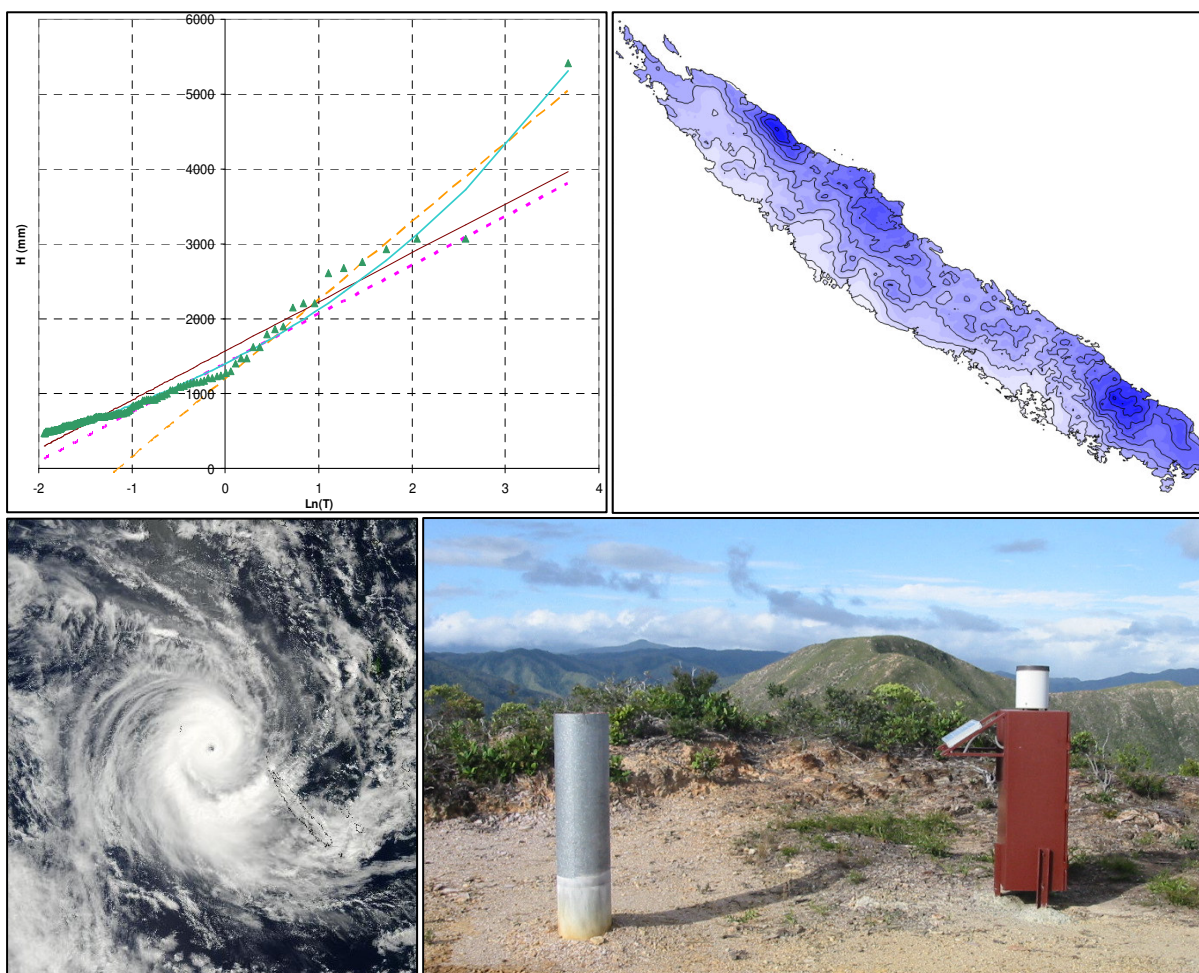




DIRECTION DES AFFAIRES VÉTÉRINAIRES ALIMENTAIRES ET RURALES
Service de l'eau des statistiques et études rurales
Observatoire de la ressource en eau

Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle Calédonie



Nicolas ROMIEUX
Novembre 2011

Sommaire

CONTEXTE ET REMERCIEMENT	4
INTRODUCTION.....	5
1) DONNEES BRUTES	7
1.1) DESCRIPTION DU RESEAU	7
1.2) CRITIQUE DES DONNEES	8
1.3) STATIONS DISPONIBLES	10
1.4) POURCENTAGE DE LACUNE DANS LA MESURE D'EVENTEMENTS EXTREMES	11
1.5) STATIONS DE SYNTHESE.....	11
2) VALORISATION DES DONNEES	13
2.1) PLUVIOMETRIE MOYENNE INTERANNUELLE (PA).....	13
2.1.1) Constitution des pluies journalières élaborées.....	13
2.1.2) Constitution des pluies mensuelles élaborées.....	14
2.1.3) Constitution des pluies annuelles élaborées.....	14
2.2) INTENSITES-DUREES-FREQUENCES (IDF)	14
2.2.1) Intensités maximums.....	14
2.2.2) Échantillonnage.....	15
2.2.3) Ajustement Maximum annuel	16
2.2.4) Ajustement Sup-Seuil.....	17
2.2.5) Correspondances entre les lois Sup-Seuil et Maximums annuels.....	17
2.2.6) Choix de l'ajustement.....	18
2.2.7) Relation Gradex/ P_0	24
2.2.8) Relation type Montana	25
3) METHODE D'INTERPOLATION SPATIALE.....	27
3.1) PRINCIPE	27
3.2) ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DU RELIEF	28
3.2.1) Choix du MNT et échantillonnage.....	28
3.2.2) Vecteurs propres.....	31
3.3) REGRESSION MULTIPLE	34
3.4) CARTOGRAPHIE.....	35
4) RESULTATS.....	36
4.1) PLUIE ANNUELLE.....	36
4.1.2) Système mono-modèle	36
4.1.3) Système multi-modèles	40
4.1.4) Analyse des résultats	46
4.2) PARAMETRES DE GUMBEL	50
4.2.1) P_0 24h	50
4.2.2) P_0 2h.....	56
4.2.3) P_0 1h.....	59
4.2.4) P_0 15 min	62
4.2.5) Synthèse des modèles.....	65
CONCLUSION.....	66
BIBLIOGRAPHIE.....	67
ANNEXES.....	69

Table des figures

Figure 1: Stations pluviométriques utilisées	7
Figure 2 Disponibilité des stations	10
Figure 3 Pourcentage de lacune des épisodes extrêmes	11
Figure 4 Ajustement automatique Ouayaguette durée=6min.....	18
Figure 5 Ajustements Pagou durée=2h	19
Figure 6 Ajustements Pagou durée=24h	20
Figure 7 Ajustement des pluies journalières maximums annuelles	21
Figure 8 Ajustement des intensités horaires maximums annuels.....	22
Figure 9 Comparaison des quantiles horaires régionaux en fonction des lois d'ajustement	23
Figure 10 Rapport Gd/P0 en fonction de la durée.....	25
Figure 11 Exemple P0 en fonction de la durée sur la station Tendo.....	26
Figure 12 Schéma de principe de la méthode de spatialisation.....	27
Figure 13 Sites échantillonnés sur la Grande Terre	29
Figure 14 MNT au pas de 500m.....	30
Figure 15 Valeurs propres issues de l'ACP	31
Figure 16 Vecteurs propres issus de l'ACP; taille de fenêtre 40km (d'après Perchat, 2003).....	31
Figure 17 Première composante	32
Figure 18 Deuxième composante	32
Figure 19 Troisième composante	33
Figure 20 Superposition des champs.....	35
Figure 21 Pluie annuelle en fonction de la distance à la côte Est	36
Figure 22 Pluie annuelle en fonction de la première composante.....	37
Figure 23 Pluie annuelle en fonction de la troisième composante.....	37
Figure 24 Pluie annuelle en fonction de l'altitude	38
Figure 25 Influence des paramètres sur PA(1/10mm)	38
Figure 26 PA estimée/observée mono-modèle.....	39
Figure 27 Mono-modèle : carte des résidus (PAobs - PArege)	39
Figure 28 PA estimée/observée modèle Central	41
Figure 29 PA estimée/observée modèle Sud.....	42
Figure 30 PA estimée/observée modèle Nord.....	43
Figure 31 Découpe de la grande Terre en 3 modèles et 2 zones de transition	44
Figure 32 Multi-modèle : carte des résidus (PAobs - PArege)	46
Figure 33 PA estimée/observée multi-modèles.....	47
Figure 34 Comparaison du nouveau modèle avec l'ancien (Perchat 2003) par soustraction	49
Figure 35 Paramètre de position en fonction de la pluie annuelle	50
Figure 36 P _{0_24h} estimé/observé	51
Figure 37 P _{0_24h} : carte des résidus (P _{0obs} - P _{0reg}).....	51
Figure 38 Influence des paramètres sur P _{0_24h} (1/10mm)	52
Figure 39 Somme pondérée des composantes C1 et C2	53
Figure 40 P _{0_24h} estimé/observé validation	54
Figure 41 P _{0_2h} estimé/observé	56
Figure 42 Influence des paramètres sur P _{0_2h} (1/10mm)	57
Figure 43 P _{0_1h} estimé/observé	59
Figure 44 Influence des paramètres sur P _{0_1h} (1/10mm)	60
Figure 45 P _{0_15min} estimé/observé.....	62
Figure 46 P _{0_15min} en fonction de P _{0_1h}	63
Figure 47 Schéma de synthèse des modèles utilisés	65

Table des tableaux

Tableau 1 Régression linéaire nouveau/ancien totalisateur	12
Tableau 2 critère d'indépendance des épisodes	14
Tableau 3 Pourcentage d'erreur des quantiles journaliers régionaux	21
Tableau 4 Evénements journaliers maximums.....	21
Tableau 5 Evénements horaires maximums.....	22
Tableau 6 Pourcentage d'erreur des quantiles horaires	23
Tableau 7 Quantiles régionaux centrés-réduits	23
Tableau 8 Modèle PA partie centrale	40
Tableau 9 Modèle PA partie sud	41
Tableau 10 Modèle PA partie nord	43
Tableau 11 Modèle P_0 _24h	50
Tableau 12 Modèle P_0 _2h	56
Tableau 13 Modèle P_0 _1h	59

Table des cartes

Carte 1 Moyenne interannuelle des précipitations sur la période 1989-2009.....	48
Carte 2 Paramètres de Gumbel pour une durée de 24h.....	55
Carte 3 Paramètres de Gumbel pour une durée de 2h.....	59
Carte 4 Paramètres de Gumbel pour une durée de 1h.....	61
Carte 5 Paramètres de Gumbel pour une durée de 15min.....	64
Carte 6 Quantiles de durée 15min et période de retour 10ans.....	77
Carte 7 Quantiles de durée 15min et période de retour 100ans.....	78
Carte 8 Quantiles de durée 1h et période de retour 10ans.....	79
Carte 9 Quantiles de durée 1h et période de retour 100ans.....	80
Carte 10 Quantiles de durée 2h et période de retour 2ans.....	81

Table des annexes

Annexe 1 Paramètre de position P_0	70
Annexe 2 Gradex Gd.....	71
Annexe 3 R^2 des ajustements automatiques	72
Annexe 4 Paramètres loi puissance de P_0 (cf 2.2.8).....	73
Annexe 5 Calcul d'un quantile, exemple d'application	73
Annexe 6 Gd/ P_0	74

Contexte et remerciement

La connaissance des régimes pluviométriques est essentielle dans de nombreux domaines tels que l'agriculture, l'industrie, la mine ou l'aménagement de territoire. En Nouvelle-Calédonie avec le développement du tourisme, l'industrie du nickel et l'expansion démographique, il est nécessaire de contrôler la ressource en eau et de savoir prévoir les risques hydrologiques. Pour cela, il est important de connaître la répartition spatiale des pluies ainsi que les occurrences et intensités des événements extrêmes.

Cette étude a été réalisée à la DAVAR (direction des affaires vétérinaires, alimentaires et rurales), service SESER (service de l'eau, des statistiques et des études rurales), pôle ORE (observatoire de la ressource en eau), qui gère un réseau de stations pluviométriques réparties sur tout le territoire et en exploite et valorise les données.

Tout d'abord je remercie Christian Desoutter (directeur de la DAVAR), Xavier Talem (chef du SESER) et Valérie Gentien (chef du pôle ORE) qui en m'accueillant, m'ont permis de réaliser ce travail dans de très bonnes conditions.

Je suis très reconnaissant envers Geoffroy Wotling (chef de la section études et mesures de la ressource en eau) dont les directives, les conseils avisés, la rigueur et la sympathie m'ont grandement aidé à réaliser cette étude.

Je remercie également Météo-France et plus particulièrement Alexandre Peltier (responsable de la division climatologie) d'avoir collaborer en nous fournissant les données nécessaires et en me faisant part de ses conseils et remarques concernant cette étude.

Merci à Pearl Winchester (ingénieur responsable base de données) pour son assistance en SIG, à Paul Nguyen (ingénieur données hydro) pour son aide à la compréhension du fonctionnement du réseau et à Jean-Michel Mir (ingénieur informatique) pour ses conseils en codage VBA.

Merci à Nordan Bernast (responsable des mesures) et à son équipe de terrain qui m'ont accompagné lors des sorties terrain avec beaucoup d'amicalité.

Enfin je remercie l'ensemble de mes collègues de la DAVAR qui ont fait que ce travail se fasse dans la bonne humeur et la convivialité.

Introduction

Cette étude constitue une synthèse des données pluviométriques sur l'ensemble de la Grande Terre.

L'objectif est d'actualiser la cartographie des isohyètes interannuels établit par Perchat (2003) grâce à 10 années de mesures supplémentaires, c'est-à-dire sur 20 ans (1990-2009). Ce volume de données apparaît à présent suffisant pour tenter également une première caractérisation des régimes d'averses en calculant et en régionalisant les paramètres des Intensité Durée Fréquence (IDF) en tout point de la Grande Terre pour diverses durées.

La spatialisation consiste à interpoler spatialement les données ponctuelles et hétérogènes du réseau pluviométrique afin de représenter ces données sur l'ensemble de la grande Terre. Etant donnée le contexte climatique et géographique rappelé ci-dessous, la prise en compte du relief est indispensable.

Contexte climatique (Perchat 2003)

La Nouvelle-Calédonie est située dans la zone intertropicale, juste au nord du tropique du Capricorne. Très isolée géographiquement et soumise au courant des alizés, elle bénéficie d'un climat relativement tempéré, que l'on peut qualifier de "tropical océanique".

La variation annuelle de la position de la ceinture anticyclonique subtropicale et des basses pressions intertropicales détermine deux saisons principales séparées par deux intersaisons :

- De novembre à avril : c'est la saison chaude et humide, dite "saison des cyclones".
- D'avril à mai : c'est une saison de transition, où les perturbations tropicales sont rares ou peu actives.
- De mai à septembre : c'est la saison fraîche, où des perturbations d'origine polaire peuvent atteindre le territoire et provoquer des "coups d'Ouest".
- De septembre à novembre : c'est la saison sèche durant laquelle l'alizé souffle en quasi permanence.

La pluviogénèse est essentiellement liée à l'activité de la zone de convergence du Pacifique Sud (ZCPS). La convection se trouve accentuée par effet orographique lorsque les flux d'alizé de Sud-Est rencontrent les massifs montagneux.

Le climat est également soumis au phénomène ENSO « El Niño Southern Oscillation ». Il s'agit d'une interaction entre la dynamique océanique et atmosphérique qui se manifeste tous les 3 ou 4 ans suivant deux phases, El Nino puis la Nina. ENSO perturbe la configuration habituelle des précipitations ainsi que la circulation atmosphérique aux latitudes tropicales. En Nouvelle-Calédonie, les précipitations ont tendance à diminuer durant El Nino et à augmenter durant La Nina.

Géomorphologie

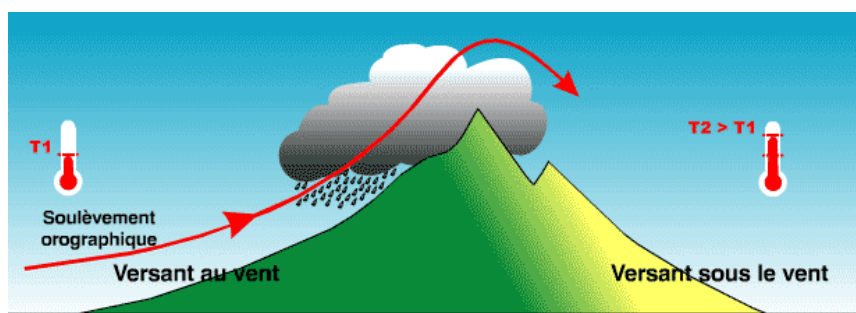
La Grande Terre présente une géomorphologie particulière. Etendue du sud-est au nord-ouest sur environ 400km de long et 50km de large, la Grande Terre développe sur pratiquement toute sa

longueur un axe montagneux (Chaîne Centrale) dominé au nord par le mont Panié (1 628 m) et au sud par le mont Humboldt (1 618 m). Si à l'est, la Chaîne Centrale se termine par des versants raides tombants directement dans la mer et très exposés aux alizés, à l'ouest elle est bordée par des plaines, collines et petits plateaux protégés des vents dominants. Le sud est caractérisé par un plateau.

La pluviométrie de la Grande Terre varie beaucoup en fonction de ce relief et de l'exposition au vent. En effet, la pluviométrie est la plus importante dans les montagnes à l'Est et dans le Sud.

Effet orographique

La répartition des précipitations est fortement influencée par le relief. En effet, lorsqu'un courant aérien rencontre un relief suffisamment large, une partie au moins de la masse d'air transportée par le vent ne peut contourner l'obstacle que lui oppose le relief mais franchit cet obstacle en subissant un soulèvement orographique. Alors, en amont du relief, les parcelles d'air sont soumises à une détente et se refroidissent. Si la température atteint celle du point de condensation (à un niveau déterminé de pression et donc d'altitude) des nuages se forment, pouvant ainsi générer des précipitations. Puis, une fois franchis les sommets, l'air subit au contraire, en aval du relief, une compression qui le réchauffe, il s'agit de l'effet « foehn ». La condensation et éventuellement les précipitations par lesquelles est passé cet air bloquent ou éliminent une part importante de son humidité. Ainsi le vent soufflant sur le flanc situé en aval du relief est réchauffé et asséché par rapport au courant qui approchait le relief en amont.



La côte Est située sur le versant au vent de la chaîne centrale et exposée à des masses d'air humides provenant de la mer, issues du flux d'alizé de Sud-Est, est donc particulièrement sensible à ce phénomène.

La prise en compte de l'orographie est donc primordiale dans la spatialisation, c'est pourquoi l'interpolation des pluies sera réalisée en tenant compte des composantes principales du relief issues d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain) suivant une méthode qui a déjà fait ses preuves lors de la régionalisation des moyennes pluviométriques interannuelles 1991-2001 (Perchat, 2003).

1) Données brutes

1.1) Description du réseau

L'Observatoire de la Ressource en Eau (ORE) gère un réseau d'observation hydro pluviométrique hérité dans les années 90 de l'IRD (ex_ORSTOM). Ce réseau représente 76 stations réparties sur l'ensemble de la Grande Terre dont 68 sont toujours actives. Chacune de ces stations regroupe un pluviographe automatique, ainsi qu'un pluviomètre totalisateur.

Parallèlement à cela, Météo France dispose d'un réseau de mesure disséminé sur toute la Nouvelle-Calédonie. Ce réseau qui comprend à la fois des stations automatiques et manuelles, fonctionne maintenant depuis plusieurs décennies. Il comporte 133 stations (dont 85 pluviographes) réparties à la fois sur la Grande Terre et sur les différentes îles.

Les stations utilisées pour cette étude sont celles ayant au moins 10 ans de mesures effectives sur la période 1979-2009 soit 129 stations (49 stations DAVAR et 80 stations Météo-France). Celles utilisées pour la caractérisation des paramètres IDF sont uniquement les 49 stations DAVAR. Néanmoins 45 stations Météo-France, dont les paramètres de Gumbel sont connus pour les pluies journalières, ont été utilisées pour valider le modèle IDF des pluies 24h.

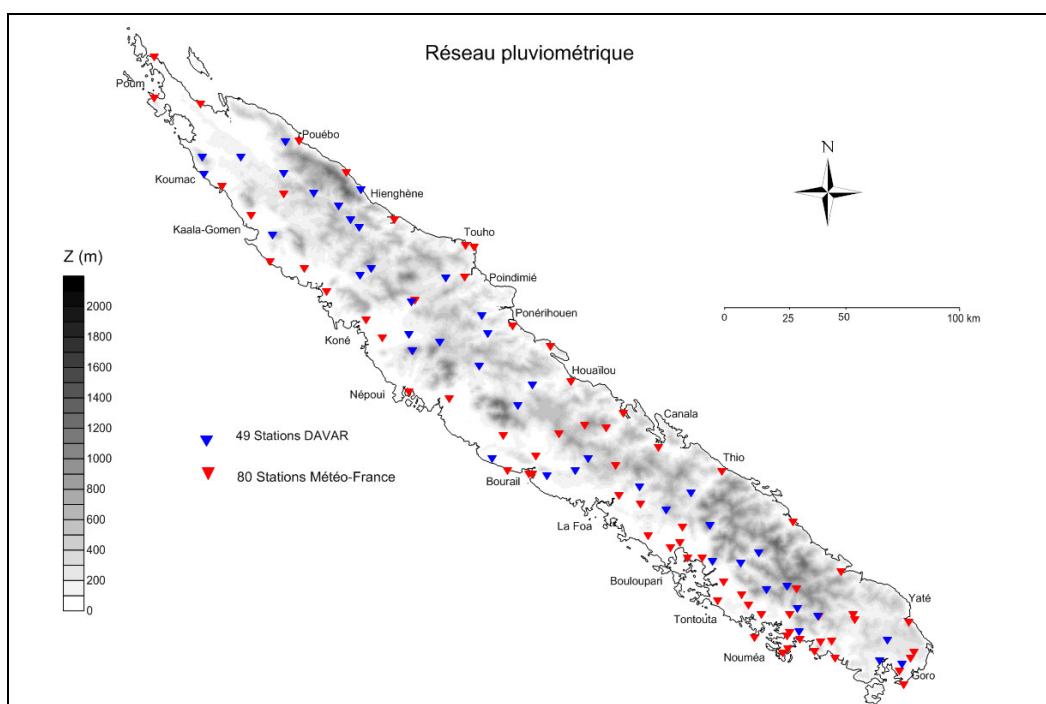


Figure 1: Stations pluviométriques utilisées

On peut remarquer la relative complémentarité des deux réseaux de mesure : Météo France dispose essentiellement de stations en région côtière et en plaine, tandis que beaucoup des stations DAVAR sont présentes dans les vallées et sur les crêtes de la chaîne centrale. Cependant, il reste encore certaines régions comme la zone Sud – Est, où le réseau est faiblement pourvu. La répartition des différents postes est donc plutôt hétérogène.

Cette étude ne prend pas en compte les différentes îles, sur lesquelles l'ORE ne dispose d'aucun poste.

Chaque station DAVAR dispose d'un pluviographe automatique et d'un pluviomètre totalisateur. Chaque pluviographe est constitué d'un collecteur de 400 cm² en forme d'entonnoir qui dirige la pluie vers un basculeur à augets de contenance 2 cl chacun, soit un basculement tous les 0.5mm de pluie tombée. La date de basculement est enregistrée à la seconde près par un enregistreur de type Martec ou Alpluie.

Le pluviomètre totalisateur est un cylindre métallique de 2m de hauteur présentant également une section de l'ordre de 400 cm², un filet d'huile y est introduit pour empêcher l'évaporation de l'eau. Il est très utile pour vérifier la cohérence des enregistrements du pluviographe et en cas de dysfonctionnement de ce dernier, il permet de combler les lacunes par des pluies cumulées brutes ou dégroupées.



station pluviométrique de Haut-Coulna



basculeur à augets (Ouayaguette)

Jusque dans les années 70 les pluies étaient relevées manuellement et quotidiennement par des lecteurs c'est pourquoi certaines stations contiennent des données de pluie journalière sur une grande période, certaines commençant même dans les années 50.

De 1970 à 1990 les stations étaient munies d'enregistreurs papiers qui connurent beaucoup de déboires en raison de l'humidité ambiante et des difficultés d'entretien réguliers. A partir du milieu des années 80, les enregistreurs numériques (de type ŒDIPE) ont fait leur apparition et ont considérablement fiabilisé la collecte des données pluviométriques.

1.2) Critique des données

La mesure de pluie est potentiellement biaisée par de nombreux paramètres ; effet de site (environnement immédiat du capteur, exposition au vent et aux turbulences), dysfonctionnement du capteur (bouchage, calibrage des augets,...) ou de l'enregistreur (dérive, panne, défaut d'alimentation,...). C'est pourquoi il est nécessaire de critiquer les données issues des enregistreurs qui peuvent parfois être faussées. Les outils permettant de détecter ces erreurs sont les suivants (cf. Perchat 2003) :

- Le graphique des pluies en fonction du temps : $P = f(t)$

L'outil permettant de tracer l'évolution du cumul ou des intensités de précipitations en fonction du temps est fort utile pour critiquer les données.

En regardant précisément les enregistrements, on va pouvoir se rendre compte de certaines aberrations. Par exemple, dans le cas d'un bouchage, on va remarquer des pentes anormalement régulières dues au vidage progressif de l'entonnoir du capteur dans les augets. On peut également repérer sur le graphique des passages anormaux sans aucune précipitation durant une longue période, ou au contraire des augmentations très rapides dues au brusque vidage de l'entonnoir.

➤ Le double cumul

Il s'agit d'une méthode graphique permettant de détecter les éventuelles irrégularités dans les relevés d'une station. Elle consiste à tracer les valeurs cumulées mesurées par un pluviographe, en fonction de celles mesurées par le totalisateur associé. La présence de points d'inflexion sur la courbe des doubles cumuls va alors mettre en évidence les périodes de non adéquation.

➤ Les comparaisons inter-postes

Pour comparer deux appareils postes voisins, on peut effectuer des doubles cumuls ou des régressions linéaires à différentes échelles de temps (J,M,A) . Ce type d'opération peut offrir des résultats intéressants :

- la pente de la droite de régression donne une idée du coefficient de proportionnalité existant entre les deux appareils
- le coefficient de corrélation R^2 permet de hiérarchiser les postes à utiliser en comparaison en déterminant à quel point deux appareils sont « liés »
- les « outliers » (point aberrants) permettent de repérer des mesures problématiques

➤ L'étude des intensités maximales

Une autre méthode permettant d'épurer les données pluviométriques de certaines valeurs aberrantes consiste à calculer pour chacune des stations les intensités maximales à différents pas de temps. Les intensités jugées trop importantes devront être alors soigneusement vérifiées afin de déterminer s'il y a eu dysfonctionnement.

Les erreurs peuvent apparaître durant la mesure, la transmission, le stockage et le traitement des informations. Elles peuvent être systématiques ou aléatoires :

Les erreurs systématiques sont liées à des problèmes d'instrumentation ou à l'implantation de l'appareil sur le site : dérive de l'horloge interne, interférences magnétiques, inclinaison du pluviographe, site sous le vent... Des erreurs de calibration des augets peuvent également entraîner des erreurs systématiques entre deux passages des agents de terrain.

Les erreurs aléatoires sont des erreurs accidentelles, causées par des événements ponctuels : bouchages, pannes, vandalisme...

Si les erreurs systématiques sont assez bien maîtrisées et peuvent être corrigées en fonction de l'écart, les erreurs accidentelles font souvent l'objet d'une mise en lacune.

1.3) Stations disponibles

La base de données contient donc malheureusement de nombreuses lacunes et des périodes d'observation hétérogènes entre les différentes stations.

Afin de choisir la bonne période de mesures, en particulier la date initiale de la base de données qui va être utilisée dans la régionalisation, il est important d'avoir **suffisamment de stations disponibles** (sans lacune) pendant cette période.

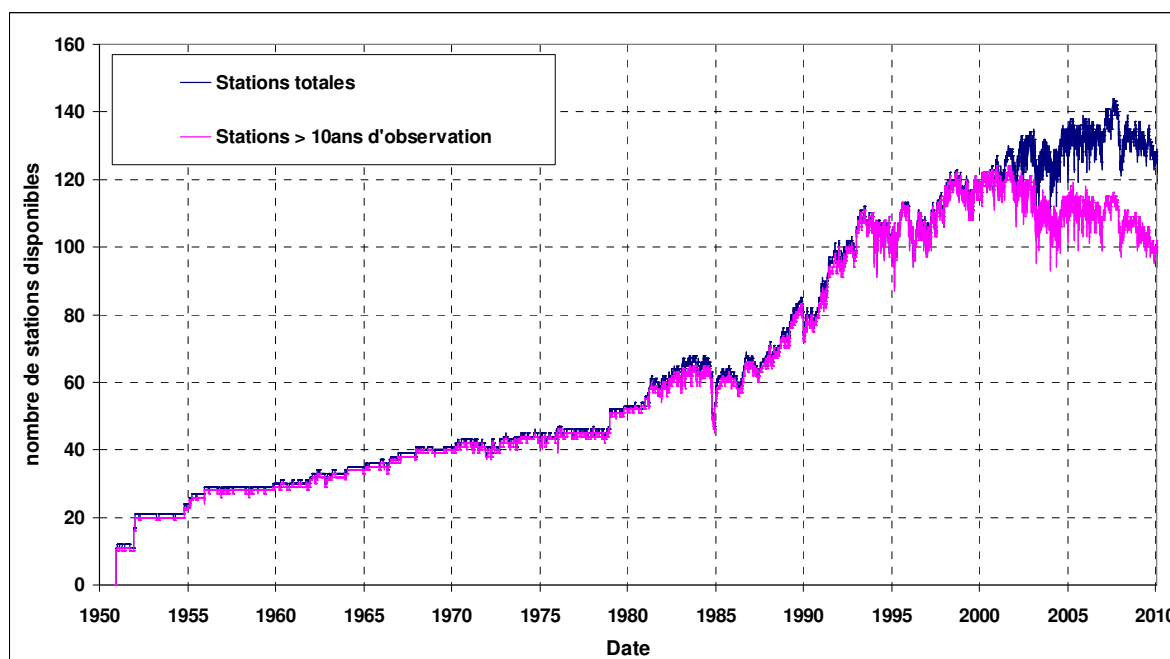


Figure 2 Disponibilité des stations

Le graphique représente le nombre de stations disponibles en fonction du temps. La courbe bleue représente le nombre de stations disponibles parmi celles de l'ensemble de la grande terre. La rose représente uniquement celles supérieures à 10 ans. Les stations les plus récentes (durée d'observation inférieure à 10 ans) sont donc également représentées par la courbe bleue. Ceci explique la différence entre les deux courbes à partir de 2000.

Il apparaît une fréquence d'oscillation qui augmente avec le temps. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'avant les années 80 la quasi-totalité des stations étaient des pluviomètres relevés chaque jour par un lecteur. Les lacunes étaient donc moins nombreuses et moins ponctuelles. Avec l'installation des pluviographes, les pluies journalières sont calculées par cumul et les lacunes sont plus variables, ce qui explique les variations brutales à partir de 1990.

La courbe rose atteint un palier d'environ 110 stations à partir de 1993. Cela signifie qu'à partir de 1993, en moyenne 85% des stations sont disponibles chaque jour. La date initiale choisie sera néanmoins 1990 afin de disposer de 20 ans de données. Soit le 01/11/1989 pour le début de l'année hydrologique 1990.

Afin de disposer de séries complètes nécessaires à l'évaluation des cumuls interannuels en limitant les biais liés aux lacunes, les pluies manquantes sont estimées par dégroupage des cumuls de pluies mesurées avec les totalisateurs ou à défaut par corrélation avec d'autres stations (méthode détaillée § 2.1), nous avons ainsi constitué une matrice des pluies élaborées aux pas de temps journaliers, mensuels et annuels.

1.4) Pourcentage de lacune dans la mesure d'événements extrêmes

Afin d'évaluer la fiabilité des stations à mesurer les événements extrêmes et à définir les IDF (Intensité-Durée-Fréquence), un coefficient de lacune est calculé. Celui-ci se base sur les pluies journalières extrêmes de la période 1979/2009. En effet, sur ces 30 années, les dates des 30 événements les plus extrêmes (basés sur la moyenne des pluies journalières sur l'ensemble des stations sur 3 jours) sont extraites. Ainsi pour ces dates, le pourcentage de lacune est calculé (les lacunes dues à l'inexistence ou l'arrêt de la station ne sont bien sûr pas prises en compte)

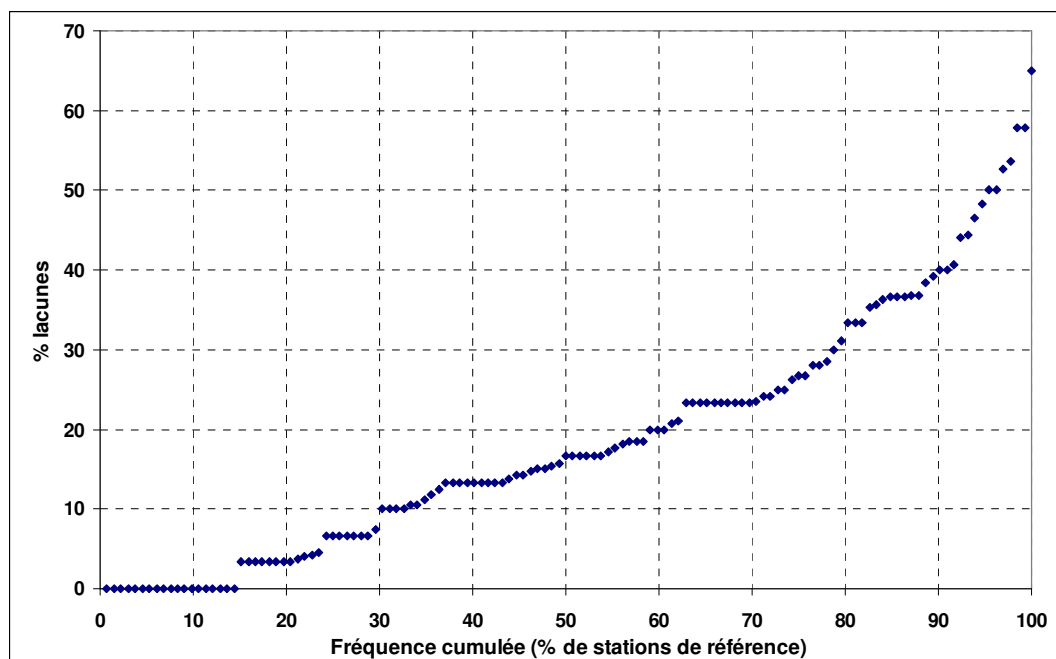


Figure 3 Pourcentage de lacune des épisodes extrêmes

Le graphique ci-dessus montre le pourcentage de lacunes par rapport au pourcentage des stations utilisées. Il apparaît que 80% des stations ont moins de 30% de lacunes sur les épisodes extrêmes, et 30% des stations ont moins de 10 % de lacune.

Sur chaque station un indice de qualité d'échantillonnage des épisodes extrêmes a ainsi pu être déterminé. Ce pourcentage de lacune est basé sur les 30 événements les plus extrêmes et non sur l'ensemble des durées d'observation.

1.5) Stations de synthèse

Pendant ces trente années de mesures certaines stations ont dû être légèrement déplacées pour palier à des biais liés à des effets de sites ou pour des raisons de changement d'occupation des sols. Afin de regrouper les données correspondant aux anciennes et nouvelles stations, des stations de synthèse ont été créées. Pour cela, les données des totalisateurs (non-démontés) sont comparées afin de vérifier si la pluviométrie entre les deux stations est semblable ou proportionnelle. Ensuite, les données sont fusionnées avec s'il le faut un coefficient de correction appliqué à la station ayant la période d'observation la plus courte.

Ainsi la station Mandjelia a été déplacée de 190m vers le sud ouest, Ouazango de 650m vers le sud-est, Kopeto de 1170m vers le sud ouest, Port boisé de 430m vers l'ouest et Pombei de 113m vers le nord.

Il n'y a pas de période commune entre les nouveaux et anciens totalisateurs des stations Pombei et Ouazango. Les données sont donc regroupées sans ajustement.

Pour les autres stations les données de chaque nouveau totalisateur sont tracées en fonction de celles de l'ancien et une régression linéaire est réalisée afin de définir la correction à attribuer aux données. Le tableau suivant donne pour chacune de ces stations le coefficient directeur, le coefficient de détermination R^2 et le nombre de valeurs correspondant à la régression.

ancienne station	nouvelle station	coefficient directeur	R^2	nombre de valeurs commune
Mandjelia	Mandjelia_col	1.269	0.84	7
PortBoisé_TV	PortBoisé_col	1.577	0.81	74
Kopéto	Kopéto_m2	1.02	0.97	28
Ouazango_m1	Ouazango_m2			0
Pombei_tiwaka	Pombei_amont			0

Tableau 1 Régression linéaire nouveau/ancien totalisateur

Bien que l'ancienne station Mandjelia_col ait une durée d'observation supérieure de 10 ans à la nouvelle, ce sont les données de l'ancienne station qui seront ajustées à la nouvelle en les multipliant par 1.269. En effet, en raison d'un emplacement très au vent sur la crête de l'ancienne station, la nouvelle station a été déplacée légèrement vers la vallée du Diahot.

La différence importante de pluviométrie (~27%) entre les deux stations peut donc s'expliquer par la position au vent de l'ancienne station qui de toute évidence sous-estimait les hauteurs précipitées. La station actuelle étant plus fiable, nous considérons les données actuelles comme plus proche de la pluviométrie réelle à cet endroit et servira donc de référence.

De même les données de PortBoisé TV (ancienne station), dont l'emplacement était trop exposé aux turbulences, sont multipliées par le coefficient directeur ($K \sim 1.577$). La station de synthèse réalisée avec ajustement a donc comme station de référence Portboisé_Col qui a la durée d'observation la plus grande.

Les données de Kopéto sont regroupées sans ajustement en raison d'un coefficient directeur très proche de 1.

2) Valorisation des données

2.1) Pluviométrie moyenne interannuelle (PA)

La moyenne pluviométrique interannuelle est issue de l'échantillon des pluies annuelles élaborées. En effet afin de pallier les lacunes, les pluies sont élaborées à partir de stations de référence dont les pluies présentent les meilleures corrélations. Ainsi les pluies élaborées journalières (PJE), mensuelles (PME) et annuelles (PAE) sont définies avec la méthode suivante (tiré de Perchat 2003) :

2.1.1) Constitution des pluies journalières élaborées

Dégroupage des cumuls

Cette méthode utilise les cumuls de pluie mesurés pendant la période de lacune. Le pluviomètre totalisateur est donc utilisé. Celui-ci étant situé juste à côté du pluviographe, il va constituer la source de données préférentielle pour combler les lacunes. L'estimation des pluies journalières est donc réalisée à l'aide d'observations réelles au poste considéré.

Un dégroupage de ces valeurs est réalisé, c'est-à-dire que le cumul de pluie est réparti sur l'ensemble de la période de lacune. Pour ce faire, la station la mieux corrélée dont on connaît la pluie sur toute la période servira de référence. Ainsi pour chacun des jours le pourcentage de pluie tombée est calculé. Ces pourcentages vont être ensuite appliqués au cumul total mesuré par le totalisateur :

$$P_{j,x} = \frac{P_{j,\alpha}}{P_{T,\alpha}} * P_{T,x}$$

Avec

- x, la station sur laquelle on souhaite calculer les PJE ;
- α , la station la mieux corrélée avec x
- T, la période de lacune
- $P_{j,x}$ la pluie du jour j pour la station x
- $P_{T,x}$ la pluie cumulée sur la période T pour la station x

Régression

Si les données fournies par le totalisateur sur la période de lacune sont inexploitable, la pluie journalière est estimée par régression en se basant sur la station la mieux corrélée ayant une donnée valide pour le jour considéré. Un coefficient calculé par régression entre les 2 stations sur toute la période 1990-2002, est ensuite appliqué à chacun des jours.

$$P_{j,x} = C_{\alpha,x} * P_{j,\alpha}$$

Avec $C_{\alpha,x}$ coefficient de proportionnalité entre les stations x et α déterminé par régression linéaire.

2.1.2) Constitution des pluies mensuelles élaborées

Pour déterminer les pluies mensuelles élaborées, le fichier des pluies journalières élaborées est utilisé.

Dans un premier temps, le nombre de jours où la pluie a été déterminée est estimé pour chacun des mois. Si ce nombre est inférieur à 20, ce qui signifie que la pluie a été véritablement mesurée sur plus des deux tiers du mois, les PJE vont simplement être cumulées.

Si par contre le mois comportait plus de 20 jours de lacunes, le cumul sur ce mois sera estimé par régression mensuelle. Comme précédemment, le cumul mensuel de la station la mieux corrélée sera donc utilisé et multiplié par le coefficient de proportionnalité obtenu par régression.

2.1.3) Constitution des pluies annuelles élaborées

Les pluies annuelles sont élaborées de la manière suivante :

Si, sur un an, il y avait moins de 8 mois de lacunes et également moins de 3 mois de lacunes sur les 4 mois les plus pluvieux (décembre à mars), le cumul correspondant à cette année sera calculé en additionnant les valeurs des pluies mensuelles élaborées.

Dans le cas contraire (plus de 8 mois de lacunes sur l'année, ou 3 mois de lacunes sur les 4 mois les plus pluvieux), des régressions annuelles seront utilisées.

2.2) Intensités-Durées-Fréquences (IDF)

2.2.1) Intensités maximums

Les intensités maximums sont calculées sur plusieurs intervalles de temps ou durées (d). Les intensités correspondent aux cumuls de pluie maximum sur ces durées. Afin d'assurer le critère d'indépendance entre les événements échantillonnés et donc d'éviter d'utiliser deux fois des cumuls provenant du même épisode, un critère de séparation des averses est défini. Celui-ci est volumique (volume minimum de pluie séparant deux averses) et temporel, c'est-à-dire l'intervalle minimum de temps Δt séparant deux averses (deux intensités sont donc considérées provenir du même épisode si le temps écoulé entre-elles est inférieur à Δt)

Dans cette étude, le critère de séparation utilisé est essentiellement temporel. Seul pour 4jours (5760min), un cumul de 1 mm sur 24h (1440min) est toléré pour séparer les épisodes, pour les autres durées le cumul doit être nul sur la durée indiquée par le temps de séparation. Le tableau suivant montre les durées pour lesquelles les intensités maximums ont été calculées ainsi que leurs durées de séparation correspondantes :

Durée (min)	6	15	30	60	90	120	360	1440	2880	5760
Temps de séparation (min)	6	12	30	60	120	120	120	720	720	1440
Volume de séparation (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tableau 2 critère d'indépendance des épisodes

2.2.2) Échantillonnage

Afin de caractériser les IDF, deux méthodes d'échantillonnage sont utilisées :

- La première est basée sur un échantillon constitué des **maximums annuels** c'est à dire l'intensité maximum de chaque année hydrologique.
- La deuxième est la méthode **sup-seuil** qui est basée sur les intensités dépassant un certain seuil caractérisé par l'intensité la plus faible d'une série de k individus tel que :

$$k = \lambda * N_a \quad \text{avec } \lambda \text{ paramètre de Poisson}$$

N_a nombre d'années d'observations

La méthode du renouvellement (Lang et al., 1997) permet d'établir une correspondance entre un ajustement sur des valeurs sup-seuil (série tronquée) et celui réalisé sur un échantillon de type maximums annuels.

Il a été montré (Cunnane 1973, Lang et al., 1997) que l'échantillonnage sup-seuil était susceptible d'améliorer sensiblement la robustesse des ajustements. Cunnane (1973) montre, par exemple, que la variance d'échantillonnage des quantiles est moindre, par rapport à un échantillonnage de type maximum annuel, dès que le nombre d'individus supérieur au seuil dépasse 1,65 N_a. Il apparaît également que les biais liés à l'existence d'années sèches et humides sont minimisés. Dans la présente étude nous avons choisi $\lambda = 7$.

Ainsi pour un échantillon correspondant à 10 ans de mesure effective le seuil sera égal à l'intensité du 70^{ème} événement et l'échantillon utilisé sera donc constitué des 70 plus grandes intensités.

Les intensités maximums sont triées et une fréquence empirique leur est associée. Les lois statistiques sont ensuite ajustées en fonction de cette fréquence empirique.

Le choix de la méthode de calcul de la fréquence empirique s'est porté sur la relation de Hazen qui s'est montré la plus pertinente en terme de minimum de variance des ajustements bien que les différences soient minimales avec les autres approches (Weibul par ex.) .

La relation de Hazen est la suivante :

$$F = (i - 0.5) / n \quad \text{avec } F \text{ fréquence empirique du } i^{\text{ème}} \text{ individu}$$

n effectif

2.2.3) Ajustement Maximum annuel

Les maximums annuels sont modélisés par la **Loi des extrêmes généralisée (GEV, Generalized Extreme Value)** :

$$F(X) = \exp \left(- \left[1 - c \frac{X - a}{b} \right]^{\frac{1}{c}} \right) \quad \text{avec } \begin{array}{l} X \text{ valeur annuelle} \\ a, b, c \text{ paramètres de Jenkinson (GEV)} \end{array}$$

Les quantiles se déduisent alors de la relation suivante :

$$X_p(T) = \frac{b}{c} \left\{ 1 - \left[-\ln F(x) \right]^c \right\} + a$$

avec $X_p(T)$ quantile de période retour T

$$X_p(T) = \frac{b}{c} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^c \right\} + a$$

Pour de grandes périodes de retour ($T > 10$ ans) et si c tend vers 0, on démontre mathématiquement que la relation tend vers une **loi de Gumbel** tel que $G_d = b$ et $P_0 = a$.

La loi de Gumbel est fréquemment utilisée en hydrologie pour décrire les phénomènes extrêmes annuels. Cette loi se prête particulièrement bien à la modélisation des pluies de grandes périodes de retour. Elle est à la base de la méthode du gradient exponentiel ou GRADEX (Guillot et Duband 1967) fréquemment utilisé en hydrologie pour définir les crues de projet extrêmes.

La fonction de distribution de la loi de Gumbel est la suivante :

$$F(X) = \exp \left[- \exp^{- (X - P_0)/G_d} \right] \quad \text{avec } \begin{array}{l} X \text{ valeur annuelle} \\ P_0 \text{ paramètre de position} \\ G_d \text{ Gradex} \end{array}$$

Les quantiles se déduisent alors de la relation suivante :

$$\begin{aligned} X_p(T) &= - G_d \ln \left[-\ln(F(x)) \right] + P_0 \\ &= - G_d \ln \left[-\ln(1 - 1/T) \right] + P_0 \end{aligned} \quad \text{avec } X_p(T) \text{ quantile de période retour T}$$

Les paramètres G_d et P_0 sont alors facilement estimés en traçant les intensités maximums en fonction de la variable réduite de Gumbel ($u = -\ln(-\ln(1 - 1/T))$) et en ajustant une droite de coefficient directeur G_d et d'ordonnée à l'origine P_0 .

2.2.4) Ajustement Sup-Seuil

La série sup-seuil est une série tronquée car elle est obtenue en sélectionnant, dans la série complète des événements indépendants, toutes les valeurs supérieures à un seuil.

Les séries tronquées peuvent être modélisées par une **loi de Pareto généralisée (GPD, Generalised Pareto Distribution)** :

$$F(X_s) = 1 - \left[1 - c \frac{(X_s - a)}{b} \right]^{1/c} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} X_s \text{ valeur sup-seuil} \\ a, b, c \text{ paramètres de Pareto (GPD)} \end{array}$$

Les quantiles se déduisent alors de la relation suivante :

$$Xp(T) = \frac{b}{c} \left\{ 1 - [1 - F(x)]^c \right\} + a \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} F(x) \text{ probabilité de dépassement de } Xp \text{ dans la} \\ \text{série tronquée} \end{array}$$

Si c tend vers 0, la relation tend vers une loi Exponentielle tel que $G_d = b$ et $S_0 = a$

En effet, les séries tronquées sont souvent modélisées par une **loi exponentielle** qui s'écrit :

$$F(X_s) = 1 - \exp^{-(X_s - S_0)/G_d} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} X_s \text{ valeur sup-seuil} \\ S_0 \text{ seuil sélectionné} \\ G_d \text{ Gradex} \end{array}$$

Les quantiles se déduisent alors de la relation suivante (base non-annuelle) :

$$Xp = -G_d \cdot \ln [1 - F(x)] + S_0 \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} F(x) \text{ probabilité de dépassement de } Xp \text{ dans la} \\ \text{série tronquée} \end{array}$$

2.2.5) Correspondances entre les lois Sup-Seuil et Maximums annuels

Les ajustements sup-seuil donnent des quantiles dont la période de retour n'est pas exprimée en année mais en périodes λ fois inférieure à l'année. Par exemple, au sens statistique pur l'intensité minimum (le seuil) a une probabilité de 1 d'être dépassée dans notre échantillon, cependant au sens hydrologique cette intensité est dépassée en moyenne 7 fois par an (pour $\lambda=7$). Il est alors nécessaire de déterminer la fonction de répartition correspondant à la loi « annuelle » de distribution. Les paramètres de loi doivent donc être ajustés en prenant en compte λ afin de calculer des quantiles hydrologiques de périodes de retour pluriannuelles.

La méthode du renouvellement (cf. par exemple Meylan et Musy, 1996) établit la relation suivante entre les paramètres de la loi exponentielle ajustée sur un échantillon de type sup-seuil et ceux équivalents à une loi de Gumbel ajustée sur un échantillon de type maximum annuel :

$$\begin{aligned} G_{dGUM} &= G_{dEXP} \\ P_0 &= S_0 + G_{dEXP} \cdot \ln(\lambda) \end{aligned}$$

Les quantiles dans la base annuelle issus d'un échantillon sup-seuil sont alors déduits de la relation de Gumbel en utilisant ces paramètres.

De même, il a été montré (Stedinger et al., 93) les relations suivantes entre les paramètres de la loi GEV et GPD :

$$\begin{aligned}c_{GEV} &= c_{GPD} = c \\b_{GEV} &= b_{GPD} \cdot \lambda^{-c} \\a_{GEV} &= a_{GPD} + b_{GPD}(1 - \lambda^{-c})/c\end{aligned}$$

Les quantiles dans la base annuelle issus d'un échantillon sup-seuil sont alors déduits de la loi GEV en utilisant ces paramètres.

Que ce soit avec la loi de Gumbel ou la loi GEV les quantiles annuels ($T=1\text{an} \rightarrow F(x)=0$) ne peuvent pas être estimés en raison du logarithme, ce quantile est donc approximé égal à P_0 .

2.2.6) Choix de l'ajustement

Types d'ajustement

Les deux méthodes d'échantillonnage ont été utilisées mais la méthode du renouvellement sera privilégiée. En effet, afin de fournir un ajustement robuste il est nécessaire de disposer d'un nombre suffisant d'épisodes. Or la méthode des maximums annuels nécessite de disposer de stations ayant au minimum 20 années de mesure ce qui n'est pas le cas de la plupart de nos stations. De plus, cette méthode ne prend pas en compte plusieurs événements extrêmes survenant la même année.

Les IDF ont été ajustées pour les durées : 6min, 15min, 30min, 1h, 2h, 6h, 24h, 48h et 96h.

Environ 60% des stations présentent un nuage de point quasi-parfaitement adapté à la relation exponentielle. Pour celles-ci l'ajustement automatique type Gumbel est tout à fait approprié.

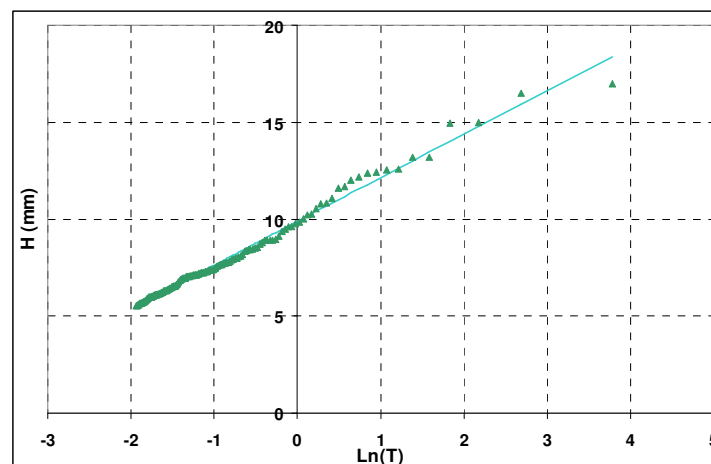


Figure 4 Ajustement automatique Ouayaguette durée=6min

Le reste des stations présente des écarts plus marqués à la loi exponentielle et les ajustements sont moins évidents. En effet, certains points extrêmes peuvent être plus ou moins exclus de la tendance exponentielle. Ils peuvent être considérés comme des horsains. Le nuage peut également présenter une cassure ou courbure importante. Dans ce genre de cas l'ajustement automatique est influencé par les valeurs extrêmes et la droite correspondante peut être déviée de l'ensemble du nuage. Les valeurs extrêmes sont donc à prendre avec précaution d'autant que les incertitudes entre fréquence empirique et fréquence réelle sont d'autant plus importantes que la fréquence empirique est élevée (épisodes rares).

Il est alors préférable de procéder à un ajustement graphique.

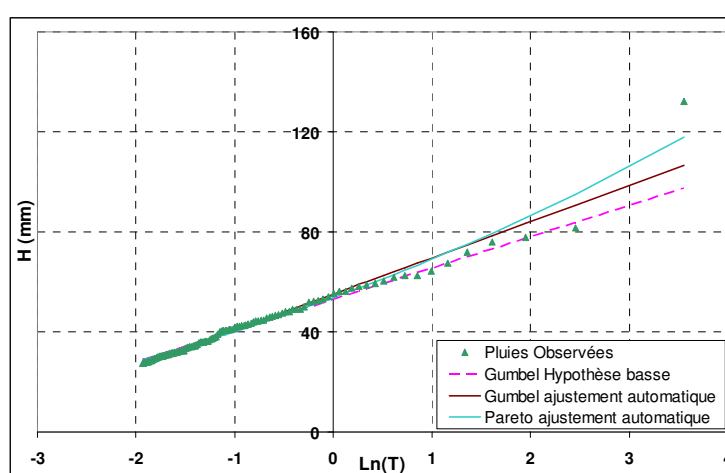


Figure 5 Ajustements Pagou durée=2h

Pour ce cas de figure, les ajustements automatiques de Gumbel et Pareto sont très influencés par la valeur extrême et les courbes s'éloignent de plusieurs points pour se rapprocher du seul point extrême. Cette valeur est alors ignorée et la droite est ajustée graphiquement (droite rose).

Dans d'autre cas, le nuage présente une cassure brutale (fig 6). Plusieurs ajustements sont possibles :

- ajustement automatique type Gumbel : non approprié pour un nuage non rectiligne, la droite passe par très peu de points
- ajustement graphique type Gumbel (hypothèse haute) : la droite est ajustée suivant les grandes valeurs de l'échantillon (partie droite de la cassure)
- ajustement graphique type Gumbel (hypothèse basse) : la droite est ajustée suivant les petites valeurs de l'échantillon (partie gauche de la cassure)
- ajustement type Pareto : courbe bleue qui s'adapte bien à l'ensemble de la série

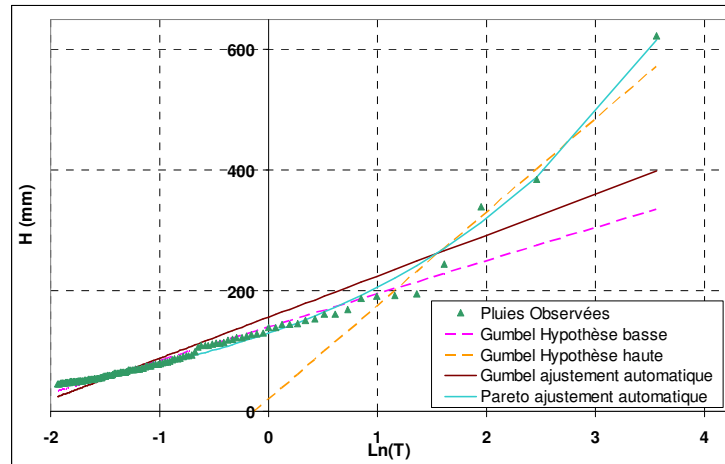


Figure 6 Ajustements Pagou durée=24h

Les cassures ou points horsains qui rendent l'ajustement de type Gumbel inadéquate par rapport à l'ensemble des points se présentent plus fréquemment pour les longues durées. Ainsi pour une durée de 24h environ 30% des stations présentent une cassure ou horsain(s) contre 14% pour une durée de 1h.

Ceci peut s'expliquer par le fait que les événements extrêmes de type cyclones ou fortes dépressions engendrent des pluies longues et intenses.

Afin de mieux comprendre ce phénomène, la loi de régionalisation des pluies sera utilisée.

Loi de régionalisation : méthode

Cette méthode de régionalisation (Neppel, Arnaud, Lafabre 2010 : méthode 2) consiste à regrouper les données maximums de chaque station dans le même échantillon. La durée d'observation est alors considérée égale à la somme des durées d'observation de chaque station.

Afin de garantir l'indépendance des individus échantillonnés pour un même épisode, seule la pluie maximum enregistrée sur l'ensemble des postes est gardée dans l'échantillon (durée de séparation inférieure à 4 jours).

Cela procure donc un nombre important d'individus, et permet l'utilisation de l'échantillonnage de type maximum annuel pour décrire la pluviométrie régionale.

Etant donné que la variance (de moyenne 50%) des pluies maximums n'est pas homogène (~30% d'écart) sur l'ensemble des stations, les données maximums de chaque station sont centrées-réduites en utilisant la moyenne et l'écart-type des valeurs maximums :

$$P_{\text{centré_réduit}} = \frac{P_{\text{obs}} - \text{moyenne}}{\text{écart_type}}$$

Des valeurs ayant été supprimées, l'échantillon correspondant doit être re-centré-réduit afin de conserver une moyenne nulle et un écart-type de 1.

Un ajustement de type Gumbel ou GEV est alors réalisé sur cet échantillon. La loi d'ajustement permet donc d'estimer les quantiles centrés réduits. Une simple opération nécessitant l'écart-type et la moyenne permet donc de retrouver le quantile réel.

Régionalisation des pluies annuelles

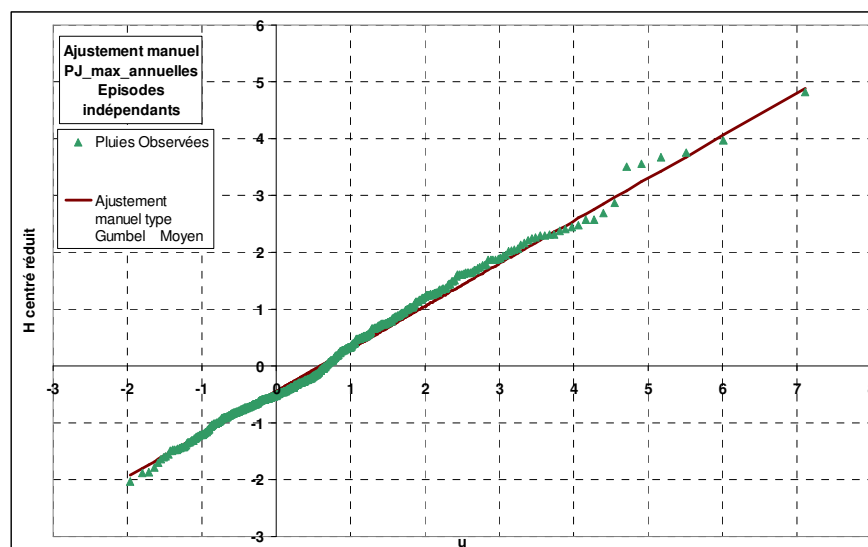


Figure 7 Ajustement des pluies journalières maximums annuelles

La loi de Gumbel s'ajuste très bien à l'échantillon de **durée équivalente 1234 ans**.

Les données estimées par ajustement ponctuel et estimées par la loi régionale sont comparées sur 5 stations équitablement réparties sur la Grande Terre: Rivière Bleue, LA TONTOUTA, POINDIMIE, BAS-Coulna et POUM.

T(ans)	1	2	5	10	20	50	100
rivierebleue3	0.1	-0.5	-1.6	-2.0	-2.3	-2.5	-2.7
LA TONTOUTA	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
POINDIMIE	2.8	2.2	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1
BasCoulna	2.4	2.0	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7
POUM	-3.3	-1.5	1.8	3.0	3.9	4.7	5.2
moyenne	0.36	0.40	0.48	0.52	0.55	0.57	0.59
moyenne absolue	1.74	1.28	1.19	1.39	1.53	1.65	1.76

Tableau 3 Pourcentage d'erreur des quantiles journaliers régionaux

L'erreur absolue entre les quantiles observés et estimés sur l'ensemble de ces 5 stations est minime (< 2%) ce qui valide d'une manière très satisfaisante cette méthode.

Date	Hcentré-réduit	Station	Type d'événement
23/01/1990	12.41	malmezac	
12/01/1988	10.11	dumbeanord	cyclone Anne
23/12/1981	9.81	GOMEN	cyclone Gyan
04/03/1992	8.84	bopope	cyclone Esau
31/03/1967	7.82	ARAMA	
07/04/1992	7.56	PLUM	
08/01/2005	7.52	MOINDOU	cyclone Kerry
27/03/1996	6.85	POCQUEREUX	cyclone Beti

Tableau 4 Evénements journaliers maximums de l'échantillon régional

Le tableau 4 montre que les événements pluviométriques les plus extrêmes sont principalement causés par des cyclones ou dépression tropicales forte mais pas uniquement. Quoiqu'il en soit d'après la figure 7, les épisodes cycloniques ne se distinguent pas clairement du reste de l'échantillon. Aussi, les records sont bien répartis sur la Grande Terre.

Régionalisation des pluies horaires

Une approche équivalente a été menée sur les pluies horaires, avec un échantillon régional de durée équivalente 215 ans

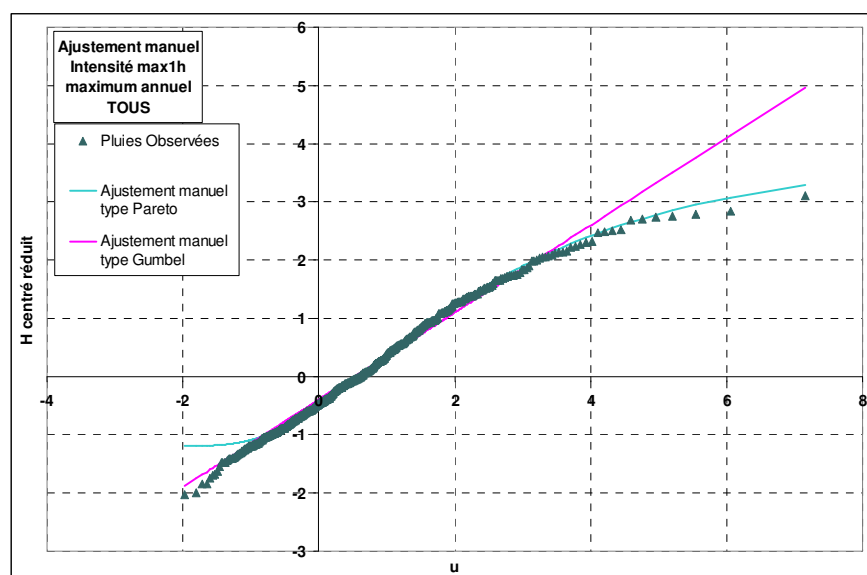


Figure 8 Ajustement des intensités horaires maximums annuels

Date	Hcentré-réduit	Station	Type d'événement
13/01/1988	3.11	canon	cyclone Anne
07/04/1992	2.83	dumbeanord	
11/02/1989	2.79	tiebaghi	cyclone Harry
05/02/2002	2.75	montmou	
27/03/1996	2.74	katrikoin	cyclone Beti
02/10/2001	2.68	namie1	
20/02/1999	2.53	nepou	cyclone Franck
06/01/2009	2.51	congos	
14/03/2003	2.49	vulcain	cyclone Erica
05/06/1991	2.28	tendo	

Tableau 5 Événements horaires maximums

L'échantillon présente une courbure vers le bas qui apparaît à partir d'une période d'environ 40 ans ($u \sim 3,7$). Il est donc mieux ajusté par une loi GEV avec un paramètre de forme positive (courbe bleue). A noter que la loi GEV est difficilement ajustable pour les faibles périodes de retour. Les quantiles utilisés pour 1 an et 2 ans sont donc ceux issus de l'ajustement de Gumbel (droite rose). Il apparaît donc que les intensités maximales ont tendance à atteindre une limite pour les grandes périodes de retour. Ceci peut s'expliquer par le fait que pour des petites durées, les limites physiques de volume d'eau contenu dans la colonne atmosphérique se font plus vite ressentir que pour les longues durées.

Les données estimées par ajustement ponctuels et estimées par ajustement régional sont comparées sur 5 stations équitablement réparties sur la Grande Terre : Rivière Bleue, Liliane, Bas-Coulna, Carovin, Bambou.

T(ans)	1	2	5	10	20	50	100
Carovin	1.2	1.0	1.4	1.0	-1.5	-6.1	-10.1
bambou	1.1	0.9	1.4	0.9	-2.0	-7.4	-11.9
BasCoulna	1.3	1.1	1.3	0.8	-1.9	-6.9	-11.1
liliane	1.6	1.3	1.6	1.0	-1.9	-7.3	-11.7
rivierebleue3	1.8	1.5	1.6	0.9	-2.1	-7.5	-12.0
moyenne	1.41	1.15	1.47	0.93	-1.89	-7.05	-11.34

Tableau 6 Pourcentage d'erreur des quantiles horaires

Les erreurs sont faibles (<2%) pour $T < 20$ ans et augmentent pour les plus grande périodes (50 et 100 ans), ceci est du au fait que les ajustements des stations sont de type Gumbel alors que celui de l'échantillon régional est de type GEV.

Ces écarts peuvent être appréhendés en comparant les quantiles régionaux issus de l'ajustement GEV et Gumbel. Afin de comparer les deux lois, les quantiles ont été décentré-réduit avec la moyenne régionale des moyennes et des écarts-types de l'échantillon régional.

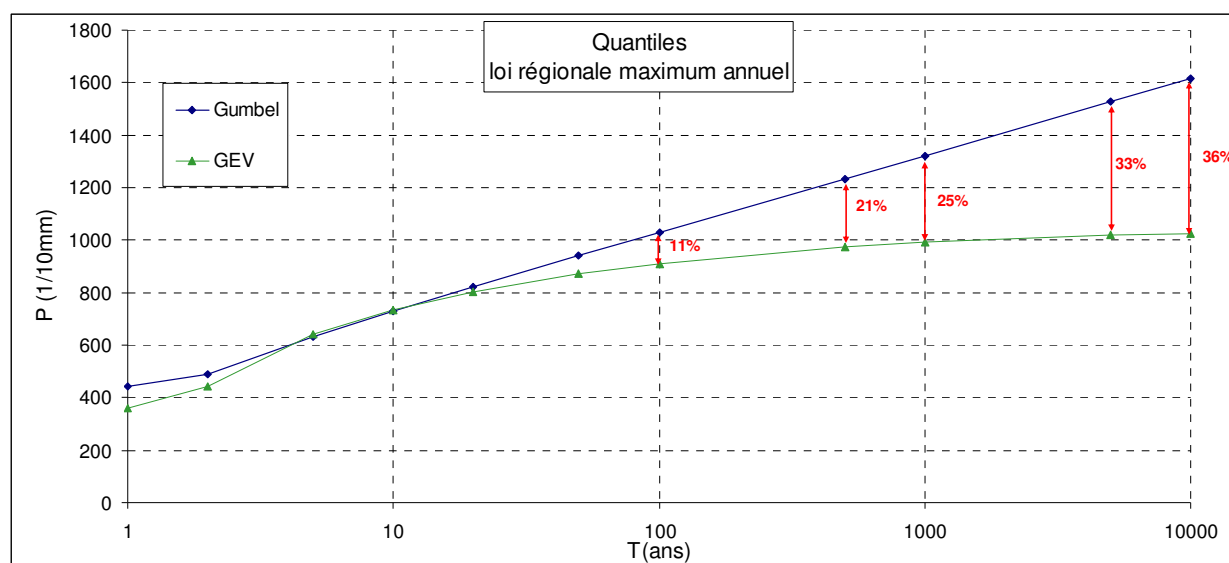


Figure 9 Comparaison des quantiles horaires régionaux en fonction des lois d'ajustement

Conclusion

durée	Période de Retour T (années)							Paramètres loi			durée (ans) équivalente	centrage et réduction	
	1	2	5	10	20	50	100	Gd	P0	c		moyenne	ecart-type
24h	-0.45	-0.16	0.72	1.31	1.87	2.59	3.14	0.78	-0.45		1234	1550	378
1h	-0.40	-0.13	0.72	1.29	1.83	2.53	3.05	0.75	-0.40		215	584	166
	-1.20	-0.65	0.71	1.37	1.87	2.37	2.65	1.60	-1.20	0.32			

Tableau 7 Quantiles régionaux centrés-réduits

La régionalisation a montrée que l'ajustement de type Gumbel est tout a fait cohérent dans la description des pluies journalières sur l'ensemble du territoire. Avec l'hypothèse que les durées

d'observation de chaque station cumulées peuvent représenter une durée d'observation globale sur la Grande Terre, on peut en déduire que les points horsains ou cassures, qui apparaissent dans les ajustements de certaines stations, vont disparaître avec des durées d'observation plus importantes (100 ans et plus)

Les intensités maximums horaires ont laissé apparaître un palier qui peut faire penser à la présence d'un seuil physique de la pluviométrie sur les courtes durées. Cette atténuation est sensible à partir d'une période de retour d'environ 40 ans. Cela montre que la loi Gumbel appliquée à chaque station aura tendance à surestimer les quantiles extrêmes (>100ans) Cette cassure dans les ajustements ponctuels a été observée quelques fois. Cependant due à la durée d'observation actuelle (de l'ordre de 20 ans pour les intensités infra journalières), la loi de Gumbel reste plus robuste et cohérente, avec un écart très acceptable de l'ordre de 10% jusqu'à la centennale.

Si à première vue, l'ajustement type Pareto peut donc sembler le plus approprié pour les échantillons présentant des cassures, le choix de cet ajustement surestime parfois grandement les quantiles à grande période de retour, de même que l'ajustement manuel « hypothèse haute ».

Un compromis doit être fait entre la qualité de l'ajustement ponctuel et la cohérence des quantiles à l'échelle régionale. Ainsi, l'ajustement graphique « hypothèse basse » ignorant les quelques valeurs extrêmes est souvent privilégié. La loi de régionalisation confirme ce choix pour les durées journalières, durées pour lesquelles ce phénomène est le plus souvent observé. On peut en déduire que la loi de Gumbel est cohérente pour les longues durées. Pour les courtes durées, la loi de Gumbel a plutôt tendance à surestimé les quantiles rares. Néanmoins l'erreur est acceptable (10% pour la centennale) et la loi de Gumbel plus robuste à l'ajustement est donc également privilégiée.

Disposant des paramètres de Gumbel pour chaque station de notre échantillon, il est possible, pour chaque durée, de cartographier ces paramètres en utilisant les composantes et données du relief ainsi que la moyenne interannuelle.

2.2.7) Relation Gradex/ P_0

La méthode de spatialisation qui sera développée dans le prochain chapitre sera appliquée uniquement sur le paramètre de position P_0 de Gumbel. Celui-ci, correspondant à la valeur de récurrence annuelle, est déterminé empiriquement de manière relativement fiable sur des échantillons d'une dizaine d'années. Par contre, comme évoqué plus haut, le gradex G_d est très sensible à l'ajustement choisi et à la présence ou non d'épisodes à caractère extrême dans la série. Aussi, l'incertitude sur le G_d est considérable et aucune relation fiable n'a pu être établie entre le gradex et l'environnement géographique du site. Il sera donc approximé à partir de P_0 pour chaque point et chaque durée disponible.

Des tests ont malgré tout été réalisés en rajoutant les paramètres du relief dans la relation $G_d = fct^{\circ}(P_0)$ mais sans grand succès, la prise en compte de ces paramètres n'augmente pas significativement le R^2 .

Ainsi pour chaque durée une régression linéaire est réalisée entre le gradex et le paramètre de position (cf : annexe 6). Ce qui permet de tracer le rapport G_d/P_0 pour chaque durée (échelle logarithmique).

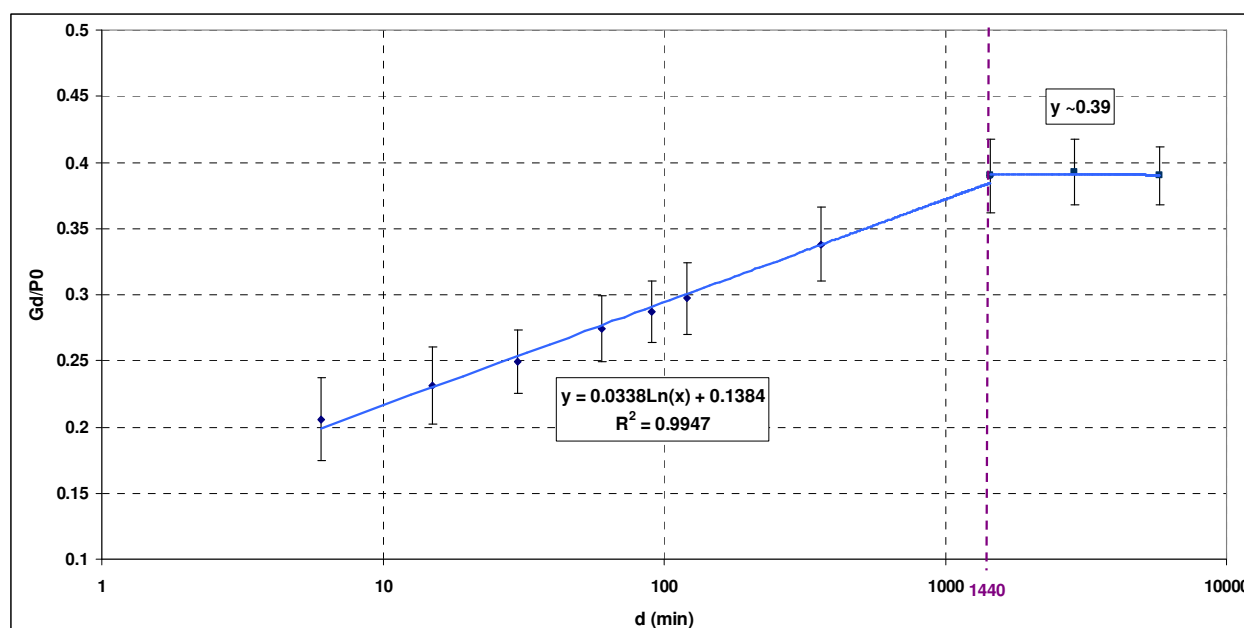


Figure 10 Rapport Gd/P0 en fonction de la durée

Le rapport Gd/P0 varie de manière logarithmique pour des durées inférieures à 24h. A partir de 24h le rapport devient relativement constant et égal à 0.39.

Des tests ont été réalisés pour déterminer si le rapport Gd/P0 d'une durée pouvait être corrélé avec le relief mais aucun résultat n'est assez significatif pour modifier ce modèle.

Les barres d'erreur représente l'intervalle de confiance à 75%, il est assez resserré (~0.05) et diminue avec la durée.

Ainsi en première approche le Gradex peut être estimé à partir du P0 par la relation suivante :

$$\begin{aligned} \text{Gd} &= (0.0338 \ln(d) + 0.138) P_0 && \text{pour } 6\text{min} < d < 1440\text{min} \\ \text{Gd} &= 0.39 P_0 && \text{pour } d > 1440\text{min} \end{aligned}$$

2.2.8) Relation type Montana

Afin d'estimer les quantiles pour des durées différentes de celles utilisées pour les ajustements, il est nécessaire de mettre en relation le paramètre de position P0 avec la durée d'observation d.

Il apparaît que le P0 évolue suivant une loi puissance de la durée.

$$P_0 = k \cdot d^a \quad \text{avec } \begin{array}{l} P_0 \text{ paramètre de position} \\ d \text{ durée} \end{array}$$

k et a paramètres de la loi
Ainsi, en exprimant Gd et P0 en fonction puissance de la durée et en l'introduisant dans la relation qui relie un quantile à ses paramètres de Gumbel pour une période de retour donnée, on retrouve la « pseudo » loi de Montana.

Afin de définir les paramètres de la loi puissance, il suffit de tracer $\ln(P_0)$ en fonction de $\ln(d)$ et d'effectuer une régression linéaire.

$$\ln(P_0) = a \cdot \ln(d) + b$$

avec P_0 paramètre de position
 d durée
 $b = \ln(k)$

On parle de « pseudo loi » car dans la majorité des cas, il ressort des cassures de pente aux durées 1h et 2h. Une régression sera donc réalisée pour 3 intervalles de durées suivantes :

- $d < 1h$
- $1h < d < 2h$
- $d > 2h$

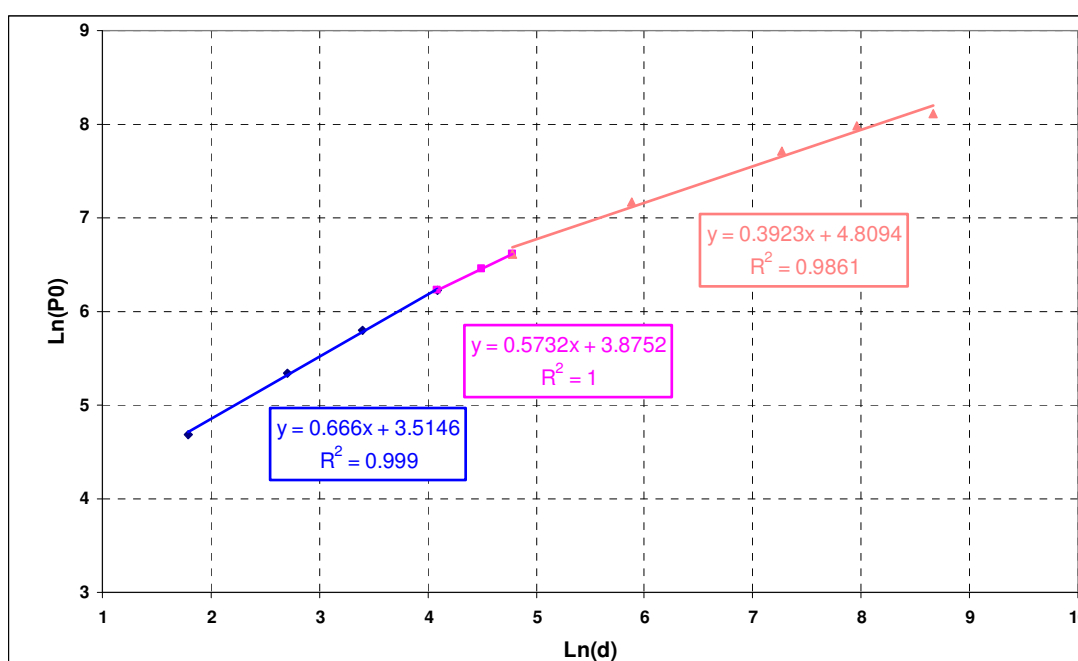


Figure 11 Exemple P_0 en fonction de la durée sur la station Tendo

Les coefficients a et b sont donc calculés 3 fois (cf : annexe 4).

Les durées pour lesquelles sont réalisées la spatialisation n'ont pas été choisies par hasard et couvrent un large intervalle, ce qui permet d'interpoler et d'extrapoler les P_0 pour chaque durée désirée.

3) Méthode d'interpolation spatiale

3.1) Principe

Il s'agit de caractériser la pluviométrie à partir des composantes principales du relief déduit d'un MNT suivant une méthodologie inspirée du programme Aurelhy développé par Météo-France (Benichou et Le Breton, 1987).

A partir d'un MNT, l'analyse en composantes principales (ACP) est utilisée pour synthétiser le relief environnant les stations pluviométriques. Puis les régressions multiples sont utilisées pour établir les relations statistiques entre les précipitations et les composantes principales du relief plus éventuellement d'autres variables caractéristiques de l'environnement (comme la distance à la côte Est ou l'altitude). Les modèles ainsi établis sont ensuite appliqués sur un échantillon régulier du MNT (dans le cas présent plus de 16 000 points, représentant un échantillonnage régulier au pas de 1 km de la Grande Terre, cf. fig. 12). Ceci conduit à un modèle d'interpolation spatiale qui peut éventuellement être corrigé par le champ des résidus de la régression multiple pour que les isohyètes ainsi définis respectent parfaitement les valeurs observées aux stations pluviométriques.

Cette méthode a déjà été utilisée pour la cartographie des isohyètes de la Grande Terre (Perchat 2003) et également pour la cartographie des Gradex sur l'île de Tahiti (Wotling, 2000, Wotling et al. 2000)

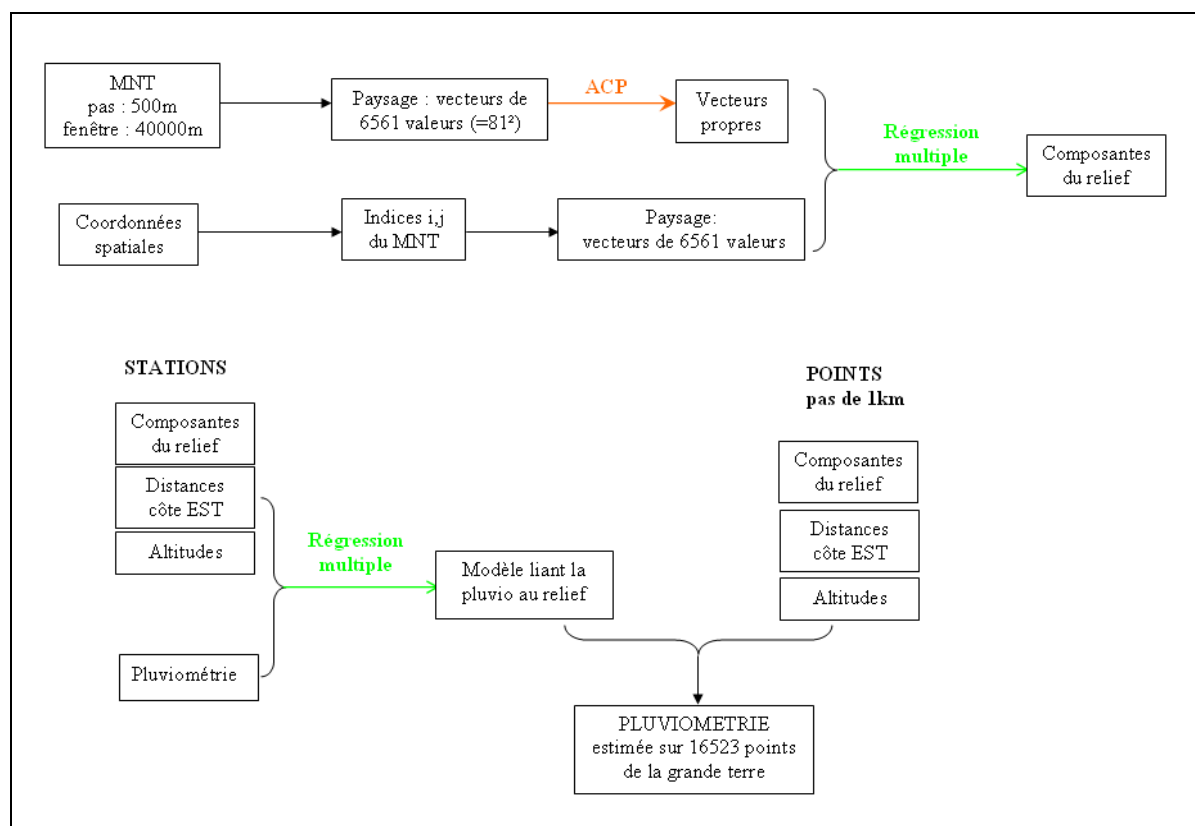


Figure 12 Schéma de principe de la méthode de spatialisation

Les données qui seront spatialisées sont la pluviométrie interannuelle et les paramètres de Gumbel pour les durées 15min, 1h, 2h et 24h.

3.2) Analyse en composantes principales du relief

On appelle « paysage » environnant un point M, la matrice carrée d'altitudes moyennes entourant ce point M. Le nombre d'éléments de cette matrice dépend à la fois du modèle numérique de terrain utilisé, et de la taille de la fenêtre de scrutation. Pour une fenêtre de 40 km calculée sur un MNT au pas de 500 m, on obtient une matrice 81 x 81. Le paysage est alors caractérisé par ces 6561 valeurs.

Le principe de la méthode consiste à calculer ces paysages environnants pour un grand nombre de sites de la Grande Terre. Mais il est clair que 6561 altitudes sont redondantes pour caractériser un site. Les données vont donc être condensées au maximum pour obtenir un système réduit de paramètres, tout en perdant le minimum d'information.

Pour ce faire, une analyse en composantes principales (ACP) est effectuée sur ces paysages. Un certain nombre de vecteurs propres est ainsi obtenu dont les premiers expliquent à eux seuls un pourcentage significatif de la variance du relief. Ces vecteurs propres ont une signification physique intéressante : ils représentent des faciès topographiques élémentaires qui, par combinaison linéaire entre eux, permettront de retrouver n'importe quel paysage calédonien (cf. figure 16).

Pour chacune des stations pluviométriques, la valeur des composantes principales est calculée, c'est à dire les facteurs de pondération obtenus par régression entre le paysage environnant la station, et les premiers faciès élémentaires. Le but est ensuite de trouver une relation entre la pluie mesurée à cette station, et ces composantes principales, faisant intervenir le moins de composantes possibles.

3.2.1) Choix du MNT et échantillonnage

Pour pouvoir effectuer une analyse en composantes principales sur le relief, des paysages environnants un nombre suffisamment représentatif de sites de la Grande Terre sont nécessaires (les îles ayant un relief très particulier, le travail ne sera réalisé que sur la Grande Terre).

D'après Perchat (2003), il est apparu qu'un échantillonnage tous les 6 kilomètres permettait d'obtenir environ 500 points, régulièrement répartis sur toute l'île. Cet échantillonnage est suffisant pour décrire la variabilité du relief calédonien. La carte suivante représente l'ensemble des points sur lesquels ont été extrait de l'environnement topographique.

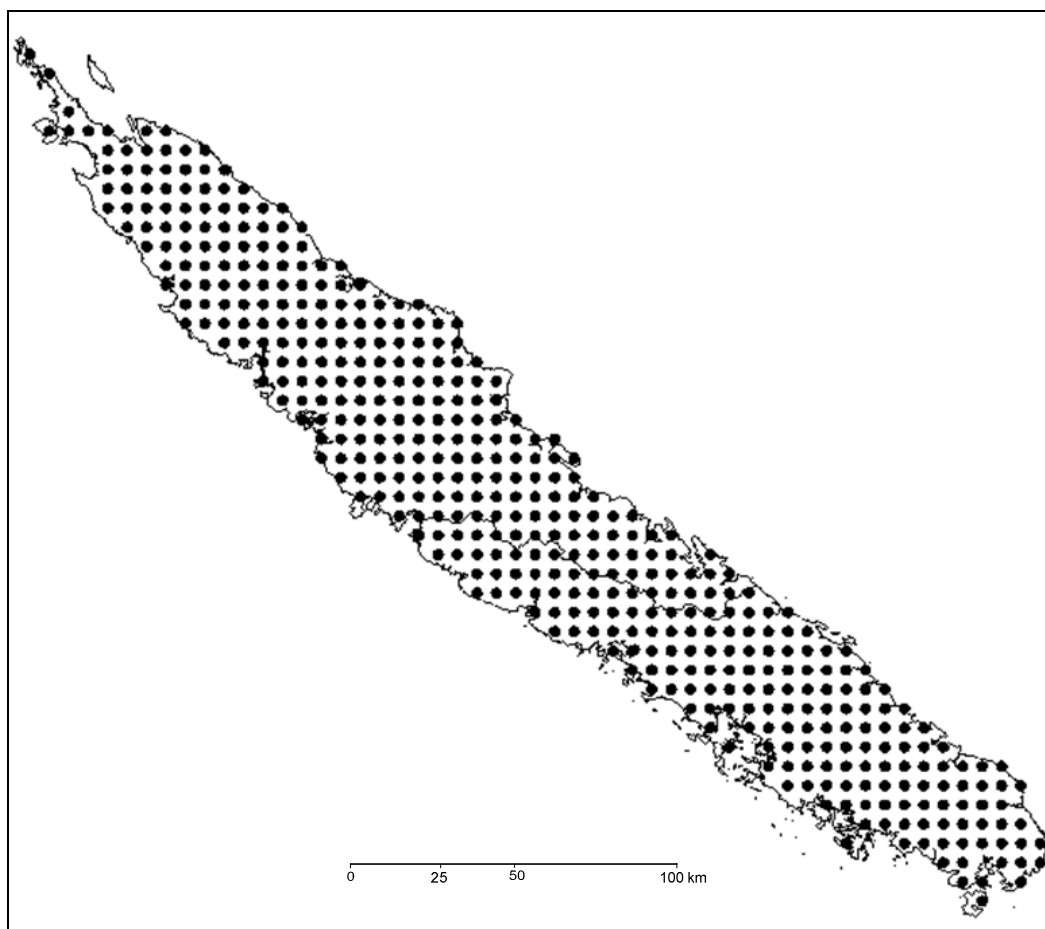


Figure 13 Sites échantillonnés sur la Grande Terre

Les MNT sur lesquels nous avons travaillé proviennent de la DTSI (Direction des Technologies et Services de l'Information). Différents pas sont disponibles, le plus fin étant celui de 10 m. La précision d'altitude est de l'ordre de 2 m.

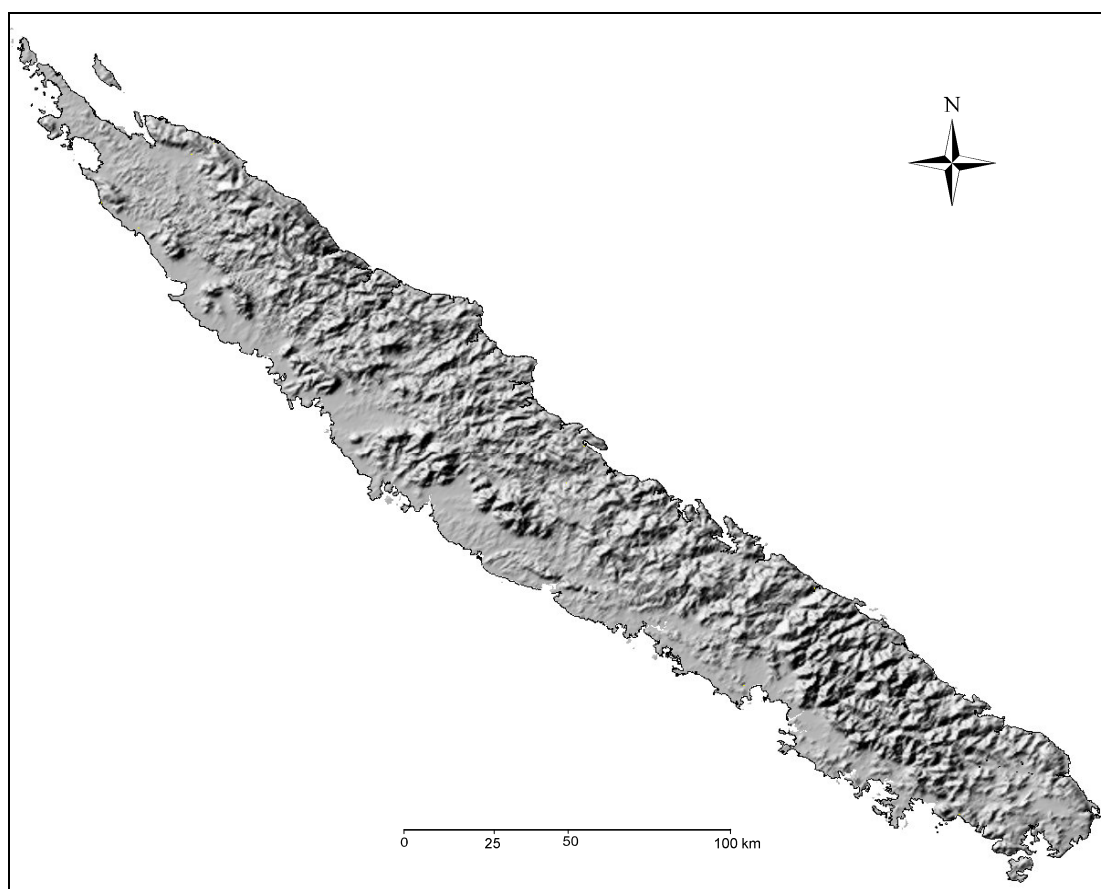


Figure 14 MNT au pas de 500m

Quel que soit le MNT retenu, il a été montré (*Perchat, 2003*) que la fenêtre de **40 km** sur un MNT au pas de 500m permet à la fois d'optimiser la corrélation (R^2 élevé), et de minimiser les résidus (erreur type faible).

En effet, le MNT au pas de 200 m devenait trop volumineux à manipuler pour une fenêtre supérieure à 20 km ; de plus, pour des petites fenêtres, il n'a pas paru apporter d'amélioration significative. Le MNT au pas de 1000 m offre des résultats sensiblement équivalents à celui au pas de 500 m, mais il est beaucoup trop grossier. Les erreurs d'altitude peuvent être très importantes, notamment au milieu de la chaîne. Il est donc préférable d'utiliser un MNT plus fin.

3.2.2) Vecteurs propres

Une analyse en composantes principales est donc effectuée sur les 457 « paysages » obtenus grâce à l'échantillonnage du MNT au pas de 500 m sur une fenêtre de 40 km. Ces paysages sont mis sous la forme de vecteurs comportant 6561 valeurs (les 6561 altitudes de la fenêtre).

Afin de synthétiser au mieux le relief, il convient de sélectionner un nombre limité de vecteurs. Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la variance en fonction des premiers vecteurs propres sélectionnés.

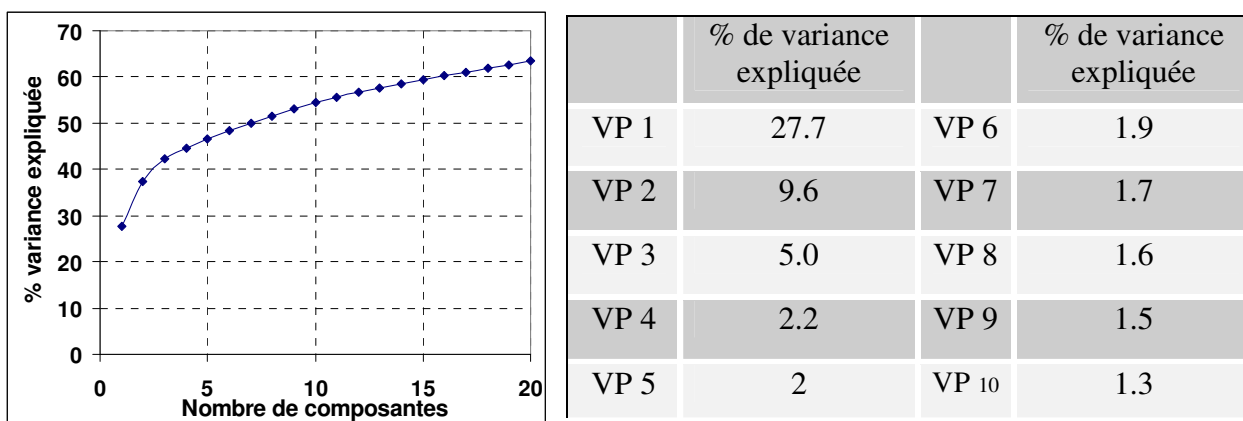


Figure 15 Valeurs propres issues de l'ACP

Une cassure est observable à partir de la troisième composante. Cela signifie que les trois premières composantes expliquent une part plus significative du relief que les autres composantes (45% de variance expliquée). Malgré tout, nous avons choisi de retenir les dix premières composantes afin de restituer au moins 55 % de la variance du relief.

Les faciès élémentaires correspondant aux dix premiers vecteurs propres sont repris ci-dessous.

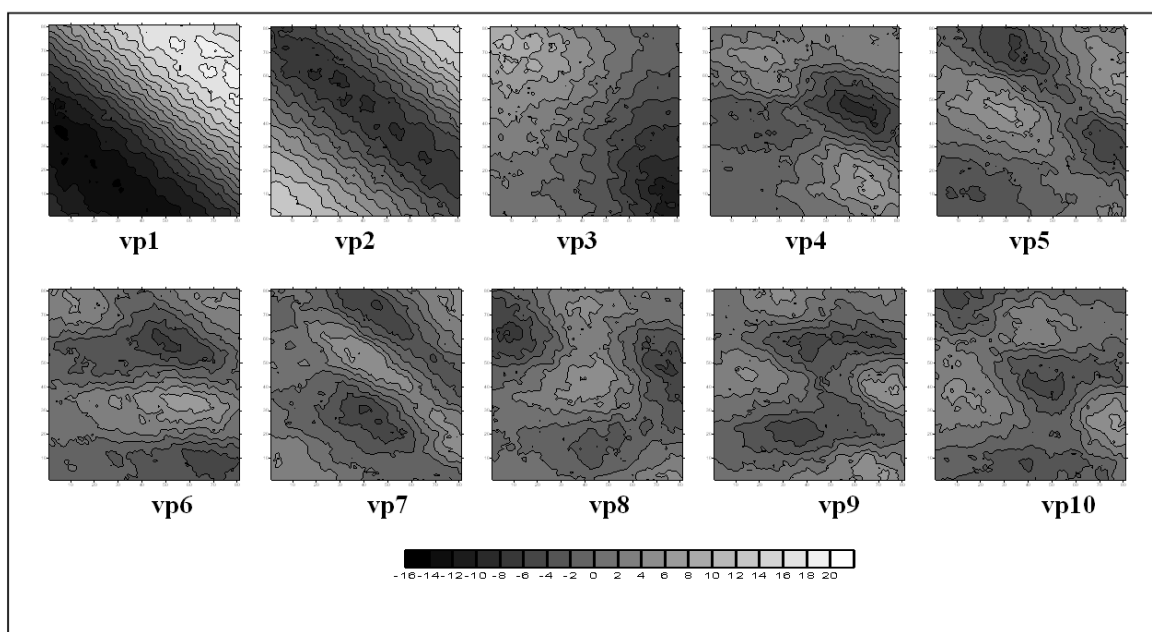


Figure 16 Vecteurs propres issus de l'ACP; taille de fenêtre 40km (d'après Perchat, 2003)

Le **premier vecteur propre** désigne une structure de pente orientée Nord Est – Sud Ouest si la composante associée est positive, ou Sud Ouest – Nord Est si la composante est négative. On retrouve donc bien l'orientation de la chaîne calédonienne : dans le premier cas ($C1 > 0$), il s'agit de paysages de la côte ouest ; et dans le deuxième cas ($C1 < 0$), il s'agit de paysages de la côte est. Ce vecteur propre désigne donc le paysage de loin le plus fréquent en Nouvelle Calédonie. La valeur absolue de la CP va jouer sur le degré de cette pente.

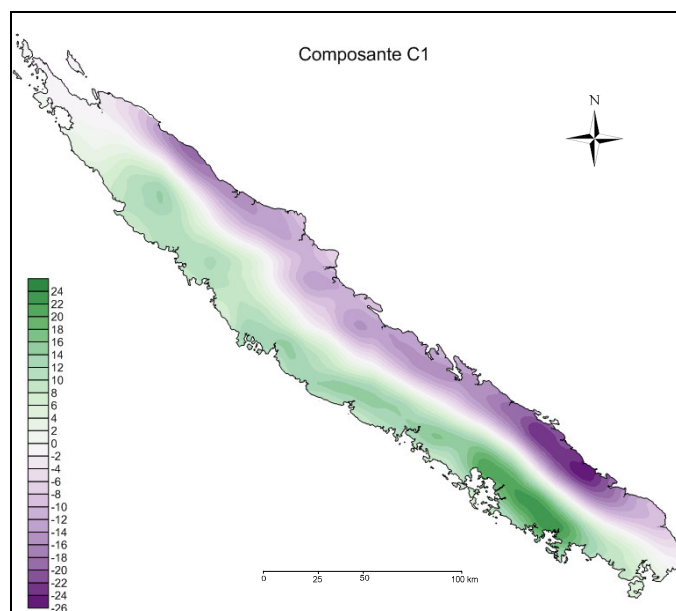


Figure 17 Première composante

Le **deuxième vecteur propre** renvoie à une structure d'encaissement (vallée) ou de dôme (crête), d'orientation NO-SE. Ici encore, on retrouve bien l'orientation de la chaîne calédonienne.

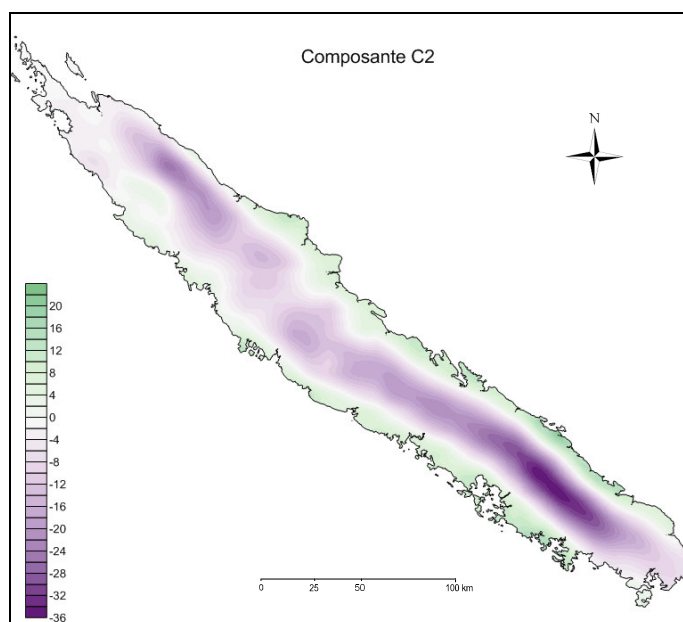


Figure 18 Deuxième composante

Le **troisième vecteur propre** renvoie globalement à une pente orientée NO – SE (il s'agit de l'orientation inverse à C1), mais avec des lignes de niveau plutôt arrondies.

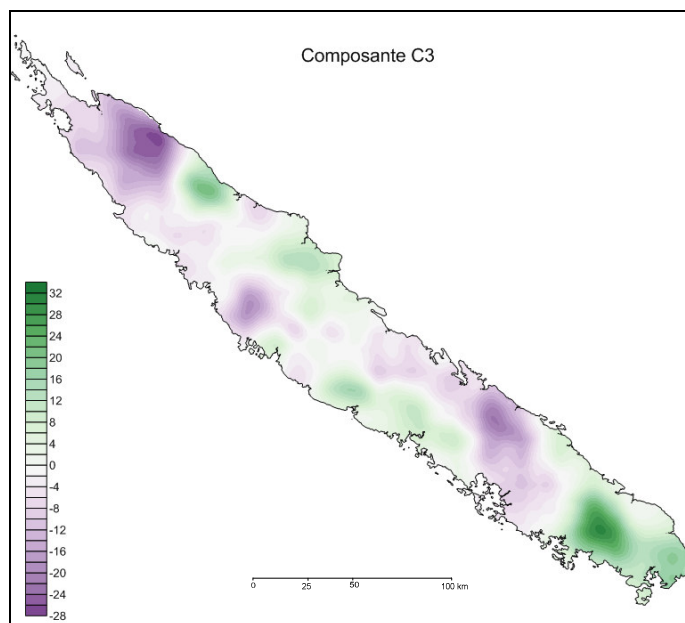


Figure 19 Troisième composante

A partir du quatrième vecteur propre, on a affaire à des environnements topographiques plus fins et plus difficiles à interpréter. D'ailleurs le pourcentage de variance expliquée par ces vecteurs chute significativement (cf. figure 15).

La régression multiple d'un paysage par rapport à ces vecteurs propres calcule les composantes du relief de ce paysage et renvoie ainsi un modèle qui correspond à une superposition pondérée de faciès. L'ordonnée à l'origine de ce modèle représente donc **l'altitude moyenne (Z_{moy})** du paysage sur la fenêtre considérée.

3.3) Régression multiple

En plus des composantes du relief, d'autres données représentatives du relief sont calculées pour chaque station : les coordonnées spatiales x , y , l'altitude Z , l'altitude moyenne Z_{moy} , les distances aux côtes (distance minimale entre la station et la côte Est et/ou Ouest).

Afin de définir les variables les plus représentatives de la pluviométrie, une régression multiple est effectuée en utilisant l'option hiérarchique « *ridge* » (pas à pas) ascendante ou descendante, grâce au logiciel STATISTICA (<http://www.statsoft.com/>). Cette méthode effectue à chaque pas une régression multiple en ajoutant ou excluant une variable suivant l'évolution de la variance expliquée ajustée au degré de liberté du modèle.

Ainsi la méthode ascendante sélectionne à chaque pas, parmi les variables, celle qui est le mieux corrélée à la pluviométrie compte tenu des variables précédemment sélectionnées alors que la méthode descendante sélectionne au premier pas toutes les variables et supprime à chaque pas celle qui explique le moins la variance de la pluviométrie. Cependant les deux méthodes ne donnent pas toujours les mêmes résultats et il est alors nécessaire d'apprécier ces résultats grâce à des indices représentatifs de la robustesse du modèle comme le R^2 multiple, le R^2 ajusté, la signification statistique (le niveau- p) des variables explicatives ou l'erreur type d'estimation du modèle:

La **signification statistique (le niveau- p)** d'un résultat est une mesure évaluée du degré de véracité de ce résultat. Plus le niveau- p est élevé, moins nous pouvons croire que la relation observée entre les variables de l'échantillon (stations) est un indicateur fiable de la relation entre les variables respectives de la population (points géographiques). Spécifiquement, le niveau- p représente la probabilité d'erreur qui est impliquée dans l'acceptation que notre résultat observé soit valide, c'est-à-dire représentatif de la population. Par exemple, un niveau- p de 0.05 (soit 1/20) indique qu'il y a une probabilité de 5 % que la relation entre les variables trouvées dans notre échantillon soit non-explicative ("une coïncidence"). Le niveau- p peut donc être considéré comme un degré d'acceptation d'une variable dans un modèle.

L'**erreur type d'estimation** est un indice de dispersion des valeurs prédites. Cet indice est surtout utilisé pour comparer différentes régressions avec des individus ou des variables différentes. Il est à noter que l'erreur diminue avec l'augmentation du nombre de variables et ne permet donc pas de définir quelles variables sont les plus représentatives.

L'erreur type et le niveau- p sont donc à apprécier conjointement.

L'analyse des résidus est aussi un bon moyen pour évaluer la robustesse du modèle. En effet, pour chaque individu, un résidu ε est calculé. Il s'agit de la différence entre la valeur observée et la valeur estimée :

$$P_{obs} = P_{reg} \pm |\varepsilon|$$

avec P_{obs} pluie observée
 P_{reg} pluie issue de la régression
 ε résidu

Il est alors intéressant de représenter les résidus spatialement afin d'apprécier la qualité de l'estimation sur l'ensemble de la Grande Terre, d'identifier les régions « surestimées » ou « sous-estimées » et éventuellement de découvrir une organisation spatiale qui pourrait être expliquée.

3.4) Cartographie

La cartographie des isohyètes est réalisée grâce au logiciel d'interpolation spatiale SURFER (<http://www.goldensoftware.com>).

Les coefficients de la régression permettent de calculer la pluviométrie pour chaque point d'un échantillon de 16523 points (grille d'un km²) dont les composantes du relief ont été préalablement calculées.

Les résidus sont également cartographiés. Afin d'obtenir un champ de résidu, une interpolation de type « spline » est utilisée.

Si le champ de résidu présente une organisation spatiale, c'est-à-dire des zones de résidus suffisamment étendues et homogènes, alors il est intéressant de superposer les deux cartes afin de rectifier la pluviométrie avec les résidus dont l'organisation n'a pu être expliqué.

Pour chaque point de l'échantillon, la pluviométrie estimée est alors :

$$P_{est}^* = P_{reg}^* + \varepsilon^*$$

avec P_{est}^* pluie estimée
 P_{reg}^* pluie issue de la régression
 ε^* résidu issu du champ

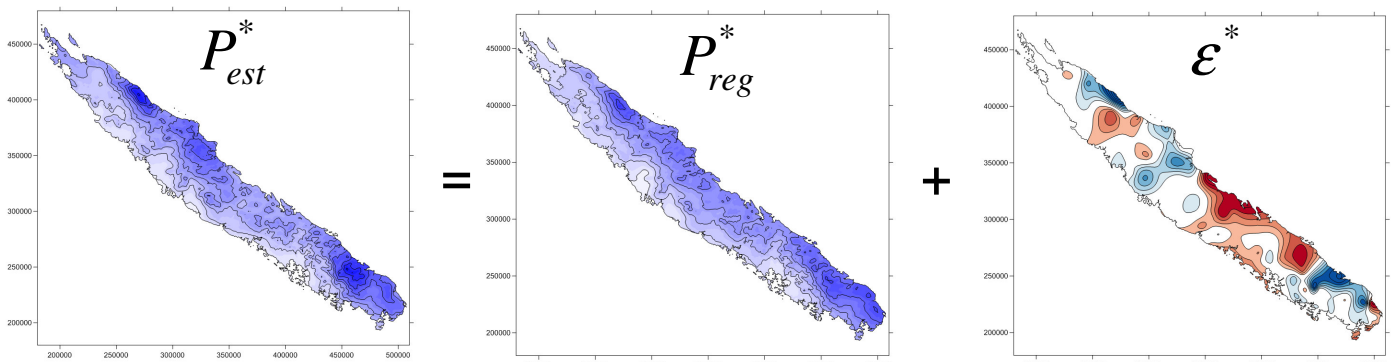


Figure 15 Superposition des champs

4) Résultats

4.1) Pluie annuelle

4.1.2) Système mono-modèle

Les données les plus représentatives sont les mêmes que celles identifiées dans l'étude Perchat de 2003 : La distance minimale à la côte Est (**dist**), l'altitude **Z** et les composantes **C1** et **C3**.

	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			19911.39	694.8	0.000000
C1	-0.362	0.070	-208.50	40.3	0.000001
C3	0.494	0.040	293.73	23.6	0.000000
Z	0.351	0.040	8.16	0.919	0.000000
dist	-0.372	0.070	-170.08	31.87	0.000000

R ² Multiple	0.813
R ² Ajusté	0.807
nbre d'obs	128
Err-Type Estim	2808

Tableau 8 Mono-modèle PA

Il apparaît que cet ensemble de variables présente de très bons niveau-p, un R² de 0.8 et une erreur type de 281mm ; reporté à la moyenne des observations de ~1689mm cela correspond à une erreur d'environ 17% ce qui est déjà satisfaisant considérant l'extrême variabilité spatiale des pluies.

Les graphiques suivants présentent pour l'ensemble des stations la pluie observée en fonction des différentes variables explicatives retenues.

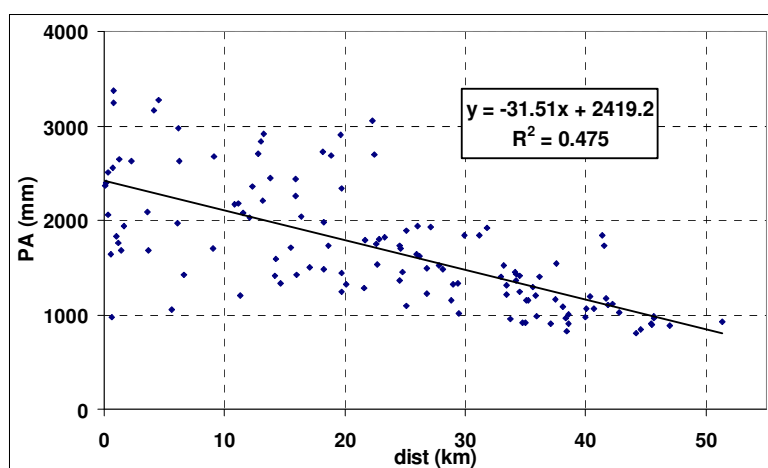


Figure 16 Pluie annuelle en fonction de la distance à la côte Est

La **distance à la côte Est** est la première variable explicative sélectionnée par le modèle statistique.

Il est clair que plus on s'éloigne de la côte Est, plus les précipitations diminuent. En effet, en Nouvelle-Calédonie, le régime prédominant des vents est celui des alizés, soufflant d'un secteur

compris entre l'est-nord-est et le sud-est. La côte Est se situe « au vent » et enregistre donc une pluviométrie beaucoup plus importante que la côte Ouest, « sous le vent ». On observe cependant une variabilité importante au niveau de la côte Est. La simple distance à la mer n'explique donc pas tout.

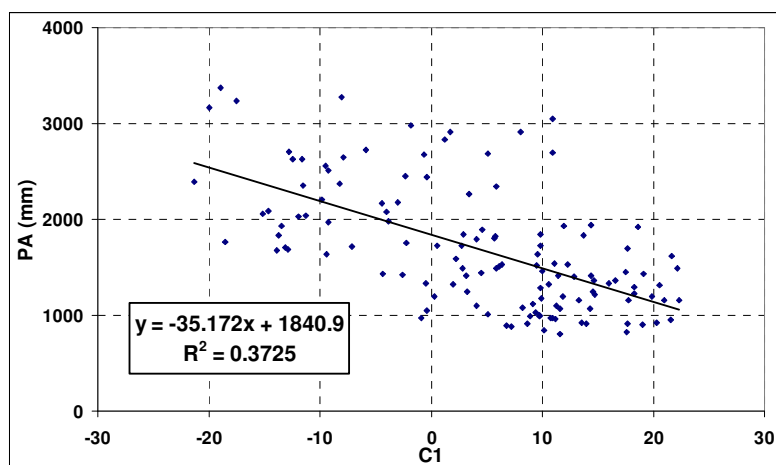


Figure 17 Pluie annuelle en fonction de la première composante

La composante C1 présente une corrélation négative à la pluviométrie: C1 négatif implique des pluies importantes, tandis que C1 positif indique des pluies plus faibles. En effet, on a vu que C1 négatif correspondait à une structure de pente orientée à l'Est, donc « au vent ».

Il peut être légitime de penser que la composante C1 et la distance à la côte Est sont deux variables redondantes ($R^2=0.62$), et qu'il n'est pas pertinent de les utiliser ensemble dans un même modèle. Pourtant, l'approche hiérarchique montre que la distance à la côte introduit une information supplémentaire non comprise dans C1. Par exemple, entre un point situé sur la côte, et un autre situé 10 km à l'intérieur des terres, il se peut que la composante C1 soit relativement identique (du moins pour une fenêtre de 40 km) alors que la pluviométrie est différente. La distance à la côte prend alors toute son importance.

Le degré de la pente, non pris en compte par la variable « dist », joue probablement aussi un rôle moteur sur l'intensité de la convection.

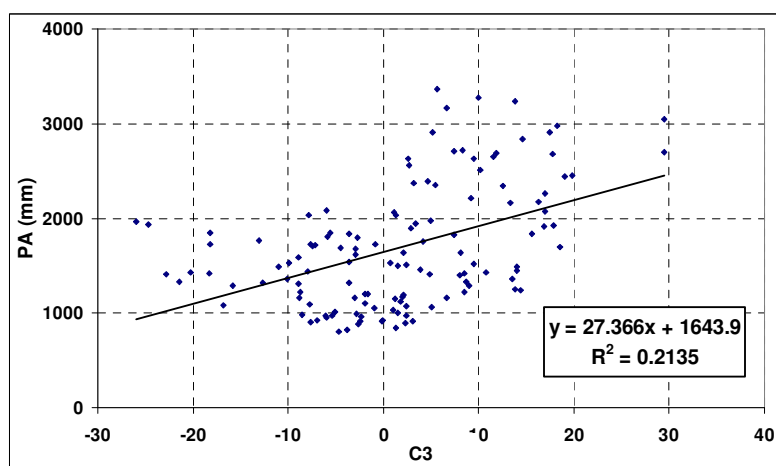


Figure 18 Pluie annuelle en fonction de la troisième composante

La corrélation à **la troisième composante** est ici beaucoup moins marquée. Toutefois, on peut dire que la pluviométrie croît avec la valeur de la troisième composante. On a vu précédemment

que celle-ci renvoyait à une structure de pente orientée NO – SE (pour $C3 > 0$). Toujours à cause du régime d'alizés soufflant sur la Nouvelle-Calédonie, les versants orientés vers le SE reçoivent plus de pluie que ceux orientés dans l'autre sens.

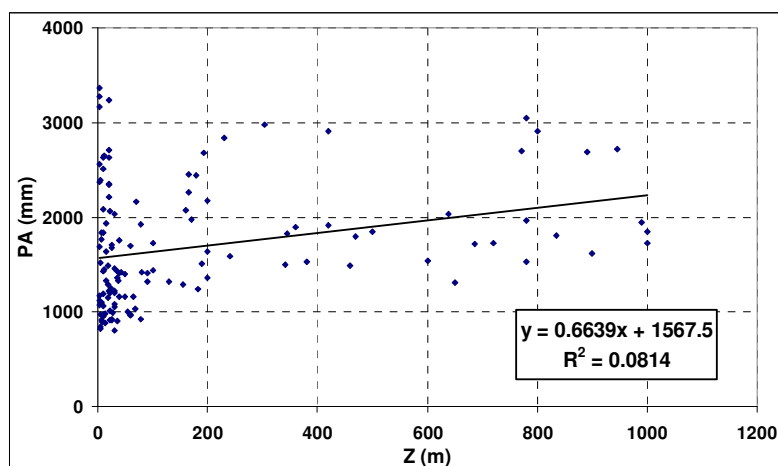


Figure 24 Pluie annuelle en fonction de l'altitude

La figure 24 montre clairement les limites d'une interpolation des pluies simplement avec **l'altitude**, surtout dans les régions côtières où se situe la majorité des stations. Cependant, il s'agit d'une information qui prend toute sa signification quand on la met en parallèle avec les autres composantes ($p\text{-level} < 10^{-6}$). L'altitude joue en effet un rôle indéniable dans le phénomène de condensation et l'humidité est globalement plus importante en montagne qu'en plaine.

Ces composantes sont bien représentatives de l'effet orographique expliqué en introduction. En effet, les composantes C1 et C3 traduisent l'exposition au vent des versants face aux alizés d'Est à Sud-Est, la distance à la mer traduit plutôt l'atténuation en intensité et en humidité du vent lorsqu'il pénètre dans les terres. L'altitude joue évidemment un rôle dans l'intensité du phénomène convectif.

Analyse de sensibilité des paramètres

Afin de se représenter l'influence des paramètres, la pluie annuelle a été tracée en fonction de chaque variable explicative dans son domaine de variation. La pluie est calculée en fixant les autres variables à leur valeur moyenne. Le modèle étant linéaire, il apparaît donc des droites ascendantes ou descendantes suivant le signe de la composante linéaire.

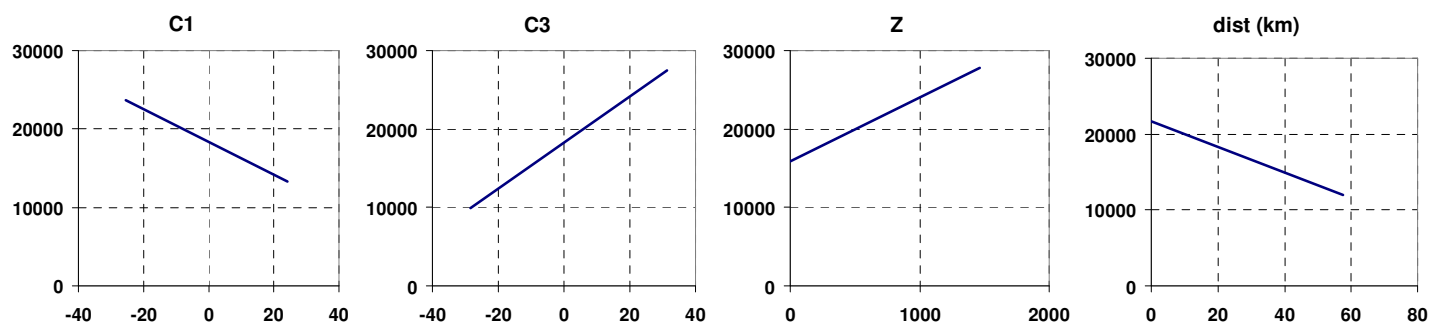


Figure 25 Influence des paramètres sur PA(1/10mm)

La composante C3 a la plus grande influence, ceci est cohérent avec l'effet Foehn, les alizées soufflant principalement dans la direction SE-NO. Néanmoins, l'ordre de grandeur de la variance pour chaque paramètre est la même ce qui confirme la robustesse du modèle.

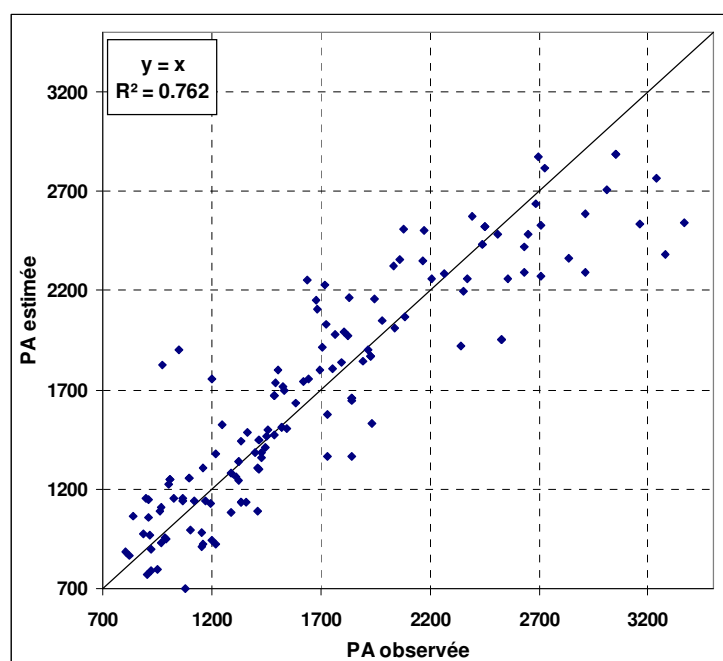


Figure 26 PA estimée/observée mono-modèle

Analyse des résidus

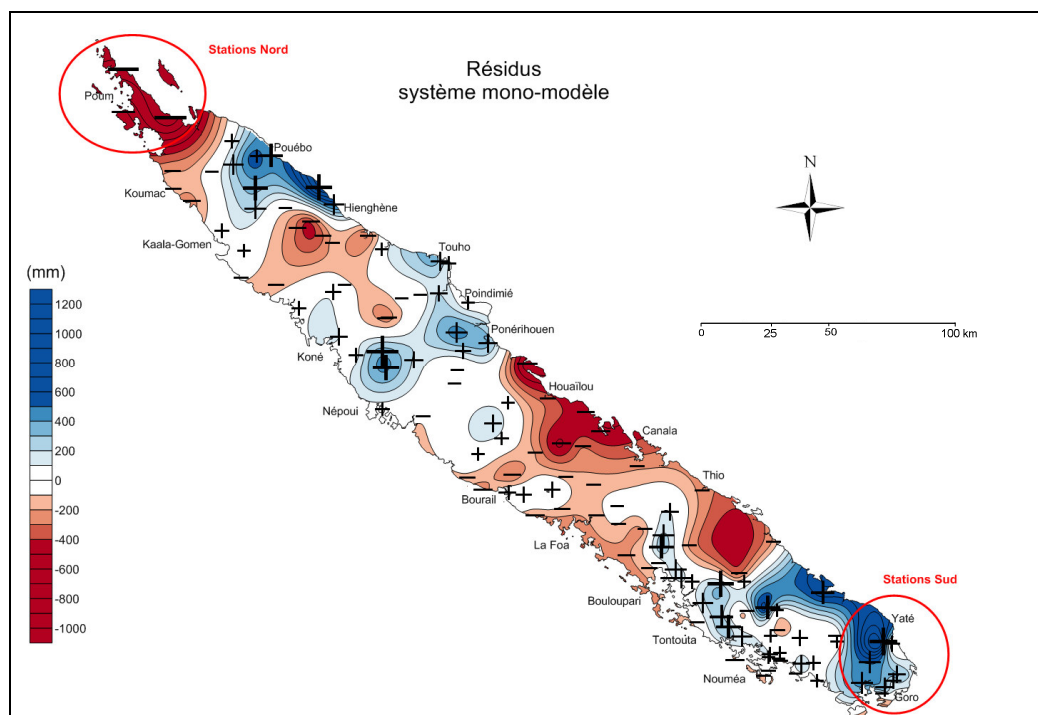


Figure 27 Mono-modèle : carte des résidus (PAobs - PAregr)

La carte des résidus montre que les extrémités (Nord-Ouest et Sud-Est) de la Grande Terre semblent avoir une pluviométrie particulière qui ne s'explique pas de la même manière que sur le

reste de la Grande Terre. En effet, si notre modèle surestime les pluies du nord, il sous estime celles au sud.

En plus des extrémités, il apparaît une certaine organisation spatiale des résidus qui ne peut être expliquée par une régression linéaire des données relief. Après diverses tentatives d'explication en utilisant des fonctions non-linéaires des composantes afin de vérifier s'il pouvait y avoir une corrélation non-linéaires entre la pluviométrie et les composantes de relief, nous n'avons pas pu définir de variable explicative à cette organisation. Néanmoins, l'organisation étant suffisamment régulière et bien définie (129 points), la carte de pluviométrie annuelle définitive pourra être établie par la juxtaposition de la carte de pluviométrie estimée par régression et de la carte des résidus (cf figure 20)

4.1.3) Système multi-modèles

Comme les extrémités nord et sud semblent avoir un régime pluviométrique différent qui ne peut être restitué par un modèle unique, nous avons cherché à réduire les résidus et l'erreur standard d'estimation en utilisant plusieurs modèles suivant trois parties : Nord, Centrale et Sud.

Les stations qui seront utilisées dans les régions nord et sud sont choisies en fonction de l'évolution de l'erreur standard du modèle. En effet, pour chaque partie, la régression est réalisée en faisant varier le nombre de stations. Ainsi le choix des stations se porte sur celles dont l'erreur standard est moindre et dont le nombre est suffisamment élevé pour être représentatif de la région.

Partie Centrale

Les stations choisies pour modéliser la partie centrale sont l'ensemble des stations à l'exception de celles situées aux extrémités caractérisées par des résidus particulièrement élevés (cf. stations entourées sur la carte des résidus figure 27: POINGAM, POUM, ARAMA, YATE US, YATE MARIE, goulet, KUE PEPINIERE, KUE OUEST, portboisecol, BAIE DE PRONY, rivièrebleue3) soit 117 stations.

Les variables les plus représentatives restent Z, dist, C1 et C3.

	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			20384.38	652.5	0.000000
C1	-0.344	0.068	-177.87	35.1	0.000002
C3	0.460	0.038	257.39	21.1	0.000000
Z	0.368	0.038	7.67	0.790	0.000000
dist	-0.448	0.067	-96.19	14.43	0.000000

R ² Multiple	0.845
R ² Ajusté	0.840
nbre d'obs	117
Err-Type Estim	2372

Tableau 9 Modèle PA partie centrale

Le R² de la régression multiple est de 0.84 pour une erreur type d'estimation de ~2372 ; reporté à la moyenne des observations de ~16327 cela correspond à une erreur standard d'environ 14% contre 17% sur l'ensemble de la Grande Terre.

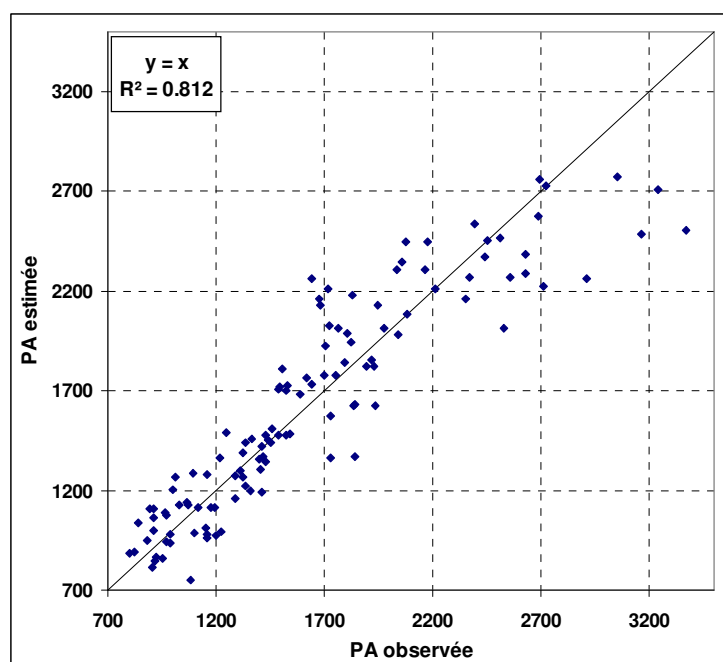


Figure 28 PA estimée/observée modèle Central

Partie Sud

Pour la partie Sud, le choix du nombre de station se porte sur les stations situées au sud de MTGNSOURCE soit 15 stations.

Les variables Z et dist sont choisies car elles donnent les meilleures corrélations pour seulement deux variables après divers essais.

	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			30477.50	1480.8	0.000000
Z	0.182	0.113	7.84	4.867	0.135513
dist	-0.854	0.113	-222.57	29.52	0.000011

R ² multiple	0.878
R ² ajusté	0.856
nbre d'obs	15
Err-Type Estim	2102

Tableau 10 Modèle PA partie sud

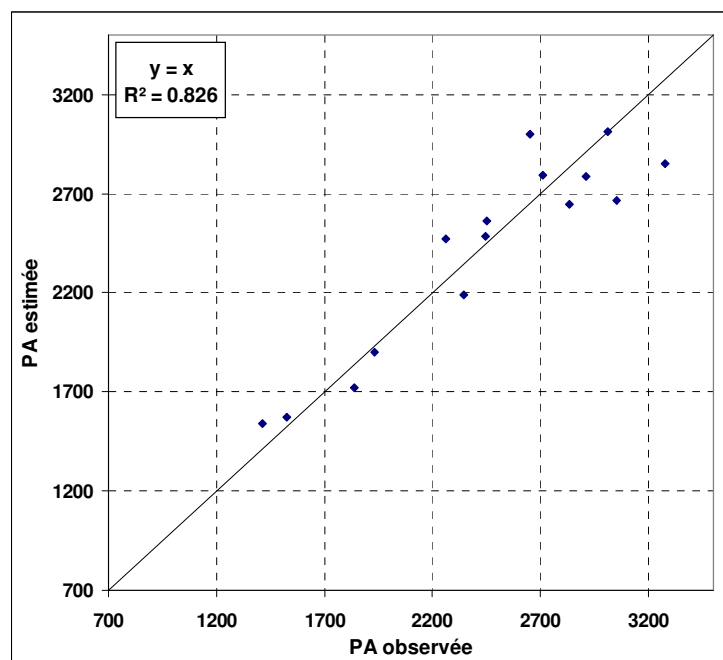


Figure 29 PA estimée/observée modèle Sud

Partie Nord

Les stations choisies sont celles situées au nord de Mandjelia.

Les variables présentant les meilleures corrélations sont comme pour le centre : C1, C3, dist, Z

	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			8865.52	635.3	0.000153
C1	-1.371	0.426	-894.26	277.988	0.032375
C3	-0.086	0.215	-22.12	55.25	0.709384
Z	0.78	0.139	9.95	1.77	0.004951
dist	1.051	0.372	104.67	37.08	0.047704

R ² multiple	0.945
R ² ajusté	0.889
nbre d'obs	9
Err-Type Estim	630

Tableau 11 Modèle PA partie nord

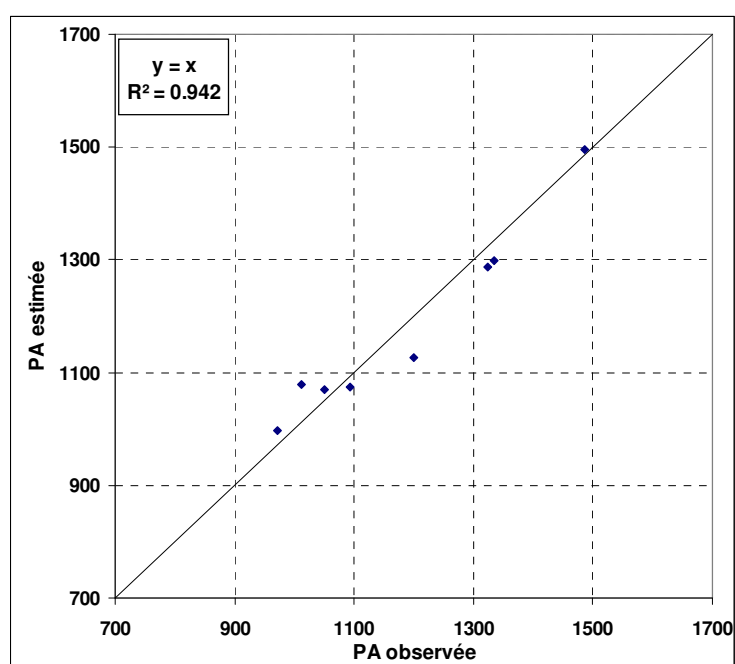


Figure 30 PA estimée/observée modèle Nord

Fusion des résultats multi-modèles

Nous disposons ainsi de 3 modèles correspondant aux régressions nord, sud et centrale. Il s'agit maintenant de regrouper ces 3 séries de valeurs. Pour que la transition entre chaque région soit la plus lisse possible, des zones de transitions sont tracées suivant la composante longitudinale de la grande terre **Ync**.

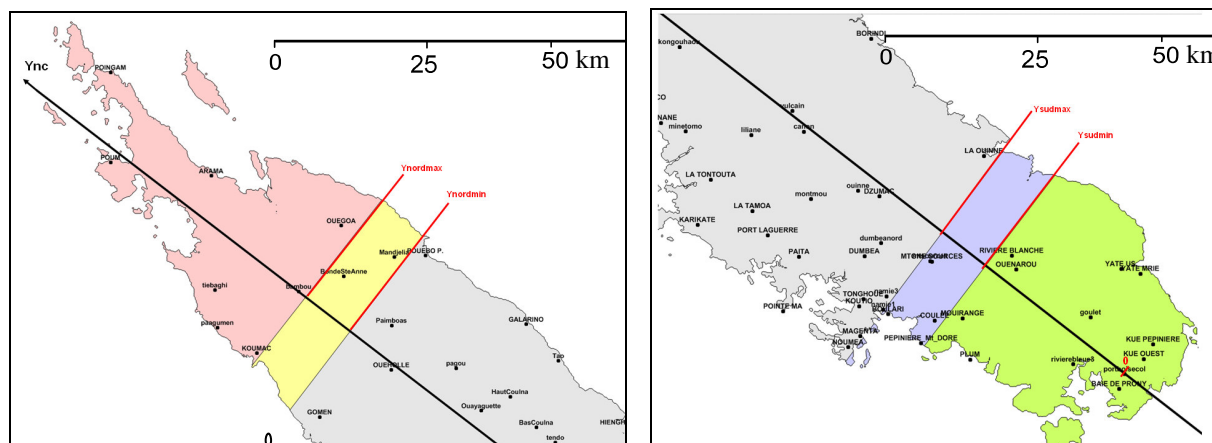
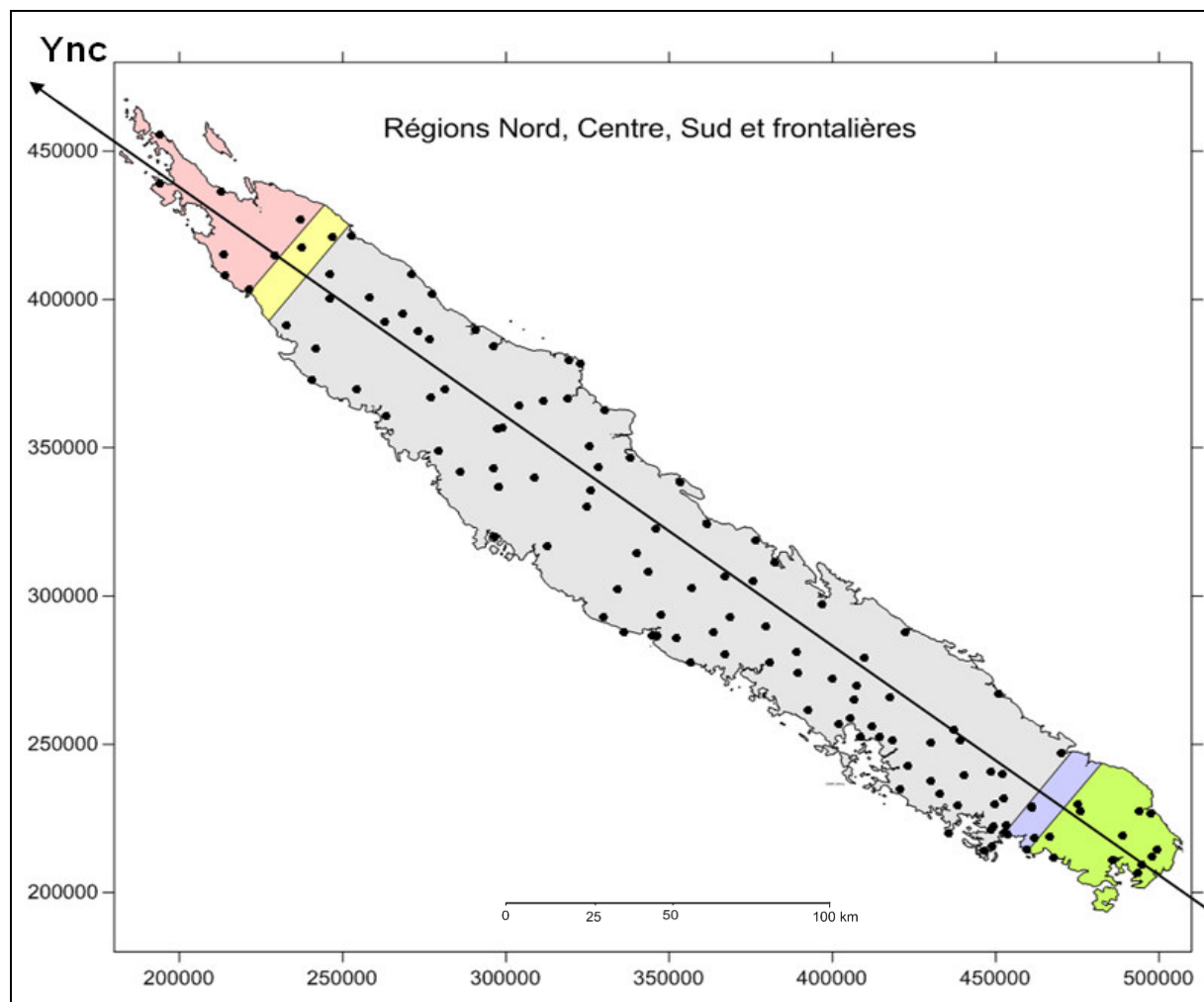


Figure 19 Découpe de la grande Terre en 3 modèles et 2 zones de transition

La pluviométrie de ces zones de transitions est lissée en attribuant des coefficients α, β et γ proportionnels à la composante Y_{nc} de chaque point.

La pluviométrie peut ainsi être définie comme suit (avec $y = Y_{nc}$):

$$P = \alpha \cdot P_{sud} + \beta \cdot P_{centre} + \gamma \cdot P_{nord}$$

Les coefficients α, β et γ prennent les valeurs suivantes par rapport à y :

- $y < y_{sud\ min}$ (zone verte):

$$\alpha = 1 ; \beta = 0 ; \gamma = 0$$

Avec en mètres :

- $y_{sud\ min} < y < y_{sud\ max}$ (zone bleue) :

$$\alpha = \frac{y - y_{sud\ min}}{y_{sud\ max} - y_{sud\ min}} ; \beta = \frac{y_{sud\ max} - y}{y_{sud\ max} - y_{sud\ min}} ; \gamma = 0$$

$$y_{sud\ min} = 30000$$

$$y_{sud\ max} = 40000$$

$$y_{nord\ min} = 325000$$

$$y_{nord\ max} = 335000$$

- $y_{sud\ max} < y < y_{nord\ min}$ (zone grise) :

$$\alpha = 0 ; \beta = 1 ; \gamma = 0$$

- $y_{nord\ min} < y < y_{nord\ max}$ (zone jaune) :

$$\alpha = 0 ; \beta = \frac{y - y_{nord\ min}}{y_{nord\ max} - y_{nord\ min}} ; \gamma = \frac{y_{nord\ max} - y}{y_{nord\ max} - y_{nord\ min}}$$

- $y_{nord\ max} < y$ (zone rouge) :

$$\alpha = 0 ; \beta = 0 ; \gamma = 1$$

4.1.4) Analyse des résultats

L'erreur type d'estimation du système multi-modèle est égal à 235mm ; reporté à la moyenne des observations de ~1694mm cela correspond à une **erreur standard d'environ 14%** contre 17% pour le système à modèle unique.

Afin de comparer la robustesse du système multi-modèle avec le modèle précédent, la carte de résidus est présentée.

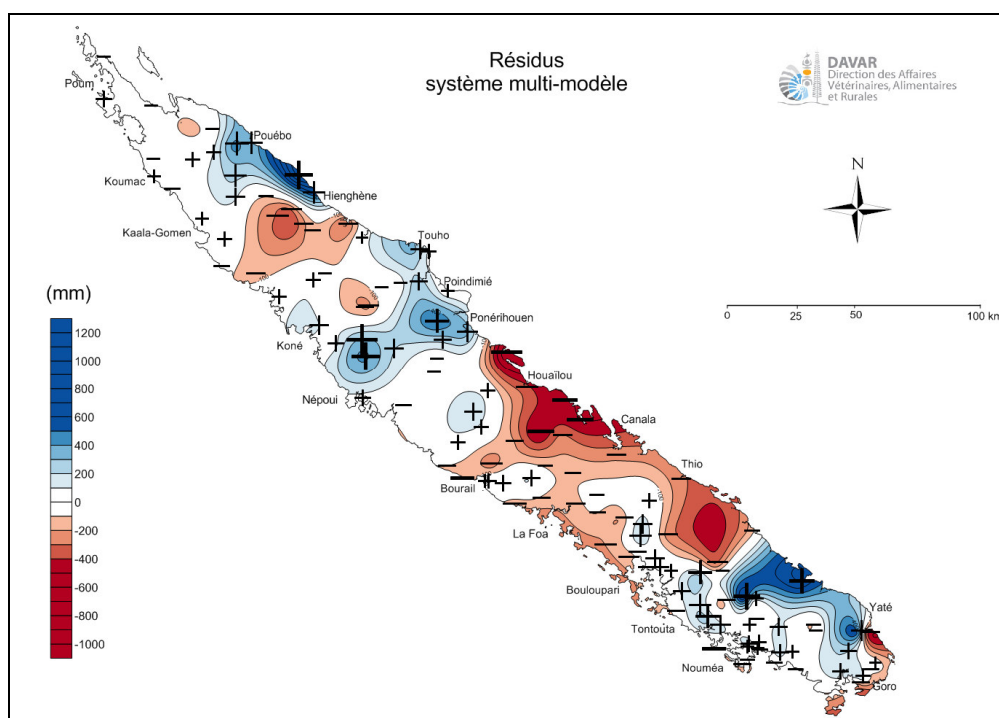


Figure 20 Multi-modèle : carte des résidus (PAobs - PAreg)

La carte des résidus du système multi-modèles montre une nette diminution des résidus au nord et au sud. Les valeurs extrêmes des résidus ont également diminuées avec des maximums de -669mm et 908mm contre -869mm et 1003mm pour le système à modèle unique. L'organisation spatiale des résidus est toujours observable et reste semblable pour les deux modèles.

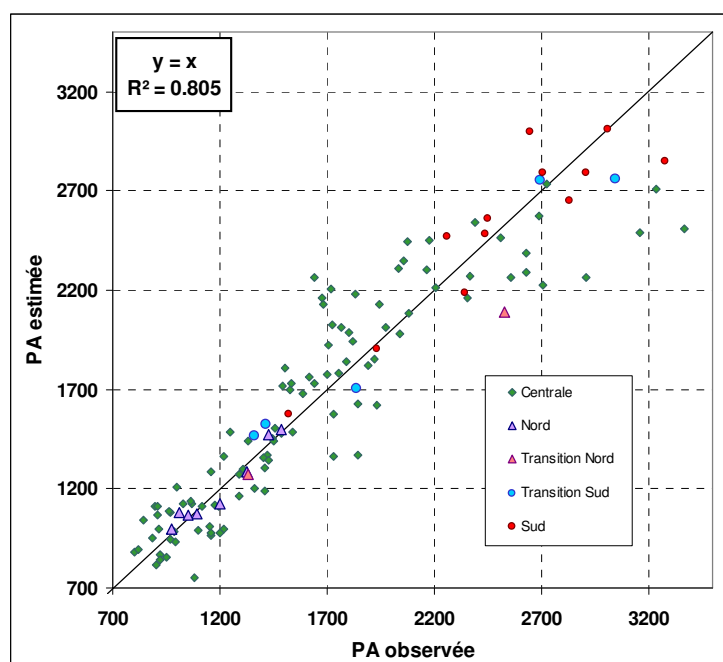


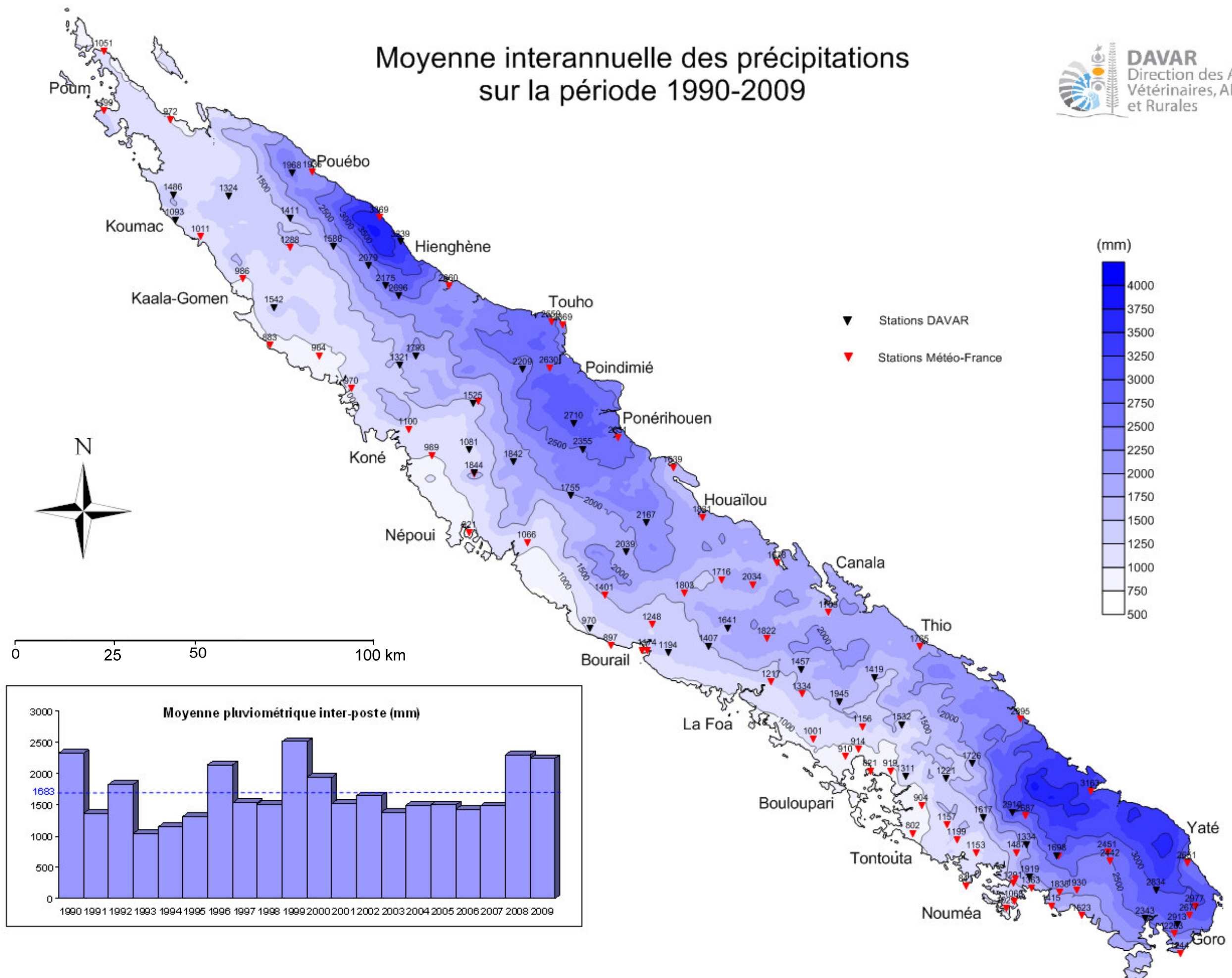
Figure 21 PA estimée/observée multi-modèles

La pluie estimée a été tracée en fonction de la pluie observée pour chaque station. Il apparaît que les résidus positifs les plus forts sont principalement observés pour les stations à forte pluviométrie situées au sud-est et nord-est de la Grande Terre. Cela montre que le modèle est limité pour retranscrire les plus fortes pluies. Nous observons également une dispersion des points pour les pluies intermédiaires (1500 – 2000mm) qui correspondent aux stations plus centrales.

Il subsiste donc une organisation spatiale des résidus pour laquelle nous ne disposons pas de variable géographique explicative. Une interpolation de type spline est alors utilisée afin de rectifier les résultats issus du système multi-modèle et les rendre au mieux conformes aux données observées.

Le résultat est présenté carte 1.

Moyenne interannuelle des précipitations sur la période 1990-2009



Carte 1 Moyenne Interannuelle des précipitations sur la période 1990-2009

Comparaison des estimations 90/09 et 91/01

La moyenne pluviométrique simulée sur l'ensemble de la Grande Terre est de 1754mm en 1991-2001 et de 1729mm en 1990_2009. Ce qui correspond à une diminution de 1.4% entre les deux périodes de mesure. La moyenne inter-poste est de 1671mm en 1991-2001 et de 1683 en 1990-2009, cela correspond à une augmentation de 0.7%.

En moyenne, la pluviométrie n'a donc pas beaucoup évoluée d'une période à l'autre et ceci est confirmé par la différence entre l'ancienne et la nouvelle simulation.

Cependant ces deux simulations présentent des différences importantes localement. La carte des différences entre la pluie estimée sur la période 90/09 avec le système multi-modèle et celle estimée en 2003 sur la période 91/01 est présentée figure 34.

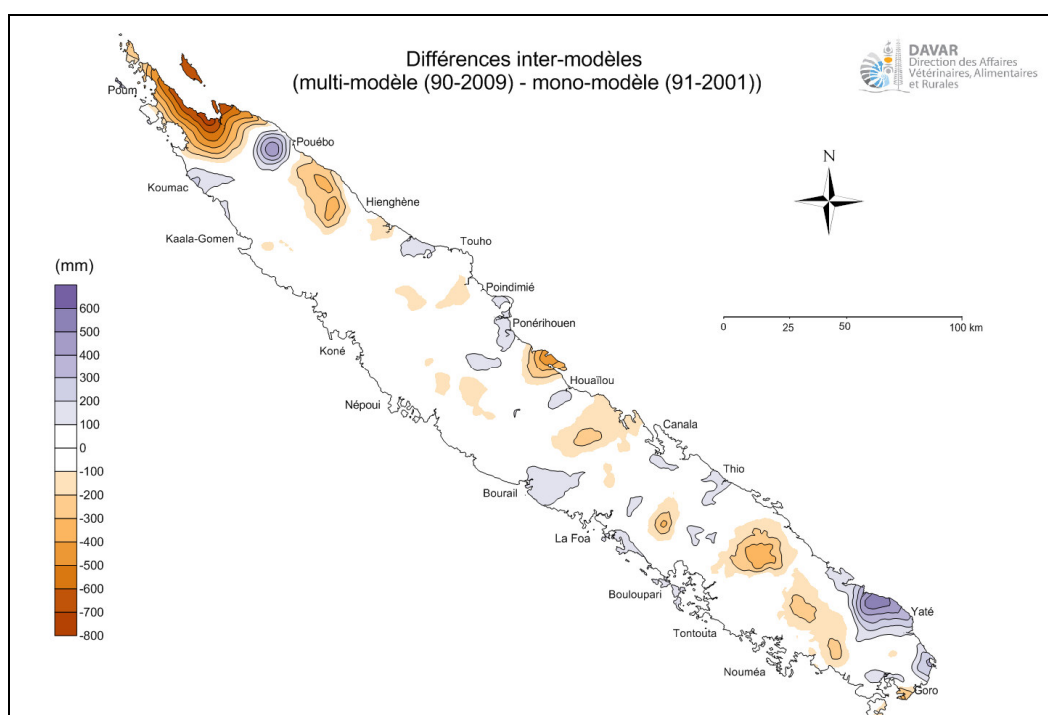


Figure 34 Comparaison du nouveau modèle avec l'ancien (Perchat 2003) par soustraction

L'extrémité nord présente le plus de différences entre les deux estimations, en effet le fait d'avoir traité le nord séparément du reste de la grande terre a grandement diminué les résidus qui étaient de l'ordre de -900mm avec l'estimation de 91/01.

Pour la même raison, on observe une grande différence (~500mm) dans le sud au niveau de Yaté.

Une grande différence (~400mm) est remarquable au niveau de Mandjelia, en effet la pluviométrie de Mandjelia est de ~2260mm en 99/09 contre ~1550mm en 91/01. Ceci peut s'expliquer par la réinstallation de la station en 2004. En raison d'un emplacement sur la crête très exposé au vent, la nouvelle station a été déplacée légèrement vers la vallée du Diahot (*cf chap1.5*)

4.2) Paramètres de Gumbel

4.2.1) P_{0_24h}

Modèle

Une relation entre le facteur de position pour la durée 24h (P_{0_24h}) et la moyenne interannuelle (PA) est établie à partir de l'échantillon des 49 stations DAVAR.

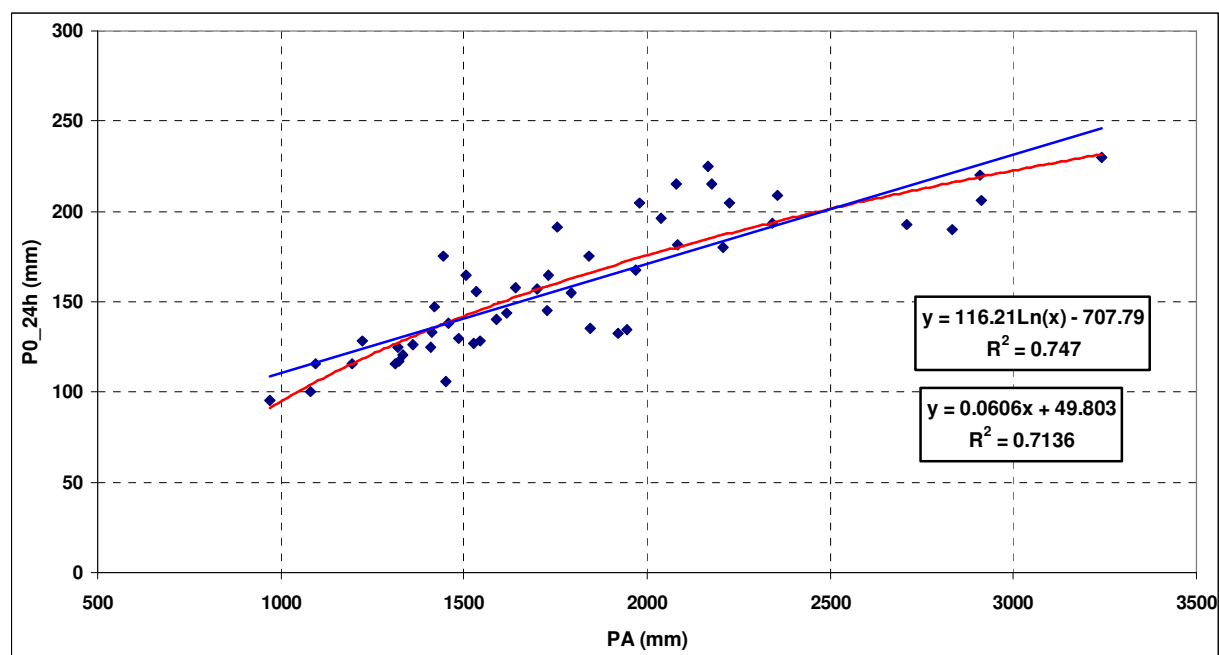


Figure 35 Paramètre de position en fonction de la pluie annuelle

Le nuage de point présente un certain seuil à PA ~2500mm au-delà duquel le paramètre de position P₀ semble borné. Une régression logarithmique est alors légèrement plus pertinente. En effet, le R² de la régression logarithmique est plus élevé (de 5%) que pour la régression linéaire.

Cependant le nuage de point est encore trop dispersé et le coefficient de détermination de l'ordre de 0.7 peut être amélioré. Pour cela le relief (composantes, distance à la cote est, altitude) est pris en compte dans la régression ainsi que le logarithme et l'exponentielle de ces données afin de mettre en avant une hypothétique relation non-linéaire.

Les régressions multiples ascendantes et descendantes renvoient les données suivantes comme étant les plus représentatives de P_{0_24h} : PA, C1, C2, C3.

P0_24h	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			934.265	113.1	0.000000
Moy Inter	0.460	0.082	0.033	0.0	0.000001
C1	-0.381	0.068	-14.639	2.6	0.000001
C2	-0.304	0.053	-11.150	2.0	0.000001
C3	0.285	0.069	8.600	2.1	0.000167

R ² Multiple	0.879
R ² Ajusté	0.868
nbre d'obs	49
Err-Type Estim	135

Tableau 12 Modèle P_{0_24h}

Les données estimées sont tracées en fonctions des données validées.

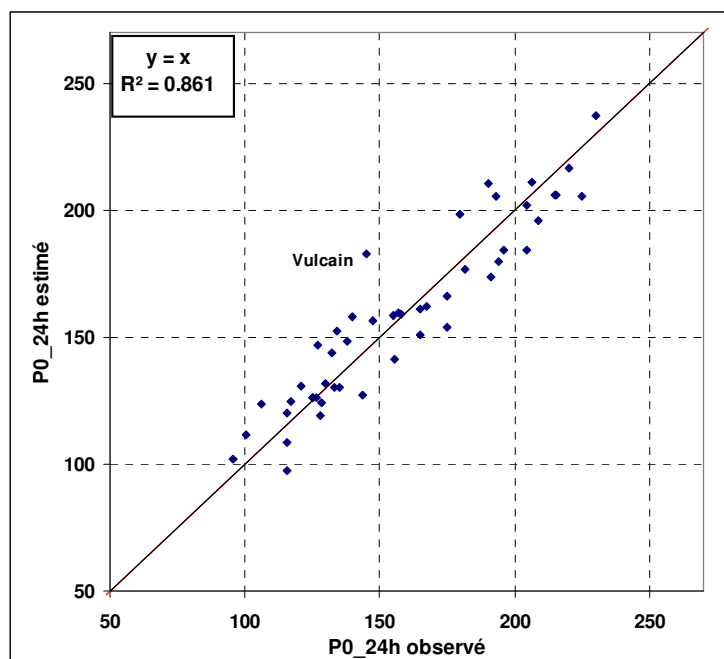


Figure 36 P_{0_24h} estimé/observé

La prise en compte des composantes C1, C2, C3 a bien augmenté le coefficient de détermination qui est maintenant de l'ordre de 0.86.

La carte des résidus est tracée (interpolation de type spline) :

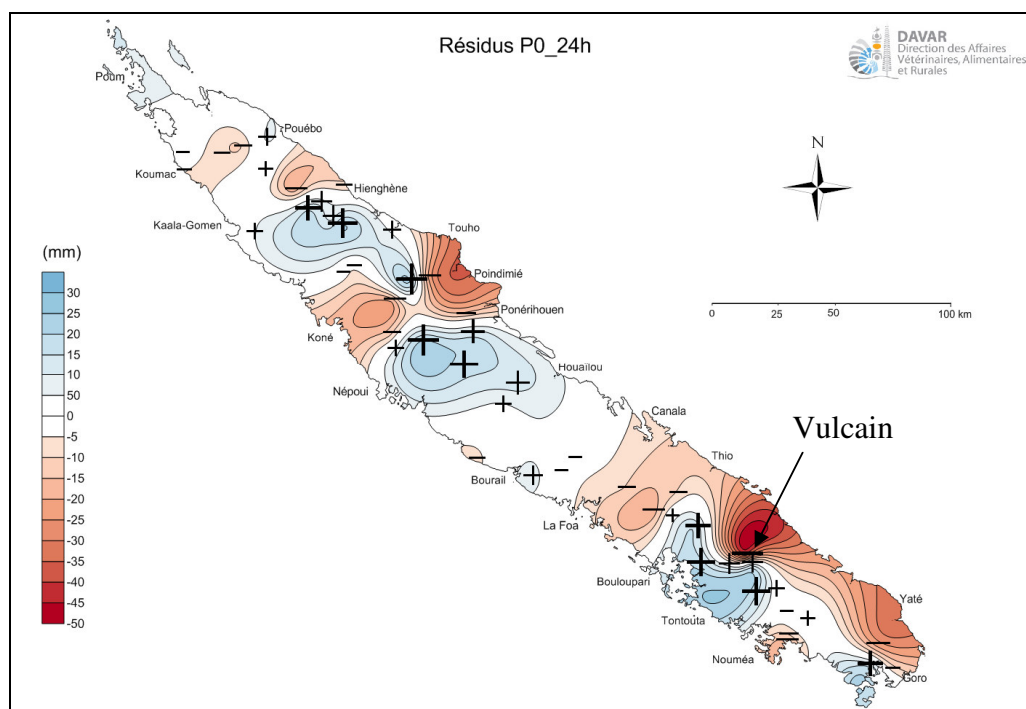


Figure 37 P_{0_24h} : carte des résidus (P_{0obs} - P_{0reg})

La station Vulcain présente un résidu négatif très important (-37mm soit environ -20% de la moyenne des P_{0_24h} qui est de ~160mm) par rapport aux stations environnantes Canon et Liliane ce qui induit un pic des résidus de -50mm (effet pépète de l'interpolation spline).

Cette différence est principalement due au rapport P_{0_24h}/PA de Vulcain (0.084) qui est inférieur à ceux de Canon et Liliane (0.121 et 0.105). Cette variabilité peut être due à un effet de site que nous n'avons pas déterminé.

PA Vulcain ~ 1730mm	P_{0_24h} Vulcain ~ 145mm
PA Canon ~ 1440mm	P_{0_24h} Canon ~ 175mm
PA Liliane ~ 1220mm	P_{0_24h} Liliane ~ 128mm

La qualité des enregistrements de cette station n'a pas pu être remise en cause (*cf chap 1.3.3*).

Nous avons malgré tout vérifié que la présence de cette station atypique dans notre échantillon ne biaisait pas la régression multiple (seule 6% de différence en moyenne sur les paramètres du modèle).

Cependant la carte des résidus est chaotique. En effet contrairement à la carte de la moyenne interannuelle l'organisation des résidus n'est pas flagrante et de plus elle n'est pas suffisamment échantillonnée. L'interpolation spline de ces résidus induirait des biais importants dans la cartographie résultante, puisque les isovaleurs seraient significativement influencées par la position géographique des stations.

Le choix de la cartographie des P_{0_24h} se porte ainsi sur la carte issue de la régression linéaire des variables PA, C1, C2, C3 ; sans prise en compte des résidus.

Analyse de sensibilité des paramètres

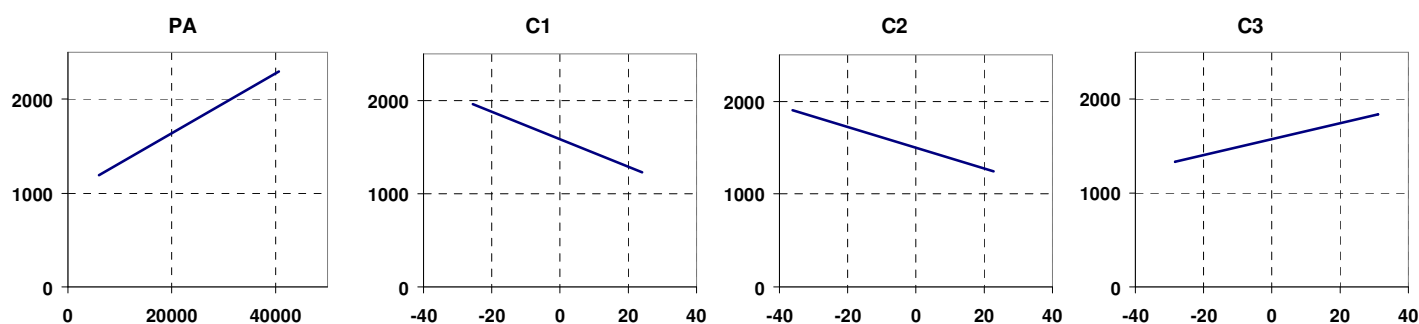


Figure 38 Influence des paramètres sur P_{0_24h} (1/10mm)

La pluie annuelle est le paramètre qui influence le plus le modèle. Les paramètres C1 et C2 ont une influence équivalente. La carte de la somme de ces paramètres associés à leur facteur de pondération ($14.64 C1 + 11.15 C2$) est tracée.

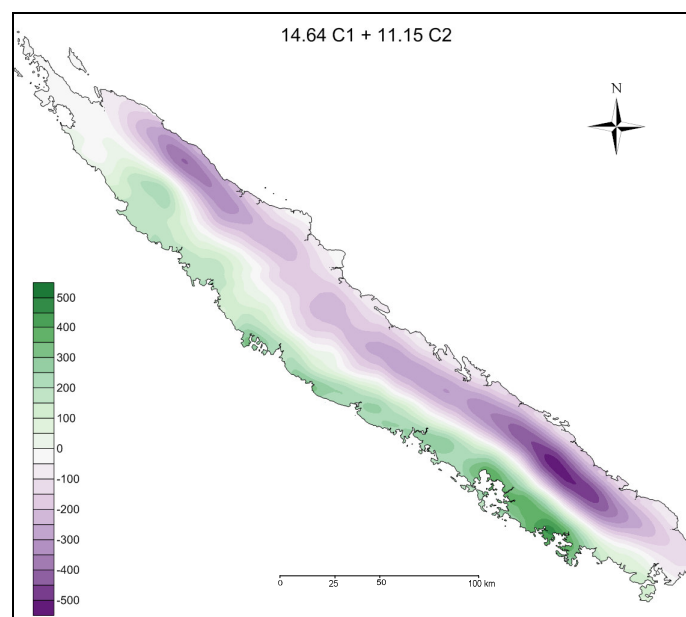


Figure 39 Somme pondérée des composantes C1 et C2

La carte présente un gradient NE-SO tout comme la composante C1. Cependant les valeurs positives sont décalées vers le SO par rapport à C1 seul. La pluie augmentant avec cette variable descendante, cela se traduit dans notre modèle par une extension des fortes valeurs vers l'ouest du territoire.

Les pluies journalières maximales étant dues à des dépressions tropicales ou à des cyclones, il est intéressant de penser que ce décalage est dû à l'énergie et l'humidité importante de la dépression qui s'épuisent moins vite au franchissement de la chaîne centrale que celles des vents générant les petites pluies annuelles.

Le paramètre C3 est le moins significatif cependant son influence est tout de même à prendre en compte. En effet, en ne prenant que PA, C1 et C2, le R^2 chute de 0.87 à 0.82, de plus en comparant la carte des résidus avec et sans C3, il apparaît une nette diminution des résidus au nord ($C3 < 0$) et au sud ($C3 > 0$), c'est-à-dire aux extrémités de la grande chaîne.

L'influence de C3 peut être expliquée par le fait que les grosses dépressions peuvent être encore plus sensible à la pente NO-SE que les vents moins forts et donc générer des pluies plus importantes.

Validation

Les 45 stations de Météo-France pour lesquelles les paramètres de position journaliers sont disponibles sont utilisées pour tester la validité du modèle. Les P_0 journaliers sont transformés en P_{0_24h} par multiplication par le coefficient de Weiss (1.14). Les P_{0_24h} estimés par le modèle sont tracés.

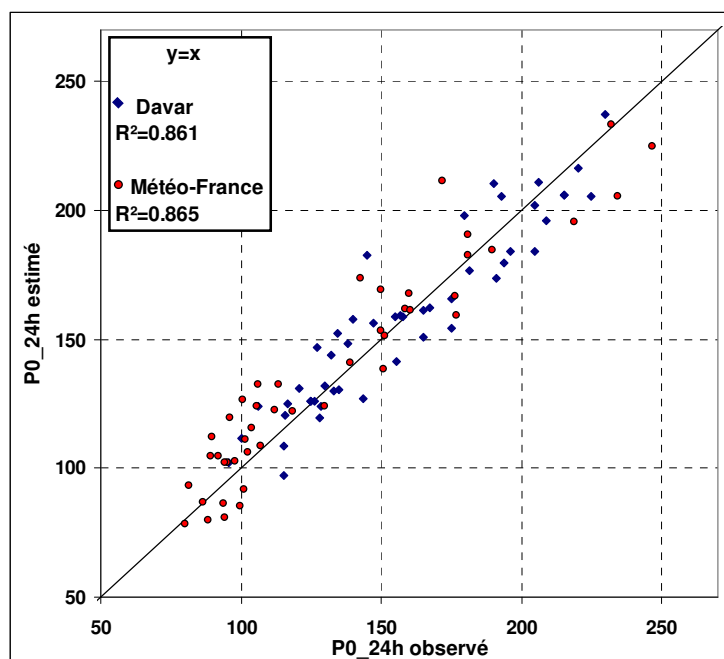


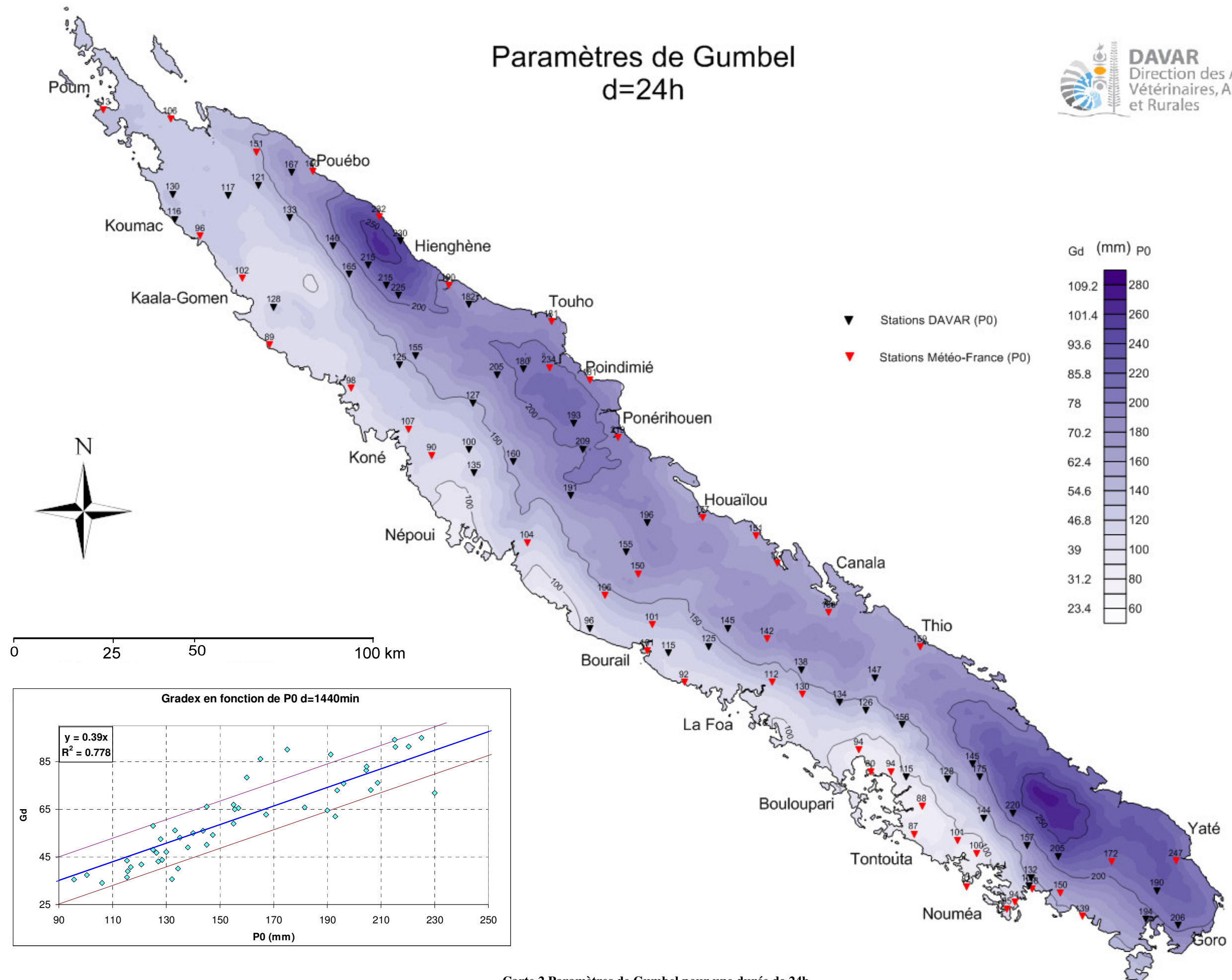
Figure 22 P₀_24h estimé/observé validation

Le coefficient de détermination pour les stations de validation (Météo-France) est très proche de celui des stations de calage (Davar). Le modèle apparaît donc parfaitement robuste et indépendant de l'échantillonnage.

Résultats

La Carte 2 présente la cartographie résultante du paramètre de position. Le Gradex se déduisant en première approche par la relation linéaire établie chapitre 2.2.7, la carte peut être lue suivant une double échelle P₀/Gd

Paramètres de Gumbel d=24h



Carte 2 Paramètres de Gumbel pour une durée de 24h

4.2.2) P_{0_2h}

Modèle

L'analyse de régression multiple montre que la variance du paramètre de position pour la durée de 2h est principalement expliquée par: **P_{0_24h}**, **Zmoy** (Ord à Origine) et **dist**.

P _{0_2h}	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			435.633	44.09	0.000000
P _{0_24h}	0.806	0.085	0.188	0.020	0.000000
Zmoy	-0.367	0.063	-0.326	0.056	0.000001
dist	-0.199	0.083	-1.742	0.727	0.020789

R ² Multiple	0.839
R ² Ajusté	0.828
nbre d'obs	49
Err-Type Estim	36

Tableau 13 Modèle P_{0_2h}

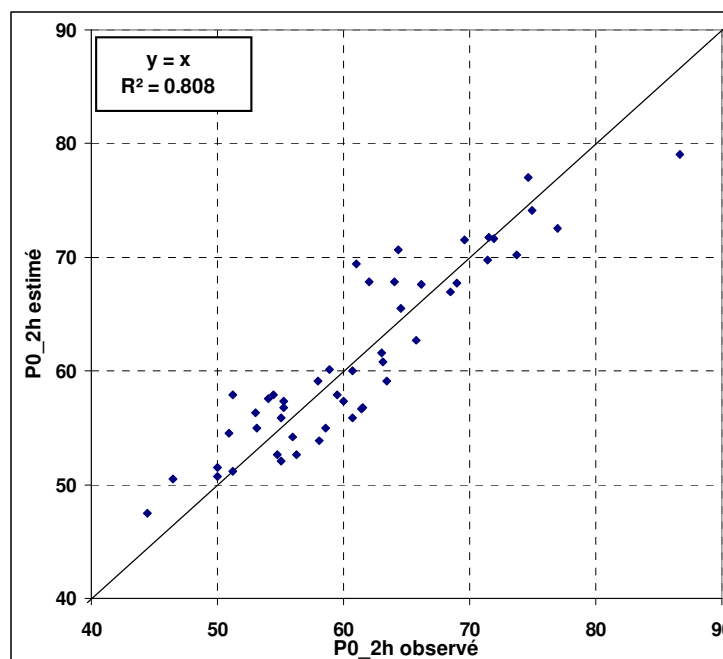


Figure 23 P_{0_2h} estimé/observé

Le paramètre de position de la station de Tao est significativement plus élevé que ceux des autres stations (environ 13% supérieur au deuxième P_{0_2h} le plus important). En ôtant Tao du modèle, les composantes ne changent pas beaucoup (<6%). Le choix de Tao n'induit donc pas beaucoup de différence et sera donc gardé dans le modèle. De plus Tao est la seule station présente sur la côte Est, dont nous avons pu estimer les paramètres de Gumbel inférieur à 24h. La critique de cette station ne mettant pas en lumière d'aberration quelconque dans les données brutes, cette station représente des informations importantes sur la pluviométrie au bord de la côte Est.

La régression a également été réalisée en transformant la variable dist avec une fonction logarithmique afin de vérifier si la pluie peut être liée à la distance de manière non-linéaire. Les résultats donnent un R² de 0.83 et Tao se retrouve bien estimé (variance < 2%). Cependant la

différence entre les deux cartes tracées est importante pour les faibles valeurs de dist (<10km du bord de la cote Est). En effet le logarithme donne plus de poids aux faibles valeurs ce qui induit des maximums plus importants au bord de la côte Est. Cette augmentation brutale des P_0 à l'approche de la côte Est (20% en moins de 10km) semble peu vraisemblable et le modèle utilisant la distance « linéaire » à la côte Est est privilégié.

Analyse de sensibilité des paramètres

L'influence d'un paramètre est évaluée en calculant les P_{0_2h} pour le maximum et le minimum de ce paramètre en fixant les autres à leur valeur moyenne. A noter que les variables Z_{moy} et dist sont considérées linéairement indépendant l'une de l'autre avec un R^2 inférieur à 0.1.

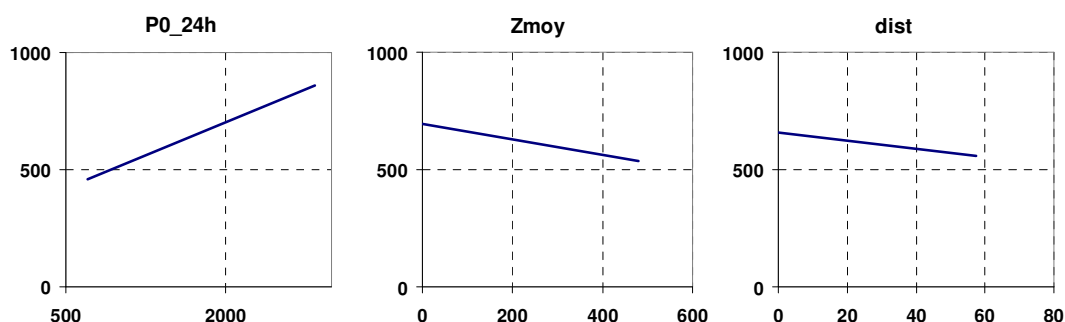


Figure 24 Influence des paramètres sur P_{0_2h} (1/10mm)

Ainsi en fixant Z_{moy} et dist à leur moyenne, le P_{0_2h} varie de 458 à 860 suivant les valeurs extrêmes de P_{0_24h} . Rapporté à la moyenne des P_{0_2h} de 620 cela représente un écart de 65%. Le paramètre P_{0_24h} a donc le poids le plus important dans ce modèle suivi de Z_{moy} (25%) et dist (16%).

Il est évident que l'altitude moyenne et la distance interviennent dans le phénomène des précipitations orographiques.

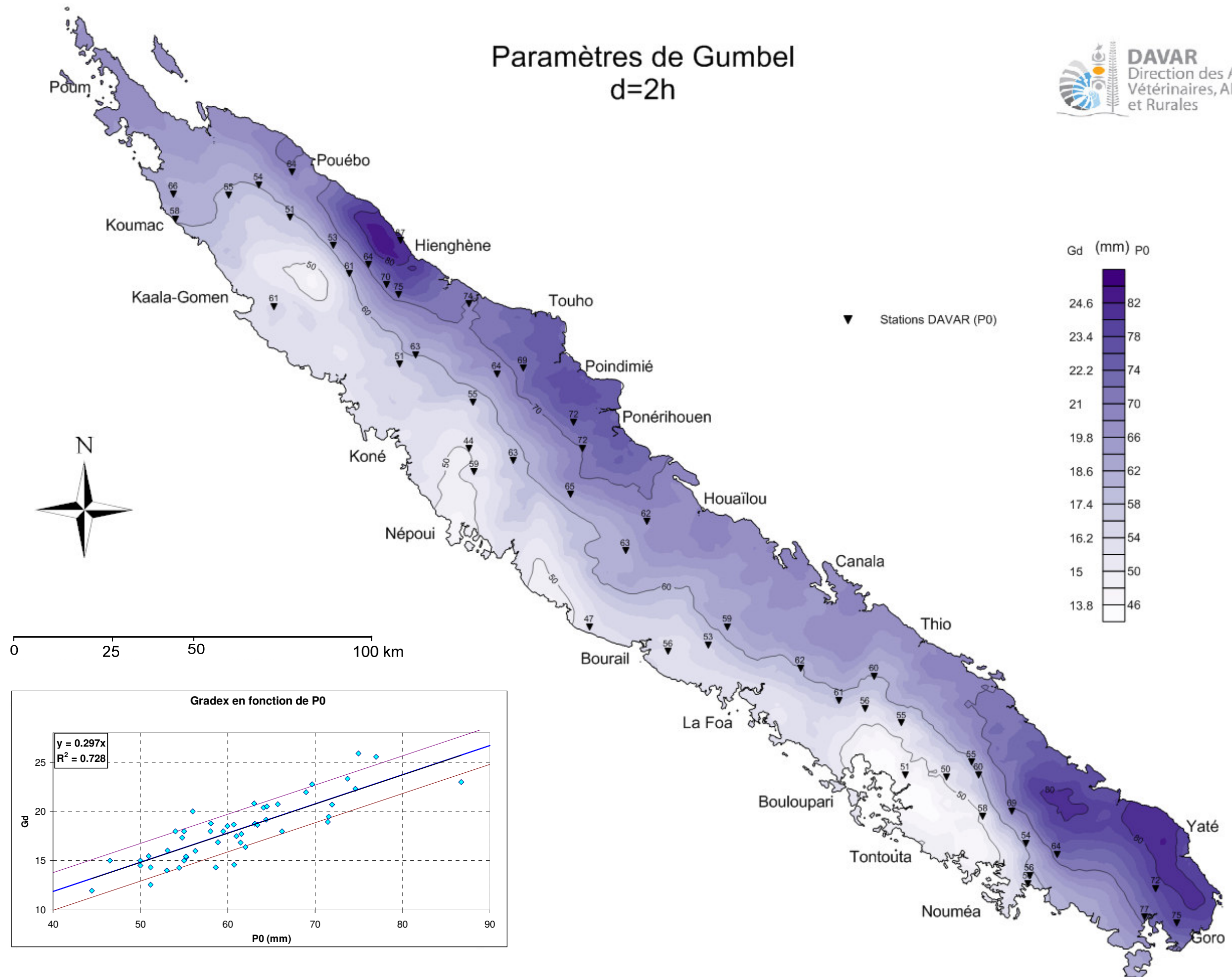
Cependant l'analyse de sensibilité montre que P_{0_2H} évolue de façon moins marqué que P_{0_24H} en fonction de l'altitude et que par contre la distance à la côte Est a une importance plus prononcée que pour P_{0_24H} . De plus l'altitude a une influence négative sur P_{0_2h} contrairement au modèle de pluie annuelle. L'altitude ayant une influence positive sur P_{0_24h} via la pluie annuelle, cela signifie que P_{0_2h} est moins sensible à l'altitude du point considéré mais davantage conditionnée par l'effet de gradient orographique et par la distance à la côte Est que ne l'est la pluie annuelle.

Résultats

Comme pour 24H, l'interpolation spatiale des résidus n'est pas pertinente et introduit des effets petits centrés sur les postes d'observations. Les résultats sont présentés carte 3.

La carte suivante montre une zone à 50mm à l'est de Kaala-Gomen. Cette zone semble incohérente. Une zone dense apparaît également pour P_{0_24h} mais elle rejoint la mer et n'est pas condensée de cette manière. Ce sont les paramètres Z_{moy} et dist qui « coupent » cette zone de la mer. Il est alors raisonnable de penser que l'isocontour 50 atteint en réalité le bord de mer en suivant la côte. Cette observation est également valable pour 1h et 15min.

Paramètres de Gumbel d=2h



Carte 3 Paramètres de Gumbel pour une durée de 2h

4.2.3) P₀_1h

Modèle

Le paramètre de position pour la durée de 2h est mise en relation avec celui de 24h. Les variables ressortant de la régression multiples sont les même que précédemment: P₀_24h, Zmoy et dist

P0_1h	Bêta	Err-Type de Bêta	B	Err-Type de B	niveau p
OrdOrig.			378.220	35.96	0.000000
P0_24h	0.684	0.112	0.099	0.016	0.000000
Zmoy	-0.426	0.083	-0.235	0.045	0.000005
dist	-0.243	0.109	-1.317	0.593	0.031377

R ² Multiple	0.721
R ² Ajusté	0.703
nbre d'obs	49
Err-Type Estim	29

Tableau 14 Modèle P₀_1h

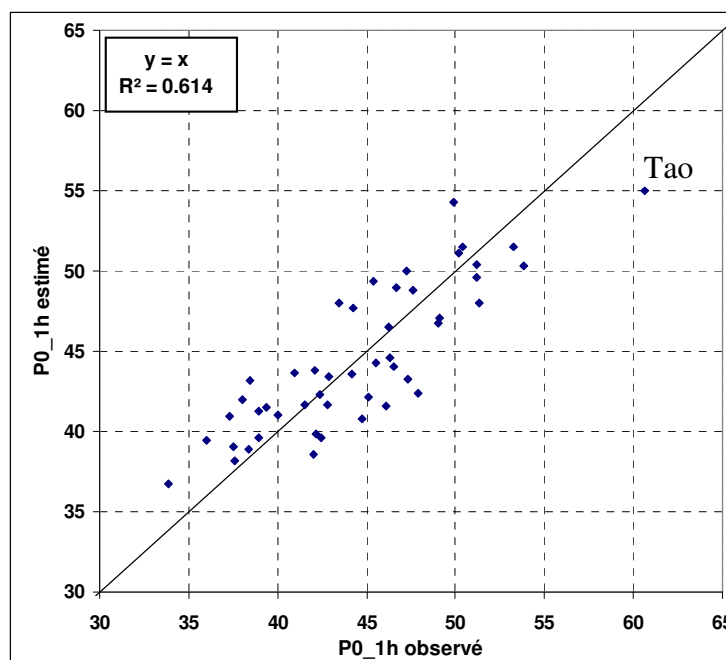


Figure 25 P₀_1h estimé/observé

Comme pour 2h, le paramètre de position de Tao est très élevé et n'est pas bien représenté par la régression avec dist (grand résidu). La forme logarithmique de dist estime également mieux Tao (variance < 2%).

En ôtant Tao, il apparaît que la distance à la cote Est (sous sa forme normale ou logarithmique) ne ressort plus de la régression multiple. Les variables suivantes sont alors les plus représentatives de P₀_1h : P₀_24h, Zmoy, C1 et z. (R²=0.624) La carte résultante n'a donc plus vraiment la même allure mais les différences restent faibles avec des différences maximales inférieur à 10%.

Afin de rester cohérent avec la durée de 2h Tao sera donc gardé dans le modèle.

De plus, pour les mêmes raisons que précédemment, le choix du modèle se porte sur la distance « linéaire » à la côte Est plutôt que sur son logarithme.

Analyse de sensibilité des paramètres

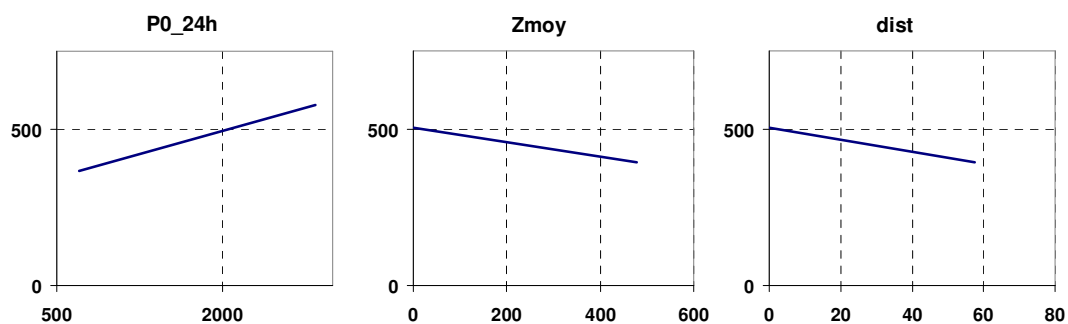
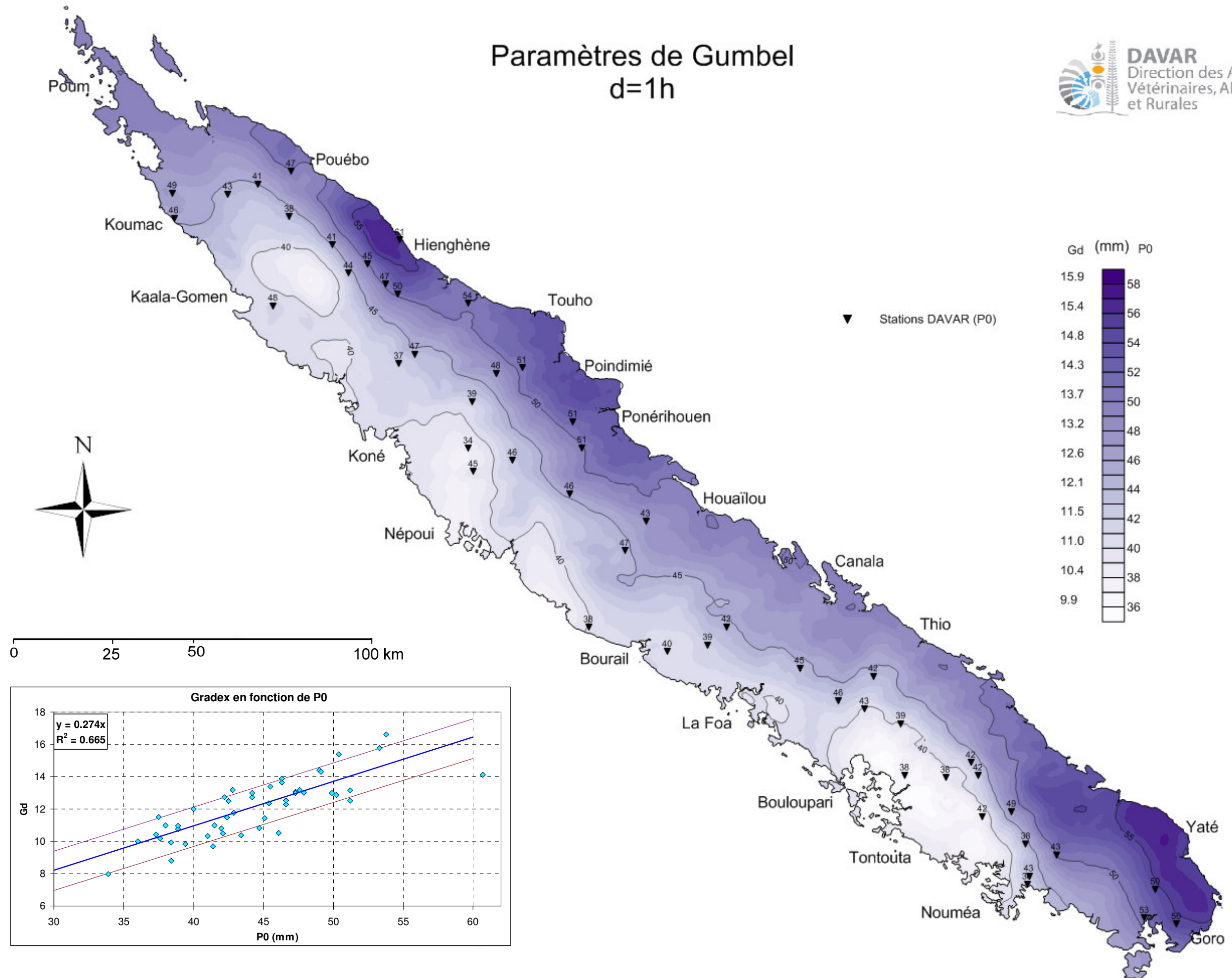


Figure 44 Influence des paramètres sur P_{0_1h} (1/10mm)

Il ressort à nouveau que P_{0_24h} induit la variabilité de P_{0_1h} la plus forte (47%).

Paramètres de Gumbel d=1h



4.2.4) P₀_15 min

Il est très difficile de mettre en relation P₀_15min avec les données du relief.

Les variables ressortant le mieux de la régression multiple de P₀_15min sont : P₀_24h, Zmoy, C1 et z, pour un coefficient de détermination très faible ($R^2=0.25$)

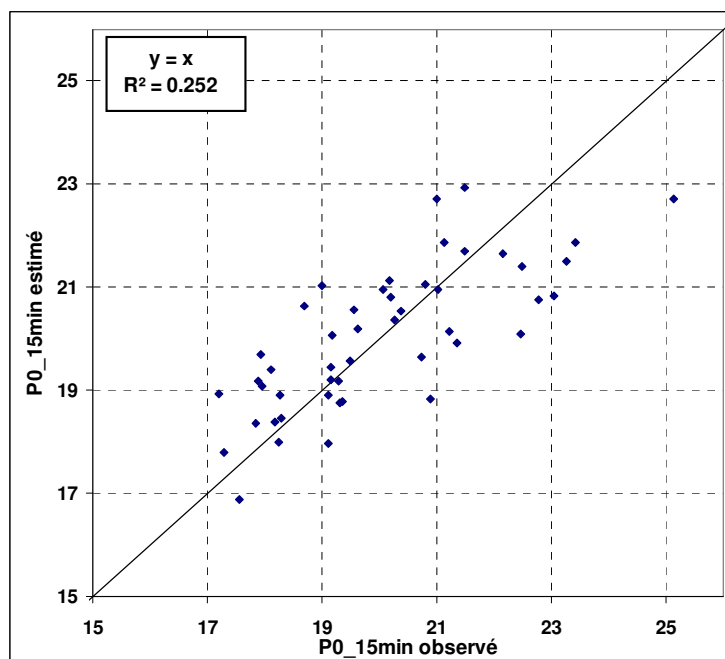


Figure 45 P₀_15min estimé/observé

Les variables utilisées dans les modèles précédents (P₀_24h, Zmoy, dist) ne sont pas représentatives de P₀_15min avec un R^2 inférieur à 0.1.

Il semble alors plus pertinent de mettre P₀_15min en relation avec P₀_1h pour lequel la régression linéaire simple présente un R^2 de 0.78. La station Pagou est exclue de l'échantillon car le rapport P₀_15min/P₀_1h est trop important par rapport aux autres stations et biaise la régression linéaire. (cf. figure 46.)

Les erreurs d'estimation de P₀_24h, P₀_1h et P₀_15min sont certes cumulées mais cela est plus cohérent qu'une relation très médiocre avec des paramètres géographiques différents des modèles P₀_1h et P₀_2h. Il est en effet plus réaliste de penser que les paramètres de position de faibles durées (15min à 1h) varient de la manière comparable en fonction du paysage et que les écarts observés proviennent davantage des biais de l'instrumentation, des effets de sites et des incertitudes d'ajustements que l'on sait d'autant plus sensible que les durées sont faibles.

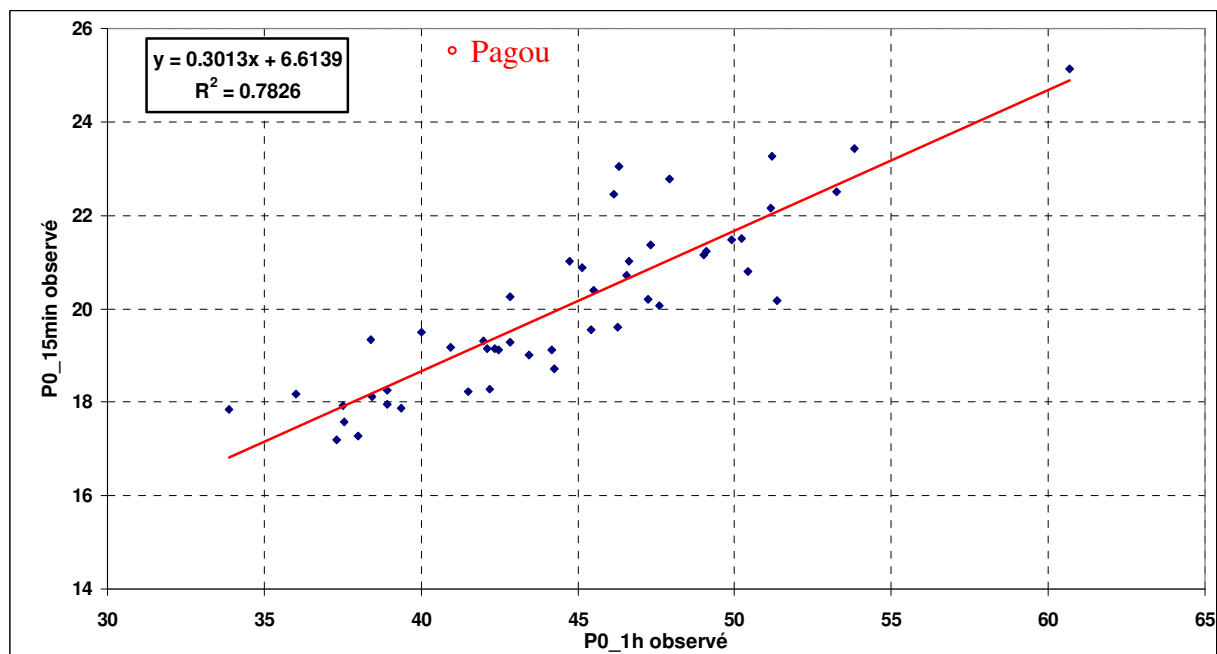
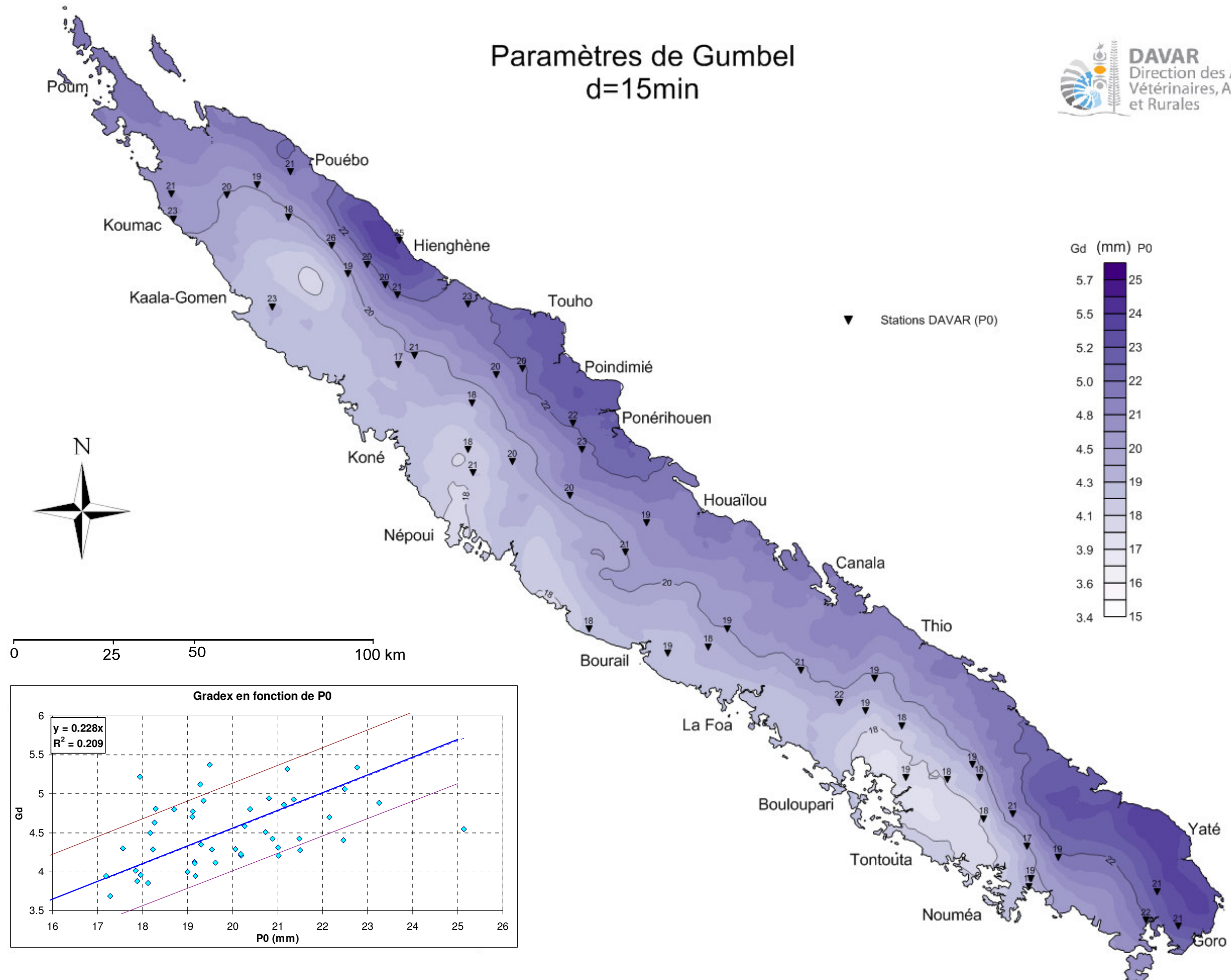


Figure 46 P_{0_15min} en fonction de P_{0_1h}

Le modèle est donc : $P_{0_15min} = 0.3013 P_{0_1h} + 6.614$

Paramètres de Gumbel d=15min



Carte 5 Paramètres de Gumbel pour une durée de 15min

4.2.5) Synthèse des modèles

Le schéma ci-dessous présente les variables descriptives (cercles oranges) utilisées par chaque modèle linéaire pour évaluer la moyenne annuelle pluviométrique PA puis les paramètres de position P_0 (cercles bleus, variables expliquées). Chaque flèche représente l'influence d'une variable sur une autre. Les signes + et - représentent le signe du facteur de pondération de la variable associée. La taille du signe indique l'influence d'une variable par rapport à celles intervenant dans le même modèle. Ainsi on retrouve l'influence supérieure de C3 sur PA par rapport à C1, dist et Z (cf fig25)

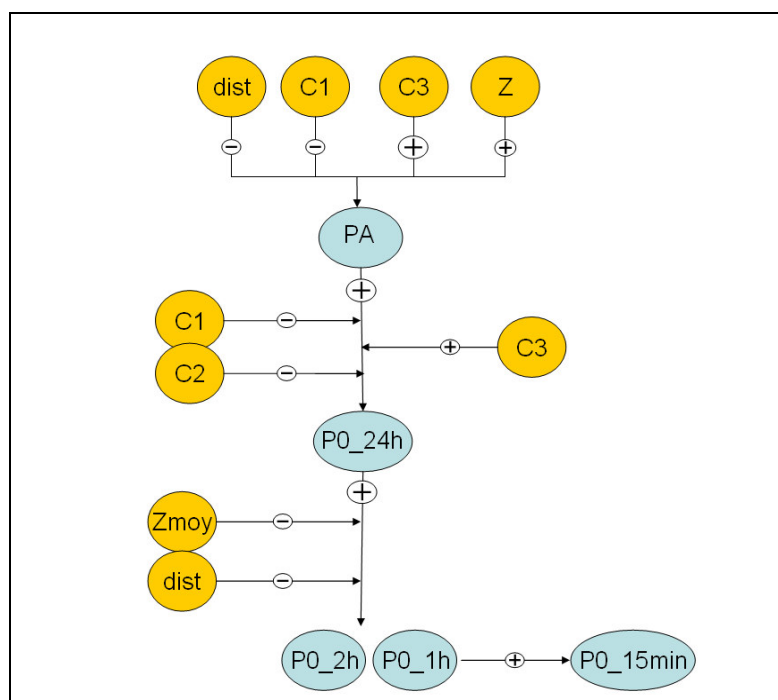


Figure 47 Schéma de synthèse des modèles utilisés

Le fait que les composantes C1 et C3 interviennent de façon « double » dans l'élaboration de P_{0_24h} (directement et par le biais de PA) indique que l'influence de la distance et de l'altitude sur P_{0_24h} est diminuée par rapport à celle sur PA. Les composantes C1, C3 ont donc plus de poids dans l'élaboration de P_{0_24h} .

Pour des durées inférieures à 24h, les paramètres de positions sont élaborés à partir de P_{0_24h} et des variables Zmoy et dist. Cependant l'altitude moyenne Zmoy a une influence négative sur les paramètres. L'altitude ponctuelle étant déjà comprise dans P_{0_24h} , cela montre que l'influence générale de l'altitude diminue avec la durée de l'intensité considérée. Ainsi plus la durée de référence est courte, plus son intensité est conditionnée par la forme du relief et la distance à la côte, plutôt que par son altitude.

Pour des durées inférieures à 1h, l'erreur standard du modèle utilisant P_{0_24h} est trop importante. Le paramètre P_{0_15min} est donc estimé uniquement suivant P_{0_1h} .

Conclusion

Résultats

Cette étude a permis l'actualisation des isohyètes interannuelles avec un gain en précision et en fiabilité important. En effet avec 10 ans de données supplémentaires et un échantillon plus grand, il a été possible de confirmer la pertinence de la méthode de régionalisation et du choix des variables explicatives déjà utilisées en 2003 pour l'interpolation spatiales des cumuls pluviométriques

De plus, nous avons pu confirmer la pertinence de la méthode d'interpolation spatiale appliquée sur les paramètres des Intensités-Durées-Fréquences (IDF) ce qui a conduit à la première cartographie des paramètres de Gumbel sur la Nouvelle-Calédonie. Associées à la méthode du calcul des quantiles, décrite en annexe 5, ces cartes permettent donc d'évaluer les quantiles d'Intensité-Durée-Fréquence pour chaque point de la Grande Terre.

Limites et voies de progrès

Toutefois, le calcul des IDF s'est montré délicat. En effet, pour rester cohérent à l'échelle régionale, l'ajustement à la loi de Gumbel des intensités maximums a parfois nécessité d'ignorer certains points horsains. Dans ces cas particuliers, la loi des Extrêmes Généralisée (GEV) s'ajustait mieux aux valeurs empiriques mais conduisait à des IDF nettement supérieures à celles définies par la Loi de Gumbel sans qu'une homogénéité régionale ou que des facteurs géographiques explicatifs n'aient pu être définis. Un ajustement à un échantillon régional (2000 années-stations) a permis de confirmer la cohérence et la robustesse de la loi de Gumbel, puisqu'avec une durée équivalente supérieure à 2000 années-stations, les horsains sont absents et la loi de Gumbel s'ajuste parfaitement y compris pour les épisodes cycloniques les plus extrêmes.

Par ailleurs, les données d'intensités maximales n'étant disponibles avec précision qu'à partir des années 90, à la fois le nombre de stations de référence et la profondeur des séries chronologiques s'en trouvaient réduits, limitant par conséquent la fiabilité des variables descriptives. Aussi, les relations avec les composantes de l'environnement géographique sont de moins bonne qualité et ce d'autant plus que le poids des incertitudes augmente, c'est-à-dire que l'on va vers les faibles fréquences ou les courtes durées. Aussi, les modèles sélectionnés se fondent sur les estimations pluviométriques à l'échelle annuelle pour les valeurs sur 24H et sur les pluies journalières maximales pour les durées inférieures. De même, les paramètres de Gumbel sont approchés sur la base de l'intensité maximale de récurrence annuelle, valeur que nous pouvons considérer empiriquement fiable à partir de 10 ans d'observations.

L'interprétation des modèles statistiques sélectionnés semble montrer que les intensités maximales sont moins sensibles à l'altitude du point considéré mais davantage conditionnée par l'effet de gradient orographique et par la distance à la côte Est que ne le sont les cumuls pluviométriques à l'échelle annuelle.

Des séries plus longues et davantage de stations de référence permettront assurément de réduire ces incertitudes et de préciser ces résultats. Aussi, la prise en compte de l'environnement de site par un échantillonnage plus fin sur des modèles numériques de terrains plus précis sera probablement à l'avenir une voie de progrès.

Bibliographie

- BENICHO P., LE BRETON O. (1987)** Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La Météorologie, 7^{ème} série, n° 19
- CUNNANE C. (1989)** Statistical distributions for flood frequency analysis, WMO publications, Genève, n°718
- GUILLOT P., DUBAND D. (1967)** La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des précipitations. International Hydrology Symposium. Fort Collins, Colorado
- LANG M., RASMUNESSEN P., OBERLIN G., BOBEC B. (1997)** Echantillonnage par valeurs supérieures : modélisation par la méthode du renouvellement, Rev Sci. Eau 3, 279-320
- LANGBEIN W. (1949)** Annual floods and the partial-duration flood series, Trans. Am. Geophys. Union, Vol 30, n° 6, 879-881
- MEYAN P., MUSY A. (1996)** Hydrologie fréquentielle, Institut d'Aménagement des terres et des Eaux Hydrologie et aménagements, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne
- MIQUEL J. (2009-2010)** Hydrologie statistique, Introduction à l'Etude des Processus Hydrométéorologiques Application et Prédétermination des Débits de Crues et d'Etiage, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
- NEPPEL L. (2008)** Cours d'hydrologie, Polytech' Montpellier (ex ISIM) Sciences et Technologies de l'Eau 2ème année
- NEPPEL L., ARNAUD P., LAVABRE J. (2010)** Connaissance régionale des pluies extrêmes, Comparaison de deux approches appliquées en milieu méditerranéen, Université Montpellier 2 - Maison des Sciences de l'Eau, Cemagref
- PERCHAT C. (2003)** Traitement et analyse des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie. DAVAR
- STEDINGER J.R., VOGEL R.M., FOUFOULA-GEORGIU E., (1993)** Frequency analysis of extreme events. In : Maidment, D. (Ed.), Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, New York (Chapter 18)
- WOTLING G., (2000)** Caractérisation et modélisation de l'aléa hydrologique à Tahiti. Thèse de doctorat Université Montpellier II, Ed. ISTEEM; 309 p+ annexes.
- WOTLING, G., BOUVIER, Ch., DANLOUX, J., FRITSCH, J.-M., (2000)** Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. J. Hydrol. 233, 86–101.

Annexes

Annexe 1 Paramètre de position P_0

		Annexe 1 Paramètre de position T ₀									
d (min)		6	15	30	60	90	120	360	1440	2882	5760
5700400200	Paimboas	9.3	18.1	27.9	38.4	45.2	51.2	78.8	133.3	156.7	179.7
5700400700	BondeSteAnne	10.0	19.2	29.0	41.0	49.0	54.4	77.0	120.7	143.1	170.6
5700503100	dumbeanord	8.9	17.3	26.7	38.0	48.0	54.0	97.6	156.9	187.9	210.2
5700508400	mtsources	10.1	18.7	29.0	43.0	54.4	64.1	110.0	204.5	254.3	301.0
5700600200	tendo	10.9	20.8	32.9	50.4	63.5	75.0	130.3	225.0	293.1	334.4
5700800200	Carovin	10.5	19.0	29.7	43.4	53.8	62.0	110.6	196.1	236.7	250.0
5700800400	Karagreu	10.7	20.7	32.1	46.6	56.3	63.1	95.0	155.0	190.0	215.0
5700900200	Ouayaguette	9.9	19.1	29.8	44.2	53.5	60.7	103.6	165.0	217.4	240.9
5701600200	lafoapierra	10.7	20.9	31.6	45.1	54.5	61.6	92.8	138.0	158.5	174.2
5702300100	tiebaghi	10.8	21.1	33.6	49.0	58.4	65.7	92.9	130.0	158.3	187.3
5702300200	bambou	10.4	20.3	31.4	42.9	50.0	55.3	78.9	116.8	137.9	160.8
5702600200	malmezac	9.7	18.3	27.1	38.9	46.2	53.1	82.0	125.0	150.0	180.0
5702600400	katrikoin	10.1	19.2	29.6	42.1	50.9	58.9	90.0	145.0	170.0	195.0
5702601200	gouarodeva	9.4	17.9	26.8	37.5	44.5	46.5	67.1	95.6	103.7	115.4
5702900300	goa	11.9	23.3	36.0	51.2	62.4	71.9	121.3	208.8	245.2	279.2
5703100200	BasCoulna	10.3	20.2	31.3	47.3	59.1	69.6	120.8	215.1	257.5	291.4
5703100300	HautCoulna	9.8	19.5	30.9	45.4	55.7	64.4	115.0	215.4	267.3	303.4
5703100400	pagou	10.4	25.8	31.0	41.4	49.2	53.0	87.9	140.0	192.6	217.2
5703300400	kongouhaou	9.2	17.9	27.2	39.4	48.2	55.2	90.2	155.5	183.4	205.0
5703700100	ouinne	10.9	21.2	33.8	49.1	59.5	69.0	114.4	220.3	273.6	320.6
5703900200	foretplate	10.9	20.4	31.1	45.5	56.0	63.0	104.0	160.0	190.0	220.0
5703901600	boutana3	9.3	17.9	25.9	33.9	39.6	44.4	69.2	100.4	114.7	133.1
5704100300	gohapin	10.0	19.6	30.5	46.3	56.7	64.5	105.0	191.2	205.0	230.0
5704602000	tchamba	11.0	22.2	34.6	51.2	61.6	71.5	112.1	193.0	238.1	278.1
5704800100	kuenthio	10.0	19.1	29.8	42.5	50.3	56.3	84.0	126.4	142.6	157.1
5704800300	montdo	12.4	22.5	33.7	46.1	54.8	60.7	87.1	134.3	157.9	193.4
5704800700	kouare	9.7	19.2	29.3	42.4	52.1	60.0	94.0	147.3	170.9	190.5
5705000300	tipindjeferme	12.3	23.4	36.3	53.8	65.5	73.7	112.9	181.6	224.0	261.3
5705000400	tipindjocol	10.8	21.4	33.4	47.3	56.6	63.4	98.7	155.0	187.7	215.5
5705100100	bopope	10.7	20.1	30.7	47.6	57.5	64.0	115.0	204.6	240.6	269.7
5705100200	coltango	9.5	18.0	27.0	38.9	47.6	54.8	84.2	127.0	147.7	168.5
5705200100	canon	9.5	18.2	28.2	41.5	53.2	59.5	105.1	175.0	224.4	246.0
5705200300	liliane	9.2	17.6	26.1	37.6	45.4	50.0	81.7	127.9	143.9	158.9
5705200400	montmou	9.3	18.3	28.2	42.2	51.6	58.1	86.7	143.7	171.1	197.8
5705200800	vulcain	9.9	19.3	30.6	42.0	48.0	55.0	85.0	145.0	181.0	204.1
5705200900	minetomo	10.3	19.3	28.1	38.4	45.9	51.2	80.3	115.3	131.1	148.7
5705300200	congos	8.8	17.2	26.0	37.3	45.2	50.9	79.0	125.0	154.2	170.6
5705500800	goulet	11.1	21.5	33.6	50.2	61.6	71.6	117.3	190.0	231.8	280.6
5705605100	namie1	9.4	18.2	27.3	36.0	46.0	50.0	77.0	106.0	126.1	142.0
5705605300	namie3	9.7	19.3	29.3	42.8	51.9	56.0	85.4	132.1	157.0	189.4
5705801100	nepou	9.9	19.5	28.5	40.0	50.8	56.0	82.6	115.4	128.0	145.5
5706201700	paagumen	12.0	23.0	34.4	46.3	54.3	58.0	87.3	115.7	130.4	148.2
5706400200	Tao	12.5	25.1	39.5	60.7	74.6	86.7	137.7	230.0	281.9	342.3
5707200100	rivierebleue3	11.3	22.5	35.5	53.3	66.2	77.0	125.9	193.7	223.9	256.9
5700400600	mandjelia_synth	10.9	21.0	32.6	46.6	57.0	64.0	98.0	167.2	209.2	249.4
5700900600	ouazango_synth	11.8	22.8	35.0	47.9	55.8	61.4	88.0	128.4	149.6	180.5
5701400500	portboise_synth	10.4	21.5	31.2	49.9	58.7	74.6	118.3	206.2	236.2	275.4
5702500200	kopeto_synth	11.1	21.0	31.5	44.7	52.8	58.6	93.4	135.0	179.9	216.1
5705100900	pombeisynth	9.9	20.2	33.4	51.3	60.2	68.5	106.2	179.8	225.2	260.7

* les cases vertes contiennent les paramètres ajustés graphiquement

Annexe 2 Gradex Gd

d (min)		6	15	30	60	90	120	360	1440	2882	5760
5700400200	Paimboas	1.6	3.9	6.4	8.8	10.7	12.6	24.7	56.1	67.5	75.1
5700400700	BondeSteAnne	1.8	3.9	6.5	10.3	12.8	14.3	20.9	41.8	52.2	66.6
5700503100	dumbeanord	1.6	3.7	6.7	11.0	15.0	18.0	35.0	65.5	79.6	86.4
5700508400	mtsources	2.7	4.8	8.4	12.7	16.4	20.4	36.0	81.2	98.8	115.0
5700600200	tendo	2.3	4.9	9.0	15.4	21.0	25.9	49.3	95.0	112.0	130.0
5700800200	Carovin	1.8	4.0	6.5	10.4	13.9	16.4	36.0	75.7	90.6	90.0
5700800400	Karagreu	2.0	4.5	7.5	12.3	16.1	18.8	33.4	66.9	84.1	95.9
5700900200	Ouayaguette	2.3	4.8	8.1	13.0	16.1	18.7	39.4	86.0	101.2	110.1
5701600200	lafoapierra	2.2	4.4	7.2	11.4	14.9	17.7	29.2	49.0	57.9	62.4
5702300100	tiebaghi	2.1	4.9	8.8	14.4	18.0	20.7	30.7	47.0	60.3	72.8
5702300200	bambou	1.9	4.6	8.4	11.8	14.0	15.3	23.3	40.7	52.2	62.0
5702600200	malmezac	2.2	4.6	7.2	10.8	13.2	16.0	28.0	58.0	70.0	75.0
5702600400	katrikoin	2.1	4.1	6.9	10.5	13.5	16.9	33.8	66.0	84.5	91.7
5702601200	gouarodeva	2.4	5.2	8.3	11.5	14.0	15.0	22.7	35.4	38.2	42.0
5702900300	goa	2.3	4.9	8.6	13.2	17.1	20.7	40.2	76.0	88.0	102.0
5703100200	BasCoulna	1.9	4.2	7.0	13.1	18.2	22.8	46.1	94.2	114.1	128.9
5703100300	HautCoulna	1.8	4.3	7.7	12.4	16.1	19.2	40.8	91.1	114.9	128.6
5703100400	pagou	3.0	5.0	7.2	9.7	12.2	14.0	29.0	55.0	87.0	96.1
5703300400	kongouhaou	1.7	3.9	6.5	9.8	12.8	15.4	30.6	65.0	78.7	86.8
5703700100	ouinne	2.3	5.3	9.6	14.3	17.9	22.0	39.8	91.3	113.5	132.1
5703900200	foretplate	2.5	4.8	8.1	13.4	18.1	20.8	45.3	78.3	91.5	101.4
5703901600	boutana3	2.0	4.0	6.2	8.0	10.0	11.9	22.6	37.3	44.1	52.7
5704100300	gohapin	1.9	4.1	7.4	13.7	18.1	20.5	46.5	88.0	102.3	111.6
5704602000	tchamba	2.0	4.7	7.9	12.5	15.4	18.9	31.4	62.0	77.1	91.6
5704800100	kuenthio	2.2	4.7	8.3	12.5	14.9	17.1	27.7	46.7	53.3	57.7
5704800300	montdo	2.7	4.4	7.4	10.5	13.1	14.6	22.3	40.0	46.4	60.1
5704800700	kouare	1.8	4.1	7.0	11.5	15.5	18.5	31.6	54.2	64.8	74.0
5705000300	tipindjeferme	3.1	6.1	10.1	16.6	21.0	23.3	36.2	65.8	86.0	102.7
5705000400	tipindjocol	2.1	4.9	8.7	13.0	16.2	18.7	33.0	59.0	76.5	85.9
5705100100	bopope	2.3	4.3	7.2	13.2	15.5	17.5	38.0	82.9	97.9	108.5
5705100200	coltango	1.9	4.0	6.6	11.0	14.3	17.3	27.9	43.0	54.1	62.3
5705200100	canon	2.1	4.3	7.3	11.0	15.0	18.0	42.1	90.0	108.7	119.3
5705200300	liliane	2.1	4.3	6.4	10.2	13.1	14.5	29.8	52.5	59.3	65.6
5705200400	montmou	2.1	4.8	7.6	12.7	16.6	18.8	30.1	56.0	67.2	77.8
5705200800	vulcain	1.9	4.3	6.8	10.8	13.0	15.0	27.0	50.0	62.0	77.7
5705200900	minetomo	2.6	4.9	7.1	9.9	12.6	14.3	26.7	36.4	39.7	44.5
5705300200	congos	1.7	3.9	6.6	10.4	13.4	15.5	27.0	48.0	66.9	71.7
5705500800	goulet	2.0	4.3	7.7	12.9	16.4	19.5	35.6	64.5	74.5	90.5
5705605100	namie1	2.3	4.5	7.5	10.0	13.0	15.0	23.0	34.0	40.5	45.5
5705605300	namie3	2.1	5.1	8.5	13.2	16.3	18.0	24.9	35.7	42.7	52.2
5705801100	nepou	2.4	5.4	8.2	12.0	16.5	20.0	30.4	43.4	47.8	55.1
5706201700	paagumen	3.0	6.2	10.0	13.9	16.5	18.0	26.0	38.9	46.7	53.3
5706400200	Tao	1.8	4.5	7.8	14.1	18.7	23.0	40.5	71.8	95.4	120.3
5707200100	rivierebleue3	2.1	5.1	9.3	15.8	21.0	25.6	46.3	72.9	80.0	88.2
5700400600	mandjelia_synth	1.9	4.3	7.9	12.5	16.4	20.0	34.9	62.7	81.6	99.3
5700900600	ouazango_synth	2.5	5.3	8.9	13.0	15.3	16.8	25.4	43.7	53.1	64.4
5701400500	portboise_synth	1.8	4.4	7.2	13.0	16.6	22.3	40.2	73.1	82.4	92.8
5702500200	kopeto_synth	1.9	4.2	6.8	10.8	12.9	14.3	27.8	53.0	69.3	82.2
5705100900	pombeisynth	1.6	4.2	8.8	15.4	17.6	20.1	31.8	61.3	80.7	93.8

* les cases vertes contiennent les paramètres ajustés graphiquement

Annexe 3 R² des ajustements automatiques

d (min)		6	15	30	60	90	120	360	1440	2882	5760
5700400200	Paimboas	0.994	0.977	0.994	0.987	0.979	0.979	0.967	0.957	0.957	0.958
5700400700	BondeSteAnne	0.975	0.983	0.977	0.992	0.966	0.974	0.985	0.988	0.990	0.981
5700503100	dumbeanord	0.974	0.945	0.983	0.982	0.957	0.924	0.858	0.923	0.936	0.954
5700508400	mtsources	0.970	0.946	0.943	0.942	0.954	0.921	0.918	0.955	0.974	0.991
5700600200	tendo	0.984	0.994	0.965	0.984	0.952	0.963	0.970	0.979	0.965	0.973
5700800200	Carovin	0.865	0.949	0.983	0.990	0.986	0.983	0.984	0.993	0.979	0.957
5700800400	Karagreu	0.986	0.991	0.991	0.994	0.987	0.977	0.967	0.929	0.894	0.902
5700900200	Ouayaguette	0.990	0.996	0.983	0.988	0.985	0.975	0.944	0.920	0.941	0.960
5701600200	lafoapierra	0.977	0.958	0.980	0.975	0.987	0.989	0.989	0.982	0.986	0.997
5702300100	tiebaghi	0.974	0.949	0.937	0.944	0.924	0.935	0.945	0.971	0.980	0.979
5702300200	bambou	0.989	0.988	0.972	0.988	0.968	0.980	0.981	0.991	0.989	0.977
5702600200	malmezac	0.980	0.978	0.994	0.984	0.994	0.975	0.870	0.686	0.618	0.643
5702600400	katrikoin	0.987	0.982	0.972	0.977	0.945	0.915	0.886	0.885	0.825	0.823
5702601200	gouarodeva	0.994	0.982	0.941	0.946	0.887	0.883	0.955	0.954	0.964	0.974
5702900300	goa	0.985	0.980	0.994	0.977	0.988	0.995	0.981	0.985	0.973	0.968
5703100200	BasCoulna	0.981	0.958	0.985	0.969	0.981	0.980	0.957	0.976	0.986	0.980
5703100300	HautCoulna	0.982	0.995	0.980	0.992	0.978	0.974	0.955	0.970	0.968	0.965
5703100400	pagou	0.851	0.939	0.983	0.954	0.990	0.965	0.862	0.865	0.892	0.928
5703300400	kongouhaou	0.974	0.970	0.945	0.962	0.960	0.970	0.963	0.950	0.946	0.939
5703700100	ouinne	0.982	0.989	0.971	0.992	0.972	0.967	0.918	0.892	0.921	0.941
5703900200	foretplate	0.990	0.972	0.993	0.971	0.981	0.967	0.901	0.876	0.901	0.936
5703901600	boutana3	0.915	0.972	0.978	0.977	0.987	0.992	0.977	0.982	0.990	0.970
5704100300	gohapin	0.971	0.978	0.987	0.992	0.979	0.970	0.943	0.921	0.894	0.900
5704602000	tchamba	0.982	0.993	0.981	0.976	0.973	0.985	0.976	0.959	0.953	0.941
5704800100	kuenthio	0.971	0.973	0.985	0.982	0.981	0.987	0.983	0.964	0.972	0.983
5704800300	montdo	0.944	0.941	0.980	0.958	0.979	0.982	0.975	0.976	0.954	0.982
5704800700	kouare	0.965	0.947	0.990	0.952	0.978	0.970	0.988	0.984	0.986	0.983
5705000300	tipindjeferme	0.818	0.977	0.972	0.974	0.967	0.971	0.973	0.975	0.984	0.980
5705000400	tipindjocol	0.988	0.991	0.996	0.987	0.983	0.958	0.978	0.979	0.984	0.983
5705100100	bopope	0.968	0.971	0.878	0.939	0.802	0.774	0.778	0.910	0.962	0.980
5705100200	coltango	0.921	0.964	0.985	0.990	0.976	0.966	0.947	0.968	0.978	0.986
5705200100	canon	0.975	0.986	0.971	0.995	0.938	0.918	0.864	0.838	0.879	0.894
5705200300	liliane	0.986	0.980	0.992	0.993	0.989	0.972	0.933	0.922	0.941	0.965
5705200400	montmou	0.986	0.992	0.991	0.974	0.982	0.977	0.929	0.882	0.937	0.968
5705200800	vulcain	0.978	0.978	0.875	0.973	0.803	0.811	0.812	0.944	0.969	0.987
5705200900	minetomo	0.988	0.976	0.991	0.984	0.983	0.979	0.988	0.987	0.991	0.989
5705300200	congos	0.964	0.991	0.988	0.993	0.979	0.989	0.988	0.944	0.961	0.971
5705500800	goulet	0.981	0.988	0.983	0.996	0.983	0.987	0.986	0.982	0.986	0.980
5705605100	namie1	0.990	0.965	0.841	0.918	0.808	0.815	0.840	0.943	0.964	0.986
5705605300	namie3	0.984	0.988	0.966	0.976	0.966	0.961	0.944	0.987	0.963	0.973
5705801100	nepou	0.981	0.973	0.957	0.969	0.954	0.941	0.936	0.964	0.963	0.981
5706201700	paagumen	0.993	0.988	0.989	0.980	0.958	0.934	0.980	0.994	0.985	0.977
5706400200	Tao	0.982	0.976	0.961	0.991	0.981	0.978	0.967	0.980	0.987	0.988
5707200100	rivierebleue3	0.989	0.982	0.990	0.981	0.991	0.979	0.973	0.980	0.983	0.967
5700400600	mandjelia_synth	0.987	0.987	0.961	0.964	0.940	0.915	0.903	0.979	0.978	0.987
5700900600	ouazango_synth	0.983	0.983	0.997	0.993	0.993	0.989	0.979	0.954	0.978	0.986
5701400500	portboise_synth	0.963	0.990	0.991	0.991	0.979	0.983	0.976	0.991	0.985	0.983
5702500200	kopeto_synth	0.947	0.976	0.967	0.977	0.952	0.955	0.971	0.897	0.940	0.964
5705100900	pombeisynth	0.986	0.987	0.983	0.991	0.984	0.974	0.972	0.983	0.994	0.983

* les cases vertes contiennent les R² automatiques dont les paramètres ont été ajustés graphiquement

Annexe 4 Paramètres loi puissance de P_0 (cf 2.2.8)

		d < 1h			1h < d < 2h			d > 2h		
		a	k	R ²	a	k	R ²	a	k	R ²
5700400200	Paimboas	0.620	32.1	0.990	0.414	70.3	1.000	0.331	109.9	0.985
5700400700	BondeSteAnne	0.615	34.6	0.994	0.410	76.8	0.997	0.298	132.7	0.997
5700503100	dumbeanord	0.633	29.7	0.994	0.512	47.2	0.992	0.351	112.2	0.967
5700508400	mtsources	0.631	33.2	0.999	0.576	40.7	1.000	0.407	97.1	0.987
5700600200	tendo	0.666	33.6	0.999	0.573	48.2	1.000	0.392	122.7	0.986
5700800200	Carovin	0.620	35.1	0.999	0.516	52.7	1.000	0.371	116.3	0.961
5700800400	Karagreu	0.641	35.1	0.996	0.439	77.4	0.998	0.325	138.4	0.990
5700900200	Ouayaguette	0.651	31.7	0.997	0.459	67.7	1.000	0.361	115.9	0.983
5701600200	lafoapierra	0.626	36.4	0.993	0.451	71.3	0.999	0.271	178.9	0.977
5702300100	tiebaghi	0.661	34.2	0.996	0.424	86.5	1.000	0.268	186.1	0.998
5702300200	bambou	0.621	35.9	0.990	0.367	95.6	1.000	0.277	151.5	0.995
5702600200	malmezac	0.603	34.1	0.995	0.447	62.1	0.999	0.313	124.3	0.993
5702600400	katrikoin	0.623	34.2	0.995	0.483	58.1	0.999	0.313	138.0	0.987
5702601200	gouarodeva	0.602	33.3	0.993	0.318	103.4	0.948	0.234	161.0	0.972
5702900300	goa	0.637	39.6	0.993	0.490	68.9	1.000	0.355	142.1	0.977
5703100200	BasCoulna	0.662	32.4	0.997	0.557	48.4	1.000	0.377	124.7	0.976
5703100300	HautCoulna	0.668	30.7	0.995	0.504	57.6	1.000	0.410	98.3	0.979
5703100400	pagou	0.583	42.2	0.920	0.361	95.2	0.984	0.370	94.8	0.990
5703300400	kongouhaou	0.632	30.7	0.995	0.487	53.7	1.000	0.347	112.6	0.977
5703700100	ouinne	0.658	34.6	0.996	0.490	66.0	0.999	0.408	102.5	0.987
5703900200	foretplate	0.622	36.7	0.997	0.472	66.1	0.996	0.321	146.3	0.981
5703901600	boutana3	0.565	35.9	0.982	0.389	68.9	1.000	0.279	125.0	0.981
5704100300	gohapin	0.665	31.2	0.998	0.480	65.1	0.999	0.337	139.6	0.958
5704602000	tchamba	0.669	34.5	0.995	0.480	71.5	0.999	0.358	134.1	0.991
5704800100	kuenthio	0.632	33.3	0.995	0.406	80.6	1.000	0.268	165.7	0.975
5704800300	montdo	0.574	45.8	0.994	0.399	90.3	0.998	0.298	148.4	0.998
5704800700	kouare	0.642	32.0	0.994	0.501	54.5	1.000	0.302	151.2	0.978
5705000300	tipindjeferme	0.642	39.9	0.998	0.456	83.4	0.998	0.331	156.9	0.993
5705000400	tipindjocol	0.645	35.5	0.993	0.424	83.6	0.999	0.319	145.2	0.989
5705100100	bopope	0.646	34.1	0.999	0.430	82.3	0.996	0.377	116.4	0.968
5705100200	coltango	0.613	32.7	0.996	0.495	51.4	1.000	0.290	144.9	0.984
5705200100	canon	0.642	31.0	0.997	0.526	48.7	0.986	0.373	108.9	0.977
5705200300	liliane	0.611	31.9	0.995	0.415	69.2	0.993	0.300	129.9	0.964
5705200400	montmou	0.657	29.6	0.997	0.464	63.5	0.998	0.323	128.0	0.990
5705200800	vulcain	0.635	33.2	0.990	0.385	86.2	0.989	0.349	107.6	0.989
5705200900	minetomo	0.572	38.7	0.990	0.417	69.9	0.998	0.272	150.5	0.975
5705300200	congos	0.628	29.8	0.994	0.450	59.2	0.999	0.319	116.4	0.986
5705500800	goulet	0.657	35.2	0.997	0.512	61.7	1.000	0.351	141.0	0.991
5705605100	namie1	0.588	34.7	0.984	0.483	50.7	0.968	0.266	149.6	0.981
5705605300	namie3	0.644	31.9	0.994	0.394	86.3	0.978	0.313	130.4	0.994
5705801100	nepou	0.606	35.2	0.990	0.492	53.9	0.980	0.243	186.2	0.978
5706201700	paagumen	0.590	43.9	0.988	0.330	121.0	0.981	0.235	202.0	0.974
5706400200	Tao	0.686	37.7	0.997	0.514	74.0	1.000	0.356	164.3	0.994
5707200100	rivierebleue3	0.675	34.8	0.997	0.531	60.6	1.000	0.309	189.5	0.977
5700400600	mandjelia_synth	0.633	36.4	0.995	0.459	71.6	0.997	0.358	118.5	0.995
5700900600	ouazango_synth	0.613	41.2	0.990	0.359	110.2	0.999	0.275	169.2	0.996
5701400500	portboise_synth	0.671	32.4	0.994	0.568	47.7	0.957	0.343	153.0	0.982
5702500200	kopeto_synth	0.606	38.9	0.994	0.392	90.0	0.999	0.332	124.1	0.993
5705100900	pombeisynth	0.718	28.1	0.997	0.416	93.3	0.999	0.353	131.1	0.992

Annexe 5: Calcul d'un quantile, exemple d'application

On souhaite connaître le quantile de retour 10ans et de durée 30min à Koné :

1. Lire sur les cartes (cf 4.2) les paramètres de Gumbel pour les durées 15min et 1h :

$$\begin{array}{ll} Gd_{15min} \sim 4.2 & Gd_{1h} \sim 10.7 \\ P_{0_15min} \sim 18.5 & P_{0_1h} \sim 39 \end{array}$$

2. Interpolation : en déduire les coefficients a et k de la loi puissance liant P_0 avec d(min) :

$$a = \frac{\ln(P_{0_1h}) - \ln(P_{0_15min})}{\ln(60) - \ln(15)} \approx \frac{3.66 - 2.92}{4.09 - 2.71} \approx 0.54$$

$$b = \ln(P_{0_1h}) - a \cdot \ln(60) \approx 3.66 - 0.54 \times 4.09 \approx 1.45$$

$$\text{d'où } k = e^b \approx e^{1.45} \approx 4.26$$

Grâce à ces paramètres le P_0 de durée 30min est déduit :

$$P_{0_30min} = k \cdot d^a \approx 4.26 \times 30^{0.54} \approx 26.74$$

3. En déduire Gd grâce à la formule présentée en 2.2.7

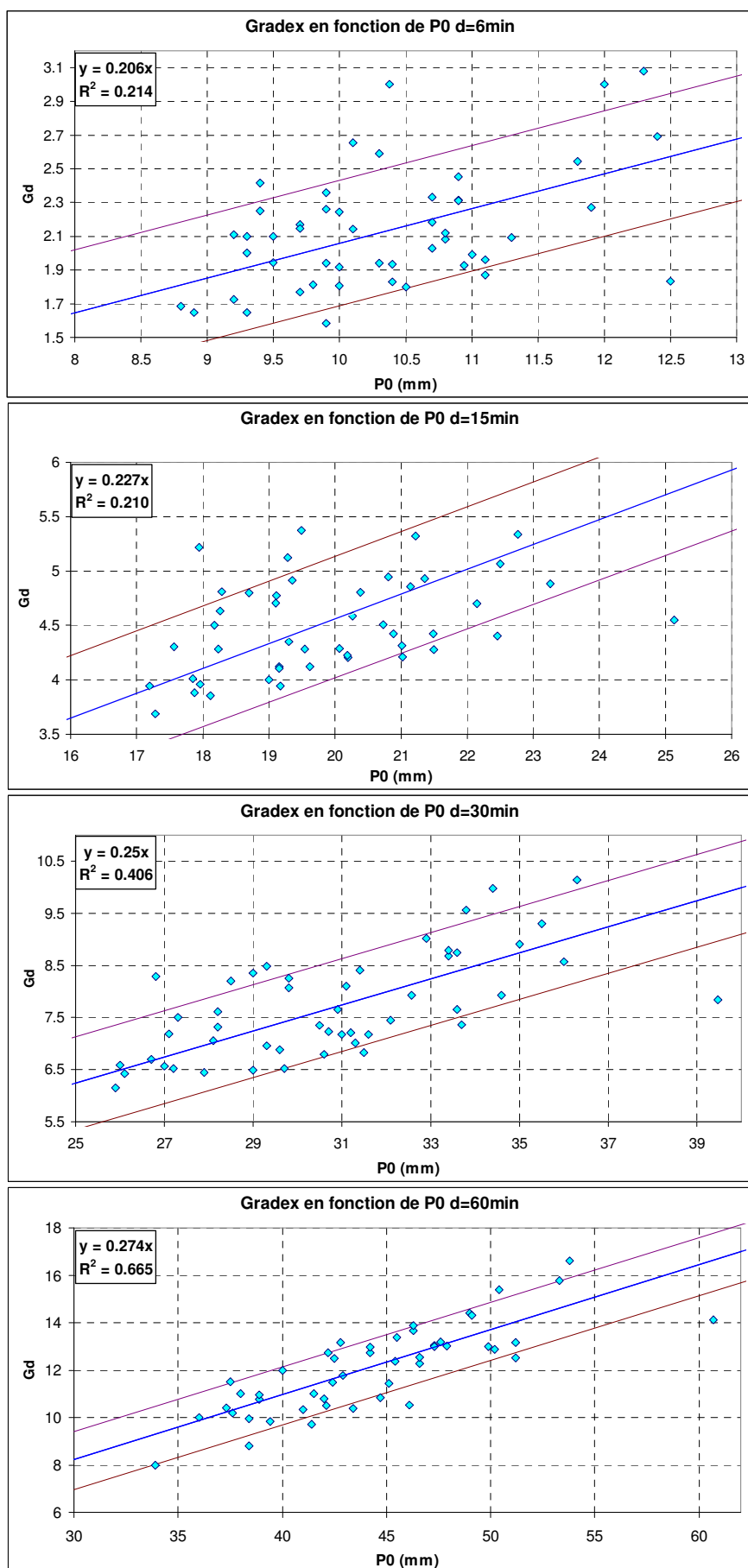
$$\begin{aligned} Gd_{30min} &= P_0(0.0338 \cdot \ln(d) + 0.138) \\ &\approx 26.74 * (0.0338 * \ln(30) + 0.138) \approx 6.76 \end{aligned}$$

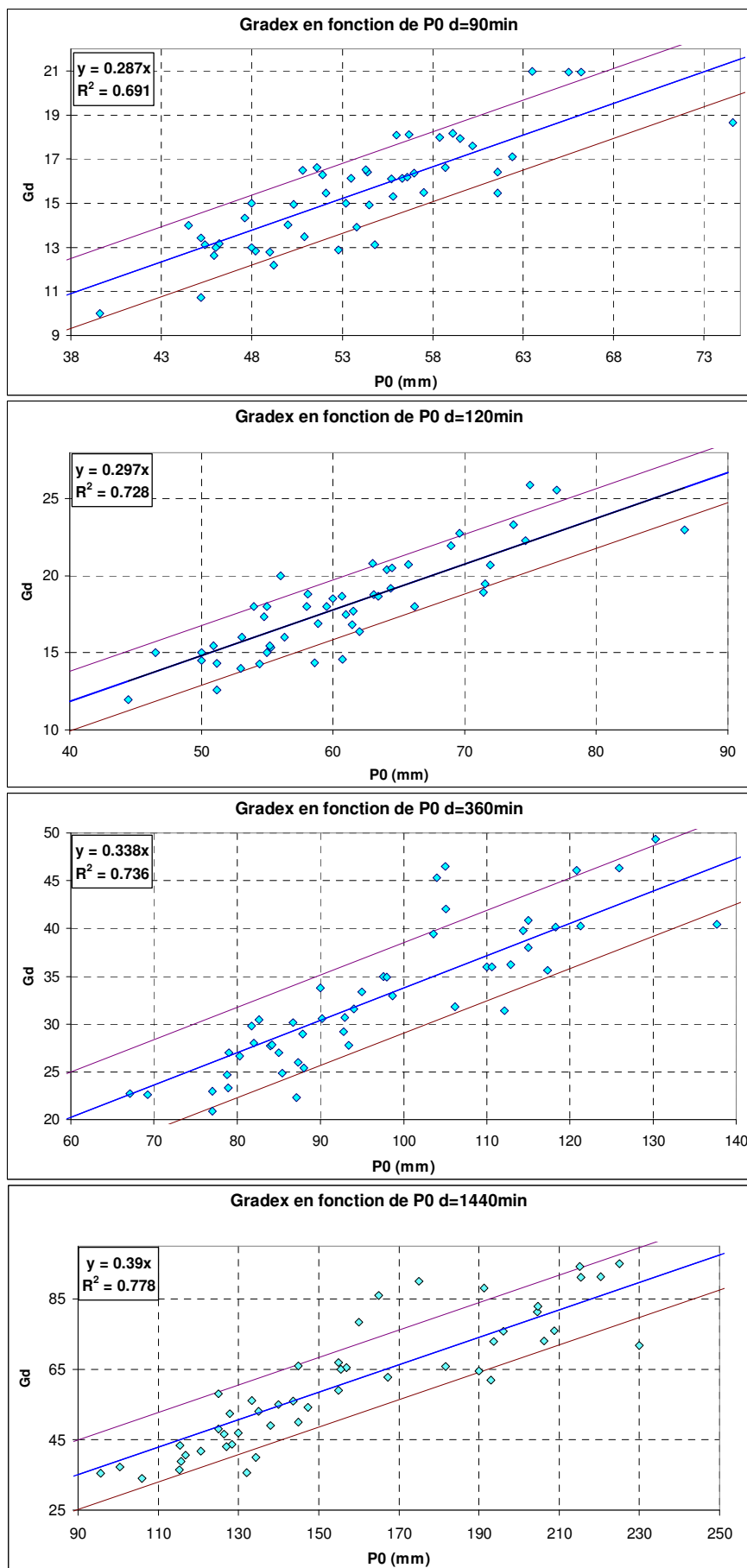
4. En déduire le quantile grâce à la formule de Gumbel

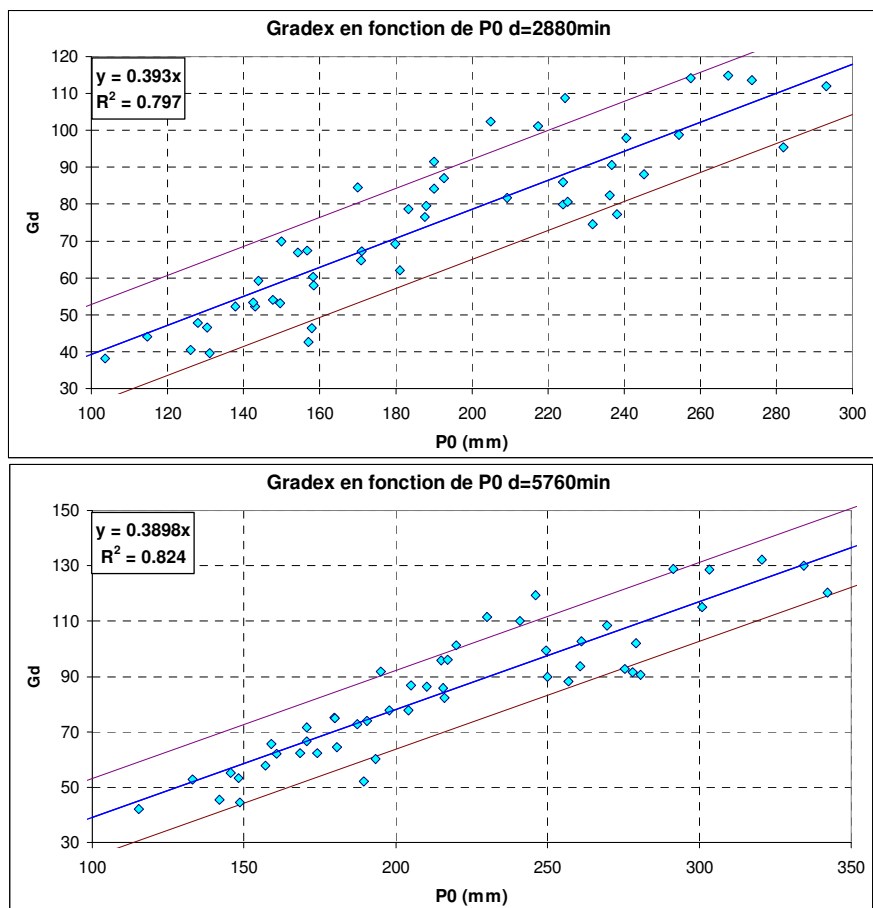
$$\begin{aligned} I(d = 30 \text{ min}, T = 10ans) &= -Gd_{30min} \cdot \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})) + P_{0_30min} \\ &\approx -6.76 \cdot \ln(-\ln(1 - \frac{1}{10})) + 26.74 \\ &\approx 42mm \end{aligned}$$

Pour des durées inférieures à 15min ou supérieures à 24h il est nécessaire d'extrapoler. Les paramètres a et k issu de l'intervalle 15min-1h seront donc utilisés pour estimer les Gradex des durées inférieures à 15min et ceux issus de l'intervalle 2h-24h pour les Gradex des durées supérieures à 24h.

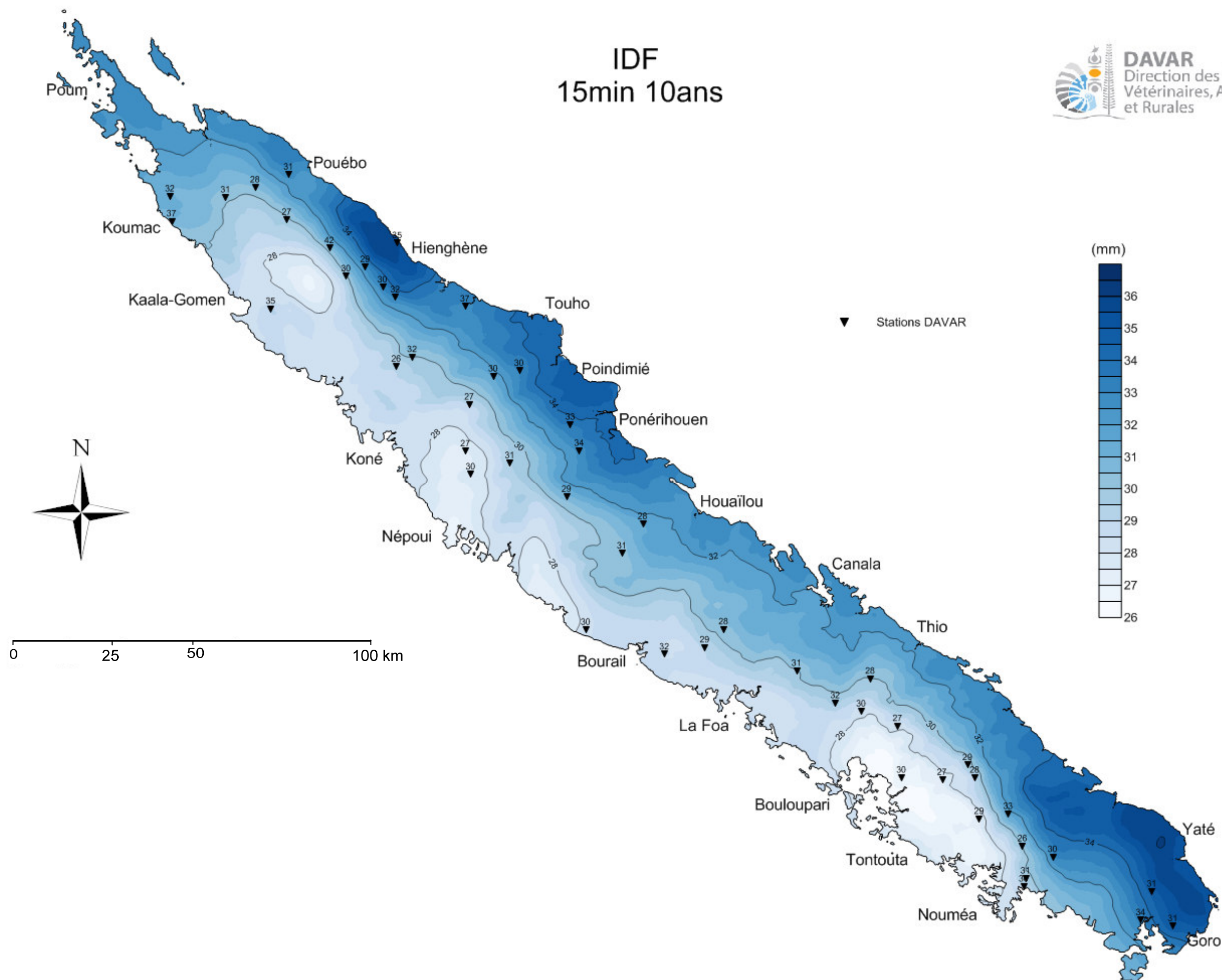
Annexe 6 Gd/P₀





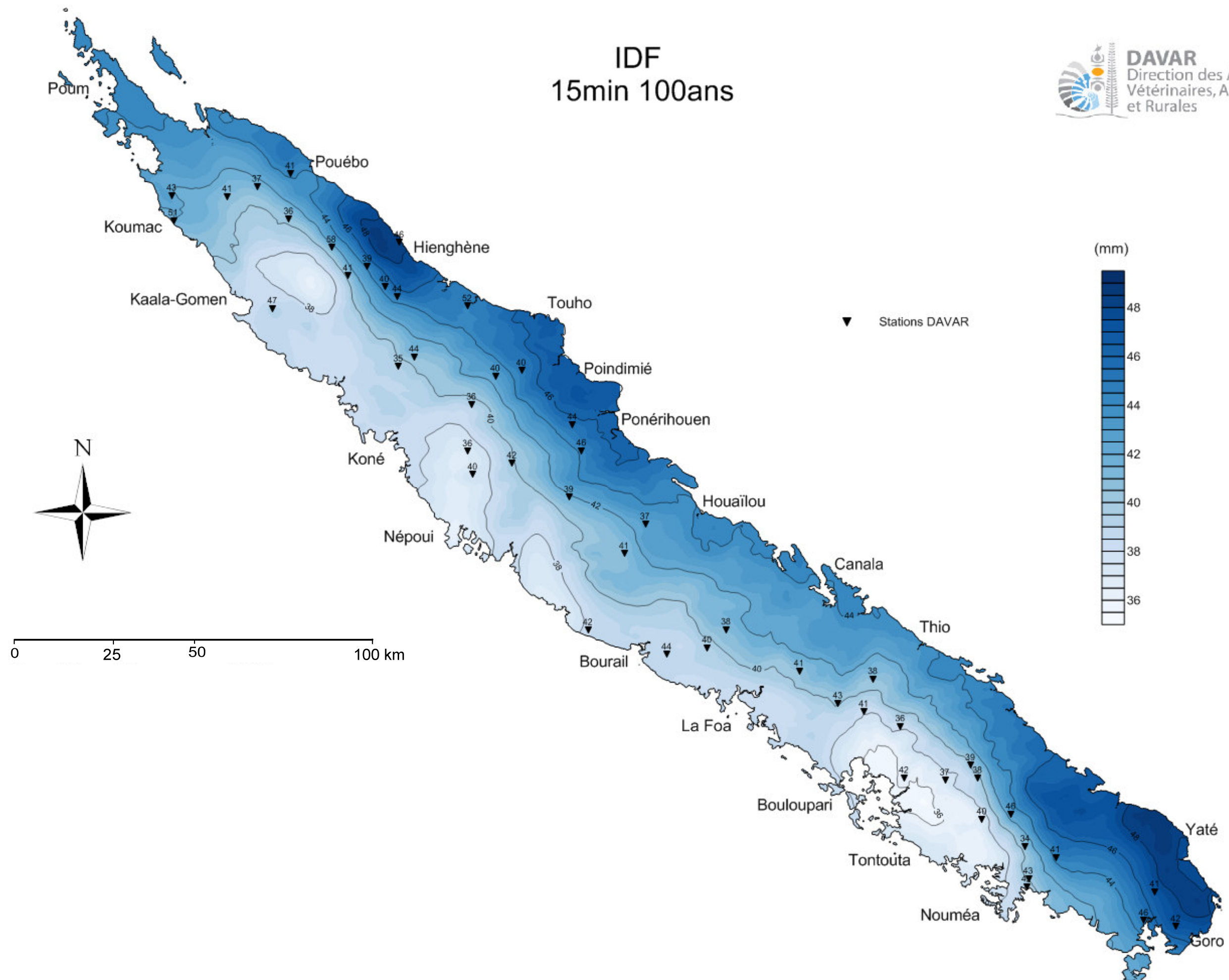


IDF 15min 10ans



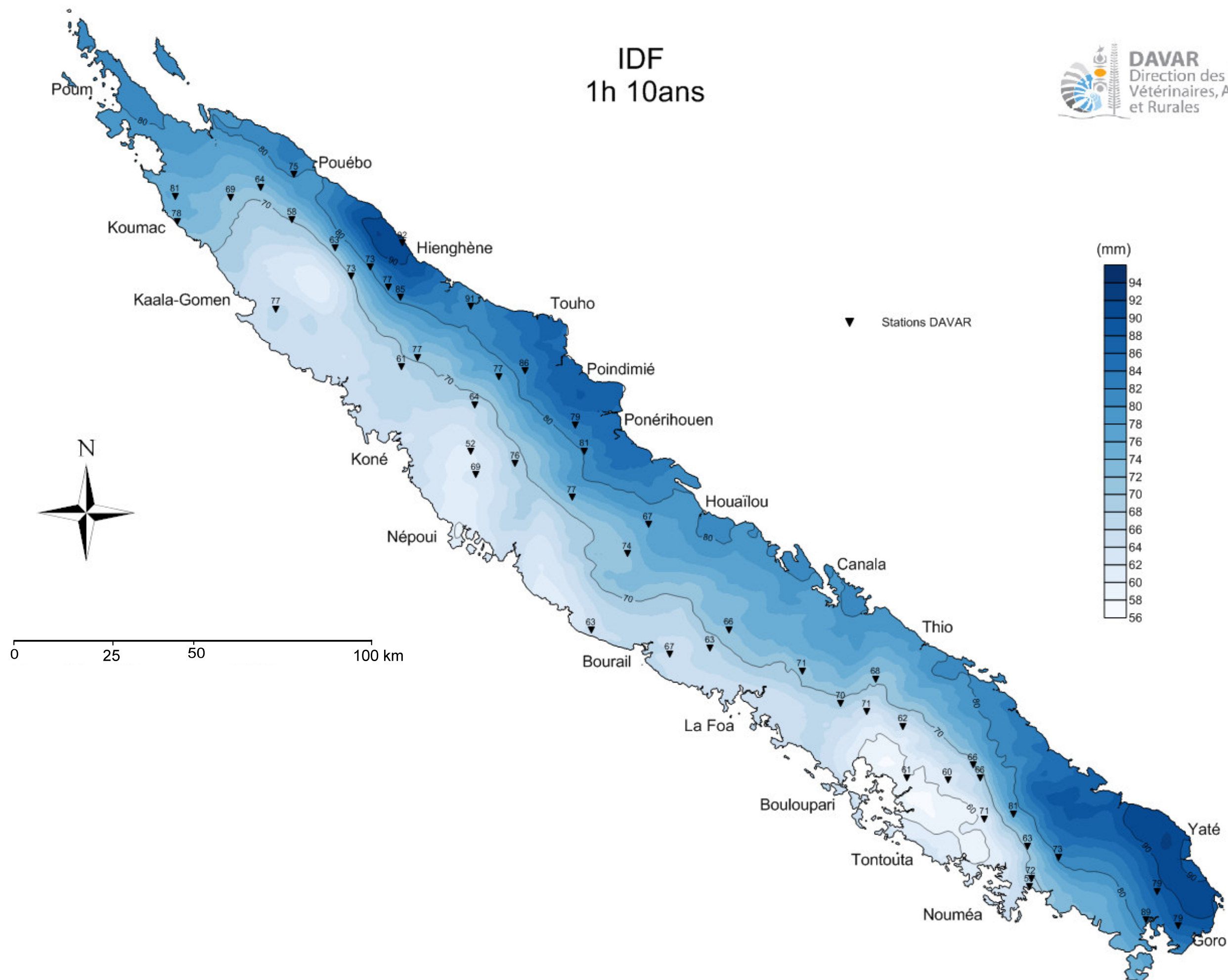
Carte 6 Quantiles de durée 15min et période de retour 10ans

IDF 15min 100ans



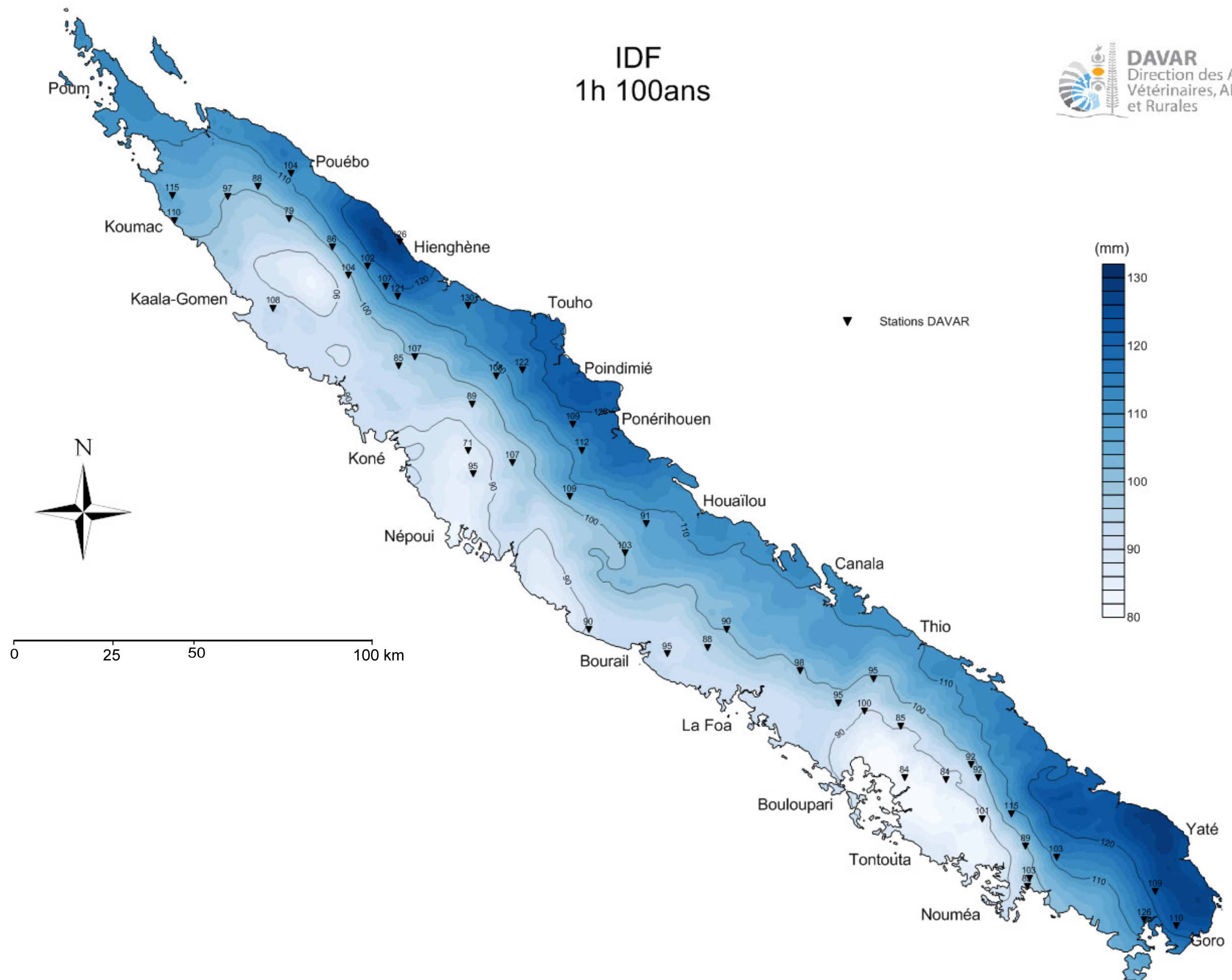
Carte 7 Quantiles de durée 15min et période de retour 100ans

IDF 1h 10ans



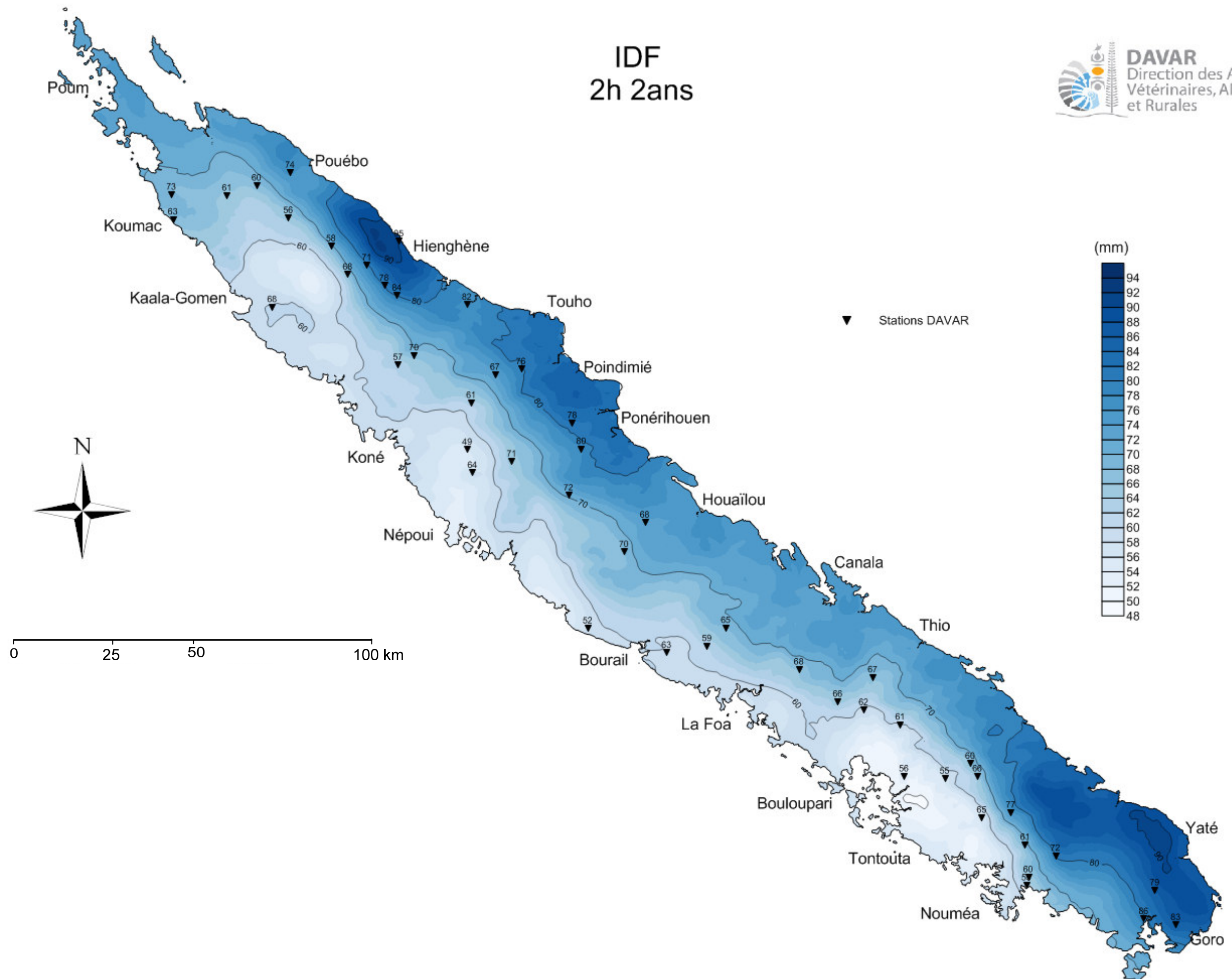
Carte 8 Quantiles de durée 1h et période de retour 10ans

IDF 1h 100ans



Carte 9 Quantiles de durée 1h et période de retour 100ans

IDF 2h 2ans



Carte 10 Quantiles de durée 2h et période de retour 2ans