

Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie

Rapport de synthèse



Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie

Rapport de synthèse

Avec la collaboration de Geoffroy Wotling à qui j'adresse de sincères remerciements pour ses conseils avisés et la confiance dont il a su faire preuve à mon égard.

Je tiens à remercier la DIMENC et plus particulièrement Messieurs Bernard Robineau et Pierre Maurizot pour leurs connaissances du terrain et l'aide précieuse qu'ils m'ont fournie en matière d'hydrogéologie, ainsi que Météo France et Monsieur Luc Maitrepierre du service climatologie, pour sa disponibilité et toutes les données climatiques fournies.

Enfin je tiens à remercier tous les agents de la DAVAR pour la bonne ambiance partagée au quotidien dans les locaux de Magenta.

Janvier 2008

Olivier Frysou

SOMMAIRE

I-Objectifs	4
II-Données hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie.....	4
II-1 Présentation du réseau de mesure.....	4
II-2 Evaluation du DCE et autres grandeurs caractéristiques de l'étiage au droit des stations limnimétriques.....	7
II-2-1 Débit Caractéristique d'étiage (DCE)	7
II-2-2 Autres grandeurs caractéristiques des régimes de basses eaux.....	9
II-3 Evaluation du DCE médian au droit des stations de jaugeage.....	13
II-4 Bilan	15
III-Analyse spatiale et temporelle des étiages	16
III-1 Analyse temporelle des DCE.....	16
III-2 Analyse spatiale des DCE	18
III-2-1 Régionalisation des 20 stations limnimétriques	18
III-2-2 Principaux indicateurs explicatifs de l'étiage : climatologie et géologie	19
IV- Conclusion	25
Glossaire.....	26
Bibliographie.....	28

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Variabilité spatiale du débit d'étiage de période de retour 2 ans	14
Carte 2 : Situation des bassins versants par rapport aux facteurs géologique et climatique	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Implantation des stations limnimétriques de la DAVAR	5
Figure 2 : Fréquences du nombre de jaugeages par station.....	5
Figure 3 : Fréquence et implantation des 168 stations de jaugeage de l'étude	6
Figure 4 : Fréquence cumulée des altitudes des exutoires des stations de l'étude.....	7
Figure 5 : Relation linéaire entre les étiages secs d'occurrence rare et le DCE médian.....	9
Figure 6 : Variabilité trimestrielle du coefficient d'écoulement.....	11
Figure 7 : Variabilité interannuelle du coefficient d'écoulement sur 3 stations (1990-2006) .	12
Figure 8 : Projection des variables (stations) sur le plan factoriel constitué par les deux principaux facteurs	16
Figure 9 : Relation linéaire entre la pluie moyenne sur 4 mois (juillet à octobre) évaluée sur 114 pluviomètres et le DCE annuel moyen évalué sur 20 limnigraphes (1991-2001)	17
Figure 10 : Dendrogramme des 20 stations à partir des séries de DCE centré-réduits.....	18
Figure 11 : Représentation de l'influence des précipitations et des périodotites sur la variabilité des étiages	20
Figure 12 : Courbes enveloppes du débit caractéristique d'étiage médian en fonction de la pluviométrie, de la géologie et de la localisation géographique	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evaluation des DCE sur 20 stations du réseau limnimétrique	8
Tableau 2 : Synthèse des coefficients DCE(T)/DCE(2).....	9
Tableau 3 : Synthèse des paramètres de tarissement sur les 20 stations du réseau.....	10
Tableau 4 : Variabilité entre année sèche et année humide et évaluation de la variabilité interannuelle moyenne du coefficient d'écoulement	12
Tableau 5 : Synthèse des modèles retenus pour les bassins > 5km ² , hors secteur sud.....	22

I-Objectifs

L'objectif de cette étude est de valoriser la banque de données hydrométriques relatives aux étiages de l'Observatoire de la Ressource en Eau (ORE) pour caractériser les régimes de basses eaux des cours d'eau calédoniens. Des outils pourront être proposés aux usagers et aux gestionnaires pour une meilleure évaluation des eaux de surface en saison sèche.

Le plan de l'étude se déroulera comme suit :

- Présentation des données hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie
- Evaluation des grandeurs caractéristiques des régimes d'étiage
- Analyses spatiale et temporelle des étiages

Remarque : Ce rapport de synthèse est issu d'un rapport beaucoup plus détaillé (*rapport complet*) où les méthodologies employées pour obtenir les résultats présentés dans cette note sont abordées plus en détails. Le *rapport complet* est disponible en format numérique et en format papier à la DAVAR.

II-Données hydrométriques de la Nouvelle-Calédonie

II-1 Présentation du réseau de mesure

L'information relative aux débits des rivières en basses eaux a 2 origines possibles :

- **Station de mesure limnimétrique** : mesure en continu du débit
- **Station de jaugeages d'étiage** : mesure ponctuelle du débit d'un cours d'eau non équipé d'appareil enregistreur

La DAVAR compte à l'heure actuelle une quarantaine de postes limnimétriques répartis convenablement sur l'ensemble de la Grande Terre (Figure 1). Sur ces stations, les mesures du niveau d'eau se font en continu, aux dysfonctionnements des appareils enregistreurs près. Dans la présente étude nous avons seulement exploité les données recueillies sur **20 stations limnimétriques** où plus de 10 années d'observations étaient disponibles. Ces stations sont représentées par des figurés rouges sur la figure 1.

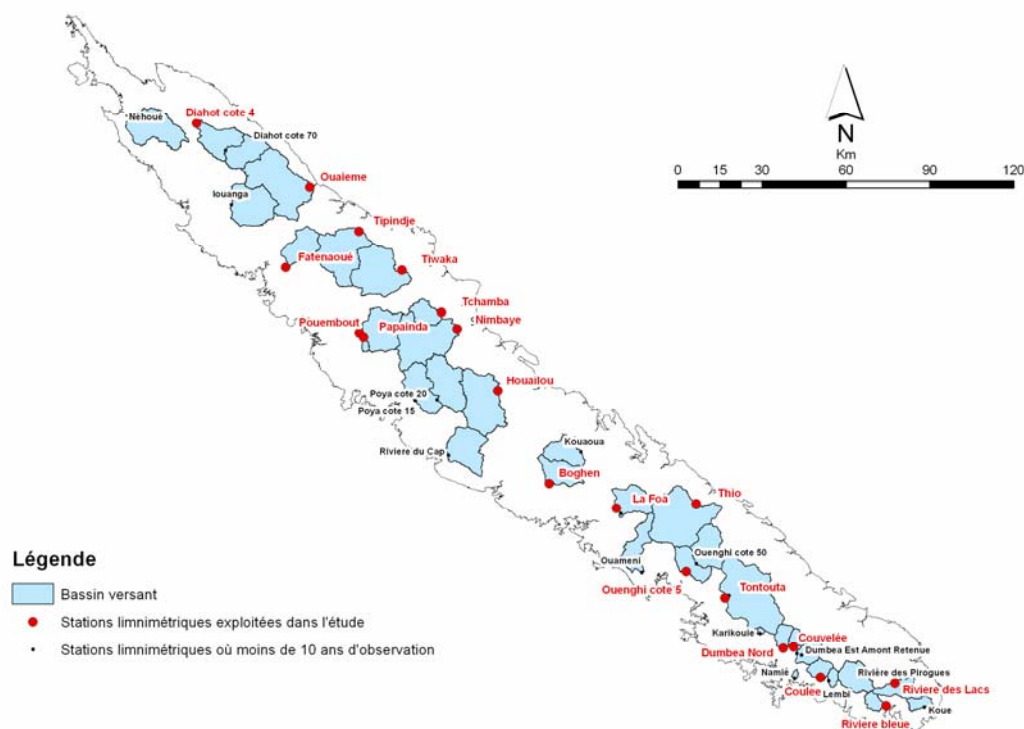


Figure 1 : Implantation des stations limnimétriques de la DAVAR

Pour améliorer la connaissance des régimes hydriques en basses eaux, la DAVAR mène depuis une dizaine d'années des jaugeages en saison sèche sur des rivières où aucune station de mesure n'est implantée.

619 stations de jaugeage sont répertoriées dans la base de données de l'ORE. Toutes ne sont pas exploitables : soit que le nombre de jaugeages est insuffisant pour être représentatif (Figure 2), soit que les informations qui concernent la localisation du point de jaugeage sont imprécises. On remarque que 50% des stations possèdent moins de 20 jaugeages et 35% en possèdent moins de 10.

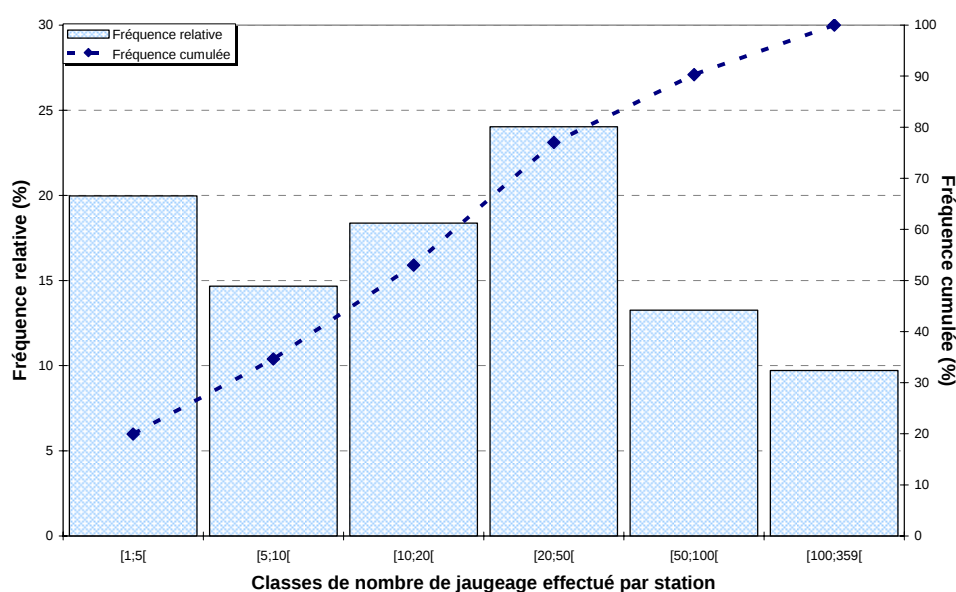


Figure 2 : Fréquences du nombre de jaugeages par station

Nous exploitons prioritairement les stations où au moins 10 jaugeages ont été menés et dont la localisation ne fait aucun doute. **168 stations de jaugeage ont ainsi été retenues.** Ces stations sont représentatives de l'ensemble du territoire à l'exception du sud-est (« côte oubliée ») et du centre-nord (massif du Panié) (Figure 3). Notons que pour améliorer la représentativité géographique quelques stations ont été retenues malgré un nombre faible de mesures.

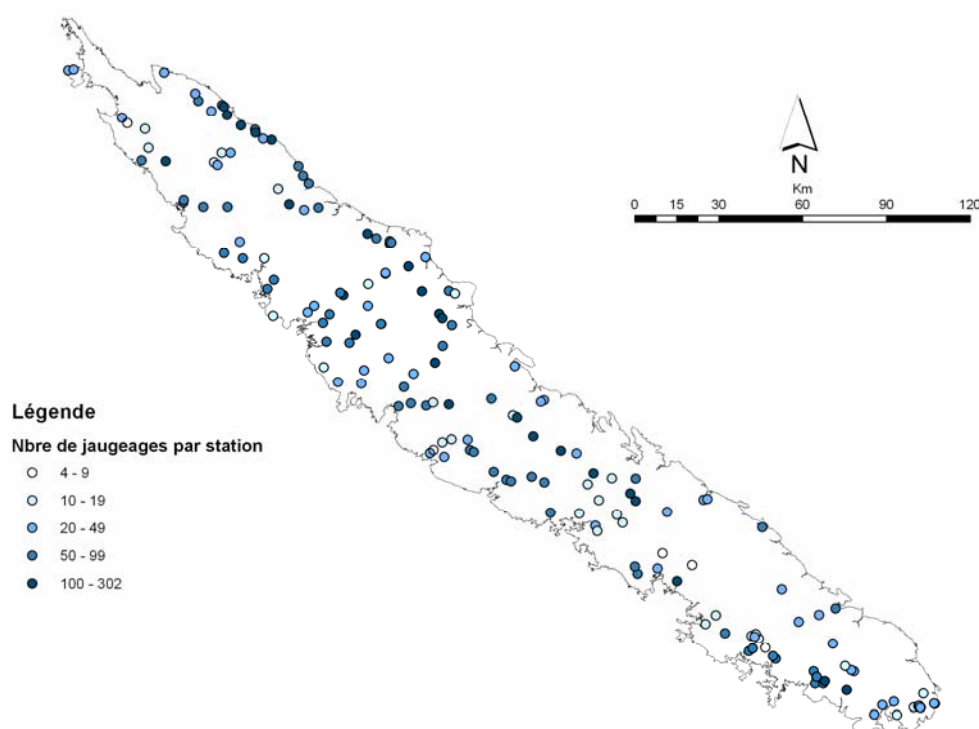


Figure 3 : Fréquence et implantation des 168 stations de jaugeages de l'étude

La figure 4 donne la fréquence cumulée des altitudes des exutoires des stations limnimétriques et des stations de jaugeage (188 stations). On remarque que seulement 10% des stations ont leurs exutoires à une altitude inférieure à 4m.

Notre échantillon caractérise majoritairement les stations des vallées encaissées à l'amont des plaines alluviales, à l'exception de quelques stations (dont la station limnimétrique de la Ouenghi). Ce choix géographique dans l'implantation des stations de mesures a été fait pour s'affranchir de l'influence de la marée et de l'inféreflux (écoulement au milieu des blocs rocheux).

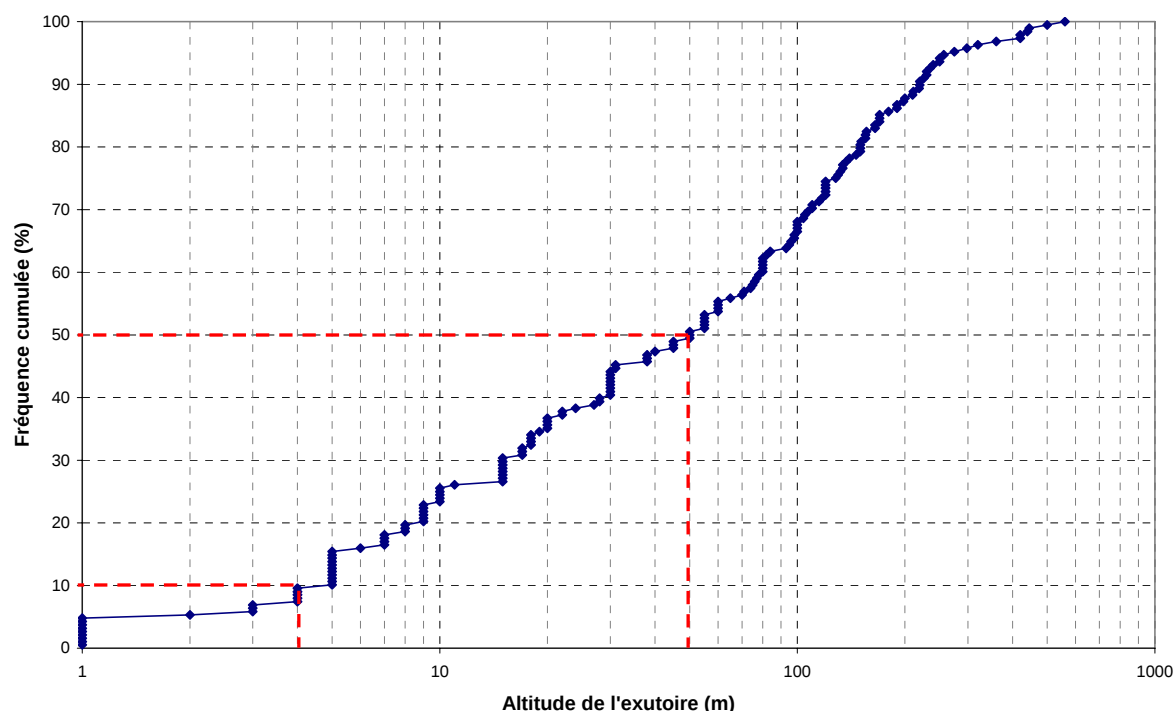


Figure 4 : Fréquence cumulée des altitudes des exutoires des stations de l'étude

II-2 Evaluation du DCE et autres grandeurs caractéristiques de l'étiage au droit des stations limnimétriques

II-2-1 Débit Caractéristique d'étiage (DCE)

Sur les stations limnimétriques, l'enregistrement continu du niveau d'eau permet d'établir la chronique des débits journaliers. Il est donc possible d'estimer le DCE lorsque l'année ne comporte pas de lacunes en période de basses eaux. Grâce à l'ajustement de lois statistiques aux séries des DCE de chacune des stations limnimétriques du réseau (loi de Gumbel pour les étiages humides, loi log-normale pour les étiages secs), nous avons pu établir le tableau suivant où sont renseignés les DCE secs et humides pour différentes périodes de retour. Les débits sont exprimés en l/s/km², aussi il suffit de multiplier ce débit par la surface du bassin versant pour obtenir le débit d'étiage observé en l/s à la station de mesure.

Rappelons qu'un DCE sec de période de retour $T = 5$ ans correspond à la valeur en dessous de laquelle on observe le régime d'étiage en moyenne une fois tous les 5 ans. Il s'agit d'une notion de probabilité statistique, aussi il est important de comprendre qu'il est tout à fait envisageable d'observer le débit d'étiage quinquennal sec deux années consécutives.

Nom et localisation en UTM						DCE Spécifique (l/s/km²)								Nombre de DCE Observés
Numero station	Nom station	Superficie (km²)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Etiage Humide (T ans)			Médian	Etiage Sec (T ans)				
						100	10	5		5	10	100		
5707200501	Riviere Bleue	32	688 280	7 532 300	1	19.3	12.9	10.8	7.7	5.4	4.5	2.9	27	
5705501001	Riviere des Lacs	77	691 430	7 540 315	235	17.4	10.4	8.2	4.5	2.6	1.9	1.0	32	
5700300106	La Coulée	44	664 800	7 542 430	10	14.6	9.4	7.7	5.0	3.4	2.7	1.6	11	
5700500301	Couvelée	40	651 336	7 552 914	30	10.7	7.4	6.3	4.6	3.4	2.9	2.0	32	
5700500201	Dumbéa nord	32	655 327	7 553 644	80	16.7	11.6	9.9	7.5	5.7	4.9	3.5	26	
5705200103	Tontouta	385	630 650	7 571 000	22	15.0	10.4	9.0	6.8	5.2	4.5	3.3	36	
5703300103	Ouenghi	212	616 739	7 580 125	5	14.1	9.6	8.1	5.9	4.4	3.8	2.7	43	
5701600202	La Foa	116	591 778	7 602 737	19	7.4	4.4	3.4	1.7	0.9	0.7	0.3	21	
5704800101	Thio St Michel	344	620 300	7 604 417	15	11.5	7.5	6.2	4.2	2.9	2.4	1.5	16	
5702600101	Boghen	113	567 710	7 611 745	31	8.8	5.6	4.6	3.0	1.9	1.5	0.9	48	
5700800102	Houailou	269	549 385	7 644 822	18	14.0	8.6	6.9	4.1	2.5	1.9	1.1	43	
5703906501	Papaïnda	9	501 310	7 664 150	50	6.7	4.6	3.9	2.8	2.0	1.7	1.1	24	
5703900102	Pouembout	176	499 885	7 665 720	27	4.9	2.9	2.3	1.2	0.7	0.5	0.2	33	
5702900101	Nymbaye	288	534 870	7 667 160	3	9.3	5.6	4.4	2.5	1.5	1.2	0.6	19	
5704600105	Tchamba	72	529 250	7 672 955	8	14.2	9.3	7.7	5.3	3.7	3.1	2.0	31	
5705100105	Tiwaka	260	515 035	7 688 154	8	17.7	11.5	9.5	6.3	4.1	3.3	2.0	36	
5704700301	Faténaoué	111	473 550	7 689 080	30	3.3	1.9	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	28	
5705000102	Tipindje	253	499 711	7 702 171	7	7.6	4.8	3.9	2.4	1.6	1.3	0.8	39	
5703100101	Ouaième	329	482 140	7 718 030	10	14.8	9.7	8.1	5.5	4.0	3.3	2.2	21	
5700400700	Diahot Bondé	290	441 638	7 740 750	4	5.8	3.9	3.3	2.3	1.6	1.4	0.9	28	
					Moyenne	11.7	7.6	6.3	4.2	2.9	2.4	1.5	30	
					Ecart-type	4.7	3.2	2.7	2.1	1.6	1.4	1.0	9.6	

Tableau 1 : Evaluation des DCE sur 20 stations du réseau limnimétrique

On remarque que le rapport moyen entre les débits d'étiage humide décennal et les débits d'étiage sec décennal est de l'ordre de 3. Ce qui traduit une variabilité très importante entre les étiages d'un cours d'eau d'une année sur l'autre. Notons que l'on retrouve approximativement cet ordre de grandeur entre la pluie annuelle décennale humide et la pluie annuelle décennale sèche. On remarque également une variabilité importante entre les DCE de même période de retour suivant les stations considérées. Ainsi les bassins du nord-ouest donnent les débits les plus faibles, tandis-que ceux du sud et de l'est fournissent des débits d'étiage relativement élevés. **La forte variabilité de la pluie explique en grande partie la variabilité des débits.**

La figure suivante (Figure 5) présente les ajustements linéaires des DCE secs de période de retour $T = 5$ ans (bleu), $T = 10$ ans (vert) et $T = 100$ ans (rouge) en fonction du DCE médian ($T = 2$ ans). Il apparaît que les DCE(T) secs et humides varient proportionnellement au DCE médian. On peut donc établir de façon relativement précise ($R^2 > 0.85$) des relations linéaires liant les DCE médians aux DCE d'occurrence plus rare.

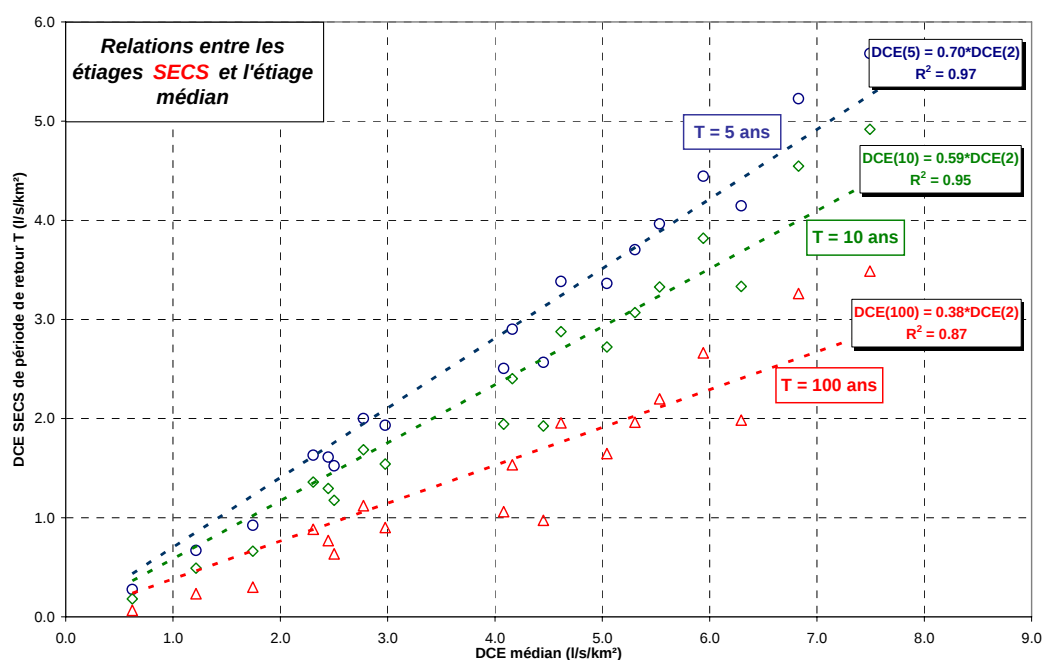


Figure 5 : Relation linéaire entre les étiages secs d'occurrence rare et le DCE médian

	Etiage Humide (T=ans)			Etiage Sec (T=ans)		
	100	10	5	5	10	100
[DCE(T) / DCE(2)] par ajustement linéaire	2.65	1.75	1.46	0.70	0.59	0.38

Tableau 2 : Synthèse des coefficients DCE(T)/DCE(2)

La détermination des coefficients liant les DCE(T) aux DCE(2) permet de donner une première approximation des débits d'étiage d'occurrence rare pour des bassins versants dont la superficie est supérieure à 10 km². Il ne s'agit là que d'une estimation statistique approximative qui ne tient forcément pas compte des particularismes régionaux tels que la climatologie, la géomorphologie ou encore l'hydrogéologie.

Nous retiendrons simplement que pour avoir une première approximation du débit d'étiage sec centennal il faut diviser le débit d'étiage médian par 3. De même, pour avoir une approximation du débit d'étiage sec décennal, il faut diviser le débit d'étiage médian par 2.

La troisième partie de ce rapport s'attachera à expliquer l'influence de la climatologie et de l'hydrogéologie dans la variabilité spatiale et temporelle des étiages.

II-2-2 Autres grandeurs caractéristiques des régimes de basses eaux

Tarissement

Le paramètre représentatif du tarissement est le **coefficient de tarissement α** . Il est évalué en calant un modèle de vidange à 1 réservoir aux hydrogrammes représentatifs du tarissement, c'est-à-dire lorsque la vidange des nappes d'eau souterraine soutient les cours d'eau. Le débit initial de tarissement représente la valeur limite du débit en dessous de laquelle on considère que le tarissement commence.

Le débit d'étiage décennal humide a été généralement considéré comme le débit initial de tarissement pour caler la fonction de décroissance exponentielle. Pour des débits supérieurs nous considérons que la décrue est encore prédominante par rapport au tarissement.

En prenant l'inverse de ce coefficient on obtient le temps caractéristique de tarissement. Le temps caractéristique correspond au temps au bout duquel, en l'absence de précipitation, il ne s'écoule plus que 30% du débit initial de tarissement. Le tableau 3 rassemble l'ensemble de ces informations.

Nom et localisation en UTM						Tarissement			
Numero station	Nom station	Superficie (km ²)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Q ₀ (m ³ /s)	α (j ⁻¹)	t _c (j)	K (m/s)
5707200501	Rivière Bleue	32	688 280	7 532 300	1	0.65	0.0211	47	1.40E-03
5705501001	Rivière des Lacs	77	691 430	7 540 315	235	1.00	0.0526	19	5.35E-03
5700300106	La Coulée	44	664 800	7 542 430	10	0.40	0.0235	43	1.78E-03
5700500301	Couvelée	40	651 336	7 552 914	30	0.30	0.0097	103	7.11E-04
5700500201	Dumbéa nord	32	655 327	7 553 644	80	0.40	0.0171	60	1.09E-03
5705200103	Tontouta	385	630 650	7 571 000	22	4.00	0.0094	107	2.12E-03
5703300103	Ouenghi	212	616 739	7 580 125	5	2.00	0.0119	84	2.01E-03
5701600202	La Foa	116	591 778	7 602 737	19	0.60	0.0197	51	2.44E-03
5704800101	Thio st Michel	344	620 300	7 604 417	15	2.50	0.0144	70	3.07E-03
5702600101	Boghen	113	567 710	7 611 745	31	0.80	0.0137	73	1.69E-03
5700800102	Houailou	269	549 385	7 644 822	18	2.00	0.0132	76	2.50E-03
5703906501	Papainda	9	501 310	7 664 150	50	0.05	0.0121	83	4.22E-04
5703900102	Pouembout	176	499 885	7 665 720	27	0.60	0.0159	63	2.44E-03
5702900101	Nymbaye	288	534 870	7 667 160	3	1.00	0.0111	91	2.16E-03
5704600105	Tchamba	72	529 250	7 672 955	8	1.00	0.0133	75	1.31E-03
5705100105	Tiwaka	260	515 035	7 688 154	8	2.50	0.0123	82	2.28E-03
5704700301	Faténaoué	111	473 550	7 689 080	30	0.20	0.0260	39	3.13E-03
5705000102	Tipindje	253	499 711	7 702 171	7	0.90	0.0142	70	2.63E-03
5703100101	Ouaième	329	482 140	7 718 030	10	2.70	0.0152	66	3.18E-03
5700400700	Diahot Bondé	290	441 638	7 740 750	4	1.00	0.0225	45	4.38E-03
Moyenne						1.23	0.0174	69	2.30E-03
Ecart-type						1.04	0.0095	23	1.17E-03

Tableau 3 : Synthèse des paramètres de tarissement sur les 20 stations du réseau

On retiendra que le temps caractéristique moyen de tarissement est compris entre 40 et 100 jours, ce qui sous-entend que le temps de passage de l'eau au sein des bassins versants calédoniens est relativement court. Au bout de 2 à 3 mois le débit initial de tarissement a été diminué de 70%. Ce résultat tendrait à montrer que les aquifères souterrains sont de tailles trop réduites pour soutenir durablement les étiages. Ce résultat correspond aussi au fait que les stations limnimétriques sont à des altitudes telles qu'elles se situent bien souvent à l'amont des plaines alluviales potentiellement très aquifères, notamment sur la côte ouest. Notons que la faible superficie relative des bassins calédoniens explique également la rapidité du tarissement. Le temps de vidange relativement court de la station de Rivière des Lacs doit trouver une explication dans la géologie particulière du sud.

On peut associer au temps caractéristique de tarissement une « vitesse de vidange » K en divisant la racine carrée de la surface du bassin versant par le temps caractéristique. Elle permet de comparer les tarissements entre bassins de superficies différentes. Les « vitesses de vidange » les plus faibles reviennent aux rivières du secteur sud-ouest telles que la Coulée, la Dumbéa, la Couvelée, la Tontouta et la Ouenghi. Il semblerait que les massifs

péridotitiques qui les alimentent aient un potentiel aquifère plus important que la moyenne.

Enfin, compte tenu de ce qui vient d'être dit l'étiage d'une année N ne semble quasiment pas être influencé par les conditions hydrologiques de l'année N-1.

Coefficient d'écoulement

Le **coefficient d'écoulement (C_e)** d'un bassin versant représente le rapport entre la sortie (le débit) et l'entrée (la pluie). Il caractérise donc le « rendement » d'un bassin versant en termes d'écoulement superficiel. Les pas de temps sur lesquels s'effectuent ces bilans sont de l'ordre du mois, voire de l'année. Ce coefficient n'est donc pas directement comparable avec le coefficient de ruissellement qui est défini pour des pas de temps beaucoup plus court, de l'ordre de l'heure.

$$C_e = \frac{\text{Lame d'eau moyenne écoulée sur } \Delta t}{\text{Pluie moyenne précipitée sur } \Delta t}$$

Nous présentons sur le graphique qui suit (Figure 6) la variabilité annuelle du coefficient d'écoulement trimestriel moyen (1989-2005) pour 5 stations représentatives des secteurs climatiques de la Grande Terre. Nous avons travaillé à l'échelle du trimestre de façon à nous rapprocher du temps caractéristique de tarissement moyen évalué dans la partie précédente (cf. Tarissement). Le coefficient d'écoulement trimestriel est évalué grâce aux valeurs moyennes mensuelles de pluie et de débit.

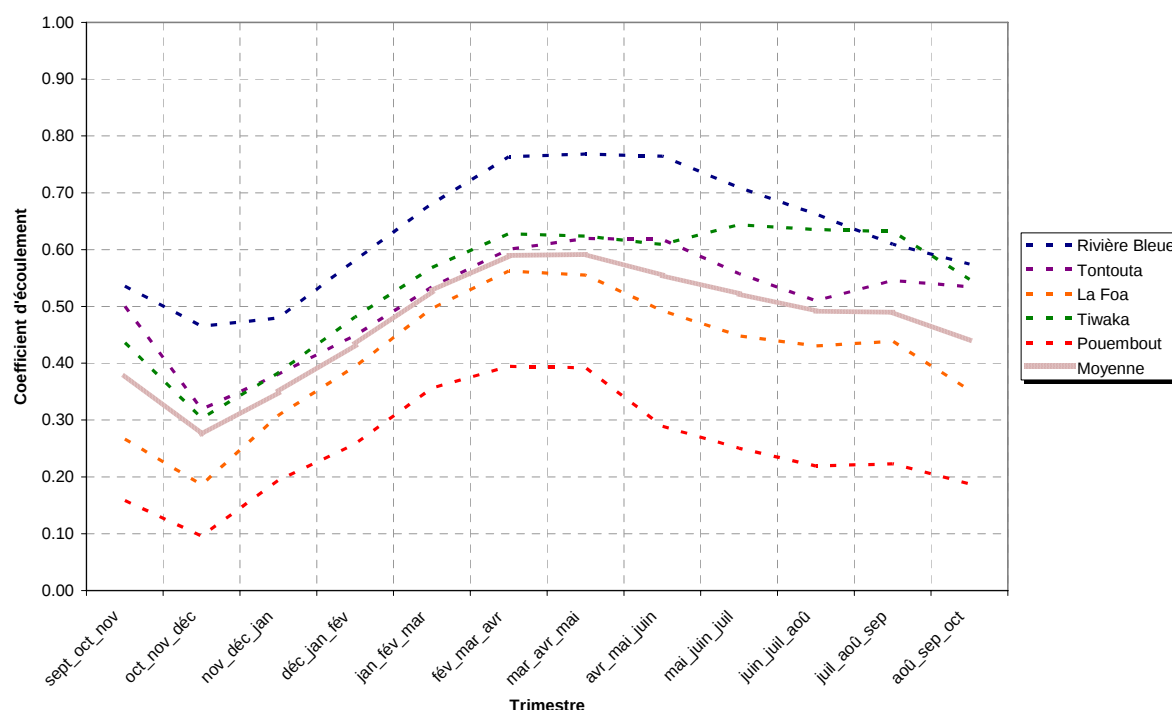


Figure 6 : Variabilité trimestrielle du coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement varie beaucoup pour toutes les stations entre la saison sèche où ses valeurs sont faibles (trimestre oct-nov-déc) et la saison humide où ses valeurs sont fortes (trimestre fév-mar-avr). **Cela met en évidence que le ruissellement superficiel**

est beaucoup plus important en période humide et que les pluies de la saison sèche (octobre à décembre) ne contribuent que très peu à la réalimentation des cours d'eau. Le coefficient d'écoulement varie également beaucoup entre les stations elles-mêmes. Pour les stations les plus arrosées à l'est et au sud, on trouve un coefficient d'écoulement relativement fort par rapport au bassin de la côte ouest où les précipitations sont plus faibles.

Le coefficient d'écoulement annuel est évalué à partir des valeurs moyennes annuelles de pluie et de débit. On observe une forte variabilité interannuelle de ce coefficient selon que l'année observée est humide ou sèche. Pour illustrer ce résultat nous présentons les coefficients d'écoulement minimum, maximum et moyen pour chaque station (Tableau 4). Le coefficient de variation y est également fourni.

	C _e annuel min	C _e annuel max	C _e annuel moyen	Coefficient de variation du C _e annuel (%)
Rivière Bleue	0.42	0.81	0.63	19
Tontouta	0.35	0.79	0.51	23
La Foa	0.25	0.69	0.42	28
Tiwaka	0.29	0.85	0.54	28
Pouembout	0.10	0.61	0.26	52
Moyenne	0.25	0.74	0.43	33

Tableau 4 : Variabilité entre année sèche et année humide et évaluation de la variabilité interannuelle moyenne du coefficient d'écoulement

Lorsque les précipitations annuelles sont peu abondantes le coefficient d'écoulement peu être potentiellement très faible, notamment sur la côte ouest (Figure 7). La variabilité interannuelle la plus forte et la plus faible s'observent respectivement sur le secteur nord avec le bassin de la Pouembout (52%) et sur le secteur sud avec le bassin de la Rivière Bleue (19%) (Tableau 4).

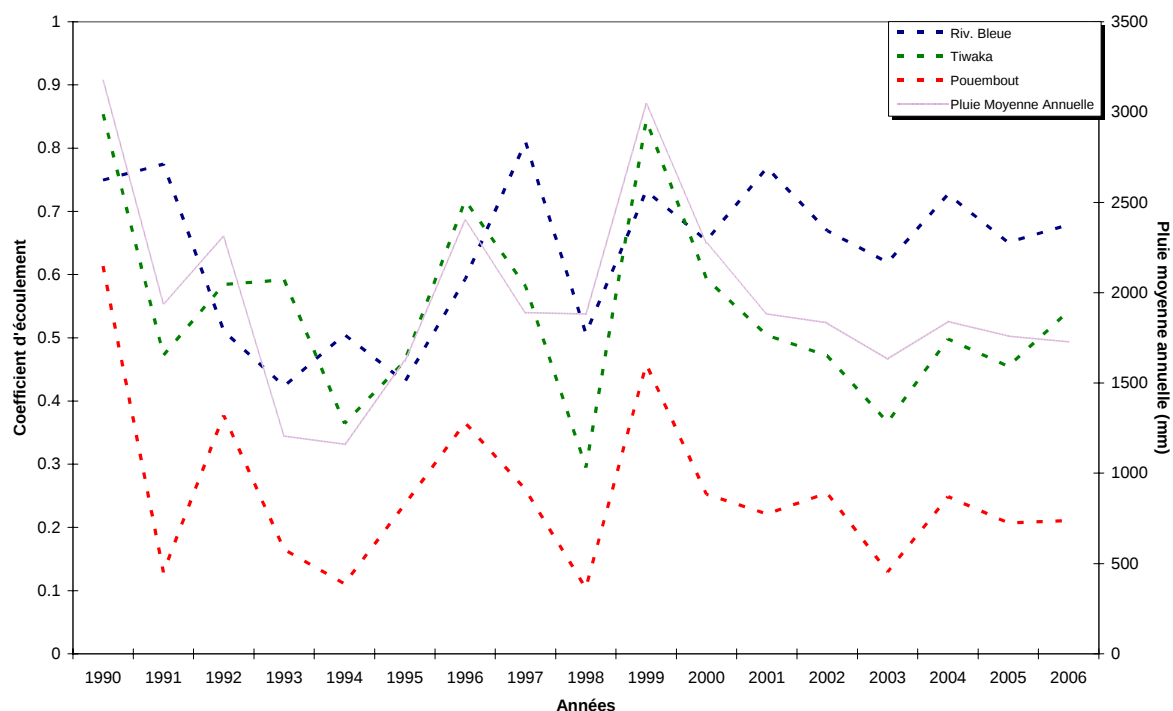


Figure 7 : Variabilité interannuelle du coefficient d'écoulement sur 3 stations (1990-2006)

II-3 Evaluation du DCE médian au droit des stations de jaugeage

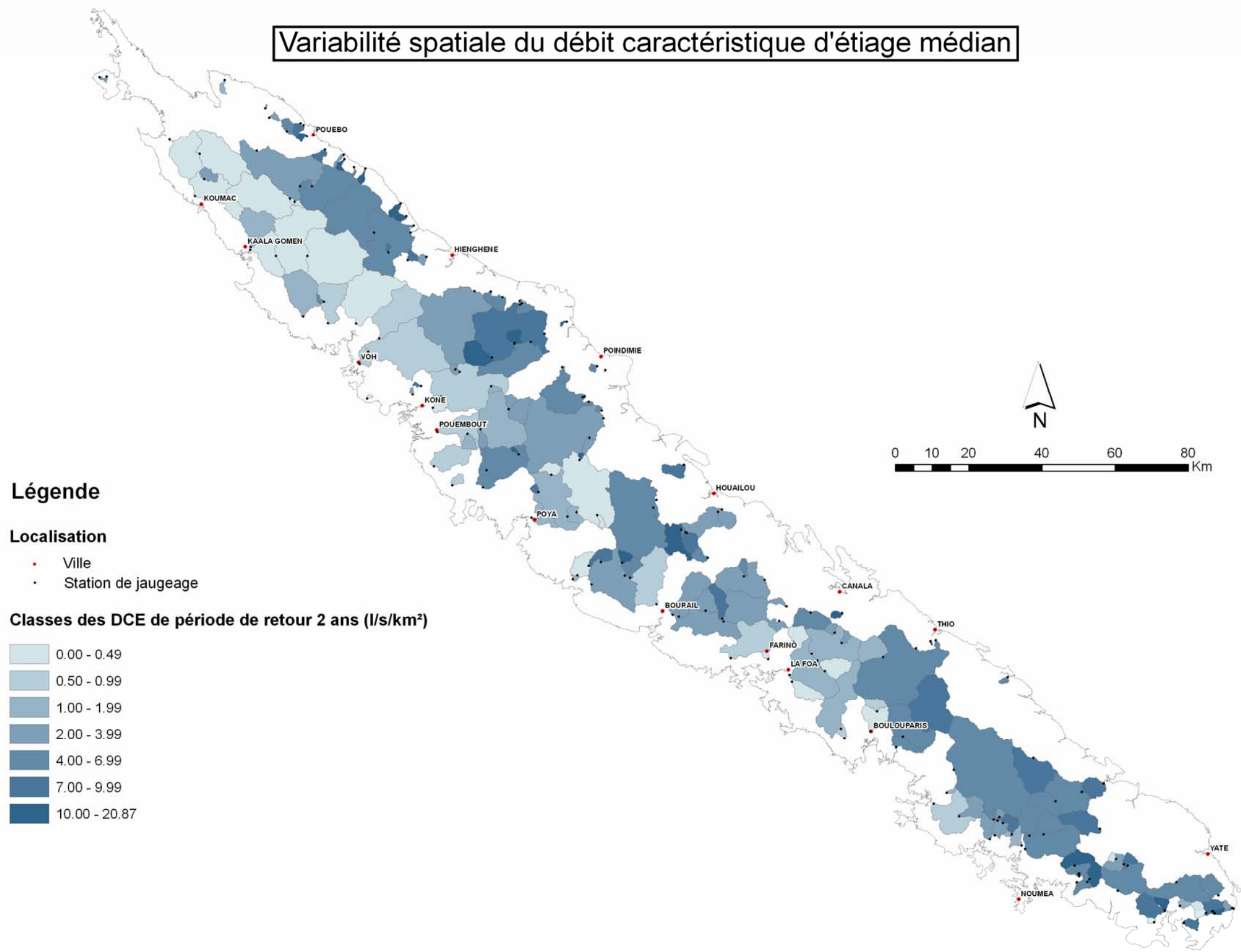
L'incertitude des jaugeages de l'ORE est évaluée dans une fourchette comprise entre 5 à 10% du débit jaugé suivant la section de mesure.

L'évaluation des DCE médians au droit des stations de jaugeage ponctuelles s'effectue par régression linéaire entre les débits ponctuels de la station de jaugeage et les débits journaliers d'une station hydrométrique de référence située à proximité. La relation linéaire est ensuite extrapolée à partir des DCE établis au niveau des stations limnimétriques.

La carte 1 présente les **188 stations** de jaugeage et leurs bassins versants associés où l'évaluation du débit caractéristique d'étiage médian a pu être menée. Il apparaît très nettement que le secteur nord-ouest est le secteur globalement le plus sec de Nouvelle-Calédonie, tandis-que le sud et l'est donnent fréquemment des débits spécifiques supérieurs à 4 l/s/km².

Le *rapport complet* fournit dans un tableau de synthèse l'ensemble de DCE médians évalués sur chaque station. On y trouve également plus d'informations sur la nature de l'échantillon ainsi que sur la méthodologie employée pour parvenir au résultat de la page 14.

La partie suivante va tenter d'expliquer l'hétérogénéité spatiale des DCE grâce à des indicateurs tels que la climatologie et la géologie.



Carte 1 : Variabilité spatiale du débit caractéristique d'étiage médian

II-4 Bilan

20 stations limnimétriques de l'ORE, réparties sur l'ensemble du territoire, ont permis des évaluations précises du débit d'étiage moyen et des DCE secs et humides de période de retour 5, 10 et 100 ans. Sur ces bassins de plus de 10 km², une variabilité spatiale importante se dégage entre les DCE. Ainsi les DCE des bassins des plaines de l'ouest sont nettement inférieurs à ceux des bassins du sud ou de l'est. **Ces débits moyens suivent donc la même tendance que les précipitations moyennes annuelles.**

Les relations linéaires entre l'étiage médian et les étiages d'occurrence plus rare permettent d'avoir une première approximation satisfaisante pour les stations où seuls le débit d'étiage moyen peut-être évalué. **Un rapport de l'ordre de 3 est observé entre l'étiage sec centennal et l'étiage médian. On observe un rapport de 2 entre l'étiage sec décennal et l'étiage médian.**

Les tarissements les plus lents s'observent sur les bassins du sud-ouest, tandis que les bassins du nord-ouest se tarissent plus rapidement. Le massif péridotitique du sud a un potentiel aquifère plus important que les autres formations géologiques. **Le temps de passage de l'eau au sein des grands bassins calédoniens est court (1 à 3 mois). Ce résultat induit que l'étiage est essentiellement fonction de la pluviométrie de l'année en cours, voire du trimestre en cours.**

L'analyse du coefficient d'écoulement a montré que plus la lame d'eau précipitée est importante à l'échelle du trimestre ou de l'année, plus le ruissellement superficiel augmente. Ce qui explique les coefficients d'écoulement faibles du nord-ouest, région particulièrement peu arrosée, et les coefficients d'écoulement forts de l'est et du sud. En outre, les précipitations de la saison sèche fournissent le coefficient d'écoulement le plus faible du fait d'une évaporation importante et plus généralement des faibles volumes d'eau précipités. **Les « petites » précipitations de la saison sèche (< 20 mm/épisode) ont donc peu d'influence sur l'étiage en cours.**

188 stations de jaugeages réparties de façon homogène ont pu être valorisées pour fournir une estimation de l'étiage médian. L'ensemble de **l'échantillon doit permettre d'améliorer la compréhension des variations spatiales des étiages de la Grande Terre, notamment en fonction des principaux indicateurs que sont la climatologie et la géologie.**

III-Analyse spatiale et temporelle des étiages

III-1 Analyse temporelle des DCE

La matrice des DCE élaborés sur la période 1971-2005 pour les 20 stations du réseau limnimétrique a été soumise à une Analyse en Composantes Principales (ACP). **La variance des débits d'étiage est expliquée à plus de 67% par la moyenne et 11% est expliquée par un axe nord-sud (Figure 8).**

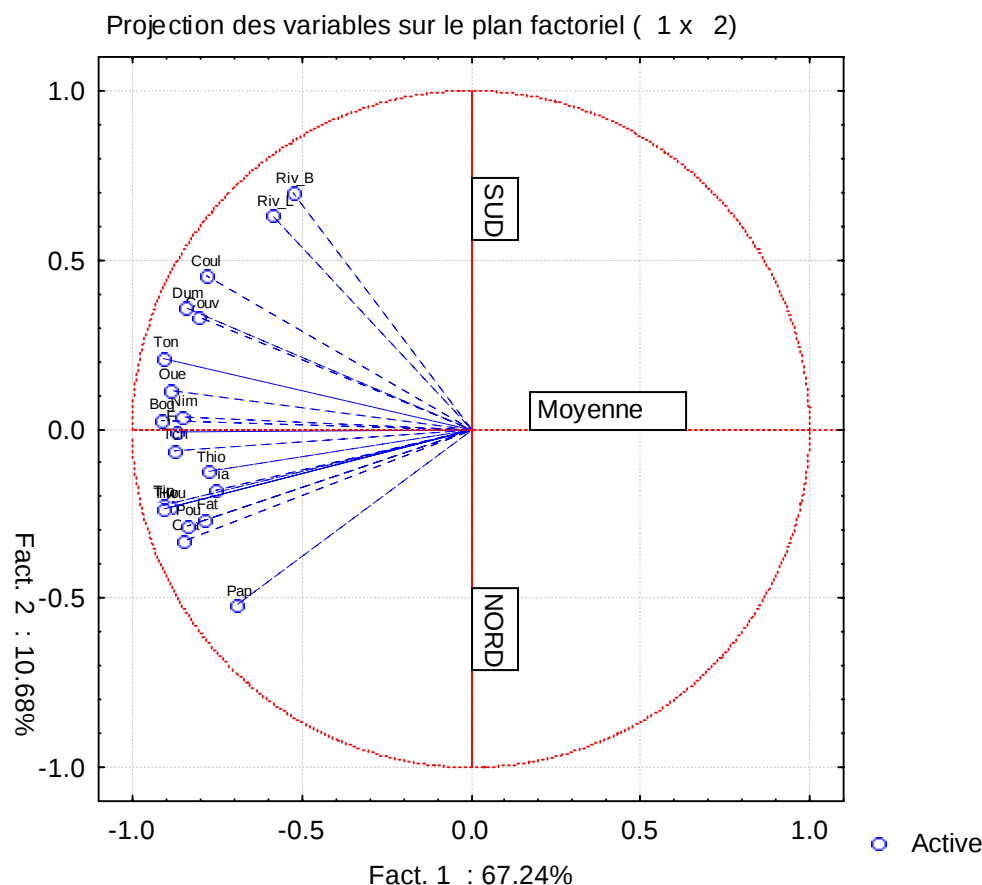


Figure 8 : Projection des variables (stations) sur le plan factoriel constitué par les deux principaux facteurs

Les périodes de retour des DCE pour une année donnée sont donc comparables pour l'ensemble du territoire avec une variabilité potentielle entre le nord et le sud.

Ce résultat est particulièrement intéressant car il rejoint le résultat de Perchat (DAVAR, 2003). En effet, il avait montré que sur la période 1991-2001 les cumuls annuels de pluie variaient de façon homogène sur l'ensemble de la Grande Terre. On peut également montrer que la variabilité du DCE moyen annuel inter-poste peut être expliquée par les cumuls de pluie annuels ou plurimensuels sur la période de 1991 à 2001.

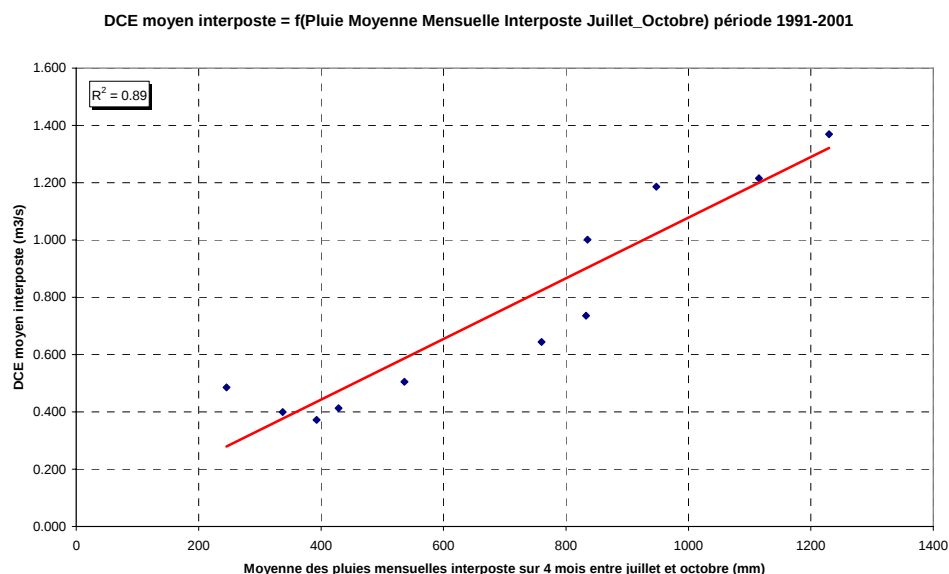


Figure 9 : Relation linéaire entre la pluie moyenne sur 4 mois (juillet à octobre) évaluée sur 114 pluviomètres et le DCE annuel moyen évalué sur 20 limnigraphes (1991-2001)

La pluie moyenne sur les 4 mois de juillet à octobre est la plus pertinente pour expliquer les variations annuelles des DCE moyens, $R^2=0.89$ (Figure 9). **Les précipitations observées sur cette période conditionnent la sévérité de l'étiage à venir sur l'ensemble de la Grande Terre.**

On remarquera aussi que les pluies de la saison humide qui s'étalent du mois de décembre au mois d'avril n'ont pas de lien avec les DCE moyens : les coefficients de détermination sont très faibles ($R^2<0.2$).

« La proportion des précipitations moyennes d'août à octobre par rapport aux quantités annuelles de pluie est plus importante dans le sud (12 à 16%) que dans le nord (6 à 10%). Les pluies hivernales sont plus abondantes sur le secteur sud du fait de perturbations d'origine polaire qui s'accompagnent d'une modification temporaire des vents dominants. Les phases ENSO¹ qui influent sensiblement sur les précipitations dès le mois de septembre se font plus ressentir dans le nord de la Grande Terre que dans le sud »².

En définitive, les débits d'étiage du secteur nord seront potentiellement plus faibles lors d'une phase El Niño (année sèche), et potentiellement plus fort en phase La Niña (année humide) que ceux du secteur sud, moins influencés par ces cycles climatiques. Ce résultat explique l'influence du deuxième facteur (axe nord-sud), présenté à la Figure 8, sur la variabilité temporelle des débits d'étiage. **La variabilité interannuelle des DCE est plus importante dans le nord que dans le sud.**

¹ El Niño Southern Oscillation

² Informations tirées de « l'Atlas Climatique de la Nouvelle-Calédonie », Météo France, 2006

III-2 Analyse spatiale des DCE

III-2-1 Régionalisation des 20 stations limnimétriques

Une classification ascendante hiérarchique a été menée à partir de la matrice des DCE avec la méthode d'agrégation de Ward et les distances euclidiennes comme critère de distance entre les différentes classes (Figure 10).

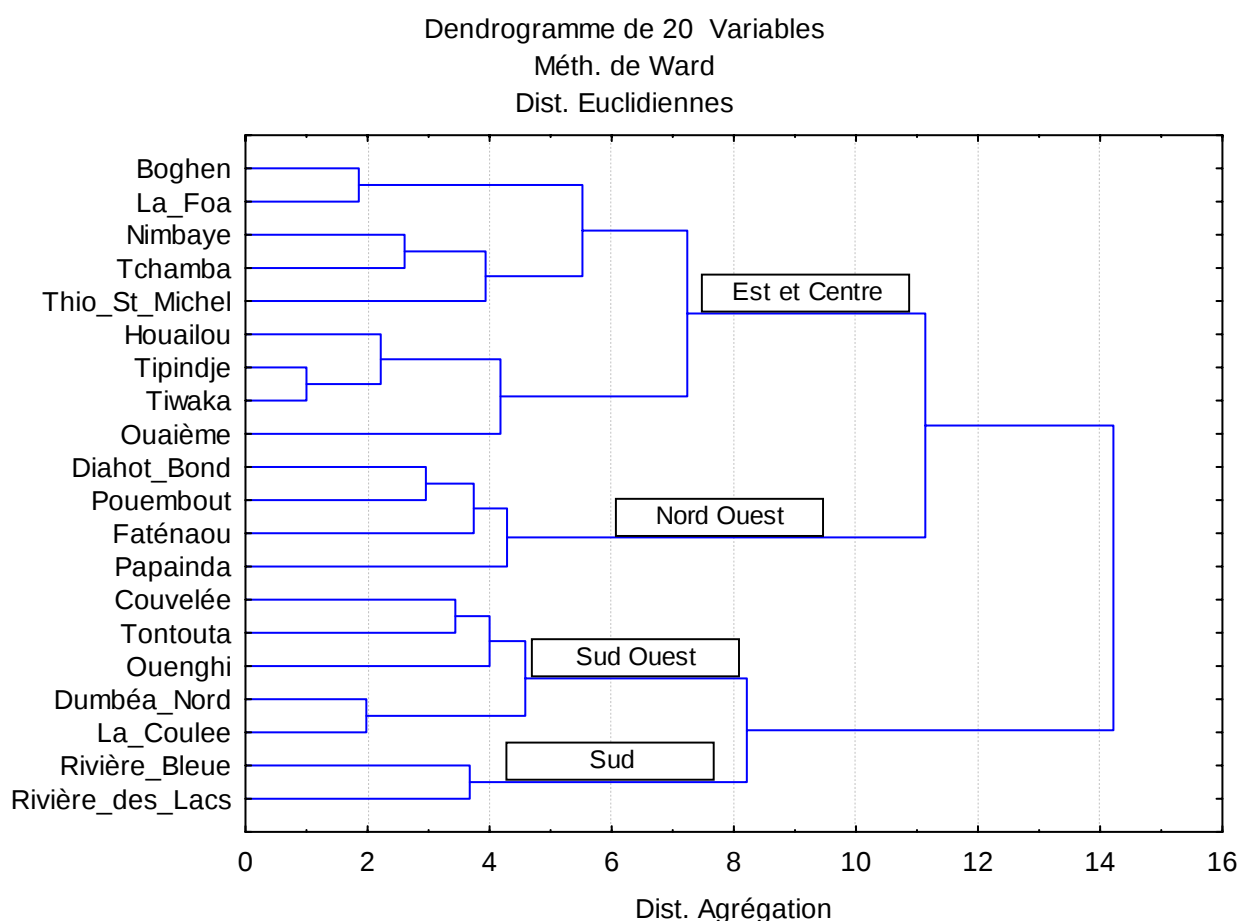


Figure 10 : Dendrogramme des 20 stations à partir des séries de DCE centré-réduits

On voit très nettement ressortir 4 groupes pour des distances d'agrégation comprise entre 4 et 7 :

Le **secteur sud-ouest** avec les stations de La Coulée, Dumbéa Nord, Couvelée, Tontouta et Ouenghi

Le **secteur sud** avec les stations de Rivière des Lacs et Rivière Bleue

Le **secteur est et centre** avec les stations de Houailou, Nimbaye, Tchamba, Ouaième, Tipindje, Tiwaka et Thio Saint Michel ainsi que les stations de Boghen, et La Foa

Le **secteur nord-ouest** avec les stations de Diahot Bondé, Faténaoué, Pouembout et Papainda.

Les rivières de la Foa et de la Boghen, bien qu'ayant leurs exutoires sur la cote ouest, semblent suivre la même tendance en étiage que les rivières de la cote est. Cela peut s'expliquer par la position des bassins versants en centre de chaîne.

On remarque également que les 4 groupes définis par la classification hiérarchique ascendante peuvent être mis en relation avec les régions pluviométriques connues en Nouvelle-Calédonie (DAVAR, Perchat 2003). Ainsi, les secteurs est et ouest, délimités par la chaîne centrale, se démarquent bien, de même pour les secteurs sud et sud-ouest séparés par le massif de la Montagne des Sources. Ce qui confirme la relation étroite avec la pluviométrie.

III-2-2 Principaux indicateurs explicatifs de l'étiage : climatologie et géologie

Les DCE médians évalués sur 188 stations ont été corrélés avec plus d'une centaine de variables descriptives relatives à la climatologie, à la géologie, au couvert végétal ou encore à la géomorphologie.

Constatant les particularismes des bassins du secteur sud et des bassins dont la superficie n'excédait pas 5 km², nous avons exclu près de 30% des points de mesure initiaux. L'échantillon a ainsi été ramené à **128 stations**.

Les DCE médians de ce nouvel échantillon sont bien corrélés avec les 3 variables suivantes :

- | | |
|--|---------------------------|
| ▪ la pluie moyenne interannuelle (PMA) (mm/an) : | R²=0.41 |
| ▪ la proportion de péridotites du bassin (Peri) (%) : | R²=0.48 |
| ▪ l' altitude moyenne du bassin versant (m) : | R²=0.46 |

L'altitude est une variable de synthèse redondante entre les péridotites que l'on trouve généralement en tête de bassin à des altitudes élevées, et les précipitations, fortement influencées par le relief. Nous n'utiliserons donc pas cette variable par la suite.

En représentant le débit spécifique d'étiage en fonction des cumuls de pluie annuels, deux tendances se distinguent (Figure 11). Les bassins où des péridotites sont observées sont représentés par des figurés différents selon leur proportion à la surface des bassins.

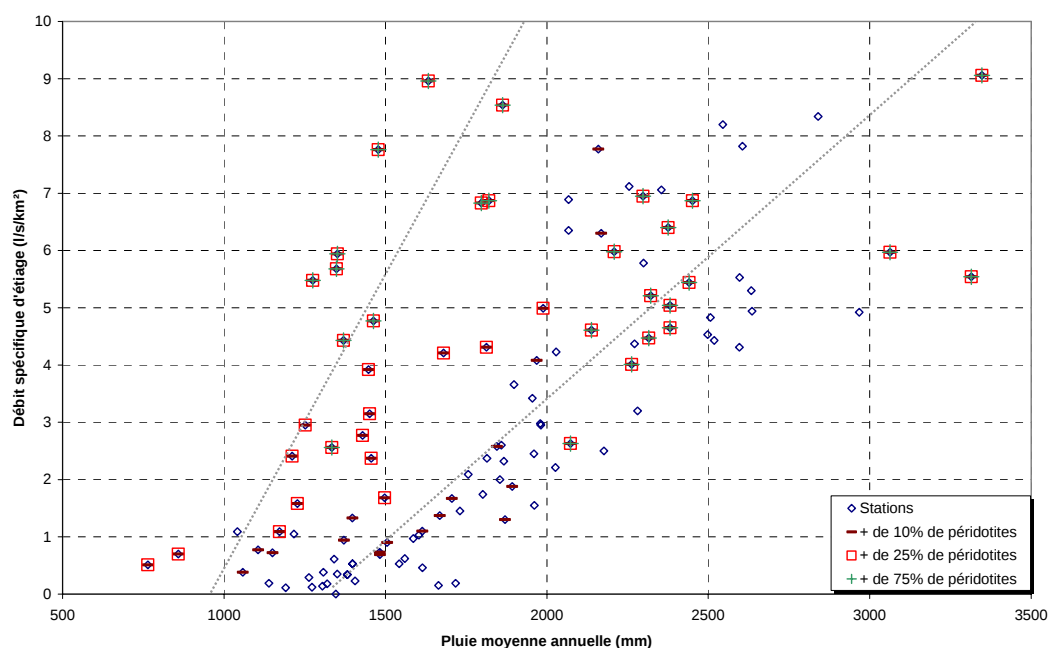


Figure 11 : Représentation de l'influence des précipitations et des péridotites sur la variabilité des étiages

Il apparaît clairement qu'une proportion grandissante de péridotites à la surface des bassins augmente le débit spécifique d'étiage notamment lorsque les précipitations moyennes annuelles sont inférieures à 1800 mm/an.

Grâce à la représentation graphique précédente, il se dégage deux critères :

- o Si $PMA > 1800$ mm/an (secteur humide) : le débit spécifique d'étiage est globalement supérieur à 3 l/s/km² et semble peu influencé par la géologie
- o Si $PMA < 1800$ mm/an (secteur sec) : le débit spécifique d'étiage peut être faible et est fortement influencé par la géologie, en particulier par les péridotites

A partir de ces critères nous avons pu élaborer 4 modèles à appliquer par région selon la climatologie, la géologie et la géographie. A partir de la figure 11 nous élaborons un graphique qui répartit selon ces 4 régions l'ensemble des DCE (Figure 12).

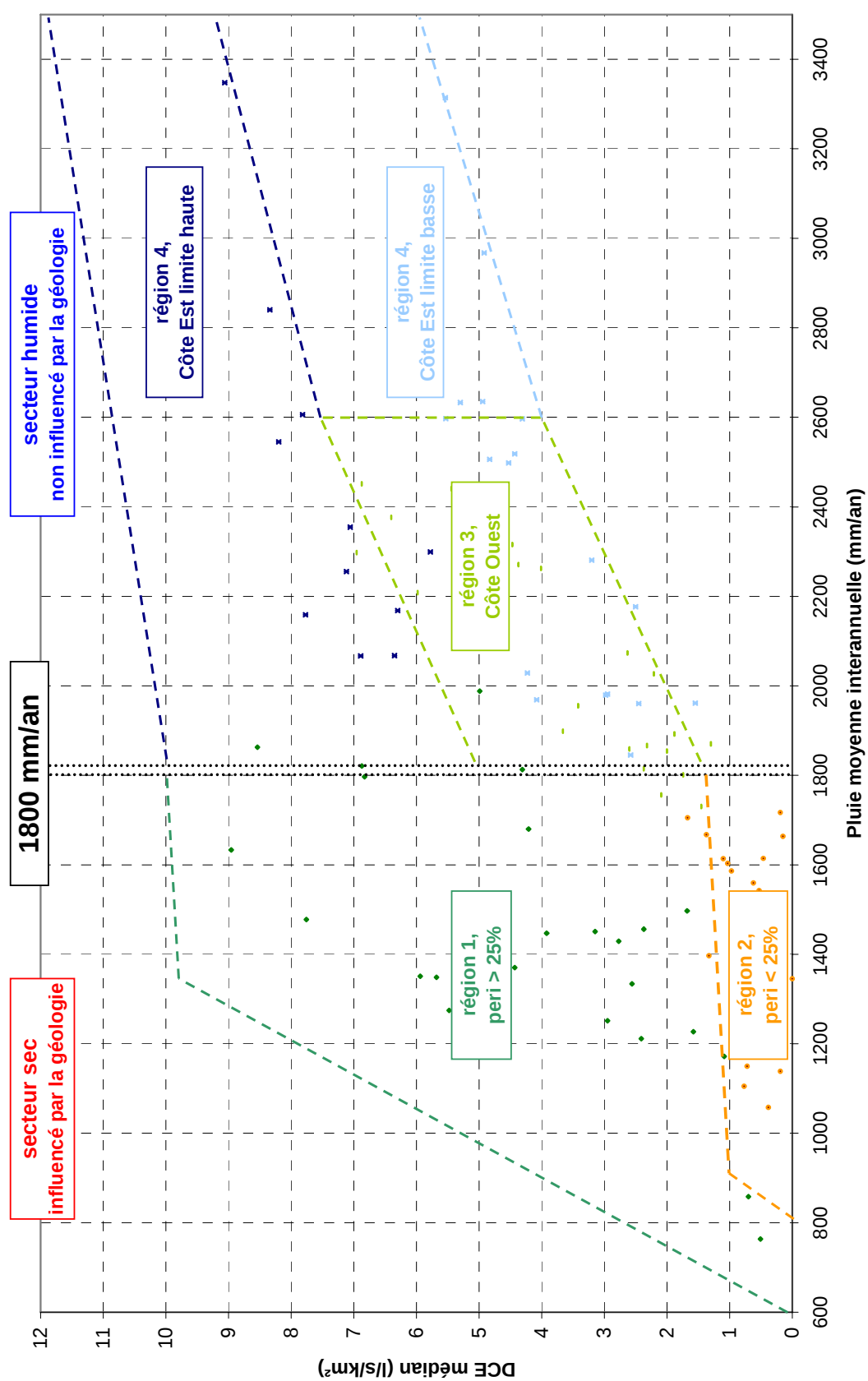


Figure 12 : Courbes enveloppes du débit caractéristique d'étéage médian en fonction de la pluviométrie, de la géologie et de la localisation géographique

A chacune de ces régions est associé un modèle particulier avec ses conditions d'application (Tableau 5). Notons que le *rapport complet* fournit plus de détails sur l'obtention de ces modèles.

	Région	Peri (%)	PMA (mm/an)	DCE (l/s/km ²)	R ²	Erreur standard (l/s/km ²)
Secteur sec	1	[25-100]	<1800	$0.00456*PMA + 0.0582*Peri - 5.93$	0.82	+/- 1.06
	2	[0-25]	<1800	$0.00085*PMA + 0.0360*Peri - 0.87$	0.56	+/- 0.28
Secteur humide	3 (Ouest)	[0-100]	>1800	$0.00587*PMA - 8.37$	0.67	+/- 0.98
	4 (Est)	[0-100]	>1800	$0.00247*PMA - 1.88$ (limite basse)	0.69	+/- 0.72
		[0-100]	>1800	$0.00299*PMA$ (limite haute)	0.51	+/- 0.70

Tableau 5 : Synthèse des modèles retenus pour les bassins > 5km², hors secteur sud

Ces « modèles régionaux » rejoignent bien la régionalisation proposée dans la partie « III-2-1 Régionalisation des 20 stations limnimétriques ».

La carte 2 présente de façon synthétique la répartition des principaux bassins versants suivant les critères climatologique et géologique mis en évidence par les modèles précédents. La côte ouest présente les facteurs les plus défavorables au soutien du débit d'étiage. Les massifs péridotitiques se concentrent essentiellement dans le sud, et sur la côte est, entre Canala et Houailou. A l'ouest les massifs sont disparates, ils se concentrent principalement sur les secteurs de Moindah, Népoui et Voh. Sur ce secteur, les péridotites permettent de distinguer les étiages médians sévères des étiages médians favorables à très favorables.

D'après l'étude hydrogéologique de 1967 menée par le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM), les latérites forment rarement des nappes pérennes. « *La bonne perméabilité des latérites et leurs caractéristiques de gisements, topographiquement élevés, font que les conditions de présence d'une nappe stable sont rarement réunies. Seuls quelques rares plateaux peu pentés et suffisamment vastes doivent pouvoir contenir une nappe pérenne située dans l'horizon latéritique. L'abondance et la fréquence des précipitations sur les massifs de roches ultrabasiques permettent cependant la formation de nappes semi-permanentes [...]. Ces nappes qui favorisent un étalement du ruissellement expliquent la pérennité des cours d'eau situés dans ces massifs.* »³

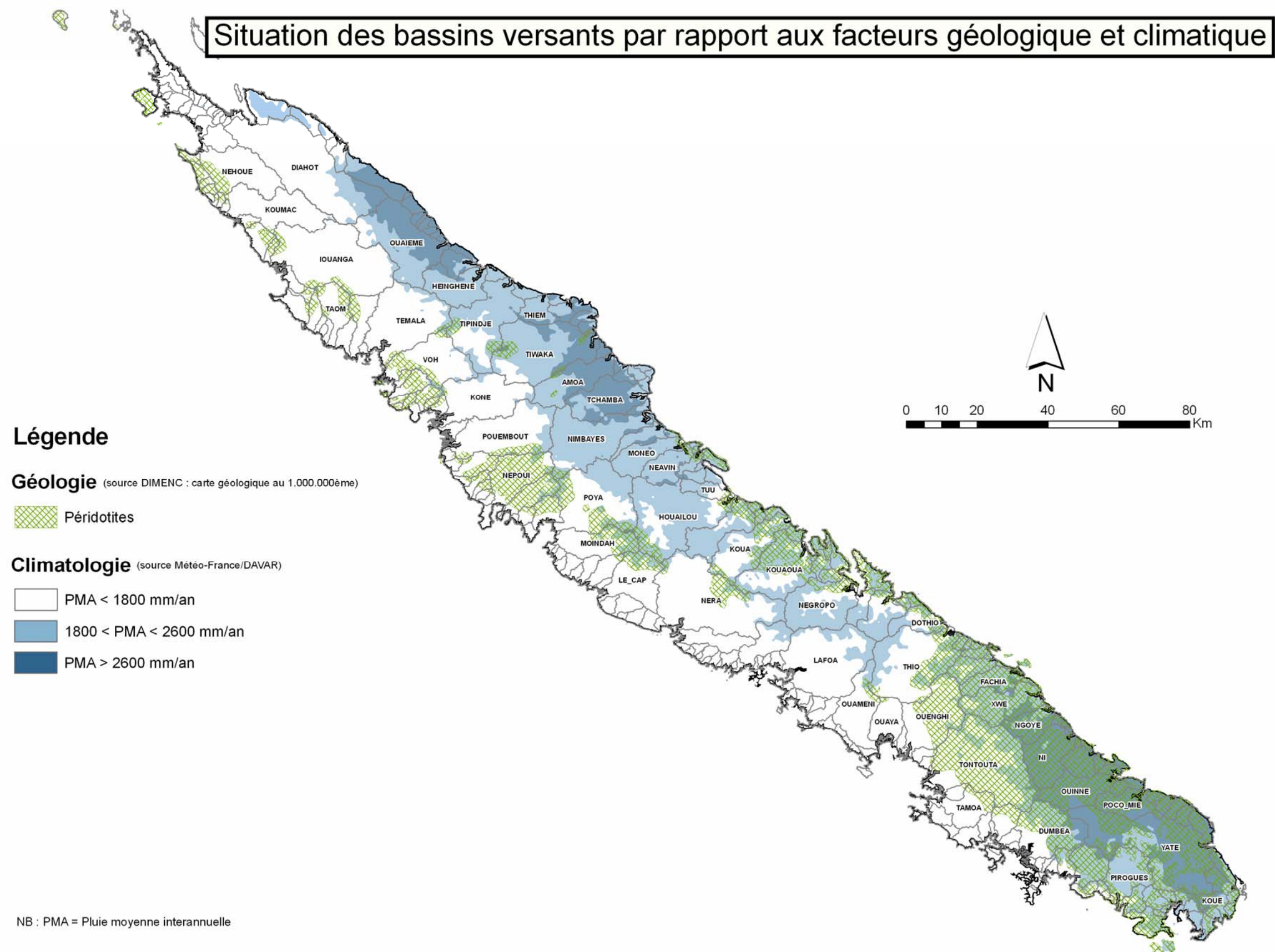
Ainsi, les latérites seraient des réservoirs superficiels de grande perméabilité et de faible extension fortement dépendants de leur réalimentation (pluie) et de la topographie. La présence de massifs latéritiques à la surface d'un bassin n'est donc pas une condition suffisante à un soutien efficace de l'étiage. Il faut que ces derniers soit suffisamment vastes et suffisamment arrosés en saison hivernale pour assurer une réalimentation continue du cours d'eau en étiage.

On note que les bassins du secteur est suivent deux tendances dont les causes n'ont pas encore trouvé d'explication précise. Une hypothèse consisterait à penser qu'il existe d'autres niveaux latéritiques importants en dehors de ceux cartographiés sur les massifs de péridotites. Notre modèle qui ne s'appuie que sur les niveaux altérés associés à cette formation géologique atteint ici ses limites. L'écart entre les bassins de la Tiwaka (limite haute) et de la

³ Extrait de l'« Etude hydrogéologique de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie », BRGM, Espirat J.J., 1967

Tipindje (limite faible) pourrait s'expliquer par la zone latéritique de grande extension non péridotitique du plateau de Tango. Ce qui sous-entendrait que les bassins les plus arrosés de Nouvelle-Calédonie subissent également l'influence de la géologie.

Enfin, il est possible qu'en dessous de l'horizon latéritique se trouve un horizon fracturé pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur avant d'atteindre la roche saine. Si ces aquifères fracturés existent, leur extension et leur coefficient d'emmagasinement sont probablement plus importants que le niveau aquifère des latérites superficielles.



Carte 2 : Situation des bassins versants par rapport aux facteurs géologique et climatique

IV- Conclusion

On retiendra en particulier que les étiages d'une année donnée suivent globalement la même tendance (sec ou humide) sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Le contraste le plus important s'observe suivant un axe nord/sud. Les précipitations de la saison humide (de janvier à avril) et de la saison sèche (d'octobre à décembre) ont peu d'influence sur l'étiage de l'année en cours. Ce sont les précipitations hivernales (de juillet à octobre) qui conditionnent plutôt la sévérité de l'étiage de la saison sèche à venir.

La variabilité spatiale des régimes d'étiage s'explique principalement par la climatologie et la géologie. Les étiages les plus sévères s'observent sur les régions où les précipitations sont les plus faibles et où les péridotites sont en proportion réduite. Ce résultat explique en partie les débits d'étiage médians particulièrement faibles du secteur nord-ouest. Le soutien des étiages par les massifs péridotitiques a ainsi été démontré de façon statistique. Des modèles ont été élaborés et permettent une évaluation relativement fiable des DCE en fonction de la géographie, des précipitations et de la géologie.

La présence de latérites à la surface d'un bassin versant ne saurait garantir à elle seule un soutien durable des rivières en période de basses eaux. Les latérites correspondent plus à des réservoirs superficiels qui favorisent l'étalement du ruissellement. Ces massifs doivent donc avoir une extension suffisante ou être particulièrement arrosés pour soutenir convenablement les rivières en étiage.

A l'heure actuelle seules les latérites des massifs péridotitiques ont été clairement cartographiées et exploitées par notre modèle. Or il existe d'autres zones d'altération remarquable. Il serait intéressant à l'avenir de les cartographier à leur tour car elles peuvent aussi correspondre à des aquifères potentiellement importants. Cela pourrait peut-être permettre d'améliorer la représentation des modèles existants.

L'implantation de piézomètres, équipés d'appareils enregistreurs, à des profondeurs représentatives des différents niveaux d'altération des massifs de péridotites et des zones altérées remarquables pourrait aider à une meilleure compréhension des aquifères des milieux altérés. De même, pour s'affranchir du phénomène d'inféoflux et estimer convenablement en continu l'ensemble de la ressource en eau disponible dans les plaines alluviales des rivières de la côte ouest, il serait bon de prévoir la mise en place d'un réseau de mesure piézométrique.

Cette étude n'a toutefois pas réussi à identifier toutes les raisons de la variabilité de l'étiage notamment sur le secteur sud du fait de la géologie particulière qui favorise des écoulements « pseudo-karstiques » complexes. En outre, les indicateurs représentatifs de l'étiage ont été élaborés à des échelles telles que les bassins inférieurs à 5 km² n'ont pas pu être correctement modélisés. Les jaugeages d'étiage sur les petites unités sont donc à poursuivre.

Glossaire

Alluvions : dépôt de sédiments charriés par les eaux d'une rivière ou d'un fleuve. L'échelle de taille des alluvions varie du millimètre au mètre. Le charriage des alluvions produit les plaines alluviales dont la très bonne perméabilité favorise généralement l'apparition de nappes d'eau souterraine libre, encore appelées nappes alluviales.

Année sèche : année caractérisée par des précipitations et des écoulements inférieurs à la normale (opposé : année humide).

Bassin versant (BV) : un bassin versant ou bassin hydrographique est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun : une rivière ou un lac.

Coefficient d'emmagasinement : représente la capacité d'écoulement d'un milieu, encore appelé porosité efficace. Elle s'exprime en proportion de volume de la roche.

Débit Caractéristique d'Etiage de période de retour T (DCE(T)) : le Débit Caractéristique d'Etiage (DCE ou DC355) correspond au débit moyen journalier dépassé 355 jours par an ou encore à la valeur maximale des 10 jours consécutifs présentant les débits les plus faibles de l'année. Le DCE(2) correspond à l'étiage de période de retour 2ans, encore appelé DCE moyen ou DCE médian. Si pour une année donnée le DCE observé est supérieur au DCE(2) alors l'étiage de l'année considérée est humide (DCEH), s'il est inférieur au DCE(2) alors l'étiage est considéré comme sec (DCES). De façon générale le DCE(T) correspond au DCE de période de retour T évalué en année sèche ou en année humide.

Décrue : décroissance du débit en régime influencé par une alimentation synchrone du réservoir. Les apports à l'aquifère sont inférieurs au débit mais non nuls. A distinguer du tarissement. Elle est figurée par la courbe de décrue.

ENSO (El Niño Southern Oscillation) : terme générique qui désigne les variations climatiques connues sous le nom d'Oscillation Australe et dont l'origine est le mouvement des eaux chaudes dans la bande équatoriale du Pacifique Ouest.

Etiage⁴ : niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau, en un point donné. Aussi utilisé, abusivement, dans le sens de "basses eaux".

Exutoire : Issue par laquelle s'écoule, de façon gravitaire, les eaux d'un cours d'eau, d'un lac, d'une nappe souterraine.

Hydrogramme : Représentation graphique de la chronologie des débits instantanés ou journaliers d'un cours d'eau

Inféoflux : écoulement à travers les alluvions du lit d'un cours d'eau ; cet écoulement peut exister même si le lit du cours d'eau est à sec

⁴ Dictionnaire français d'Hydrologie de Surface ([M.F. Roche, 1986](#))

Latérite : roche obtenue après altération de n'importe quel type de roche, mais seulement si le climat est aride sur une période prolongée. Cependant, il se forme autant de types de latérites qu'il y a de roches d'origine. Lors de l'altération, les minéraux de base les plus instables disparaissent, comme les feldspaths, et les ions les plus solubles s'échappent en solution. Les autres restent sur place en forment de nouvelles roches

Jaugeage : Ensemble des opérations, des mesures et des calculs destinés à déterminer le débit d'un cours d'eau, d'un canal, d'une conduite, d'une source en un point donné. Sur un cours d'eau, ce point est appelé "station de jaugeage".

Limnimétrie : mesures périodiques des variations du niveau des eaux.

Nappe d'eau souterraine : ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les particules sont en liaison hydraulique.

Nappe libre : une nappe libre est une nappe d'eau souterraine dont la surface est à la pression atmosphérique. Un aquifère libre comporte une surface libre au-dessus de laquelle se trouve une zone saturée : le niveau de l'eau dans un puits ou un forage est en dessous de la limite de l'aquifère. ces nappes sont souvent appelées communément nappes phréatiques, terme qui désigne les nappes peu profondes atteintes par les puits, qui ne sont pas nécessairement libres.

Nappe perchée : nappe libre, permanente ou temporaire, formée au dessus d'une zone non saturée, dans un aquifère perché et étagée au dessus d'une nappe libre d'extension plus générale.

Péridotites : roche essentiellement formée de péridots, minéraux dont le représentant commun est l'oxygène, silicate de fer et de magnésium. La péridotite est principalement composée d'olivine (qui lui donne sa couleur verte représentative), de pyroxène (minéraux noirs) et de l'amphibole (le blanc autour du vert). La péridotite est issue d'un refroidissement lent du magma. La péridotite peut devenir de la serpentinite, sous l'effet de la chaleur et d'une hydratation, c'est le métamorphisme hydrothermal. La péridotite peut devenir de l'éclogite sous l'effet d'un métamorphisme de haute pression. Les péridotites ont une structure grenue. Elles sont le principal constituant du manteau terrestre.

Perméabilité : aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de potentiel. Elle s'exprime quantitativement par la perméabilité intrinsèque et pour l'eau, par le coefficient de perméabilité (de **Darcy**) ou perméabilité pris en abrégé dans ce sens qualitatif. Elle s'exprime généralement en m/s.

Régime d'un cours d'eau : ensemble des conditions qui caractérisent les variations d'écoulement d'un cours d'eau; le régime du cours d'eau est lié au régime climatique et à la structure géologique de son bassin versant. On parle également de régime hydrologique.

Transmissivité : est égale au produit du coefficient de Darcy par la hauteur de l'aquifère.

Tarissement : décroissance du débit d'une source en régime non influencé, liée à la baisse des niveaux et à la diminution de réserve en période sans alimentation du réservoir, ou décroissance de l'écoulement souterrain d'un cours d'eau, dans les mêmes conditions. Elle est figurée par la courbe de tarissement.

Bibliographie

Caudmont, S., Maitrepierre, L., 2006, Atlas climatique de la Nouvelle-Calédonie, Météo France, 129 p.

Doitteau, C., 1994, Interprétation de la campagne de mesures de débits d'étiages 1993, Hydrex, 26 p.

Doitteau, C., 1997, Interprétation des campagnes de mesures de débits d'étiages 1992-1993-1994, Hydrex, 49 p.

Espirat, J.J., 1967, Etude hydrogéologique de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie, BRGM, 163 p.

Lubès, H., Masson, JM., Raous, P., Tapiau, M., 1994, Manuel de référence du logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie, ORSTOM

Moniod, F., Mlatac, N., 1968, Régimes hydrologiques de la Nouvelle-Calédonie Tome 1, ORSTOM, 145 p.

Moniod, F., Mlatac, N., 1968, Régimes hydrologiques de la Nouvelle-Calédonie Tome 2, ORSTOM, 295 p.

Perchat, C., 2003, Traitement et valorisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie, DAVAR, 45p.