sur $\log(Q+M/40)$ et \sqrt{Q} sur le bassin versant de la Dumbéa sont présentés dans le tableau 1 :

RIVIERE : DUMBEA			
Fonction objectif			
Q	Nash Q	Nash SQRT(Q)	Nash log(Q+M/40)
opt.pluie 80-83	76.7	79.4	71.6
opt.pluie 89-93	88.3	82.9	65.3
SQRT(Q)	Nash Q	Nash SQRT(Q)	Nash log(Q+M/40)
opt.pluie 80-83	74.8	81.1	75.2
opt.pluie 89-93	84.8	86.9	84.7
log(Q+M/40)	Nash Q	Nash SQRT(Q)	Nash log(Q+M/40)
opt.pluie 80-83	69.6	81.4	78.9
opt.pluie 89-93	81.5	86.6	84.8

Tableau 21 : : Résultats des calages avec les deux fonctions objectif sur le bassin de la Dumbéa

Les valeurs de critères de Nash les plus élevées sont les Nash (\sqrt{Q}) et les Nash ($\log(Q+M/40)$) pour les deux fonctions objectifs choisies, nous allons observer les hydrogrammes obtenus sur les différentes périodes

3.1. Visualisation des hydrogrammes pour les fonctions objectif \sqrt{Q} et $\log(Q+M/40)$

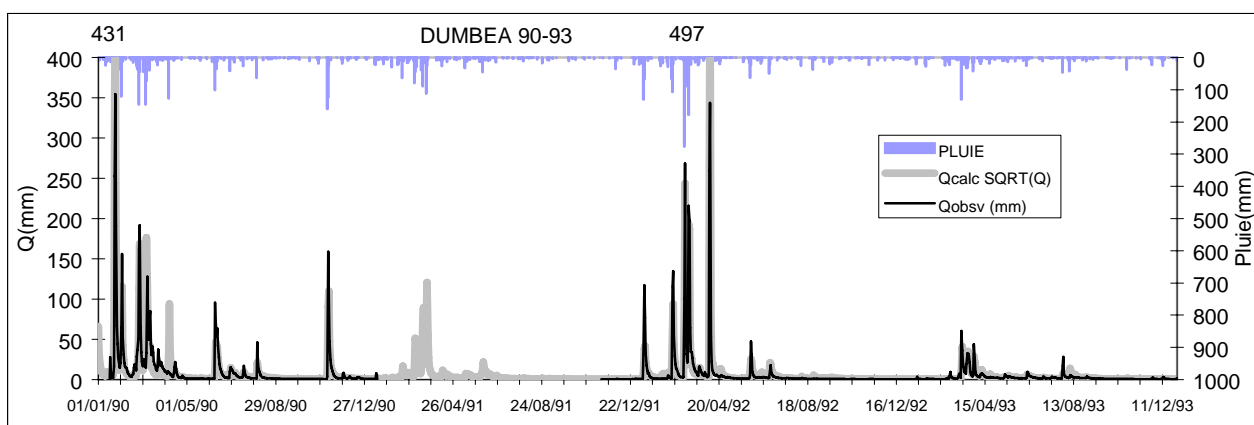


Figure 22 : Calage sur la période 89/93 avec la fonction objectif \sqrt{Q}

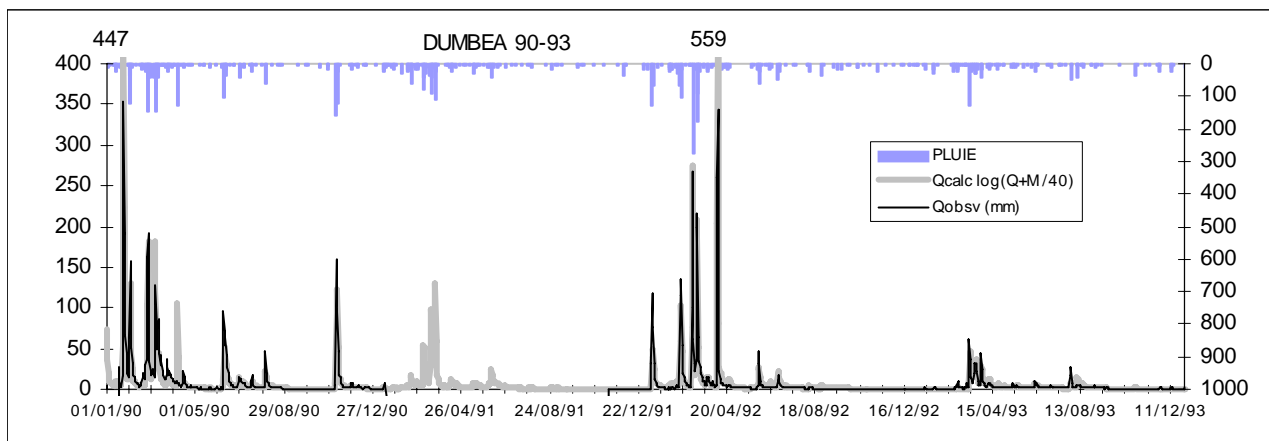


Figure 23 : Calage sur la période 89/93 avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$

Ces graphiques permettent juste de vérifier que les crues (les valeurs calculées sont indiquées en chiffres sur le sommet des hydrogrammes) sont moins bien définies lorsque l'on choisit une autre fonction objectif que Q .

La surestimation des crues est plus importante dans le cas du calage avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$.

3.2. Visualisation des hydrogrammes dans le domaine des basses eaux

Comparons les trois hydrogrammes obtenus avec les fonctions objectifs Q , \sqrt{Q} et $\log(Q+M/40)$ sur l'année 1983 :

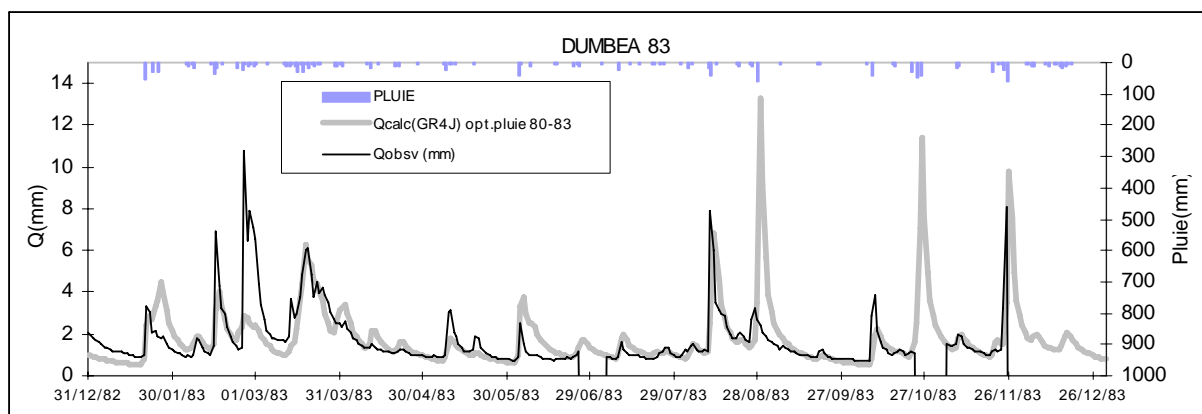


Figure 24 : Calage sur la période 83 avec la fonction objectif Q

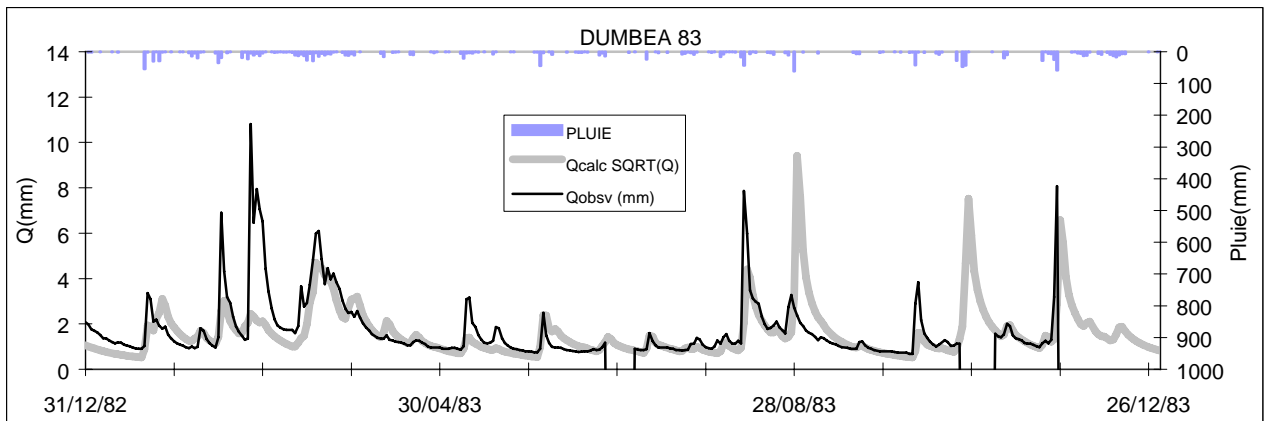


Figure 25 : Calage sur la période 83 avec la fonction objectif \sqrt{Q}

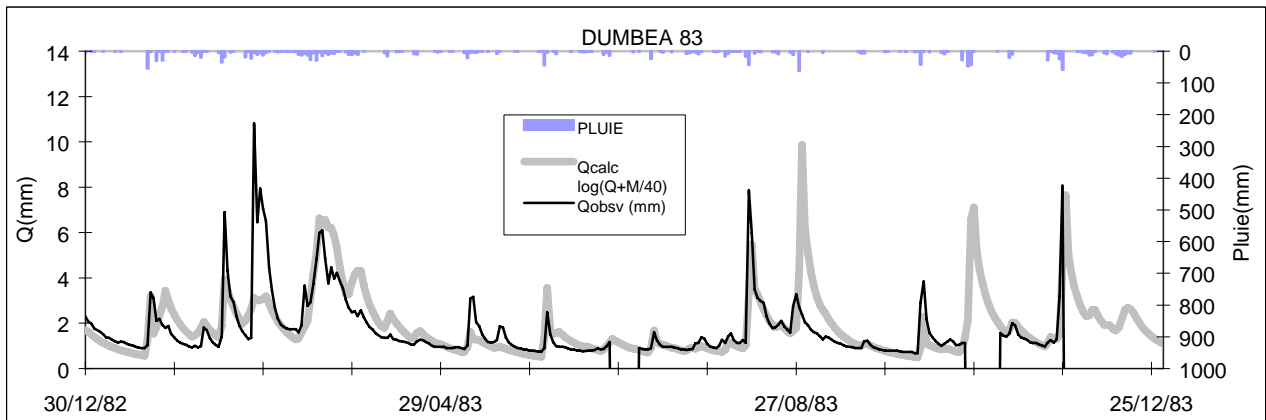


Figure 26 : Calage sur la période 83 avec la fonction objectif ;log (Q+M/40)

On obtient une amélioration des débits calculés, mais elle n'est pas vraiment spectaculaire compte tenu de la qualité des résultats déjà obtenus en basses eaux sur cette période.

Comparons les trois hydrogrammes obtenus avec les fonctions objectifs Q , \sqrt{Q} et $\log(Q+M/40)$ sur l'année 1992 :

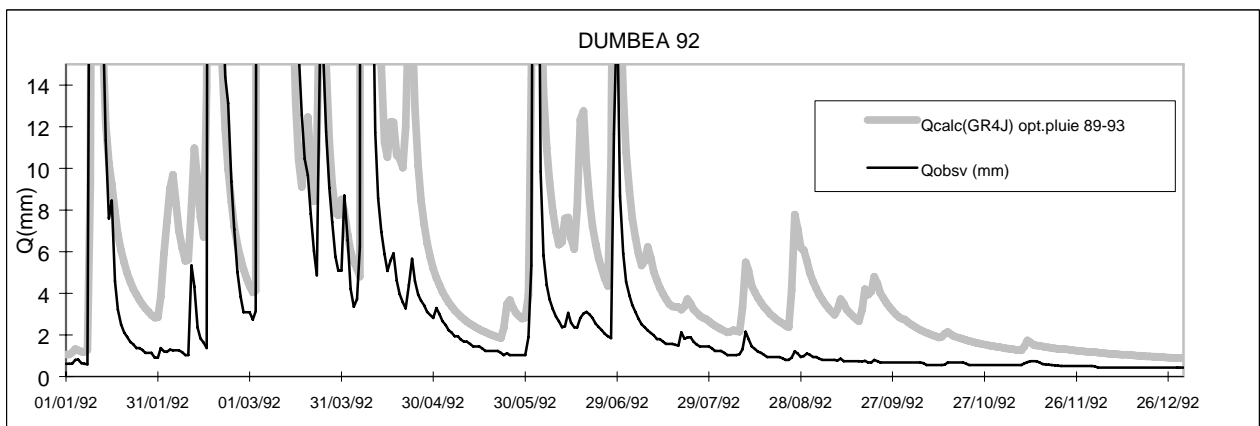


Figure 27 : Visualisation de l'année 92-Calage avec la fonction objectif Q

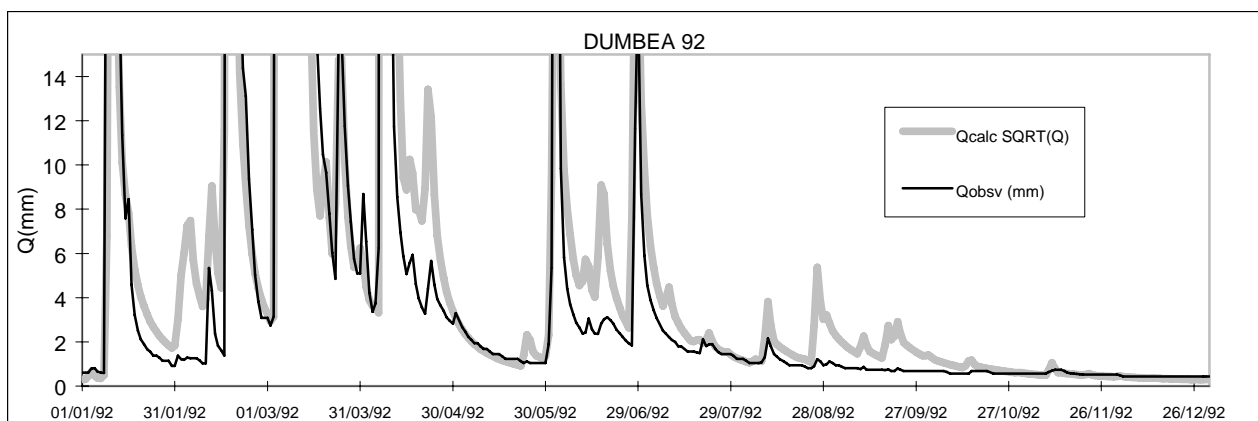


Figure 28 : Visualisation de l'année 92-Calage avec la fonction objectif \sqrt{Q}

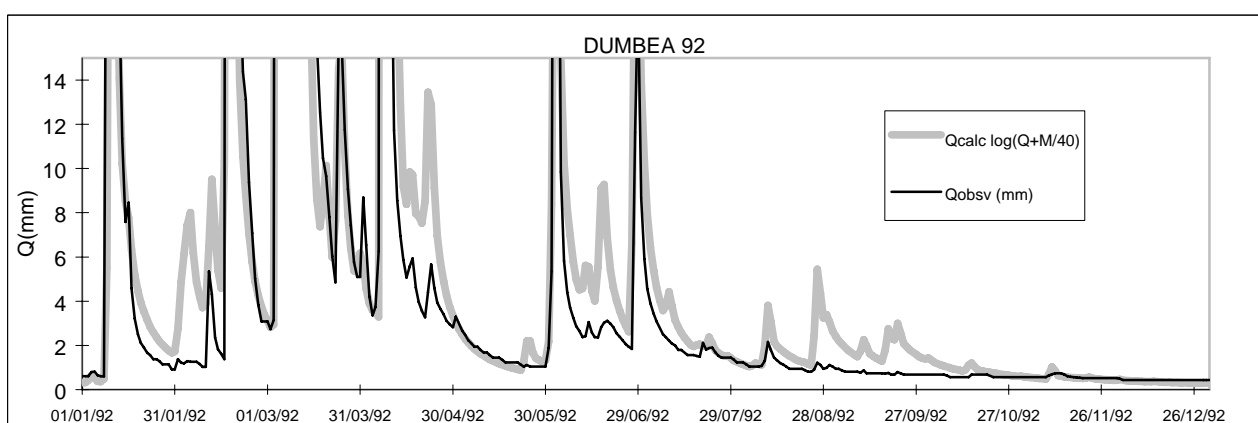


Figure 29 : Visualisation de l'année 92-Calage avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$

Dans le domaine des basses eaux, le calage avec les fonctions objectifs \sqrt{Q} et $\log(Q+M/40)$ permet une bien meilleure simulation des débits.

Il est difficile de déterminer visuellement, quelle est la fonction est la plus performante, au vu du tableau 1, la fonction $\log Q$ donne des résultats très légèrement meilleurs.

3.3. Conclusion

Cette discussion a permis de mettre en évidence les domaines et les fonctions pour lesquels le modèle GR4J (avec réservoir fixe) est le plus performant pour le calcul des débits.

Cela montre également que les valeurs de critères de Nash obtenus sur les autres bassins ne sont peut-être pas représentatives de la qualité de l'ensemble des débits calculés, tous les bassins versants doivent être modélisés avec les trois fonctions objectifs.

Le modèle GR4J peut donner des résultats satisfaisants en simulation de crues ou d'étiage mais a du mal à être performant simultanément sur ces deux domaines lorsque les périodes étudiées comportent des crues extrêmes.

La fonction objectif doit donc être choisie en fonction des applications recherchées.

Ce modèle est peut-être de conception trop simple (en terme de nombres de paramètres) pour s'adapter aux phénomènes climatiques de Nouvelle Calédonie.

Nous allons tester deux modèles plus sophistiqués, comportant plus de paramètres : les modèles IHACRES et TOPMODEL.

Ceci sera l'objet du chapitre V.

3.1.	VISUALISATION DES HYDROGRAMMES POUR LES FONCTIONS OBJECTIF \sqrt{Q} ET $\text{LOG}(Q+M/40)$	46
3.2.	VISUALISATION DES HYDROGRAMMES DANS LE DOMAINE DES BASSES EAUX.....	47
3.3.	CONCLUSION	49

FIGURE 1 :	CALAGE SUR LA PERIODE 89/93 AVEC LA FONCTION OBJECTIF \sqrt{Q}	46
-------------------	--	-----------

FIGURE 2 :	CALAGE SUR LA PERIODE 89/93 AVEC LA FONCTION OBJECTIF $\text{LOG}(Q+M/40)$	47
-------------------	--	-----------

FIGURE 3 :	CALAGE SUR LA PERIODE 83 AVEC LA FONCTION OBJECTIF Q.....	47
-------------------	---	-----------

FIGURE 4 :	CALAGE SUR LA PERIODE 83 AVEC LA FONCTION OBJECTIF \sqrt{Q}.....	48
-------------------	--	-----------

FIGURE 5 :	CALAGE SUR LA PERIODE 83 AVEC LA FONCTION OBJECTIF ;$\text{LOG}(Q+M/40)$.....	48
-------------------	---	-----------

FIGURE 6 :	VISUALISATION DE L'ANNEE 92-CALAGE AVEC LA FONCTION OBJECTIF Q .. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
-------------------	---	--

FIGURE 7 :	VISUALISATION DE L'ANNEE 92-CALAGE AVEC LA FONCTION OBJECTIF \sqrt{Q}.....	49
-------------------	--	-----------

FIGURE 8 :	VISUALISATION DE L'ANNEE 92-CALAGE AVEC LA FONCTION OBJECTIF $\text{LOG}(Q+M/40)$	49
-------------------	---	-----------

TABLEAU 1 : :	RESULTATS DES CALAGES AVEC LES DEUX FONCTIONS OBJECTIF SUR LE BASSIN DE LA DUMBEA	46
----------------------	--	-----------

CHAPITRE V

Essais de modèles IHACRES et TOPMODEL et comparaison avec GR4J. sur le bassin de la Tontouta

L'objet de ce chapitre est de tester de façon très succincte des modèles un peu plus complexes que GR4J, seuls seront présentés les résultats obtenus sur le bassin versant de la Tontouta.

Les modèles utilisés sont IHACRES et TOPMODEL, disponibles au CEMAGREF, ils ont des modes de fonctionnement différents de GR4J et contiennent un nombre plus important de paramètres.

Ils seront décrits de façon très sommaire dans ce chapitre.

1. Essai de modélisation avec le modèle IHACRES

1.1. Présentation du modèle

IHACRES (Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data) est un modèle, résultant de la collaboration de l'Institute of Hydrology de Wallingford, Royaume-Uni, et de l'Australian National University de Canberra, Australie, a été créé par Jakeman *et al.* (1990).

Il fonctionne au pas de temps horaire ou journalier.

Les données d'entrée qu'il utilise sont :

- ❑ les pluies (plus les débits en calage)
- ❑ les températures ou les ETP
- ❑ la superficie du bassin

En sortie, il donne :

- ❑ les débits

Le modèle comprend un module de production non-linéaire, et un module de transfert linéaire.

Dans la version du modèle retenue ici, on conserve la structure initiale du modèle, tout en utilisant les évapotranspirations potentielles, et en ajoutant un délai en sortie.

Le calage se fait de façon automatique.

Le schéma structurel du modèle est présenté en annexe II.

Les paramètres du modèle sont les suivants:

- X1 : Ce paramètre peut être assimilé à un paramètre de réservoir sol
- X2 : Paramètre de la fonction de production
- X3 : Délai
- X4 : Paramètre de modulation de l'ETP
- X5 : Taux initial de remplissage du réservoir

- X7 : Paramètre de dissociation des écoulements
- X8 : Constante de vidange du réservoir de routage rapide

1.2. Résultats obtenus

RIVIERE : TONTOUTA			
GR3J	Nash (Q)	IHACRES	Nash (Q)
opt. pluie 81-83	86.49	opt. 81-83	82.49
cont. 92-96	43.5	cont. 92-96	46.2
opt. pluie 92-96	96.28	opt. 92-96	97.43
cont. 81-83	61.5	cont. 81-83	38.4
opt. pluie 92-94	90.45	opt. 92-94	89.98
cont. 94-96	85.9	cont. 94-96	89.9
opt. pluie 94-96	99	opt. 94-96	98.34
cont. 92-94	21.2	opt. 94-97	77.2

Tableau 22 : comparaison des résultats obtenus avec les modèles GR3J et IHACRES sur le bassin versant de la Tontouta

Ce tableau met en évidence des résultats à peu près équivalents pour les deux modèles testés avec la fonction objectif Q. Le modèle IHACRES paraît avoir un comportement nettement meilleur au contrôle sur la période 92-94.

Visualisons les hydrogrammes obtenus sur la période 92-96.

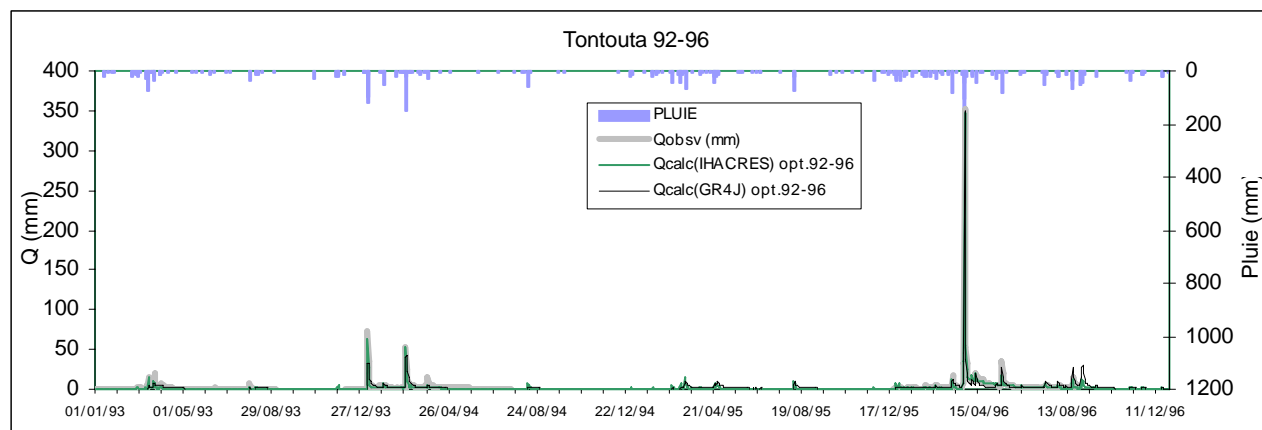


Figure 30 : comparaison des modélisations GR4J et IHACRES sur le bassin versant de la Tontouta sur la période 92-96

La figure 30 montre les valeurs extrêmes rencontrées sur la période 92-96, (la période de retour de la crue associée au cyclone Béti du 27/03/96 a été estimée à 50 ans).

Nous visualiserons ensuite les hydrogrammes de la crue du cyclone Béti et les basses eaux de l'année 1996 avec les différentes fonctions objectif: Q et $\log(Q+M/40)$.

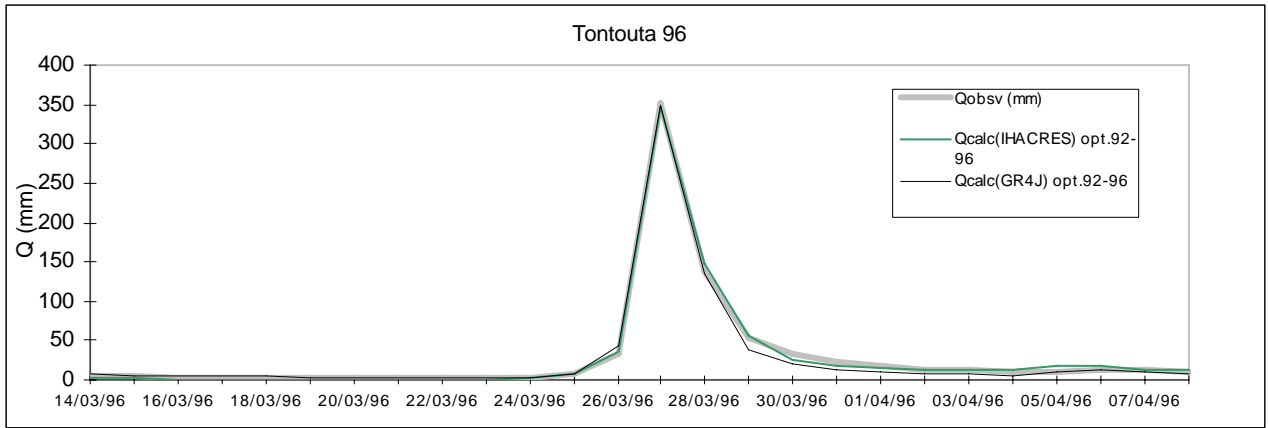


Figure 31: Zoom sur le cyclone Béti du 27 avril 1996

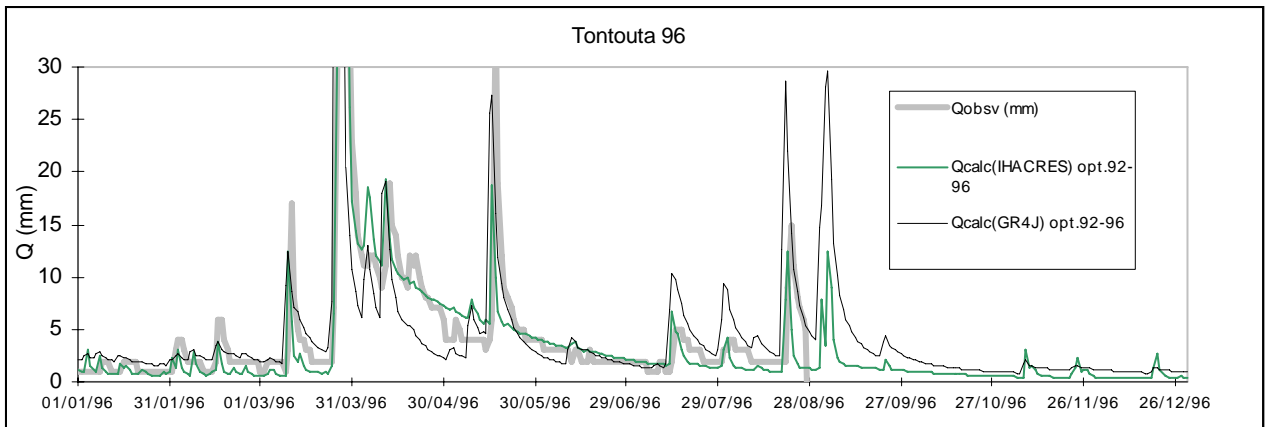


Figure 32 comparaison des modélisations GR4J et IHACRES avec la fonction objectif Q sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.

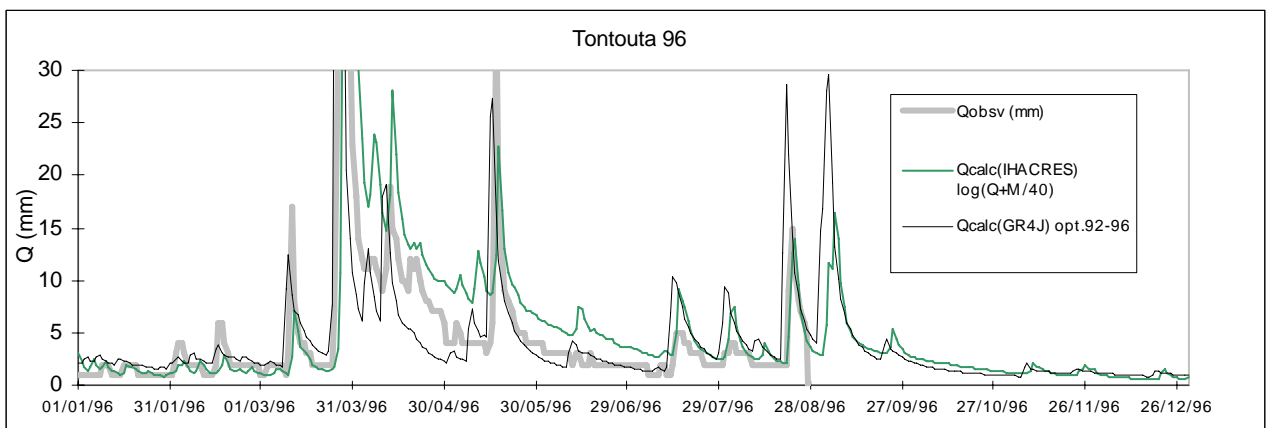


Figure 33 : calage du modèle IHACRES avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$ sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.

La figure 30 montre que GR4J et IHACRES sont excellents dans la définition de la crue du cyclone Béti.

Pour le calcul des basses eaux, les débits obtenus avec modèle IHACRES semblent être plus proches des débits observés que ceux obtenus avec le modèle GR4J.

Ces derniers comme pour le bassin de la Dumbéa, sont toujours légèrement surévalués.

Le passage en fonction objectif log, uniquement pour la modélisation IHACRES, a pour effet une amélioration des valeurs de basses eaux avant les périodes de crue, au moment de la décrue, la vidange du bassin devient trop lente et ne permet pas un rétablissement des basses eaux conforme à la réalité observée.

2. Essai de modélisation avec le modèle TOPMODEL

2.1 présentation du modèle

TOPMODEL (TOPography-based hydrological MODEL) a été créé par Beven.K, Institute of Environmental and Biological Sciences, University of Lancaster, Lancaster, Royaume-Uni, et Kirkby.M.J, School of Geography, University of Leeds, Leeds, Royaume-Uni, en 1979, (Beven et Kirkby, 1979).

Il a la particularité d'utiliser un indice topographique, et la notion de zone contributive variable. Il fonctionne au pas de temps journalier, et utilise en données d'entrée :

- ❑ les pluies (plus les débits en calage)
- ❑ l'évaporation de Penman
- ❑ la distribution de l'indice topographique sur le bassin
- ❑ la superficie du bassin

En sortie, le modèle donne :

- ❑ les débits

Pour estimer la distribution spatiale de l'indice topographique, on utilise à l'origine un MNT. Dans la version retenue ici, la distribution de l'indice topographique est approximée par une fonction logistique dépendant de deux paramètres, dont m . Ceci permet ainsi d'utiliser une version purement globale du modèle sans faire appel à une quelconque discrétisation spatiale. Certains autres paramètres peuvent être déterminés par des mesures sur le terrain, ou par calage automatique.

On suppose également, que le ruissellement est déterminé seulement par écoulement sur les zones contributives variables, sans activer de processus Hortonien.

Le schéma structurel est présenté en annexe III.

Les paramètres du modèle sont les suivants:

- X1 : Paramètre de vidange du réservoir souterrain (vidange exponentielle) : q_0
- X2 : Paramètre d'évapotranspiration pour le réservoir d'infiltration
- X4 : Délai permettant de retarder l'écoulement
- X5 : Paramètre de correction de pluie
- X6 : Paramètre de l'indice topographique

- X7 : Capacité du réservoir d'interception (peut être fixée)
- X9 : Capacité du réservoir de routage quadratique

2.2 Résultats obtenus

RIVIERE : TONTOUTA			
GR3J	Nash (Q)	TOPMODEL	Nash(Q)
opt. pluie 81-83	86.49	opt. pluie 81-83	90.23
cont. 92-96	43.5	cont. 92-96	-96
opt. pluie 92-96	96.28	opt. pluie 92-96	87.24
cont. 81-83	61.5	cont. 81-83	63.7
opt. pluie 92-94	90.45	opt. pluie 92-94	69.68
cont. 94-96	85.9	cont. 94-96	32
opt. pluie 94-96	99	opt. pluie 94-96	97.64
cont. 92-94	21.2	cont. 92-94	85.9

Tableau 23 : Comparaison des résultats obtenus avec les modèles GR3J et TOPMODEL sur le bassin de la Tontouta

On observe dans le tableau n°23 des différences importantes entre les valeurs de critères de Nash obtenus aux calages et contrôles de la fonction objectif Q sur différentes périodes. Aucun des deux modèles ne peut être jugé plus performant au vu de ces tableaux.

Visualisons les hydrogrammes de la crue du cyclone Béti et les basses eaux de l'année 96 calculées avec les fonctions objectif : Q et $\log(Q+M/40)$

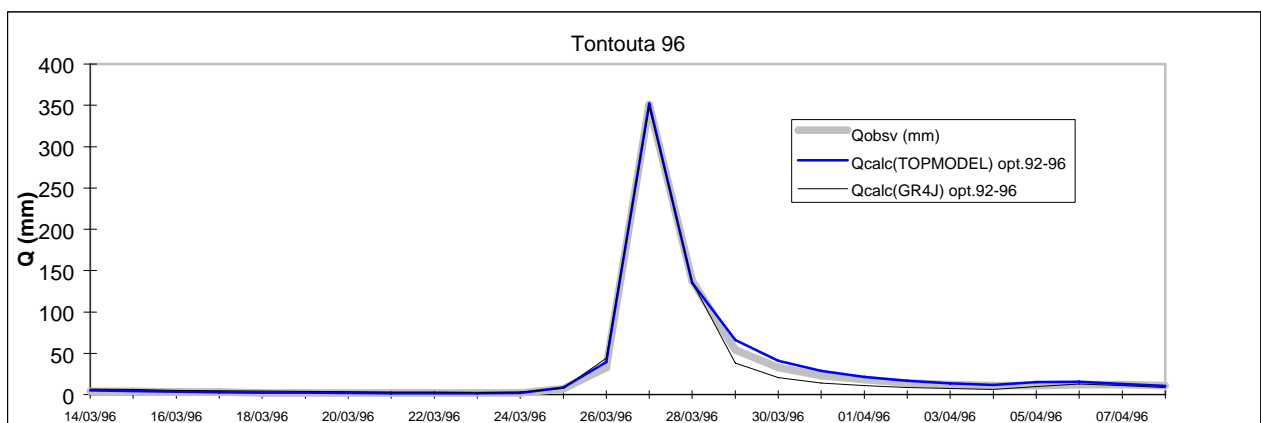


Figure 34 : Zoom sur le cyclone Béti du 27 avril 1996

Le zoom sur les hydrogrammes de la crue du cyclone Béti montre une bonne estimation de la pointe de crue pour les deux modèles, avec une simulation de décrue trop rapide pour GR4J, trop lente pour TOPMODEL.

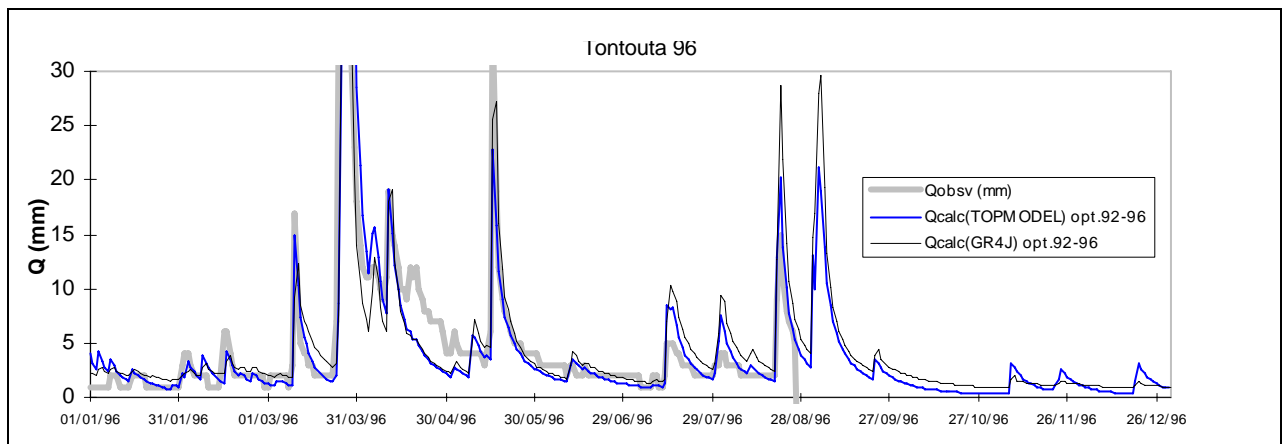


Figure 35 : comparaison des modélisations GR4J et TOPMODEL sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.

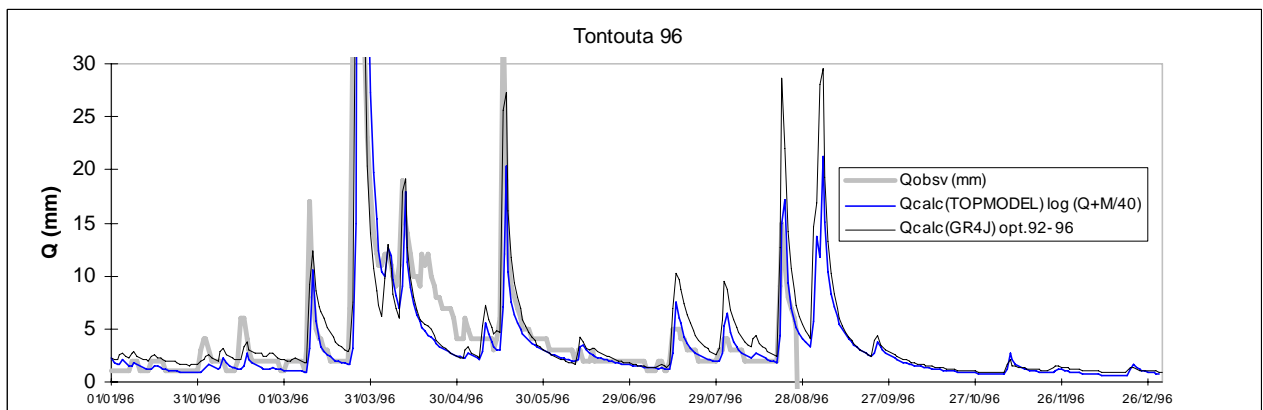


Figure 36 : calage du modèle TOPMODEL avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$ sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.

Les hydrogrammes de la figure 35 montrent des débits calculés très proches pour les deux modèles utilisés avec la fonction objectif Q . Le passage en fonction objectif $\log(Q)$ pour TOPMODEL donne de meilleurs résultats pour les basses eaux, les décrues sont également mieux simulées..

Il n'existe pas de différences majeures entre ces deux modèles qui fonctionnent pourtant de façon très différente.

3. Conclusion

Les essais de modèles plus complexes en nombre de paramètres donnent des résultats assez proches des ceux obtenus avec le modèle GR4J.

On observe pour les modèles IHACRES et TOPMODEL qui ont des structures tout à fait différentes, de bons résultats aux calages (82 à 99 pour les valeurs du critère de Nash) et une chute importante de la qualité au contrôle (38 à 77 pour les valeurs du critère de Nash).

Comme pour le modèle GR4J, le choix de la fonction objectif détermine la gamme de débits pour lesquels les modèles seront les plus performants : débits extrêmes pour la fonction Q et moyennes et basses eaux pour la fonction log Q.

Il faudrait tester ces modèles de façon détaillée sur l'ensemble des bassins versants de Nouvelle Calédonie et plus particulièrement sur des bassins donnant des résultats très faibles avec la modélisation GR4J.

Le but de cet aperçu était d'observer rapidement si la multiplicité des paramètres apportait une amélioration significative aux résultats de modélisation pluie-débit.

Les résultats ne sont pas franchement meilleurs et sont toujours fortement liés aux périodes étudiées et aux phénomènes climatiques qui les caractérisent.

1. ESSAI DE MODELISATION AVEC LE MODELE IHACRES	51
1.1. PRESENTATION DU MODELE.....	51
1.2. RESULTATS OBTENUS	52
2. ESSAI DE MODELISATION AVEC LE MODELE TOPMODEL.....	54
2.1 PRESENTATION DU MODELE.....	54
2.2 RESULTATS OBTENUS	55

FIGURE 1: COMPARAISON DES MODELISATIONS GR4J ET IHACRES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA SUR LA PERIODE 92-96	52
FIGURE 2: ZOOM SUR LE CYCLONE BETI DU 27 AVRIL 1996	53
FIGURE 3 COMPARAISON DES MODELISATIONS GR4J ET TOPMODEL AVEC LA FONCTION OBJECTIF LOG (Q+M/40) SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA SUR LES ANNEES 95-96	53
FIGURE 4 : COMPARAISON DES MODELISATIONS GR4J ET TOPMODEL SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA SUR LA PERIODE 92-96	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 5 : ZOOM SUR LE CYCLONE BETI DU 27 AVRIL 1996	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 6 : COMPARAISON DES MODELISATIONS GR4J ET TOPMODEL SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA SUR LES ANNEES 95-96.....	56
FIGURE 7 : COMPARAISON DES MODELISATIONS GR4J ET TOPMODEL AVEC LA FONCTION OBJECTIF LOG (Q+M/40) SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA SUR LES ANNEES 95-96.....	56
FIGURE 8 : COMPARAISON DES MODELISATIONS GR4J ET IHACRES AVEC LA FONCTION OBJECTIF LOG (Q+M/40) SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA SUR LES ANNEES 95-96	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLEAU 1 : COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC LES MODELES GR3J ET IHACRES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TONTOUTA	52
TABLEAU 2 : COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC LES MODELES GR3J ET TOPMODEL SUR LE BASSIN DE LA TONTOUTA	55

CONCLUSION

Ce premier essai de modélisation pluie-débit sur les bassins versants de Nouvelle Calédonie nous a permis de mettre en évidence plusieurs points importants.

La Nouvelle Calédonie se trouve dans un contexte climatique très différent de la métropole, avec une évaporation potentielle très forte et des précipitations cycloniques qui entraînent une variabilité très grande des événements hydrologiques.

Les difficultés d'accessibilité sur le terrain, la faible densité des stations et les conditions de mesure difficiles (jaugeages en périodes de cyclones) font qu'il existe une incertitude potentiellement grande sur l'estimation de la pluie de bassin et des crues réelles.

Les séries de données fiables sont peu nombreuses et couvrent des périodes (très) courtes.

Le choix du modèle GR4J a été fait pour différentes raisons :

- sa simplicité entraînant une incertitude limitée sur les paramètres
- le peu de données nécessaires à sa mise en œuvre (pas de données spatiales, topographie, végétation etc...à acquérir)
- sa robustesse et sa fiabilité dans les conditions métropolitaines.

Les tests effectués sur les différentes versions ont mis en évidence la sensibilité du modèle par rapport aux données pluviométriques. L'utilisation d'un facteur de correction de la pluie et le choix de la pondération des stations se sont avérés plus efficaces que l'optimisation de l'ETP ou que le calage du paramètre du réservoir sol dans l'amélioration des performances du modèle. Les résultats au calage sur la fonction objectif Q, ont été assez homogènes et relativement satisfaisants sur l'ensemble des bassins versants. Le passage à la phase de contrôle a montré des résultats beaucoup plus aléatoires.

Nous avons pu constater une grande influence des événements cycloniques sur le calage des paramètres lorsqu'une fonction objectif sur les débits était utilisée. Ceci a pour conséquence, une assez bonne représentation des crues, mais les autres classes de débit, et plus particulièrement les étiages, sont mal représentés. Le test sur d'autres fonctions objectifs log Q et \sqrt{Q} , donne des résultats plus satisfaisants sur les classes plus faibles de débits mais inversement, les crues cycloniques sont beaucoup moins bien simulées.

Les essais sur les deux autres modèles IHACRES et TOPMODEL, choisis pour leur plus grande complexité (davantage de paramètres) et leur structure différente, ont donné des résultats comparables au calage comme au contrôle sur l'ensemble des bassins traités (seuls les essais sur le bassin de la Tontouta sont présentés).

En résumé, la modélisation est difficile du fait de la faible quantité de données fiables et de la grande variabilité des événements hydrologiques. Le choix de la fonction objectif est déterminant et permet d'obtenir de bons résultats pour les simulations de crue ou les simulations d'étiages, mais il est difficile de caler un jeu de paramètres pour toutes les classes de débits.

Il est difficile pour l'instant d'utiliser le modèle dans cette version pour des applications hydrologiques en Nouvelle Calédonie.

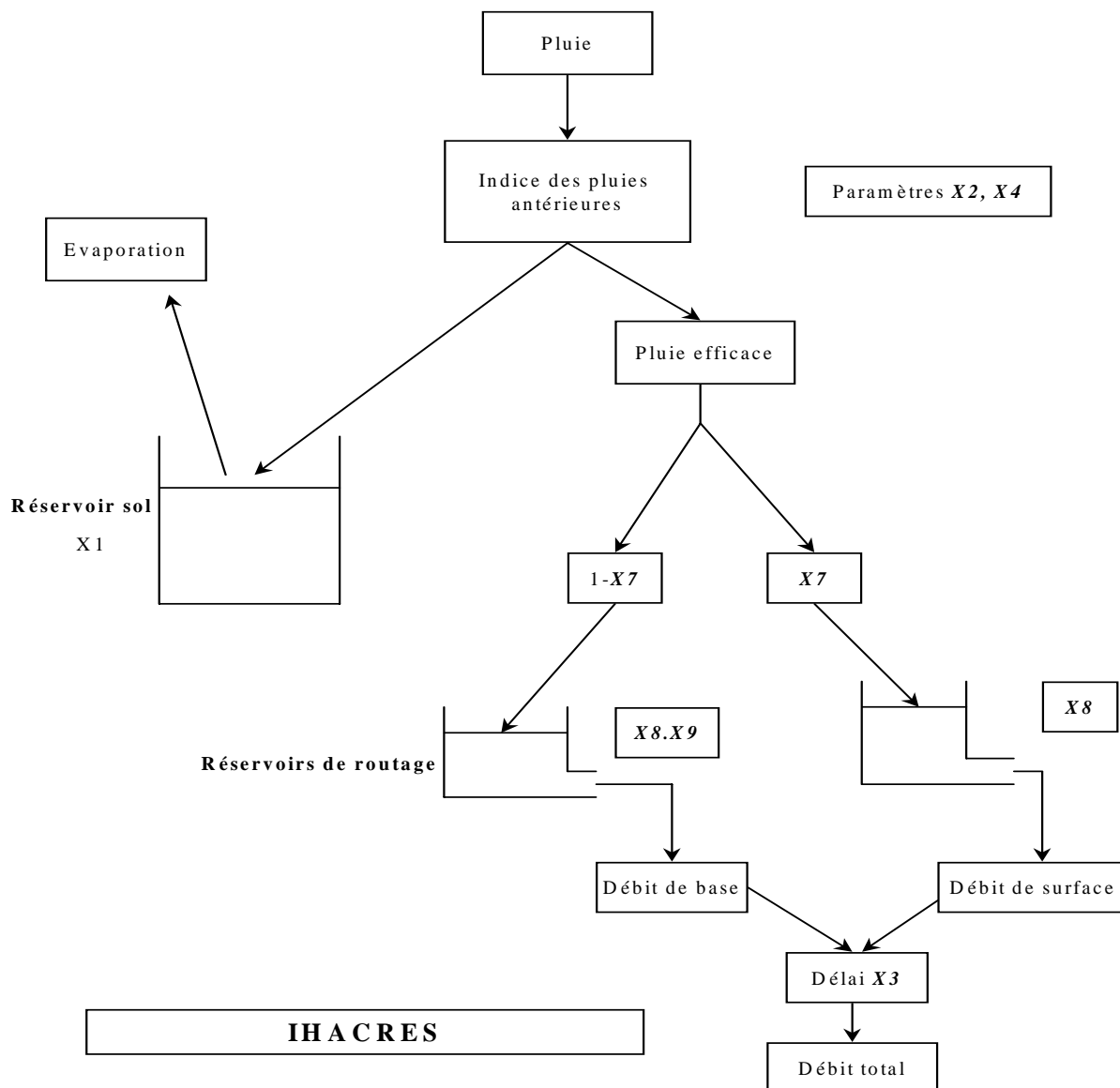
Cette étude est loin d'être achevée et les résultats présentés ne sont pas définitifs. Un important travail doit être mené pour l'amélioration de la description de la pluie et la quantification de l'incertitude liée aux données.

Les essais de changement de fonction objectif et l'application d'autres modèles doivent être réalisés sur un plus grand nombre de bassins. Les comparaisons des résultats obtenus permettront peut-être d'envisager une modification d'un des modèles pour une meilleure adaptation aux données provenant de Nouvelle Calédonie.

ANNEXE I

ANNEXE II

SCHEMA STRUCTUREL DU MODELE IHACRES

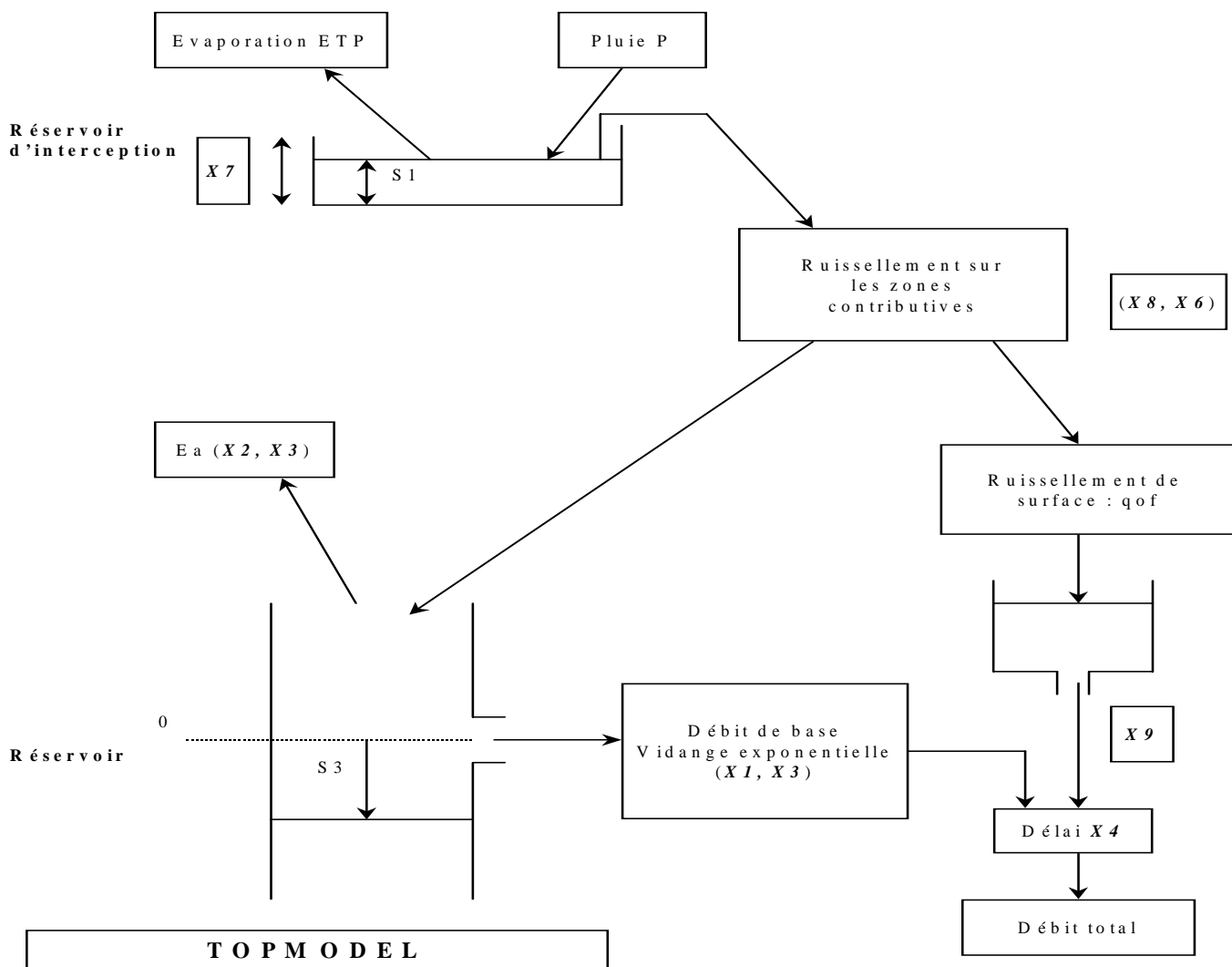


Signification des paramètres :

- X1 : Ce paramètre peut être assimilé à un paramètre de réservoir sol
- X2 : Paramètre de la fonction de production
- X3 : Délai
- X4 : Paramètre de modulation de l'ETP
- X5 : Taux initial de remplissage du réservoir
- X7 : Paramètre de dissociation des écoulements
- X8 : Constante de vidange du réservoir de routage rapide

ANNEXE III

SCHEMA STRUCTUREL DU MODELE TOPMODEL



Signification des paramètres :

- $X1$: Paramètre de vidange du réservoir souterrain (vidange exponentielle) : q_0
- $X2$: Paramètre d'évapotranspiration pour le réservoir d'infiltration
- $X3$: Paramètre du réservoir d'eau souterraine : m
- $X4$: Délai permettant de retarder l'écoulement
- $X5$: Paramètre de correction de pluie
- $X6$: Paramètre de l'indice topographique
- $X7$: Capacité du réservoir d'interception (peut être fixée)
- $X9$: Capacité du réservoir de routage quadratique

RAPPORT BIBLIOGRAPHIQUE: modélisation pluie-débit

I- La modélisation pluie-débit

1. Définition d'un modèle

On définit un modèle par sa finalité comme tout moyen permettant de raisonner sur un phénomène en faisant appel à des entités ou à des processus élémentaires qui sont sensés être à leur origine, ou qui permettent de les reconstituer par combinaison et par assemblages.(KAUARK-LETTE,NASCIMENTO DATE ? ? ?

Le modèle est une image de la réalité, une simplification des phénomènes naturels avec un nombre de paramètres volontairement limité.

Le choix de ces paramètres dépend des théories tendant à expliquer les phénomènes étudiés, il est donc très étroitement lié à la vision qu'a le modélisateur du phénomène traité.

2. La modélisation pluie-débit

La modélisation pluie-débit est la mise au point de méthodes numériques pour connaître en un point donné, les débits sur un bassin versant. Les données principales utilisées sont la pluie observées sur le même bassin ou sur un bassin voisin.

Les modèles les plus simples s'appliquent sur les bassins sur lesquels les débits sont directement liés aux pluies Cela exclut les bassins karstiques et les bassins fortement influencés par la fonte des neiges.

3. Les applications de la modélisation pluie-débit

La plus simple des applications de la modélisation pluie débit est la production de débits sur les bassins non jaugés , le réseau de mesure pluviométrique est de manière générale plus dense que le réseau de mesures de débits.

Dans ce cas , la modélisation est un choix technique (voir économique) qui pourrait en théorie être remplacé par une mesure directe des débits.

Il existe de nombreux domaines dans lesquels, la modélisation pluie-débit est une nécessité.

Lorsque les données observées de débits ne suffisent pas pour répondre à un problème posé et qu'il faut prévoir quels seront les débits futurs

La production de débits à partir des débits observés est beaucoup plus problématique que la production de pluies à partir de pluies observées.

La production de débits à partir d'observations (ou de production)de pluies est utilisée dans les domaines suivants :

□ Gestion des stocks

Dans le cas de tous les problèmes liés aux étiages et aux réservoirs d'eau, il est facile de comprendre que la modélisation pluie-débit est un outils précieux pour prévoir ce qu'il arrivera en cas de sécheresse.

- Préviation en période de crue

L'observation des pluies pendant un épisode critique peut permettre de prévoir la crue avec un délai correspondant aux temps de concentration.

- Gestion de barrages

On dispose généralement de séries de mesures de pluviométrie plus longues que les séries de mesures de débits.

Ces longues séries permettent de prévoir les valeurs extrêmes et d'optimiser la gestion des grands ouvrages

- Calcul de la distribution statistique d'une variable hydrologique

- Détection de l'influence d'une modification exogène d'un bassin versant sur ses écoulements.

(urbanisation, déforestation, etc..)

Cette liste n'est pas exhaustive, mais montre que la modélisation pluie-débit est incontournable dans la plupart des études nécessitant l'estimation de débits futurs.

II- Différents types de modèles

Il existe, quatre grandes classes de modèles : les modèles fondés sur la physique, les modèles conceptuels, les modèles empiriques et les modèles linéaires.(MICHEL C. 1999)

1. Les modèles fondés sur la physique

Le principe des modèles physiques est de raisonner sur l'existence de quatre milieux : la surface du sol, un milieu non saturé situé sous la surface du sol, dans lequel l'eau pénètre verticalement, un milieu saturé formant une nappe s'écoulant de façon pseudo-horizontale en direction d'un talweg et un chenal dans lequel peut se produire un écoulement à surface libre.

Pour chaque milieux sont utilisées des équations différentes : l'équation de St venant pour les écoulements à surfaces libres, les équations dérivées de la loi de Darcy (équations de Richard et de Boussinesq) pour les écoulements souterrains.

Ce type de modèle nécessite une description physique du milieu souterrain exhaustive et précise qu'il est impossible de faire sans mettre en œuvre des moyens colossaux.

2. Les modèles conceptuels

Leur approche est fondée sur la physique mais renonce à l'exploitation directe des mesures de paramètres physiques.

On décompose la transformation pluie-débit en processus élémentaires (interception par la végétation, ruissellement, infiltration, écoulement de subsurface, percolation, etc....) que l'on imagine bien connus, et l'on utilise des équations empiriques relativement simples.

Lorsque ces modèles sont développés par leur concepteur pour une application précise, ils peuvent ne pas être performants dans des domaines différents car l'accent à été mis sur la description d'un ou de plusieurs processus aux dépends des autres.

Pour avoir un modèle assez général qui prenne en compte tous les processus élémentaires, il faut un grand nombre de paramètres qu'il faut caler sur des données observées de débit, ce calage présente de nombreuses difficultés.

3. Les modèles empiriques

Leur conception est totalement empirique et consiste à utiliser des outils mathématiques simples pour rendre compte des débits à l'exutoire du bassin, sans passer par des considérations physiques reliées au terrain. Le but étant de traduire efficacement les fonctions de production et de transfert.

Le nombre d'outils mathématiques utilisés comme le nombre de paramètres est obligatoirement très faible pour faciliter le calage.

Ces modèles sont déconnectés de la réalité physique, leur mise au point et leur calage se fait sur un jeu de paramètres qui n'ont pas de lien direct avec la description de processus naturels réels.

Ces modèles sont mis au point en partant de mécanismes acceptables les plus simples et en les compliquant que lorsque cela est absolument nécessaire.

4. Les modèles linéaires

Ce sont des modèles beaucoup plus simples qui reposent sur des relations linéaires par rapport aux paramètres entre les entrées et les sorties

L'avantage de ces modèles réside dans leur solide fondement mathématique, ils sont employés dans de nombreux domaines

Les modèles ARMA (modèles auto régressifs à moyenne mobile) sont des exemples typique de genre de modèle .

III-

TABLE DES ILLUSTRATIONS

CARTES :

Carte 1 : La Nouvelle Calédonie.....	2
Carte 2 : Bassins versants de la Dumbéa et de la Tontouta.....	10
Carte 3 : Bassins versants de la Foa et de la Boghen.....	12
Carte 4 : Bassins versants de la Pouembout et de la Faténaoué.....	14
Carte 5 : Bassins versant du Diahot et de la Ouaième.....	16
Carte 6 : Bassins versants de la Tiwaka et de la Houailou.....	18
Carte 7 : Bassin versant de la Thio.....	20
Carte 8 : Bassin versant de la Rivière bleue.....	22

PHOTOS :

Photo 1 : La Rivière Bleue (Côte Sud-Est).....	4
Photo 2 : La Ouaième (côte est).....	5
Photo 3: rivière de la côte ouest.....	6

FIGURES :

Figure 1 : Pluviométrie annuelle de bassin, module annuel et superficie des B.V.....	8
Figure 2 : Distribution des pluies annuelles et modules annuels	9
Figure 3 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Dumbéa	11
Figure 4 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Tontouta	12
Figure 5 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Foa	3
Figure 6 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Boghen	14
Figure 7 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Pouembout	15
Figure 8 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Faténaoué	16
Figure 9 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant du Diahot	17
Figure 10 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Ouaième	18
Figure 11 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Tiwaka.....	19
Figure 12 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Houailou	20
Figure 13 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Thio	21
Figure 14 : Mesures de pluviométrie sur le bassin versant de la Rivière Bleue	22
Figure 15 : Modèle GR4J, Schéma structurel	27
Figure 16 : Rendement de la pluie dans GR3	28
Figure 17 : Distribution des valeurs de Nash des calages GR3J avec optimisation de la pluie en fonction valeurs de Nash des calages GR4J sans optimisation de la pluie	34
Figure 17 : Dumbéa, calage sur la période 80-83.....	43
Figure 18 : Dumbéa, calage sur la période 89-93.....	43
Figure 19 : Dumbéa, calage sur la période 80-83, visualisation de l'année 83.....	44
Figure 20 : Zoom sur les crues de l'année 92	44
Figure 21 : DUMBÉA année 1992, Zoom sur les basses eaux	45
Figure 22 : Calage sur la période 89/93 avec la fonction objectif \sqrt{Q}	46
Figure 23 : Calage sur la période 89/93 avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$	47

Figure 24 : Calage sur la période 83 avec la fonction objectif Q	47
Figure 25 : Calage sur la période 83 avec la fonction objectif \sqrt{Q}	48
Figure 26 : Calage sur la période 83 avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$	48
Figure 27 : Visualisation de l'année 92-Calage avec la fonction objectif Q	48
Figure 28 : Visualisation de l'année 92-Calage avec la fonction objectif \sqrt{Q}	49
Figure 29 : Visualisation de l'année 92-Calage avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$	
Figure 30 : Comparaison des modélisations GR4J et IHACRES sur le bassin versant de la Tontouta sur la période 92-96	52
Figure 31 : Zoom sur le cyclone Béti du 27 avril 1996.....	52
Figure 32 : Comparaison des modélisations GR4J et IHACRES avec la fonction objectif Q sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.	53
Figure 33 : Calage du modèle IHACRES avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$ sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.....	54
Figure 34 : Zoom sur le cyclone Béti du 27 avril 1996.....	55
Figure 35 : Comparaison des modélisations GR4J et TOPMODEL sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.....	56
Figure 36 : Calage du modèle IHACRES avec la fonction objectif $\log(Q+M/40)$ sur le bassin versant de la Tontouta sur l'année 96.....	56

TABLEAUX :

Tableau 1 : Evolution du critère de Nash en fonction de l'ETP	32
Tableau 2 : Evolution du critère de Nash avec l'optimisation de la pluie.....	32
Tableau 3 : Evolution du critère de Nash avec fixation du paramètre du réservoir sol.....	33
Tableau 4 : Variation du critère de Nash avec l'augmentation du nombre de pluviomètres.....	34
Tableau 5 : Influence de la pondération des stations sur le critère de Nash et sur le facteur d'optimisation de la pluie.....	35
Tableau 6 : Résultats obtenus au calage sur toutes les stations étudiées	36
Tableau 7 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Dumbéa	37
Tableau 8 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Tontouta	38
Tableau 9 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Néra	38
Tableau 10 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Pouembout.....	39
Tableau 11 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Faténoué	39
Tableau 12 : Résultats de la modélisation sur le bassin du Diahot.....	40
Tableau 13 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Ouaième	40
Tableau 14 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Houailou	41
Tableau 15 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la Thio	41
Tableau 16 : Résultats de la modélisation sur le bassin de la rivière Bleue.....	42
Tableau 21 : Résultats des calages avec les deux fonctions objectif sur le bassin de la Dumbéa.....	46
Tableau 22 : comparaison des résultats obtenus avec les modèles GR3J et IHACRES sur le bassin versant de la Tontouta.....	52
Tableau 23 : Comparaison des résultats obtenus avec les modèles GR3J et TOPMODEL sur le bassin de la Tontouta	55