SDAGE 2010-2015

SCHÉMA DIRECTEUR D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DE LA GUYANE

Documents d'accompagnement

Volume 7.

Etude du potentiel hydroélectrique de la Guyane

SOMMAIRE

Préambule 138

7.1. Objectif et résumé des principales étapes 140

7.2. La production hydroelectrique : généralité 141
72.1. Typologie des centrales hydroélectriques.....141
72.2. Les unités utilisées 142

7.3. La production hydroelectrique en Guyane 143
73.1. Les unités de production en 2008.....143
73.2. Production de Petit Saut 143
73.3. Coefficient énergétique de Petit Saut 144
73.4. Le rôle de régulation de Petit Saut.....145
73.5. Evolution potentielle de la production 145

7.4. Recensement des projets.....146

7.5. Estimation du potentiel par analyse cartographique.....149
75.1. Principes du calcul.....149
75.2. Calcul des hauteurs de chutes exploitables.....149
75.3. L'influence de la marée.....154
75.4. Calcul des débits exploitables.....154
75.5. Intégration des grands aménagements hydrologiques 164
75.6. Formule de calcul retenue pour la Guyane.....164

7.6. Les mesures de protection environnementale.....166
76.1. Le cadre réglementaire de la production d'énergie en France.....166
76.2. Les outils administratifs et réglementaires de protection de l'environnement en Guyane 166
76.3. Hiérarchisation de la réglementation fixant des exigences environnementales qui conditionnent le développement de l'hydroélectricité en Guyane.....167
76.4. Enjeux géographiques 168
76.5. Les classements de cours d'eau.....171
76.6. La question du débit réservé.....172

7.7. Domaine pertinent pour la prospection hydroélectrique et résultat 173
77.1. Périmètre de prospection.....173
77.2. Résultats.....176

7.8. Conclusion 182

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de carte (1/500 000) présentant le réseau décrit dans les bases IGN 2008.... 150
Figure 2 : Exemple de carte présentant les informations altimétriques sur les sauts (IGN) 151
Figure 3 : Carte présentant l'ensemble des sauts identifiés sur le réseau hydrographique de Guyane (Source IGN 1956-traitement Actimage 2008). 151
Figure 4 : Carte présentant le réseau principal reconstitué et classé par ordre de pente. 153
Figure 5 : Exemple de profil en long calculé à partir du MNT 90 m 154

Préambule

En application du I de l'article 6 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000, le ministre chargé de l'Industrie rend publique une évaluation par zone géographique du potentiel de développement des énergies renouvelables.

En application du III du L.212-1 du code de l'environnement, le SDAGE en cours d'élaboration et applicable pour la période 2010-2015, prend en compte l'évaluation du potentiel hydroélectrique (l'arrêté du 17 mars 2006 relatif au contenu des SDAGE précise que les schémas sont accompagnés d'une note d'évaluation du potentiel hydroélectrique à l'échelle du bassin hydrographique).

En application de l'article 2-1 de la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique, les actes administratifs relatifs à la gestion de la ressource en eau sont précédés d'un bilan énergétique en évaluant les conséquences au regard des objectifs nationaux de réduction des émissions de gaz contribuant au renforcement de l'effet de serre et de développement de la production d'électricité d'origine renouvelable.

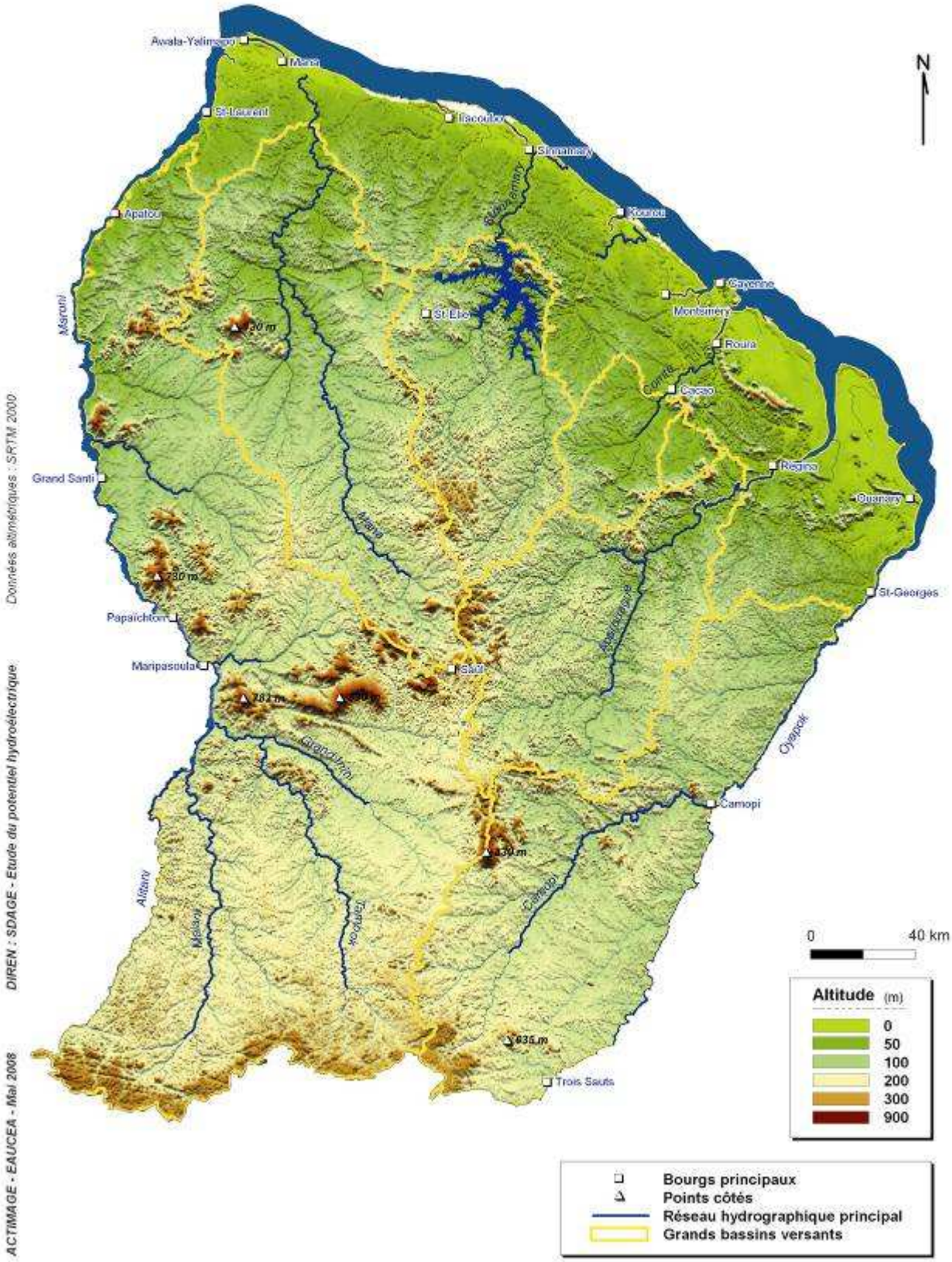
En effet, la France s'est engagée à satisfaire, à l'horizon 2010, 10 % des besoins énergétiques à partir de sources d'énergie renouvelables.

La lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3 % par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France. L'objectif, pour les pays industrialisés comme la France, est de diviser par quatre leurs émissions de gaz à effet de serre, d'ci à 2050. (cf loi 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique)

Ainsi, le SDAGE (2010-2015) doit faire l'objet d'un bilan énergétique qui se traduira notamment par la quantification de l'impact de ses dispositions sur les installations hydroélectriques existantes et sur le potentiel hydroélectrique.

Pour conduire ces évaluations, les Directions de l'Eau et de la Demande et des Marchés Energétiques ont demandé en 2007 aux six Agences de l'Eau métropolitaine et aux ADEME d'affiner la connaissance du potentiel hydro-électrique non exploité dans leurs bassins respectifs selon une méthodologie harmonisée au niveau national et avec l'appui d'un comité de pilotage constitué de représentants des producteurs d'hydroélectricité et de l'administration (DRIRE, DIREN, MISE, CSP). En Guyane, cette même étude est réalisée dans le cadre de la révision du SDAGE, sous maîtrise d'ouvrage DIREN. Ce travail, confié à EAUCEA doit permettre d'affiner la connaissance du parc hydroélectrique existant et d'estimer l'ordre de grandeur d'un potentiel technique hydroélectrique non exploité (en énergie et en puissance) en tenant compte des réglementations environnementales en vigueur.

Topographie de la Guyane



Données altimétriques : SRTM 2000

DIREN : SDAGE - Etude du potentiel hydroélectrique

ACTIMAGE - EAUCEA - Mai 2008

7.1. Objectif et résumé des principales étapes

Avec plus de 70% de l'énergie produite, l'hydroélectricité tient une place prépondérante dans le bouquet énergétique de Guyane. Cette situation s'appuie en fait sur un seul aménagement, Petit Saut, plus grosse retenue artificielle d'Europe avec une capacité totale de 3,5 milliards de m^3 dont une capacité utile de 2,2 milliards de m^3. Sa puissance (113,6 MW installés) est du même ordre de grandeur que la pointe de consommation du réseau (107,8 MW brut en 2006).

Cependant l'évolution à la hausse de la consommation électrique et les besoins spécifiques d'électrification en milieu rural rendent parfaitement pertinente la recherche de sites favorables à de nouvelles productions hydroélectriques.

L'opération vise à estimer le potentiel de production théorique de la Guyane, sans limitation a priori puis à croiser ce potentiel avec les zonages environnementaux réglementaires actuellement en vigueur en tenant compte le cas échéant des installations existantes ainsi que des projets.

Le recensement des usines existantes peu nombreuses n'a pas posé de souci particulier, EDF ayant fourni l'ensemble des données concernant l'aménagement de Petit Saut. Pour les projets, les travaux portés par l'ADEME depuis de nombreuses années ont été une précieuse source d'information. L'estimation des besoins et leur répartition géographique s'est appuyée sur les données du Schéma départemental d'électrification de la Guyane et du bilan prévisionnel pluriannuel d'investissement en production établi par EDF.

L'analyse montre que les marges de progrès sur l'existant sont bien cernées mais que la principale difficulté reste d'établir des projets proportionnés aux besoins (contrairement au réseau électrique de métropole apte à recevoir des productions en tout point du territoire) et adaptés aux contraintes techniques et économiques du territoire.

La principale difficulté a été l'absence de référentiel hydrographique officiel à une échelle adaptée à la question posée. Il a donc été nécessaire de générer une carte du réseau des cours d'eau en se fondant uniquement sur le traitement de données altimétriques. D'autres données géographiques ont dû être cartographiées comme les sauts, une estimation de la zone d'influence de la marée et le tracé de la ligne haute tension pour le réseau interconnecté.

Le résultat correspond donc à une estimation des gisements potentiels les plus pertinents croisée avec les autres enjeux environnementaux connus à ce jour.

7.2. La production hydroelectrique : généralité

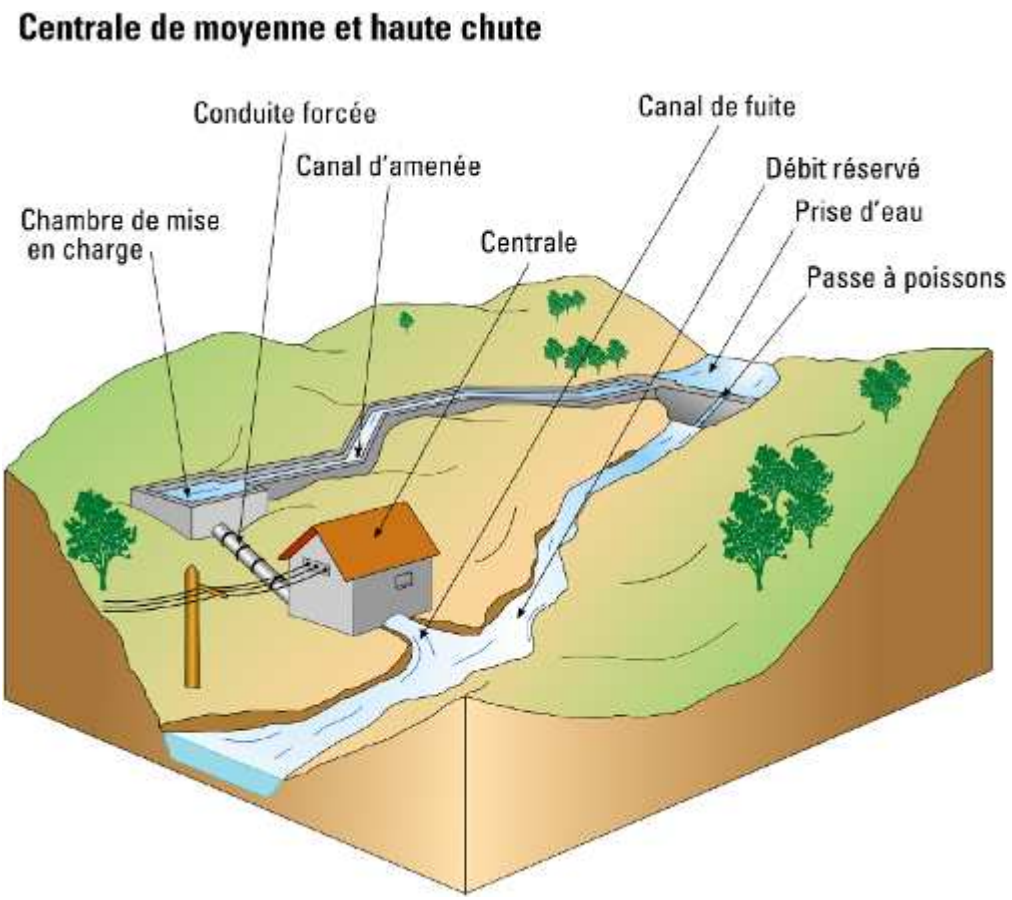
72.1. Typologie des centrales hydroélectriques

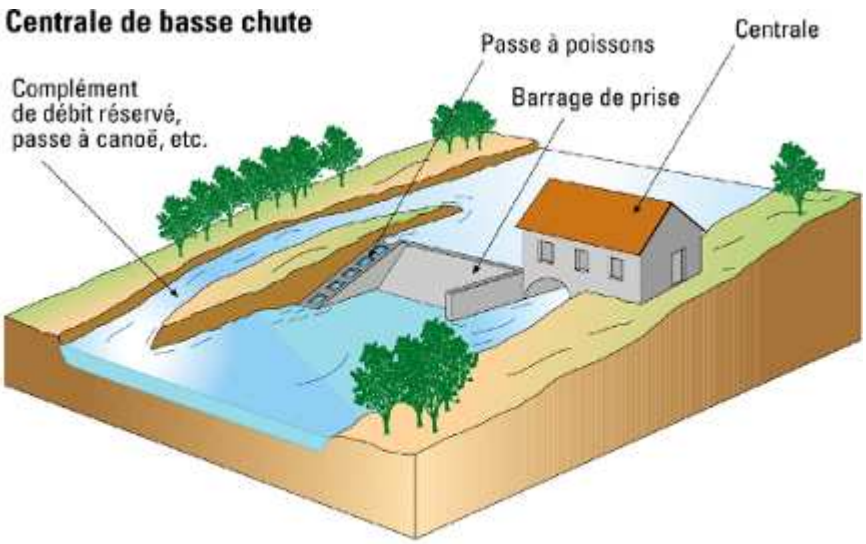
Les modes de production hydroélectrique sur lesquels s'est fondée cette étude correspondent à des productions dites au fil de l'eau, sans grande capacité de stockage et donc différentes des usines dites de lac du type de Petit Saut qui elles s'appuient sur une gestion de stock.

Deux grands modes de valorisation sont envisageables :

1. Les centrales de moyenne et haute chute exploitant les criques sur les reliefs. Ces centrales sont très sensibles au débit de la rivière.
2. Les centrales de basse chute, plus adaptée aux rivières à pente modérée mais pouvant exploiter le dénivelé d'un saut par exemple. Ces centrales sont pénalisées pour des raisons hydrauliques par les forts débits qui « réduisent » la chute exploitable et qui en crue créent des contraintes d'installation.

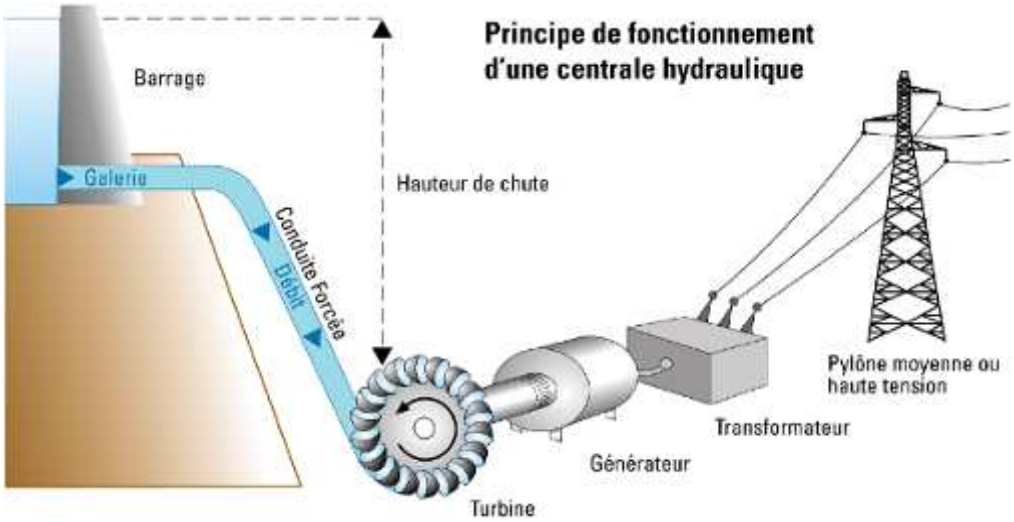
Source ADEME GUIDE POUR LE MONTAGE DE PROJETS DE PETITE HYDROÉLECTRICITÉ





Deux exemples d'aménagements hydroélectriques :
la centrale en dérivation et la centrale de pied de barrage.

L'énergie produite dans l'usine est renouvelable mais il est rare que les sites favorables soient à proximité immédiate des points de consommation. Les lignes électriques nécessaires au transport doivent être adaptées à l'environnement forestier qui implique des coûts d'investissements et d'entretien conséquents.



Source ADEME GUIDE POUR LE MONTAGE DE PROJETS DE PETITE HYDROÉLECTRICITÉ

72.2. Les unités utilisées

La puissance des usines est exprimée en kW, MW, GW avec
1 GW = 1 000 MW = 1 000 000 kW
L'énergie est exprimée **en production annuelle moyenne.**
Les unités caractéristiques sont : kWh, MWh, GWh,TWh.
Avec 1 TWh = 1 000 GWh
La puissance est le produit d'une hauteur de chute, d'un débit et d'un coefficient. L'énergie est le produit de la puissance par le temps.

7.3. La production hydroelectrique en Guyane

73.1. Les unités de production en 2008

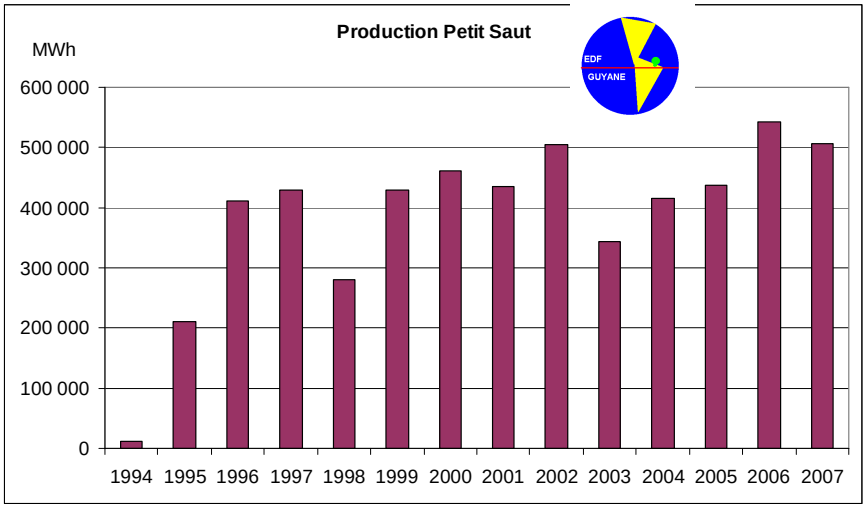
La base de données des ouvrages existants en mai 2008 comprend 4 ouvrages (cf. carte p 15):

					puissance max	Débit d'équipement	chute brute
Nom	coordX	coordY	**Propriétaire**	**Catégorie**	**kW**	**m^3/s**	**m**
Petit Saut	272326	560295	EDF	Lac	117 000	440	30
Saut Maripa	401606	420030	EDF	Fil de l'eau	1 000	25	5.2
Camp des Nouragues	309927	448758	CNRS	Fil de l'eau	15	0.08	35.5
Antecume Pata	158255	363839	Village	Fil de l'eau	14	1	2

		module	Débit réservé	Passe à poissons	Nom du barrage	Cote	Capacité utile	Exploitation	Productible annuel
Nom prise	**Cours d'eau**	**m^3/s**	**m^3/s**			**M NGG1997**	**hm^3**		**MWh**
Petit Saut	Sinnamary	246	80	Non	Petit Saut	35	2200	Oui	496000
Saut Maripa	Oyapock	825	0	Non	Saut Maripa	8.23	0	Oui	-
Camp des Nouragues	Crique Nouragues	0.138	?	Non	Crique des cascades	0	0	Oui	100
Antecume Pata			0	Non		0	0	Non	105

73.2. Production de Petit Saut

La production de cet ouvrage est à peu près stabilisée depuis 1996 avec des fluctuations annuelles qui s'expliquent par la variabilité des apports hydrologiques.

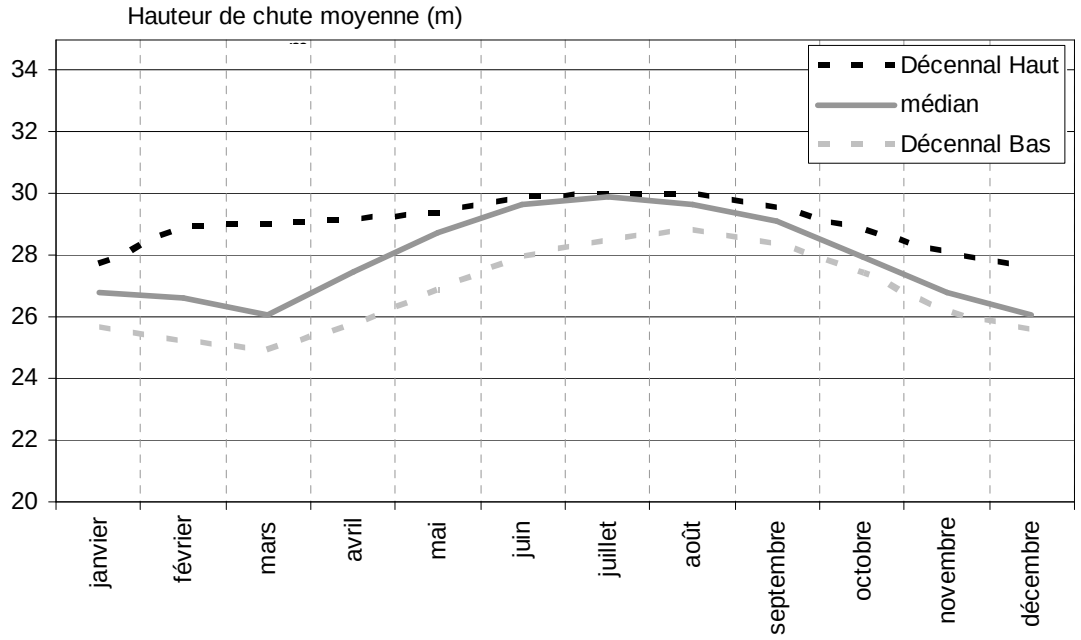


73.3. Coefficient énergétique de Petit Saut

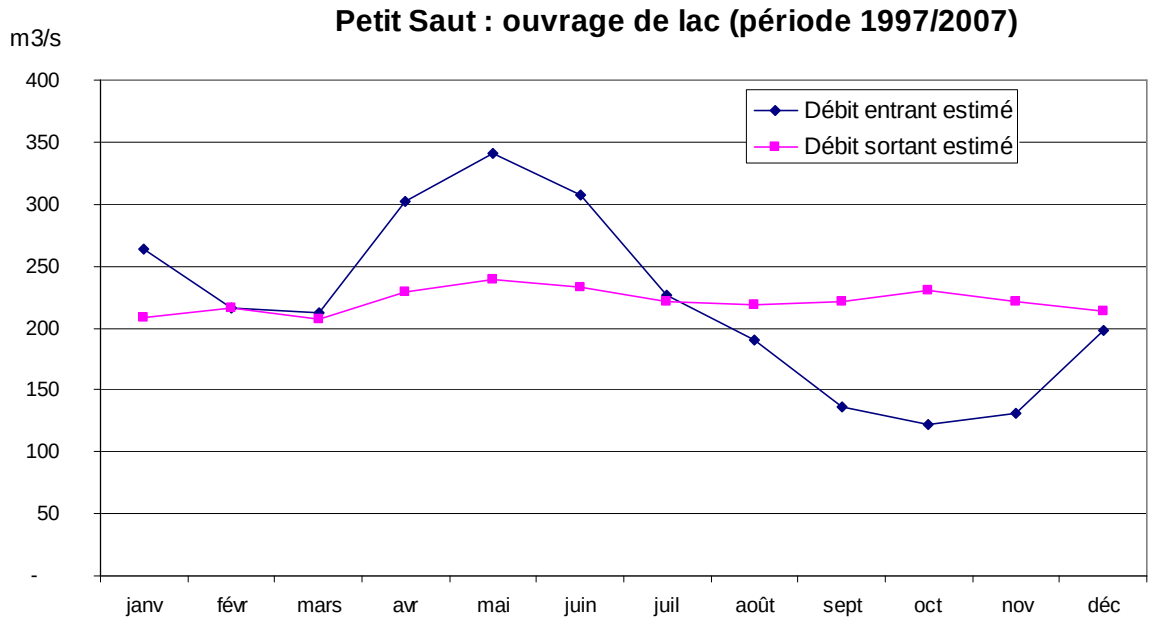
La production de Petit Saut permet une valorisation de la quasi totalité du volume entrant. Les apports moyens annuels sont estimés à 7 758 hm^3 (module de 246 m^3/s) pour un productible attendu de l'ordre de 496 GWh. Le coefficient énergétique de l'ouvrage ressort donc à 0,064 kWh/m^3.

Sur cette base et en connaissant le niveau de production, il est possible d'estimer les volumes turbinés et donc les facteurs du régime. Par analyse de l'évolution des stocks dans l'ouvrage, il est aisé de reconstituer les volumes entrants.

Le profil moyen annuel du remplissage présente un maximum de juin à septembre et un minimum de novembre à mars.



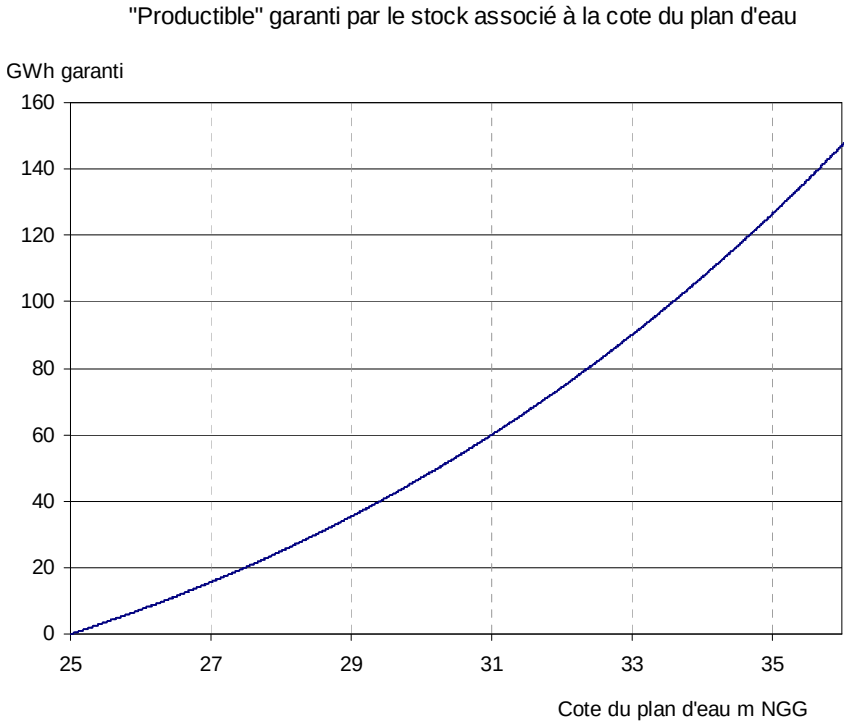
Cette fluctuation du stock traduit en fait une modulation du débit entrant avec un très fort niveau de régulation annuel de ces débits entrants. Le graphe ci-après montre la régularité du débit sortant qui contraste avec la fluctuation naturelle du régime.



73.4. Le rôle de régulation de Petit Saut

L'avantage d'une réserve utile aussi importante est essentiellement de passer les périodes les plus sèches en mobilisant le stock en complément des apports naturels « au fil de l'eau » du Sinnamary.

Le stock disponible est important non seulement pour garantir la production d'énergie (plus de 25% du productible annuel pour le réservoir plein) mais aussi parce que la puissance maximale disponible dépend de la hauteur de chute et donc du taux de remplissage.

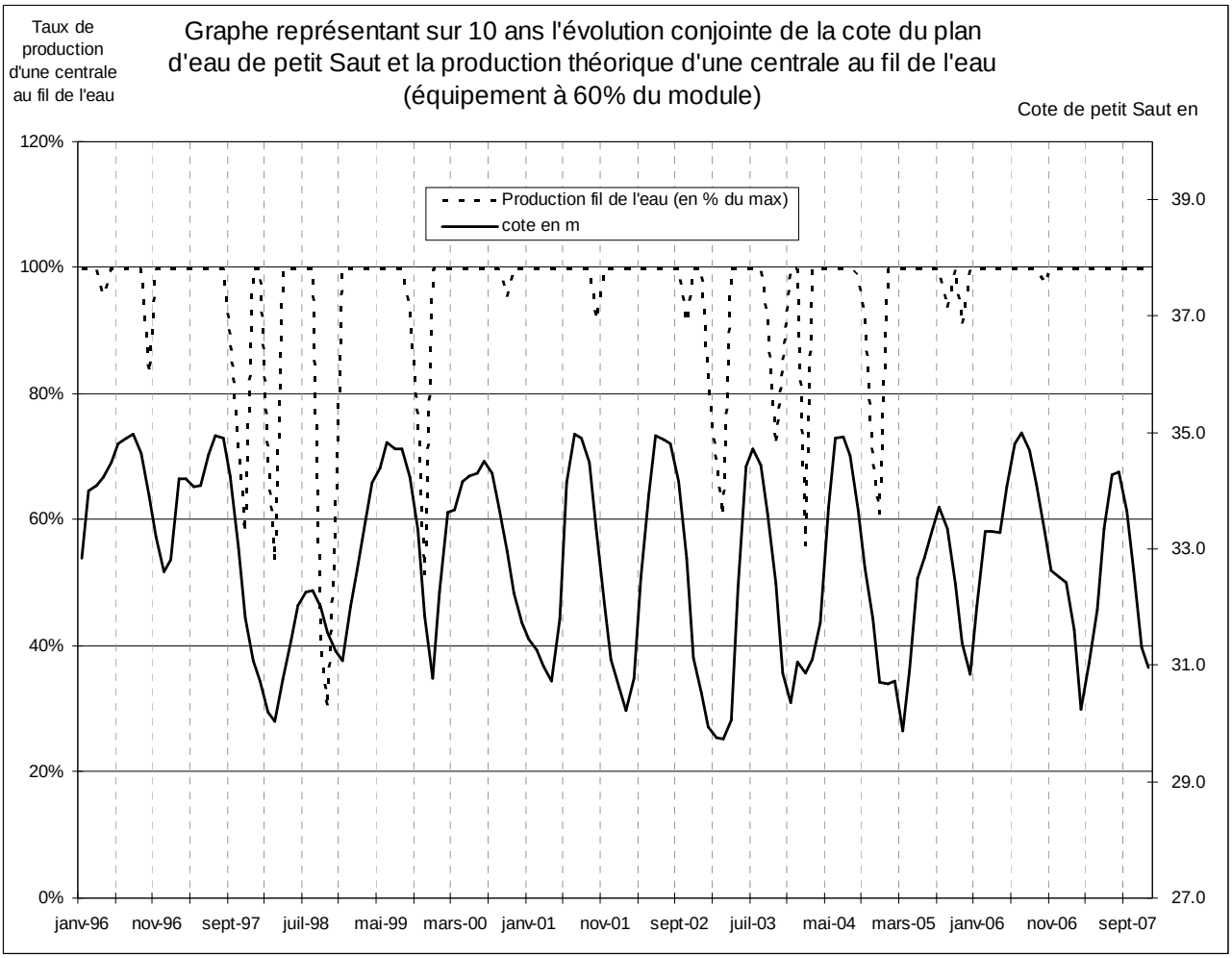


73.5. Evolution potentielle de la production

Les paramètres d'évolution de la production sur Petit Saut peuvent provenir de deux facteurs :

1. Sur le plan du rendement global de l'installation, la seule marge de progrès (hors progrès technique) pourrait provenir d'une augmentation de la chute par réduction de la cote du déversoir de réoxygénation aval. Les conditions qui permettraient cette évolution ne nous sont pas connues.
2. Sur le plan de l'intégration au réseau interconnecté d'autres ouvrages hydroélectriques au fil de l'eau, Petit Saut offre une forte capacité de régulation. Le régime de production au fil de l'eau suivrait sensiblement le même profil que les apports naturels du Sinnamary à Petit Saut avec cependant un écrêtement en hautes eaux lié au plafonnement de la production par le débit d'équipement et une baisse de puissance en basses eaux.

En s'appuyant sur le même régime hydrologique que celui du Sinnamary, nous avons simulé une production hydroélectrique effectuée au fil de l'eau par une usine équipée à 60% du module.



Le maximum de production d'une usine au fil de l'eau s'effectuant en saison des pluies, permettra un rattrapage plus rapide des cotes élevées et une vidange moins intense et donc un meilleur rendement hydraulique de Petit Saut.

La capacité de Petit Saut à assumer une fluctuation en puissance issue de la petite hydraulique, ne devrait pas être mise en péril sachant que la centrale en projet la plus puissante représente une puissance maximale égal à 4% de la puissance max de Petit Saut.

7.4. Recensement des projets

Le recensement des projets a été fait après enquêtes auprès des différents acteurs de l'énergie en Guyane. La source d'information la plus exhaustive est celle de l'ADEME. L'analyse des archives récentes montre que de nombreux diagnostics de potentiel de sites ont déjà été portés sur le département.

69 études de sites plus ou moins poussées ont été effectuées essentiellement entre 1994 et 2008. Plusieurs projets correspondent plus à des options d'aménagement d'un même site qu'à des projets indépendants. Le tableau ci-dessous identifie pour chaque projet, les informations les plus récentes concernant un site.

Tableau du 10 mai 2008

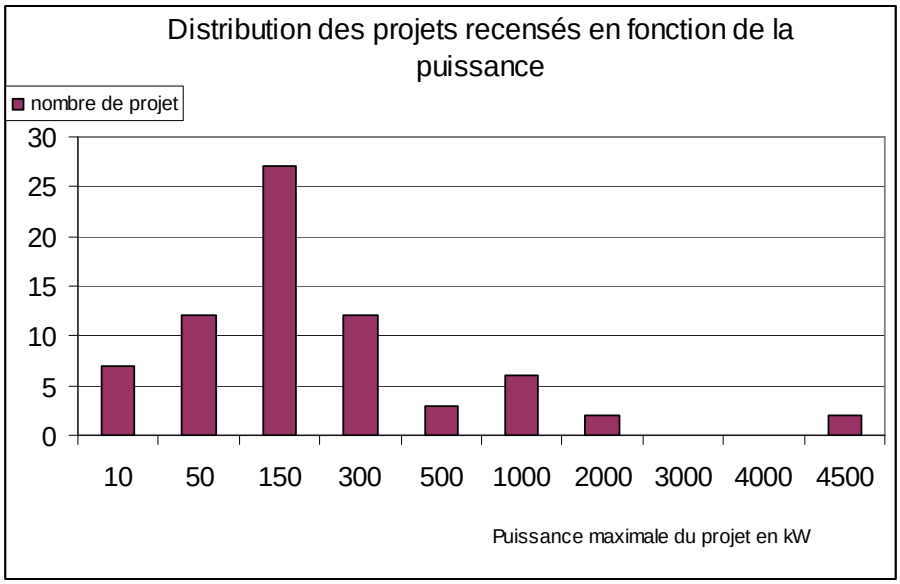
Nom de la Commune	Nombre de projets recensés	Cumul des puissances maximales	maximum des puissances	minimum des puissances maximales
Apatou	4	689	294	59
Camopi	4	815	500	90
Grand Santi	3	228	109	42
Mana	2	4553	4500	53
Maripasoula	5	497	210	84
Papaïchton	6	1698	1260	35
Régina	18	5074	1875	2
Roura	19	5881	4022	9
Saint-Elie	5	1274	550	48
Saint-Laurent-du-Maroni	3	893	711	70
Total	**69**	**21602**	**4500**	**2**

La structure du parc des projets montre une concentration sur le Maroni, le bassin du Mahury, l'Approuague et le voisinage de Petit Saut plus quelques projets plus disséminés.

Le parc associé recouvre essentiellement des projets de petite puissance en lien avec la structure de la demande qui s'exprime notamment sur des sites décentralisés non connectés au réseau de distribution littoral. Une des particularités des études de site est d'avoir axé l'analyse sur une gestion de type lac permettant une garantie de puissance. Les débits d'équipements expertisés apparaissent donc toujours élevés par rapport au module. L'ensemble des contacts pris, montre qu'en dehors de tous petits aménagements et compte tenu des impacts observés lors de la mise en eau de Petit Saut, seules les usines dites au fil de l'eau semblent être envisageables à ce jour.

Notons trois projets particuliers :

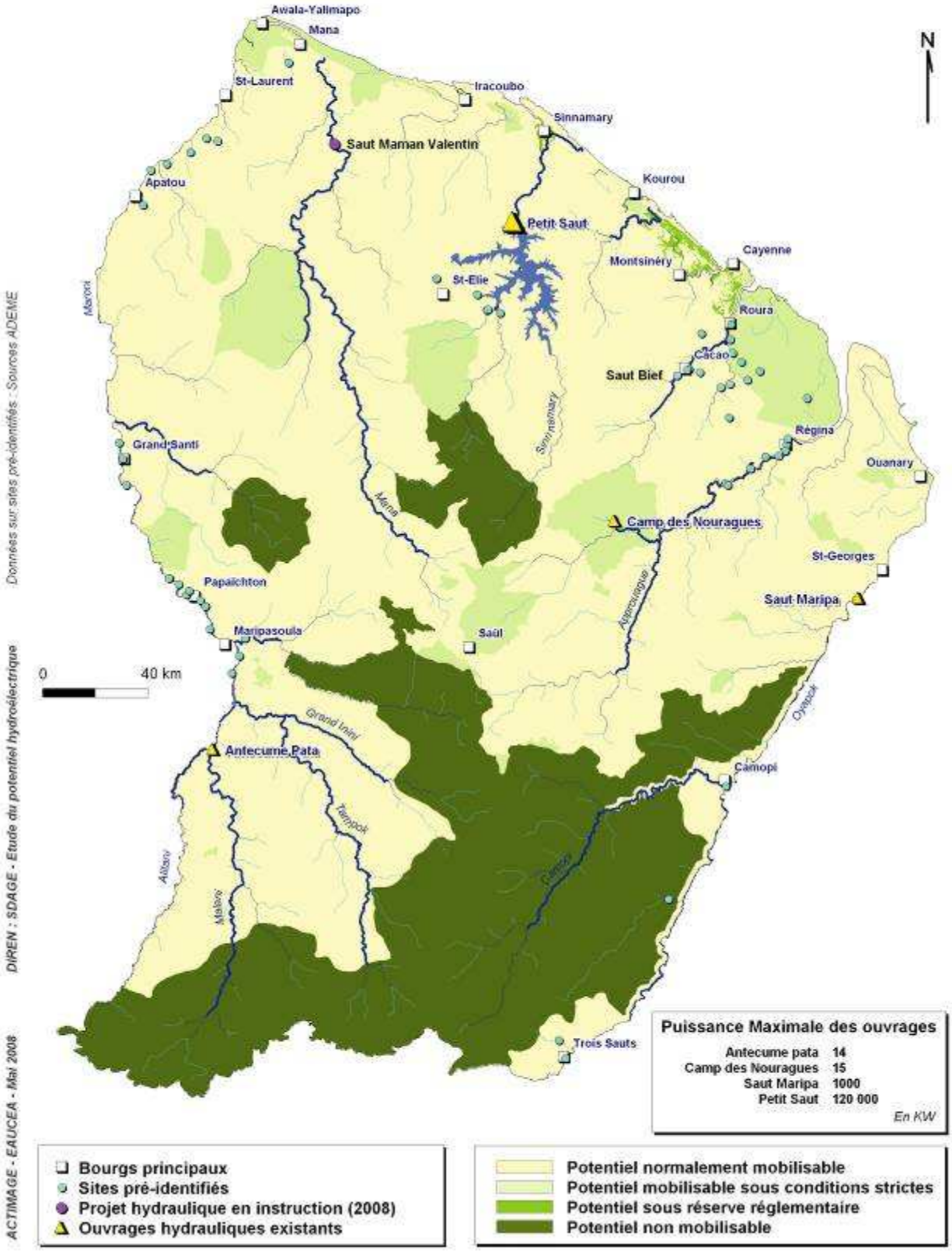
- Celui de réhabilitation de la centrale existante d'Antecume Pata
- Celui d'équipement d'une conduite AEP (village Wayam - Fourgassié)
- Celui d'un équipement par hydrolienne (Saut Sonnelle)



A très court terme un projet sur la Mana est en cours d'instruction. Il correspond à l'un des plus gros projets recensés.

Pour les autres projets, aucune maîtrise d'ouvrage n'a été identifiée. EDF premier producteur d'hydroélectricité en Guyane ne porte aucun projet hydroélectrique à court terme.

Etat du parc hydroélectrique existant et sites pré-identifés



7.5. Estimation du potentiel par analyse cartographique

75.1. Principes du calcul

En tout point du bassin, le potentiel théorique correspond au produit d'un débit et d'une hauteur de chute, affecté d'un coefficient pondérateur. Deux étapes sont donc nécessaires :

1. calculer le module (débit moyen) des apports issus du bassin versant en amont du point de calcul qui pourrait correspondre à l'emplacement de la prise d'eau,
2. appliquer ce débit à une chute, c'est-à-dire une dénivelée correspondant à l'exploitation de la pente du cours d'eau

Pour le calcul du module, l'opération consiste à circonscrire un bassin versant à partir du Modèle Numérique de Terrain et de cumuler les valeurs de débit ruisselé sur ce bassin amont.

Les chutes ont été obtenues par différence altimétrique entre points singuliers et consécutifs du réseau hydrographique. Cette approche présuppose donc de générer par cartographie informatique un réseau hydrographique théorique. Aucune information de synthèse altimétrique n'existe à ce jour (mai 2008) à une échelle exploitable pour notre problématique (ruisseau et petite rivière). La carte réalisée pour cette étude est donc l'une des premières cartographies du réseau hydrographique « théorique » de Guyane.

Pour compléter l'information, des profils en long théoriques des principaux cours d'eau ont été générés et les ruptures de pente connues ont été cartographiées systématiquement (première cartographie réalisée pour cette étude des 816 sauts répertoriés en Guyane).

La principale difficulté a été l'imprécision du modèle numérique de terrain issu de données satellites radar du SRTM (pas de 90 x 90 m, levé en 2000) mais surtout du « bruit » important généré par le couvert végétal avec une canopée à plusieurs dizaine de mètres ce qui est important en regard des faibles pentes du terrain.

Les principales imprécisions viennent :

1. des secteurs à très faibles pentes (et donc faible potentiel) qui posent des difficultés pour le calcul du bassin de drainage (réseau, surface, module),
2. du repérage précis des points singuliers cartographiques tels que saut, confluent,
3. de l'estimation du module spécifique qui reste encore très incertain compte tenu de la faible densité de l'information hydrométrique et météorologique.

Il convient par conséquent d'avoir toujours à l'esprit les limites de l'exercice compte tenu des imprécisions qui viennent d'être évoquées.

75.2. Calcul des hauteurs de chutes exploitables

Le potentiel dépend de la hauteur de chute. L'altitude des cours d'eau n'est pas connue précisément. Pour calculer les chutes exploitables, il a été envisagé trois approches.

- **Avec les pentes du réseau hydrographique connu**

En partant de la cartographie connue du réseau hydrographique (Source IGN) et à partir de la grille des points d'altitude (MNT 90m) il aurait été en théorie possible de calculer la pente des cours d'eau et donc d'en déduire les hauteurs de chute potentiellement exploitables.

Cependant, il y a trop souvent une mauvaise correspondance entre le tracé de la rivière et la topographie mesurée par le MNT, ce qui induit parfois des pentes négatives, et des résultats approximatifs. Par ailleurs la cartographie du réseau hydrographique est encore très incomplète voir hétérogène sur la Guyane. Rappelons qu'il n'existe pas encore (mai 2008) de cartographie de type BD Carthage sur la Guyane. Cette approche n'a donc pas été retenue.

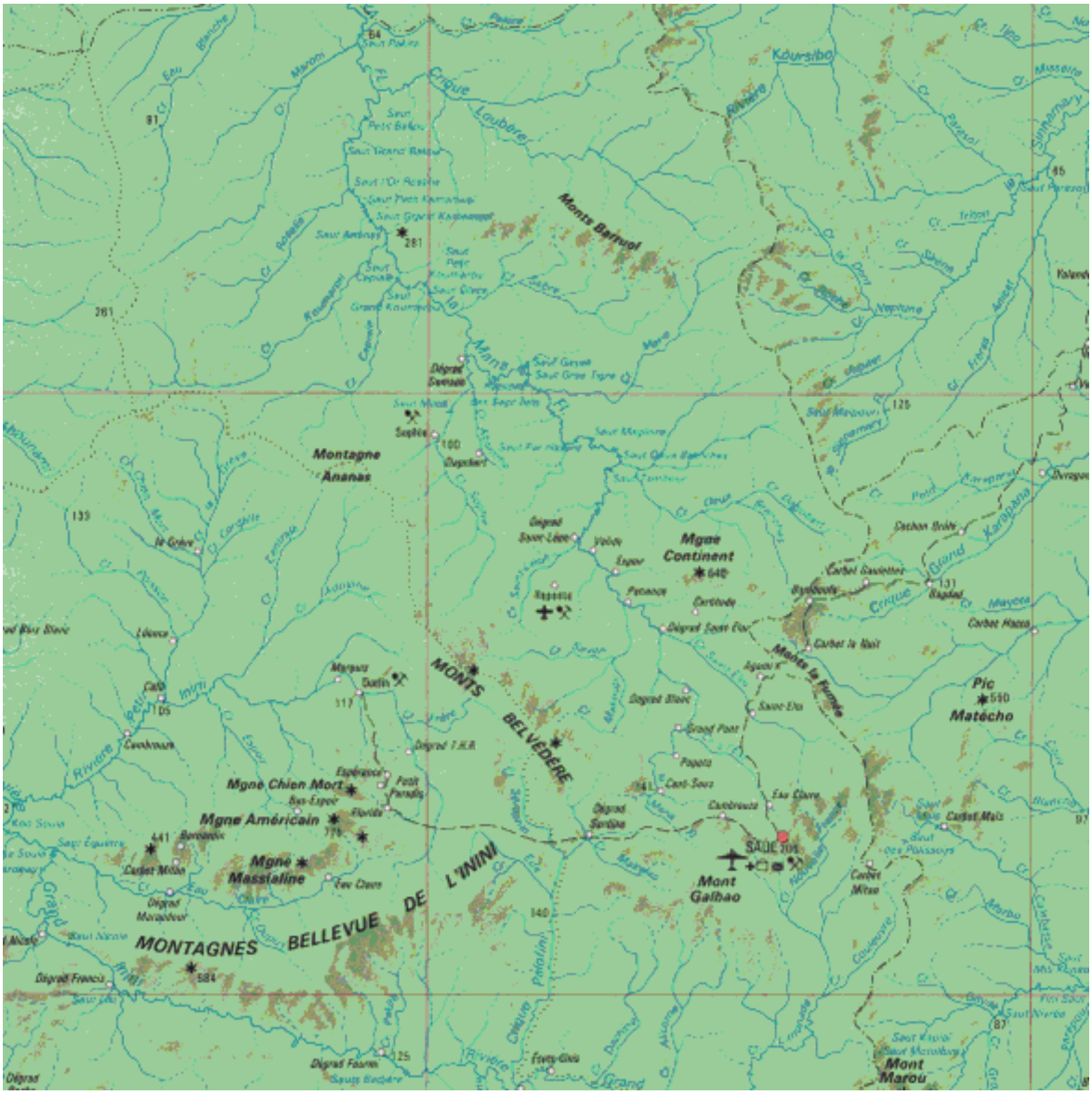


Figure 1 : Exemple de carte (1/500 000) présentant le réseau décrit dans les bases IGN 2008.

- **En s'appuyant sur la connaissance des sauts existants**

La liste des sauts en rivière, n'est pas exhaustive et se concentre sur les axes nécessaires à la navigation. La carte IGN actuelle ne recense qu'une partie de ces obstacles naturels. Nous nous sommes appuyés sur un jeu de cartes issues des rapports de missions cartographiques (IGN 1956). Une base de données reprenant l'ensemble des informations a donc été créée. Sur les 812 sauts répertoriés, la moitié sont nommés et 240 sauts renseignés en hauteur de chute.

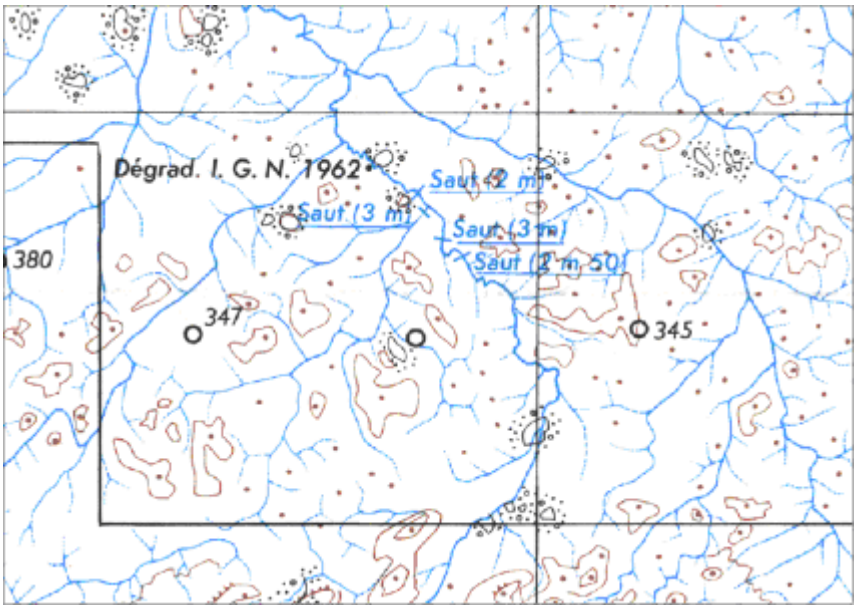


Figure 2 : Exemple de carte présentant les informations altimétriques sur les sauts (IGN)

Figure 3 : Carte présentant l'ensemble des sauts identifiés sur le réseau hydrographique de Guyane (Source IGN 1956-traitement Actimage 2008).

La hauteur de ces sauts constitue une part de la chute potentiellement exploitable. Cependant, ces informations altimétriques ne peuvent être exploitées que de façon qualitative :

- Parce que les données de dénivelée peuvent se distribuer sur plusieurs ruptures de pente successives
- Parce que la chute est elle même dépendante du débit du cours d'eau. Un débit élevé va progressivement gommer le relief et conduire à ce que l'on appelle un effacement de chute.

Par ailleurs la chute peut être augmentée par des aménagements complémentaires (seuils rehaussant le niveau, canaux et conduites d'amenée et de fuite).

L'intérêt de ce recensement systématique est cependant de permettre un repérage géographique des zones de rupture du profil en long.

- **Avec les pentes du réseau hydrographique théorique reconstitué à partir du MNT**

Un modèle cartographique a été utilisé pour reconstituer un réseau hydrographique théorique qui décrit précisément les talwegs et l'arborescence d'un réseau de drainage. Quelques difficultés sont rencontrées aux abords très plats de la côte et qui ont nécessité des ajustements avec les tracés du réseau connu.

En l'absence de référentiel BD Carthage, la carte du réseau hydrographique ainsi reconstitué est superposée aux bassins versants des masses d'eau identifiées dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE. Les codifications de ce réseau ont été retenues pour requalifier le réseau hydrographique de notre modèle.

De par sa conception, ce réseau théorique coule toujours dans le sens de la pente. Le réseau a été construit sur la base des drains de bassin versant de taille minimale égale à **2 km^2**. Résultats : 88 000 tronçons de rivière théoriques soit 120 000 km de cours d'eau ont ainsi été créés. Le maximum de l'ordre de Strahler qui mesure le nombre de niveau d'arborescence est de 8. La table créée par le logiciel donne l'altitude du début du tronçon et celle de la fin du tronçon, entre deux nœuds de confluence, et permet de calculer la dénivelée et la pente théorique de tous les tronçons théoriques calculés.

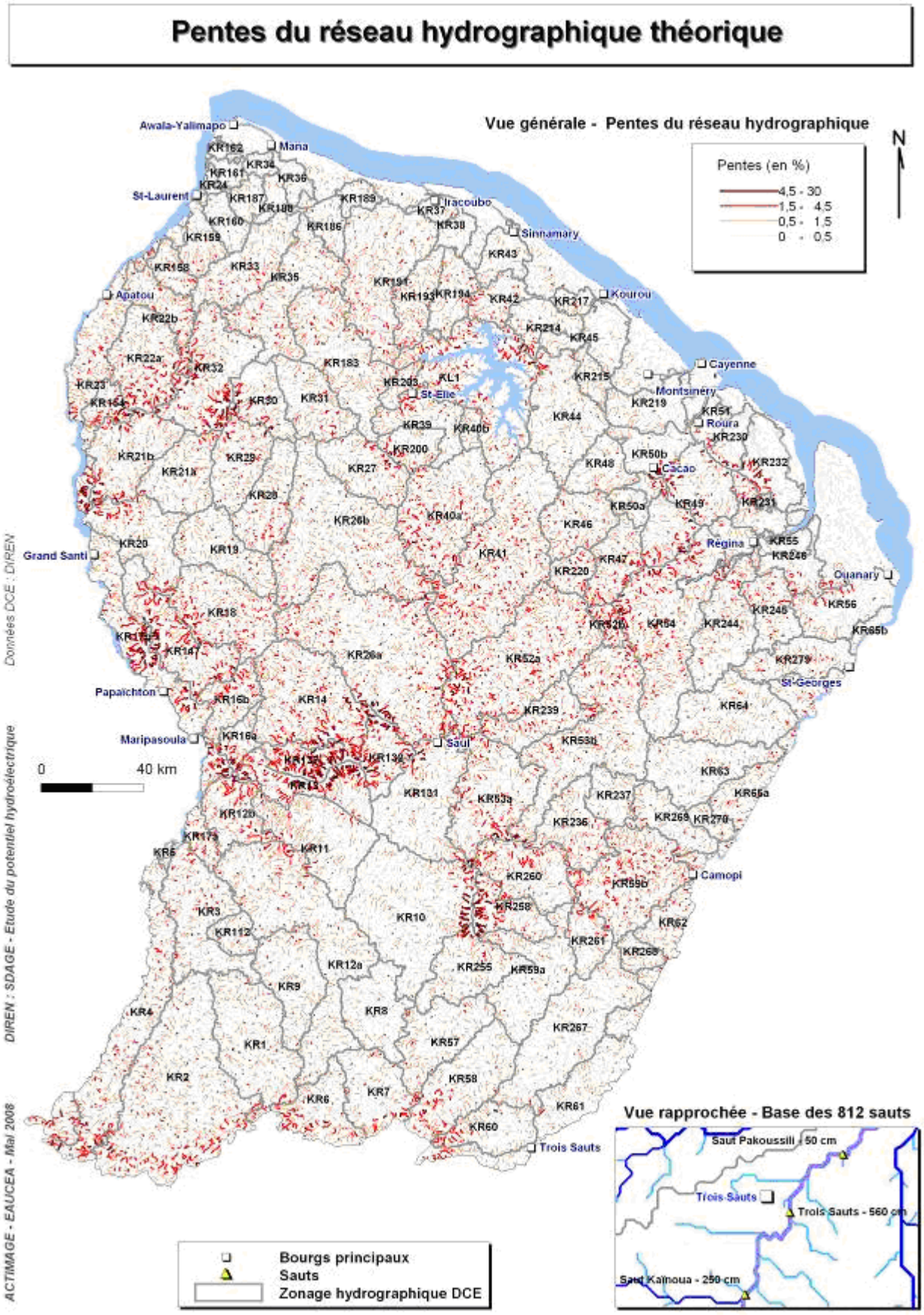
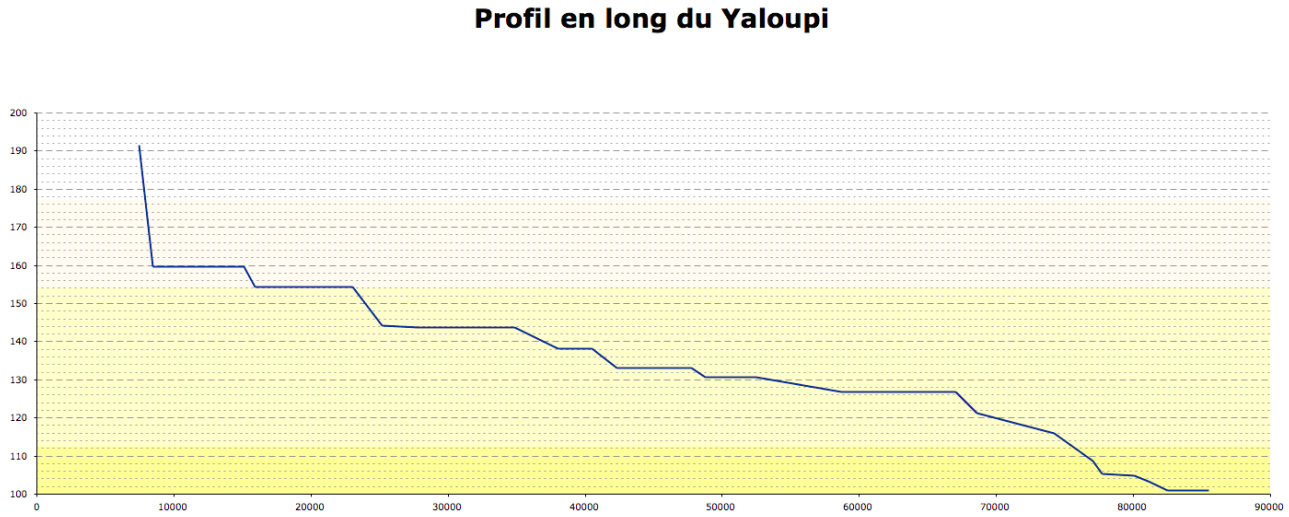


Figure 4 : Carte présentant le réseau principal reconstitué et classé par ordre de pente.

Une trentaine de profils en long des principaux cours d'eau et criques répertoriant des sauts ont été calculés. Les recoupements avec les cartographies existantes montrent que le résultat est globalement pertinent.



Echelle kilométrique horizontale : tous les 10 000 m.
Echelle altimétrique de 10 en 10 m.
Figure 5 : Exemple de profil en long calculé à partir du MNT 90 m

75.3. L'influence de la marée

Il n'existe pas à ce jour de cartographie systématique de la zone d'influence hydraulique de la marée dynamique. Pour compenser cette information, nous avons supposé que cette limite s'étend depuis la côte jusqu'au premier saut. Cette donnée sera associée aux éléments descriptifs des sites ayant un potentiel.

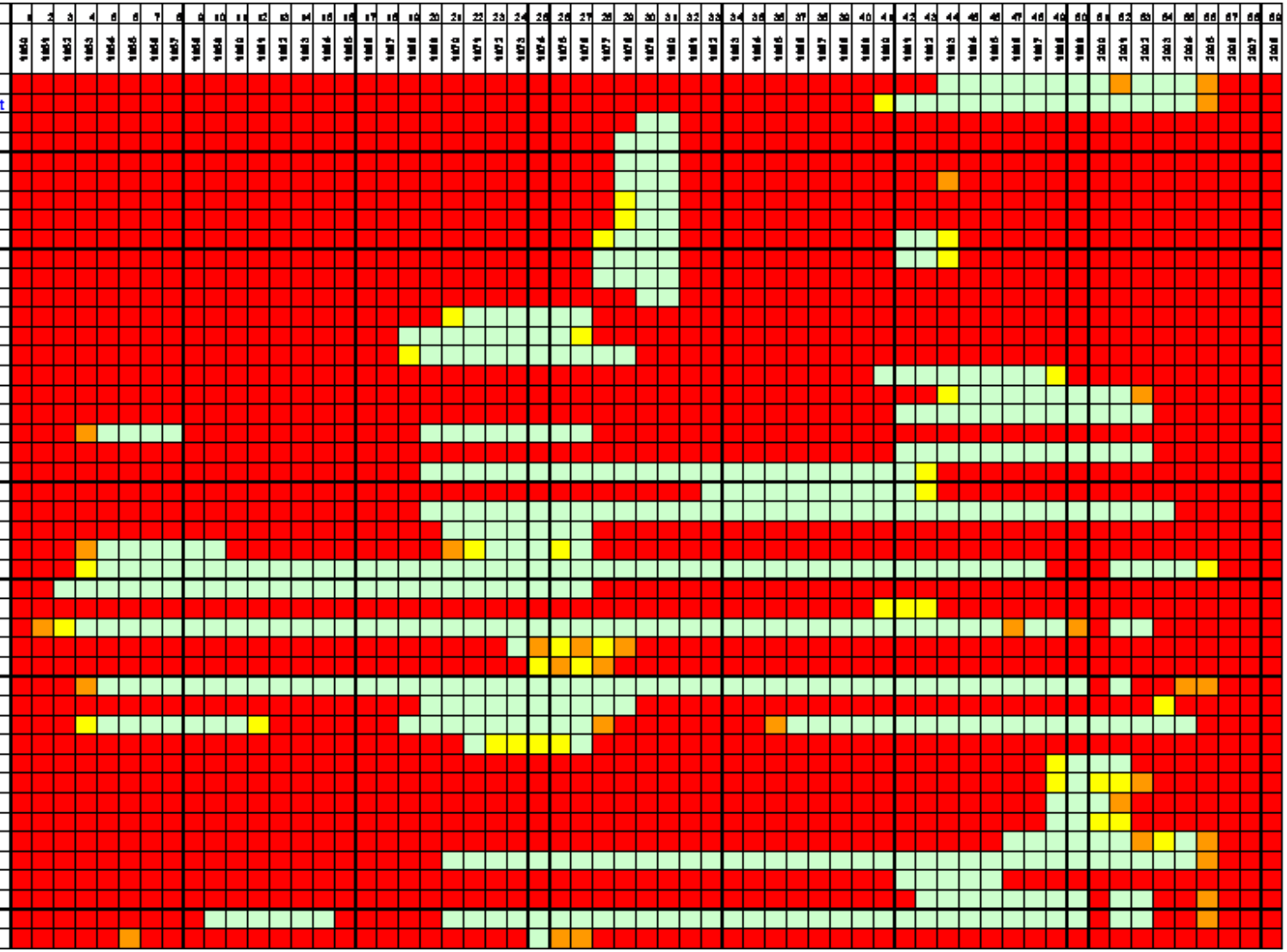
75.4. Calcul des débits exploitables

Les données hydrologiques

Les sources de données mobilisées sont les bases de données hydrométriques transmises par la DIREN dans le cadre de cette mission. L'état des lieux de l'information disponible aisément exploitable est surtout caractérisé par de grandes lacunes dans la couverture spatiale des bassins versants de Guyane et par des lacunes dans les chroniques disponibles. Le tableau ci-après synthétise les informations sur les 45 stations recensées. Les années intégralement disponibles sont classées en vert, partiellement disponibles en jaune, indisponibles en rouge. Cette représentation permet d'évaluer l'opportunité de reconstituer des chroniques longues périodes en partant du principe déjà relevé par Dubreuil que les corrélations entre grands bassins versants sont assez bonnes en Guyane.

On peut constater que plusieurs bassins ont été équipés à titre expérimental sur des cycles courts (quelques années). Au final une dizaine de stations semblent produire une information exploitable directement à l'échelle du problème qui nous intéresse. En cas d'étude fine sur la régionalisation du débit, l'ensemble des données - même limitées - aura de l'importance.

N° station	Bassin	Rivière
26069 02001	Riv cayenne	Ton onf
26085 00101	Riv kourou	Cr karouabo pont
26048 99049	Sinnamary	I pamplemou
26048 99048	Sinnamary	H pamplemou
26048 99047	Sinnamary	G pamplemou
26048 99046	Sinnamary	F pamplemou
26048 99045	Sinnamary	E pamplemou
26048 99044	Sinnamary	D pamplemou
26048 99043	Sinnamary	C pamplemou
26048 99042	Sinnamary	B foret
26048 99041	Sinnamary	Pt saut a
26048 99040	Sinnamary	Pt saut j
26048 99033	Sinnamary	Pt saut 3
26048 99032	Sinnamary	Pt saut 2
26048 99031	Sinnamary	Grd chute
26048 06969	Sinnamary	Cr toussaint
26048 00349	Sinnamary	Cr leblond
26048 00249	Sinnamary	Saut l'autel
26048 00203	Sinnamary	Adieu vat
26048 00149	Sinnamary	Saut dalles
26048 00145	Sinnamary	Saut tigre
26048 00144	Sinnamary	pt saut amont
26048 00142	Sinnamary	pt saut aval
26045 01239	Oyapock	Saut mombin
26045 01209	Oyapock	C à bienvenue
26045 00124	Oyapock	St maripa
26045 00112	Oyapock	Camopi
26041 08005	Maroni	Cr balate
26041 01915	Maroni	Dg de roche
26041 01504	Maroni	Aloupata
26041 00128	Maroni	Pelea
26041 00127	Maroni	Maripasoula
26041 00106	Maroni	Antecum pata
26039 00142	Mana	Saut sabbat
26039 00136	Mana	Saut chien
26037 00502	Mahury	Fourca ouest
26037 00501	Mahury	Fourca est
26037 00401	Mahury	Cote 7
26037 00301	Kounana	Degra lalanne
26037 00201	Mahury	S bernard
26037 00133	Conté	Saut Bief
26035 00501	Kourou	Passoura pont
26031 00140	Approuague	Athanase
26031 00130	Approuague	Pierrette
26031 00117	Approuague	Grand kanori



Sur chacune de ces stations nous avons établi la liste des principaux indicateurs hydrologiques, équivalents à ceux établis en métropole dans les fiches de synthèse de la banque hydro.

Données brutes IRD Guyane - traitement Eaucéa — *Données de synthèse pour une station*

2604500124 - Oyapock à St maripa

Localisation (Lambert 2 étendu) : *Surface:* **25 120 km²** *Producteur :* *Période :* **1953**

Données calculées le : **28/05/2008**

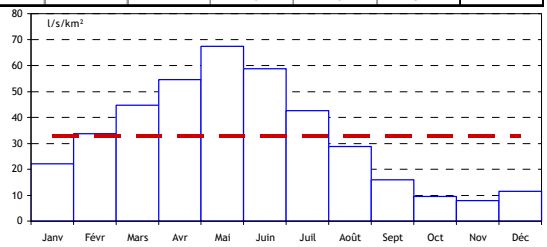
Données calculées à partir de 17990 valeurs mesurées durant 51 années

Ecoulements mensuels

	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Débits (m3/s)	558.1	845.7	1124.2	1370.1	1694.4	1478.2	1072.6	723.9	402.9	240.8	197.2	289.9	**825.8**
Q spec (l/s/km²)	22.2	33.7	44.8	54.5	67.5	58.8	42.7	28.8	16.0	9.6	7.8	11.5	**32.9**
Lame d'eau (mm)	60	81	120	141	181	153	114	77	42	26	20	31	**1045**

Modules interrannuels (loi de Gauss)

	Quinquennal sec	Médian	Quinquennal humide	Module
Débits (m3/s)	643.4	825.8	1008.2	825.8



Basses eaux (loi de Galton)

	Médiane		Quinquennal sec	
	m3/s	*l/s/km²*	m3/s	*l/s/km²*
VCN3	109.118	*4.344*	57.422	*2.286*
VCN10	116.958	*4.656*	60.481	*2.408*
QMNA	144.039	*5.734*	32.747	*1.304*

Crues (loi de Gumbel) - m3/s

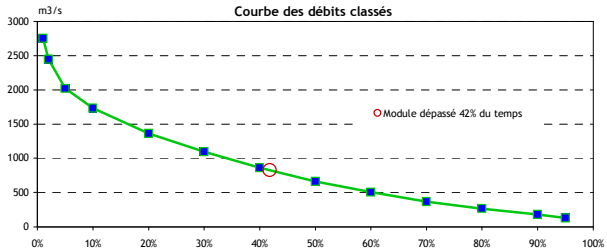
	X0	Gradex	Biennale	Quinquennale	Décennale	Vicennale	Cinquantennale
Débits journaliers	2166	664	2499	3146	3574	3986	4916

Maximums connus

	Niveau	Date
Débit journalier maximal	4920 m3/s	25 mai 1989

Débits classés

Fréquence	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8
Débits (m3/s)	2750	2450	2020	1730	1363.1
Fréquence	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
Débits (m3/s)	1100	862	663	504	369
Fréquence	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Débits (m3/s)	267	178	129	96.9585	81.5



Données brutes IRD Guyane - traitement Eaucéa — *Données de synthèse pour une station*

2604100127 - Maroni à Maripasoula

Localisation (Lambert 2 étendu) : *Surface:* **28 285 km²** *Producteur :* *Période :* **1953**

Données calculées le : **28/05/2008**

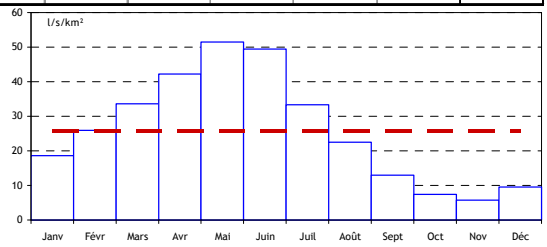
Données calculées à partir de 17571 valeurs mesurées durant 51 années

Ecoulements mensuels

	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Débits (m3/s)	528.3	732.5	951.6	1192.2	1455.0	1399.1	942.6	636.6	367.7	210.0	163.2	269.2	**731.3**
Q spec (l/s/km²)	18.7	25.9	33.6	42.1	51.4	49.5	33.3	22.5	13.0	7.4	5.8	9.5	**25.9**
Lame d'eau (mm)	50	63	90	109	138	128	89	60	34	20	15	25	**822**

Modules interrannuels (loi de Gauss)

	Quinquennal sec	Médian	Quinquennal humide	Module
Débits (m3/s)	526.5	731.3	936.0	731.3



Basses eaux (loi de Galton)

	Médiane		Quinquennal sec	
	m3/s	*l/s/km²*	m3/s	*l/s/km²*
VCN3	109.118	*3.858*	57.422	*2.030*
VCN10	116.958	*4.135*	60.481	*2.138*
QMNA	91.059	*3.219*	19.054	*0.674*

Crues (loi de Gumbel) - m3/s

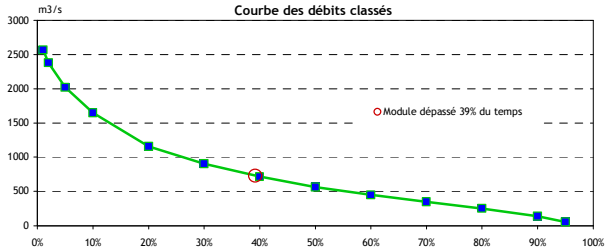
	X0	Gradex	Biennale	Quinquennale	Décennale	Vicennale	Cinquantennale
Débits journaliers	2166	664	2499	3146	3574	3986	4916

Maximums connus

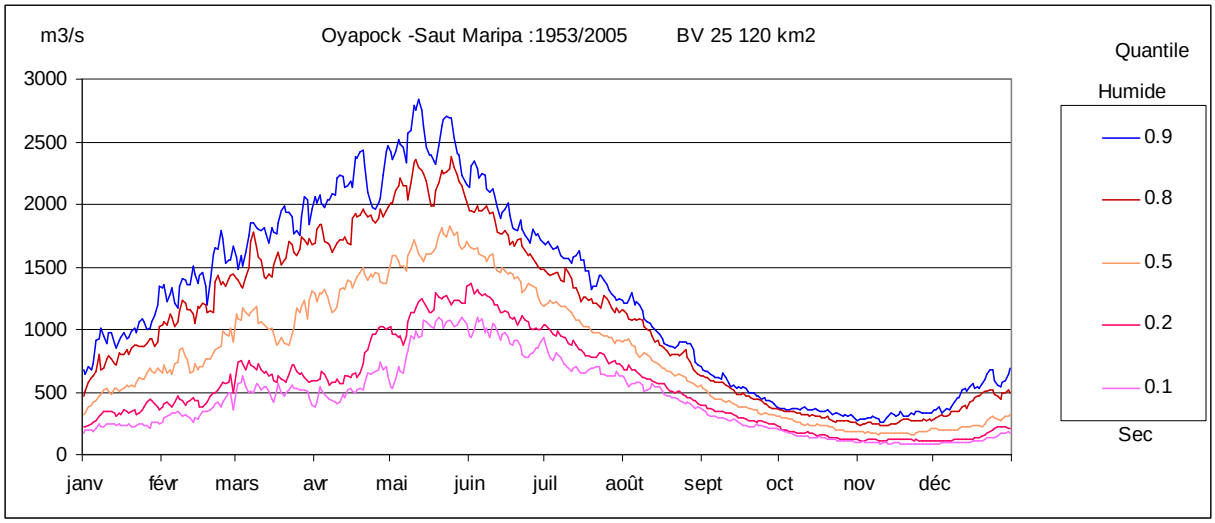
	Niveau	Date
Débit journalier maximal	3550 m3/s	25 mai 1989

Débits classés

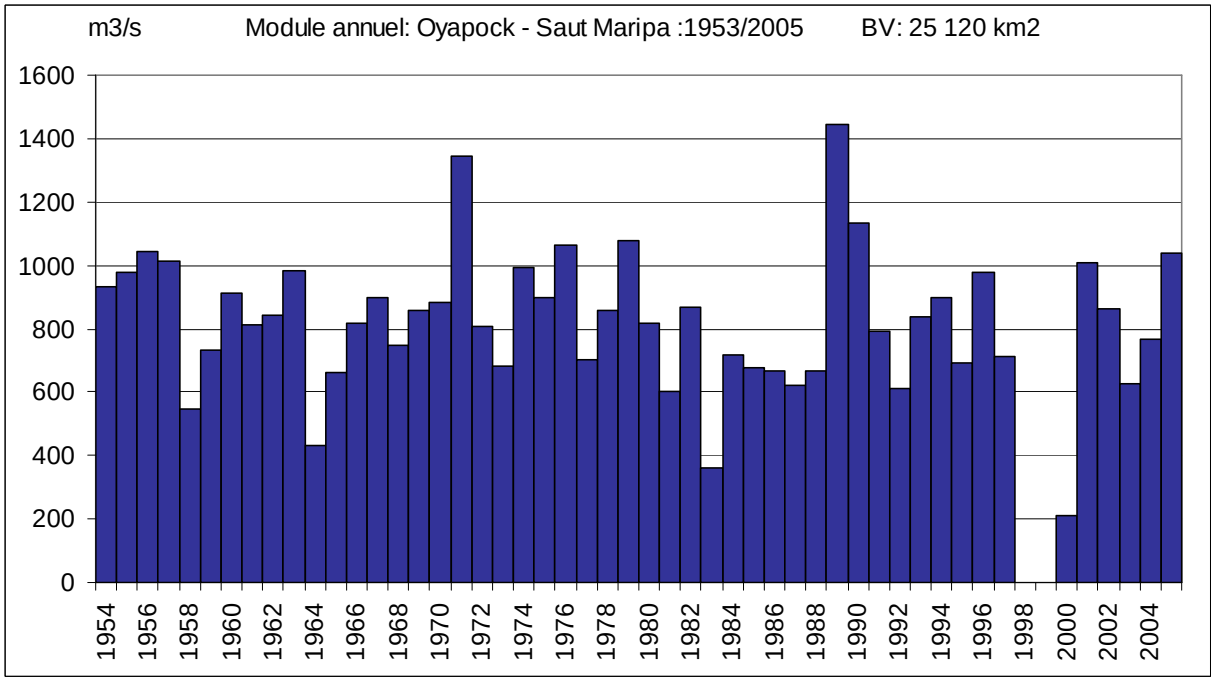
Fréquence	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8
Débits (m3/s)	2570	2380	2020	1650	1160
Fréquence	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
Débits (m3/s)	905	716	565	450	347
Fréquence	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Débits (m3/s)	253	140	53.8	27.9	22.67



Le régime hydrologique de ces cours d'eau est caractérisé par le régime très contrasté des débits entre la saison des pluies avec un maximum en juin et la saison sèche avec un minimum en décembre. Le cycle hydrologique recoupe bien l'année calendaire.



L'analyse des quantiles caractéristiques et des modules annuels montrent une forte variabilité entre les années humides ou sèches.



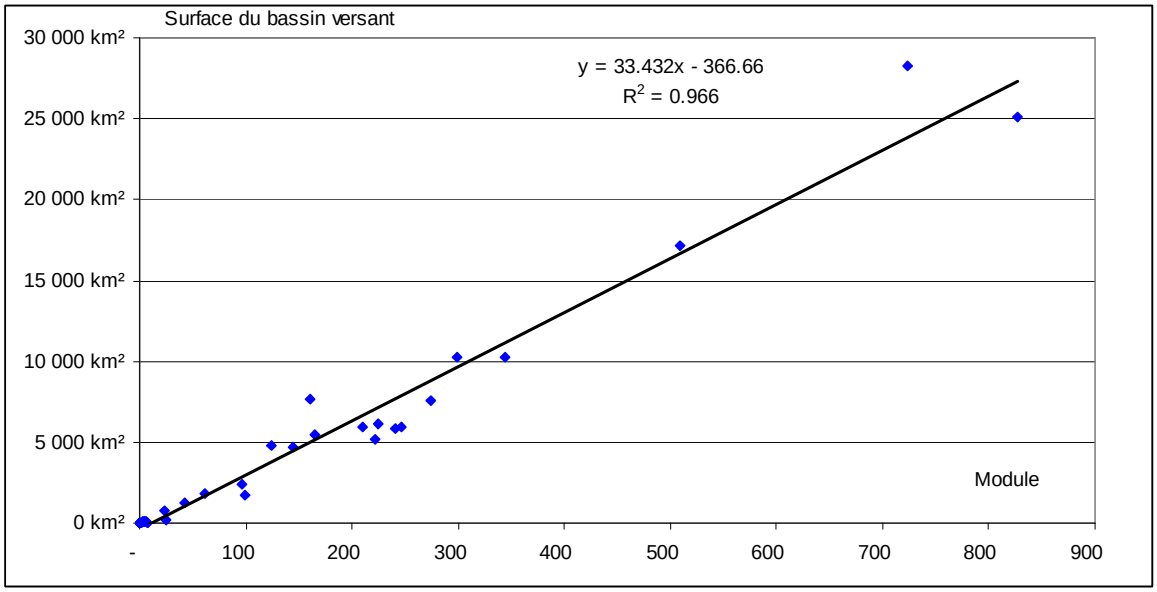
Régionalisation des modules naturels

Sur le plan de l'abondance hydrologique, l'analyse présentée ici reste très sommaire mais permet de dégager quelques points caractéristiques de la Guyane :

La lame d'eau écoulée est corrélée à la pluviométrie du bassin versant avec deux conséquences :

- un gradient décroissant des débits spécifiques de la côte vers l'intérieur et du Sud vers le Nord,
- Un gradient orographique particulièrement sensible sur la montagne de Kaw.

Les approches les plus fréquentes rencontrées dans les études hydrologiques récentes partent souvent d'extrapolation ou d'interpolation à partir de séries mesurées. Cette approche est légitime pour les grands bassins versants puisque l'on observe un lissage des particularités locales de la pluviométrie et donc de l'écoulement.



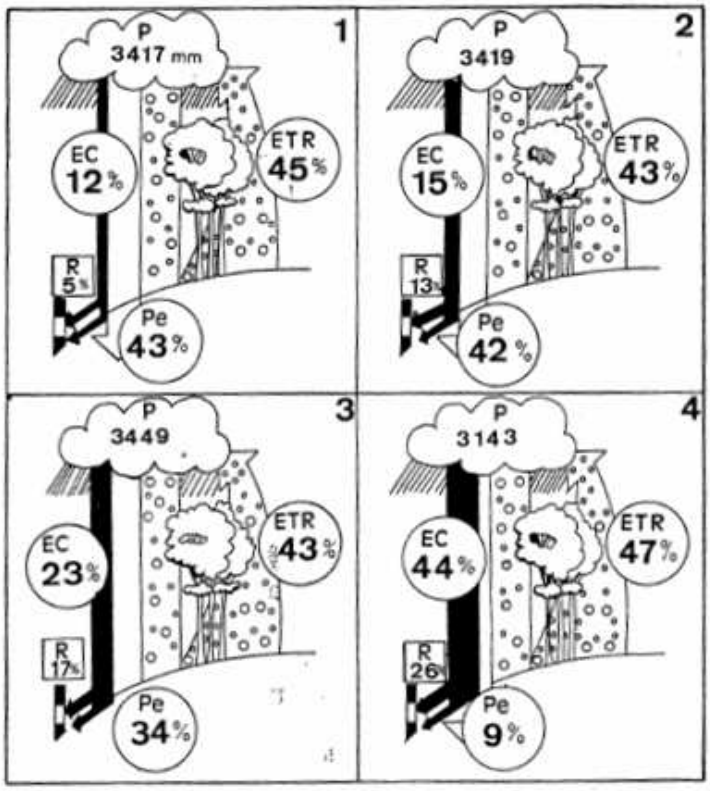


FIG. 4. — *Bilan de l'eau en forêt naturelle suivant le stade d'évolution des couvertures pédologiques.*

P = Pluie en mm.
ETR = Evapotranspiration réelle : % de P.
EC = Ecoulement : % de P.
Pe = Percolation : % de P.
R = Ruissellement : % de P.
ETR + EC + Pe = 100 %.

1 - Bassin à drainage vertical libre (Bassin C).
2 - Bassin à drainage mixte (Bassin D).
3 - Bassin à drainage superficiel (Bassin A).
4 - Bassin à drainage superficiel (Bassin F).

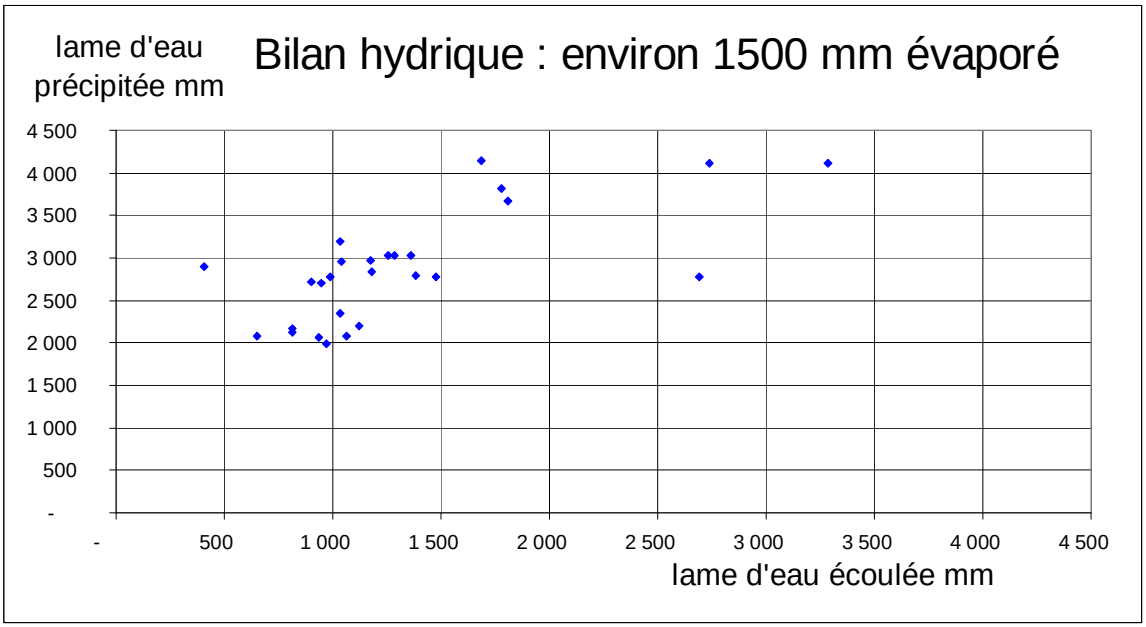
Or la recherche de potentiel hydroélectrique adapté aux contraintes locales, pousse à rechercher l'équipement de petit bassin versant à forte pente. Pour les petits bassins versants, rarement équipés de station de jaugeage, la méthode la plus fréquemment employée est une estimation de la lame d'eau écoulée à partir de la pluviométrie.

Cette méthode se fonde sur le fait qu'il y aurait une grande homogénéité des évapotranspirations sur le bassin Guyanais. Cette hypothèse reste à prouver notamment pour les tout petits bassins versants, où des effets liés à la nature topographique et géologique du sous-sol pourraient rendre plus ou moins disponible l'eau du sol. Les travaux de recherche « opération ECEREX » publiés en octobre 1991 démontrent aussi une modification des modes de restitution de l'eau sur des bassins à différents stades de couverture végétale mais n'apportent pas d'explication suffisante au problème de variabilité de l'abondance hydrologique.

ETR : Cas 1 = 1537mm ; cas 2 :1470 mm ; cas 3 : 1483 mm ; cas 4 : 1477mm

Pour estimer cette fraction « évaporée » il suffit de comparer la lame d'eau précipitée (les pluies) à la lame d'eau écoulée (le débit mesuré).

Nous avons systématisé cette approche à partir de données de précipitation assez grossières car issues de la numérisation d'une carte de synthèse. Néanmoins, la distribution des pluies en Guyane est sans doute mieux appréhendée que la distribution des débits spécifiques qui ne peut pas s'appuyer sur un réseau hydrométrique très dense.

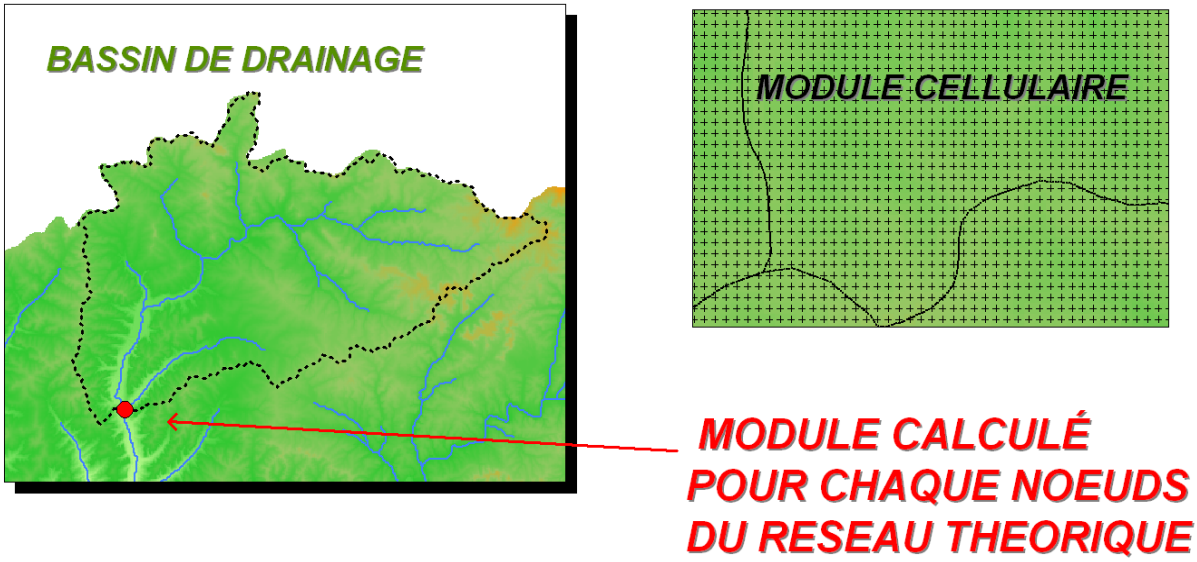


Les résultats obtenus sur des séries très hétérogènes sur le plan des chroniques testées confirment cependant la pertinence pour notre diagnostic hydrologique. Une approche prudente de la ressource consiste à maximiser ce terme de déficit d'écoulement qui sera pris égal à 1700 mm sur l'ensemble de la Guyane sachant que la principale incertitude provient d'une juste estimation des pluies.

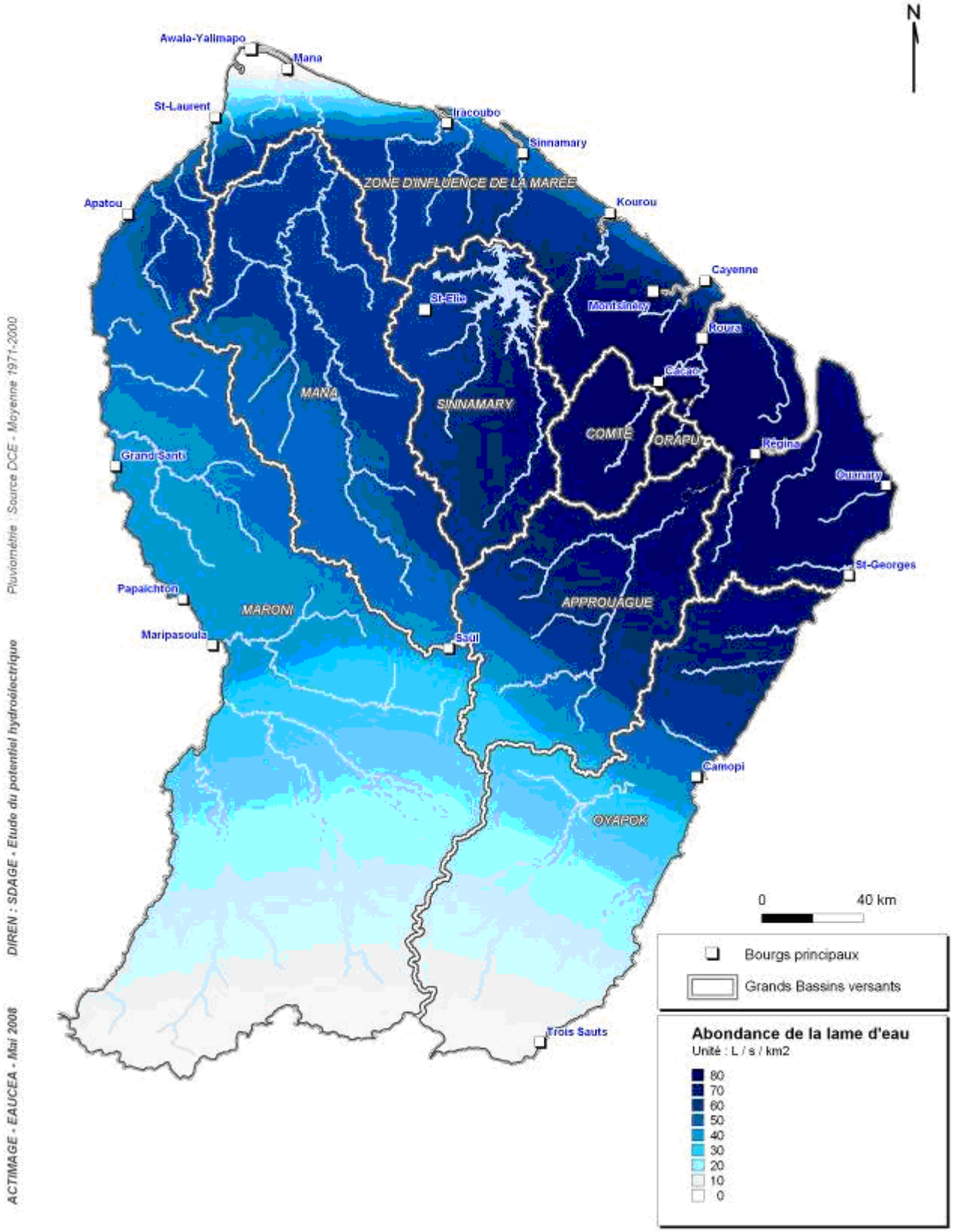
Sur cette base, qui mériterait d'être affinée par une étude spécifique, il devient possible d'affecter en tout point du territoire une estimation du module spécifique de la lame d'eau ruisselée.

Chaque **point XYZ** de la grille MNT reçoit la valeur du module spécifique calculé précédemment pour la zone qui le contient.

Pour tout bassin de drainage tracé à partir de ce MNT 90m (soit à partir des nœuds de confluence, soit en un point particulier de rivière comme une prise d'eau d'usine hydroélectrique), on peut calculer le module théorique en sortie de ce bassin, en sommant les valeurs de module cellulaire qu'il contient.



Estimation de la lame d'eau ruisselée



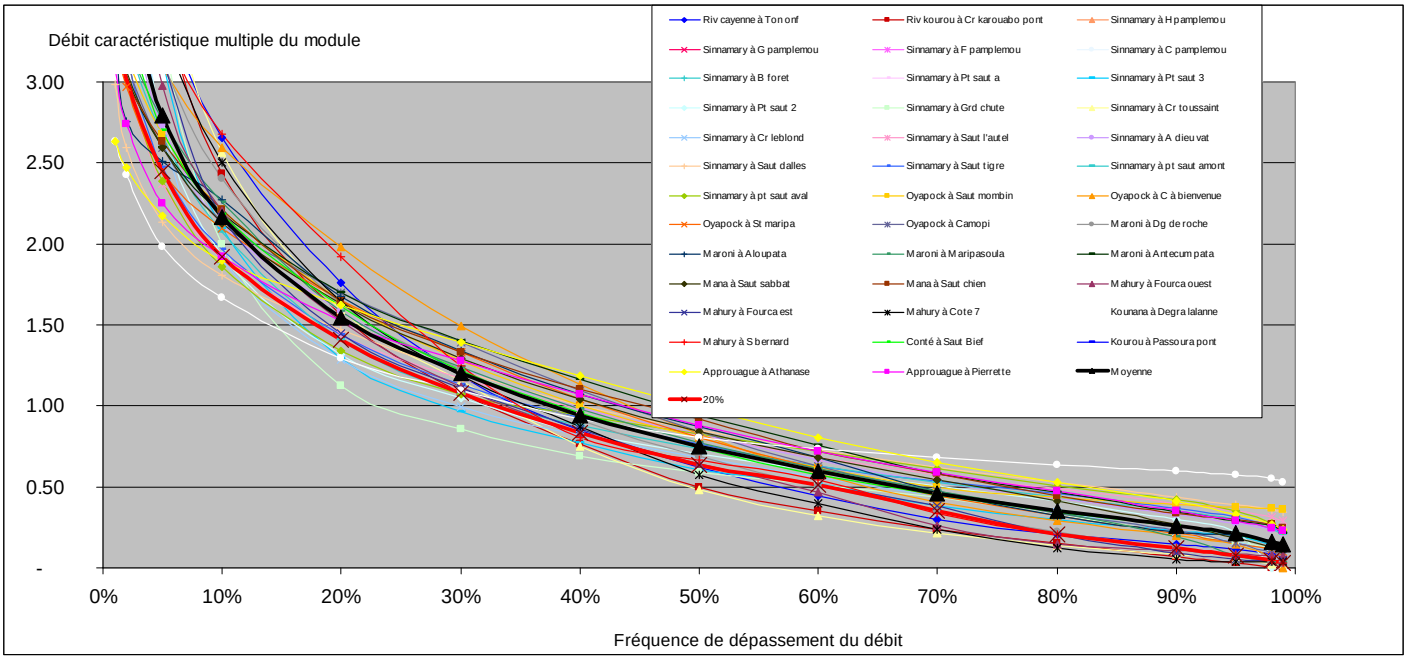
Du débit à la production hydroélectrique potentielle

Si le module permet de calculer le volume d'eau qui transite en un point donné, il n'est pas directement utilisable pour définir le potentiel de production au fil de l'eau ou pour de tous petits aménagements avec stockage. Les journées où le débit dépasse les capacités de turbinage de l'usine, une fraction de l'eau n'est pas exploitable. Elle déverse sur le seuil de prise d'eau. Par ailleurs, la plupart des turbines peuvent fonctionner en baissant leur puissance jusqu'à des valeurs qui peuvent être de 30% ou de 10% seulement de leur capacité maximale mais pas pour moins d'eau. Un débit trop faible ne permet pas de produire.

C'est pourquoi, l'analyse la plus pertinente pour la production électrique est celle des débits classés en fréquence de dépassement. Cette distribution permet de déterminer le nombre de jour où le débit naturel est plus grand que le débit d'équipement ou plus petit. Cette distribution détermine pour différents niveaux d'équipement, le volume annuel turbinable et la fréquence des défaillances attendues. Cette statistique est d'autant meilleure que les séries hydrologiques attendues sont grandes.

Etape 1 : Régionalisation de la distribution des débits

Pour permettre une régionalisation de l'information et sur la base des données mesurées en Guyane, nous avons construit une courbe enveloppe plancher qui minimise les valeurs de débit attendu (80 % des valeurs de débit mesurées sont en réalité plus fortes que la courbe plancher). Cette courbe est rapportée au module. Ainsi, en chaque point du bassin, la connaissance du module (cf. supra) permet une estimation sommaire mais raisonnée des débits turbinables.



Etape 2 : Définition des critères de production

En métropole, l'expérience de plusieurs milliers d'aménagements de toute taille a permis d'établir quelques références admissibles au niveau national. La puissance et l'énergie produite sont estimées sur la base du module à partir des fonctions suivantes :

M = MODULE en l/s

H = Hauteur de chute en m

Référence métropole
P = PUISSANCE MW = M/1000 x 1,2 x 8 x H/1000
E = PRODUCTIBLE ANNUEL MWh = P x 3500

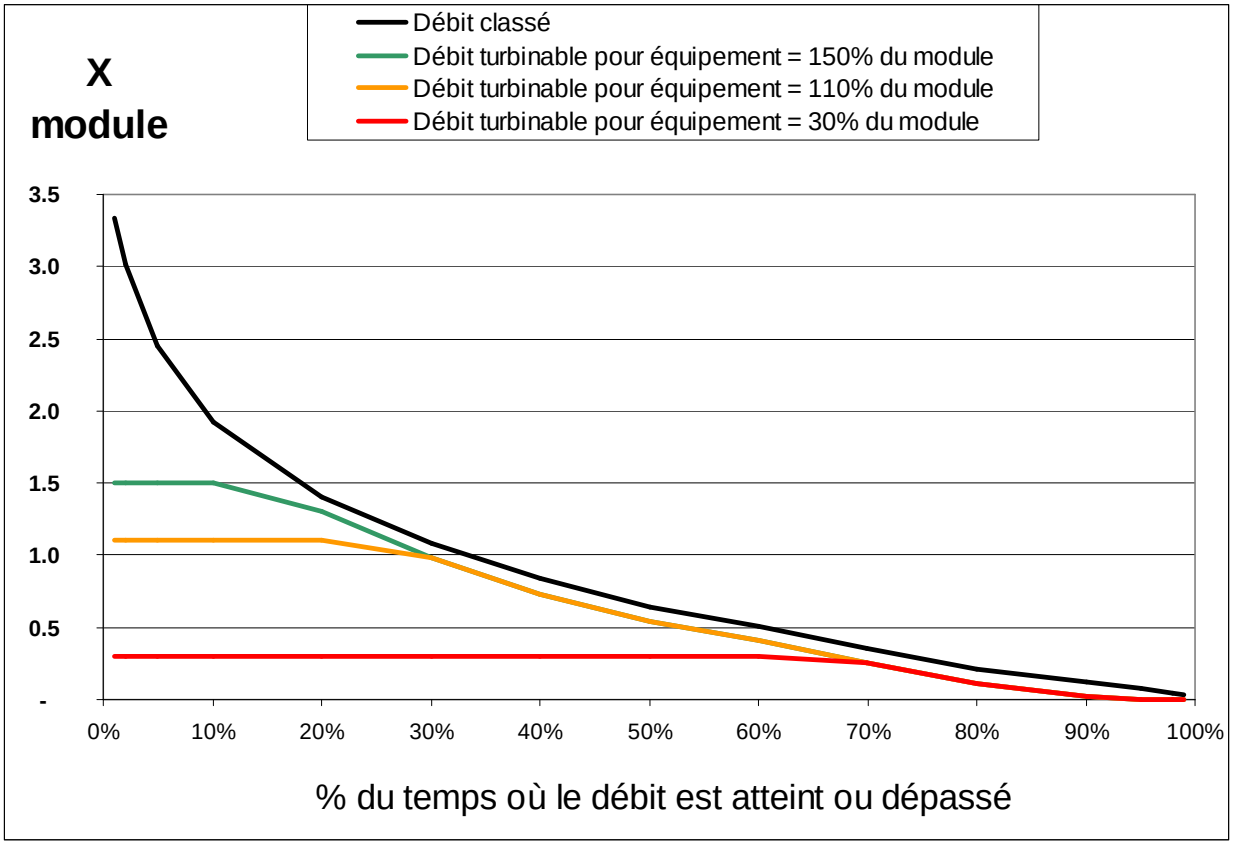
Pour la Guyane d'autres considérations conduisent à proposer une adaptation de la formule.

- Pour la puissance maximale produite, nous avons, sur recommandation des acteurs locaux, orienté notre analyse vers une production au fil de l'eau pur, c'est-à-dire sans création d'un volume utile permettant un placement de l'énergie. Cette contrainte fixée a priori est exigeante sur le plan de la production décentralisée.
- Dans de nombreux cas, la non garantie d'une évacuation de l'énergie sur une ligne interconnectée, ne permet pas de garantir un usage de 100% de l'énergie produite. La maximisation de la production n'est donc pas un critère satisfaisant.
- La régularité de la production apparaît plutôt comme le critère déterminant pour l'ensemble des secteurs décentralisés.
- Le débit réservé est fixé à 10% du module (cf. chapitre « mesures de protection environnementale »).

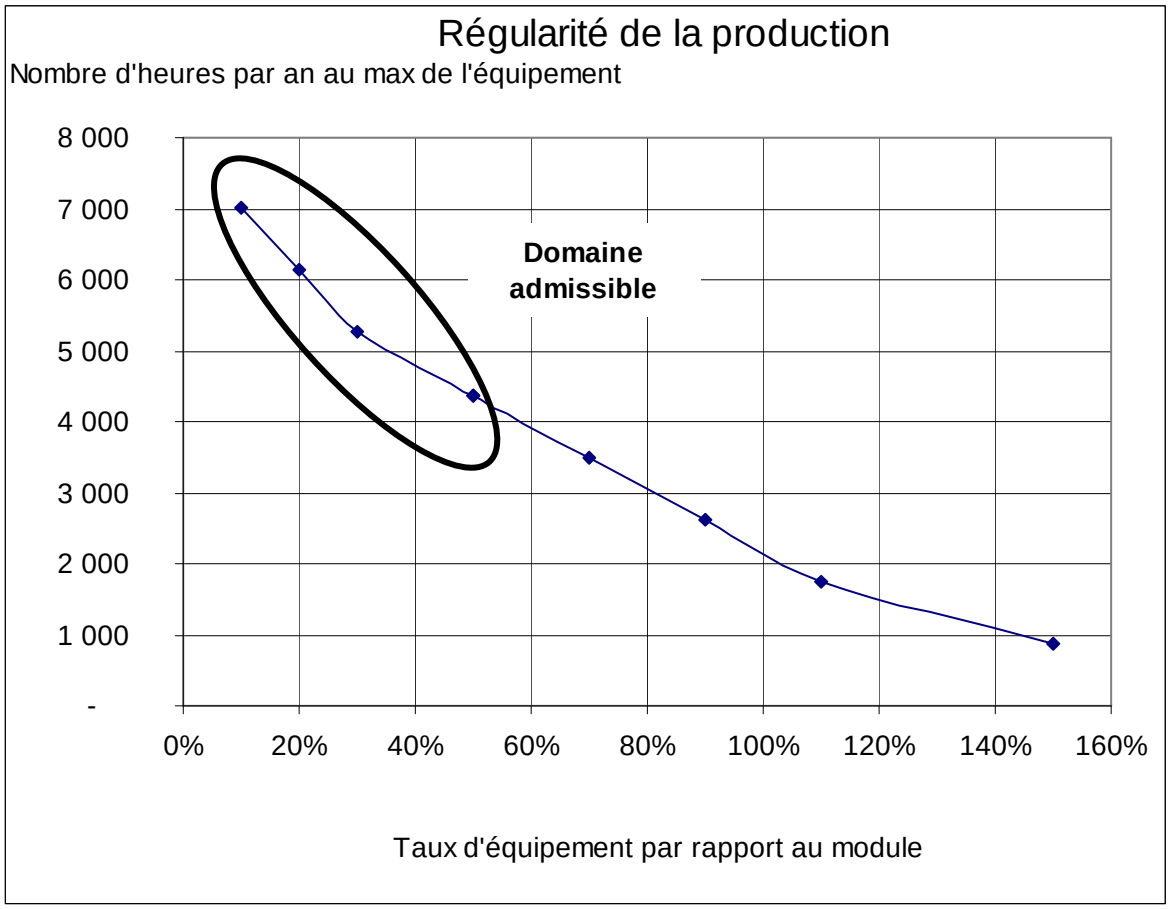
Sur ces bases de calcul, nous avons testé la sensibilité de la production à différent niveau d'équipement. Le niveau d'équipement exprimé en % du module correspond à la puissance maximale de l'aménagement.

P= PUISSANCE MW = Débit d'équipement (l/s) max/1000 x 8 x H/1000

Les courbes ci-dessous montrent que pour un fort débit d'équipement (exprimé en % du module) la production maximale (à puissance maximale) n'est pas garantie très souvent (uniquement en saison des pluies).

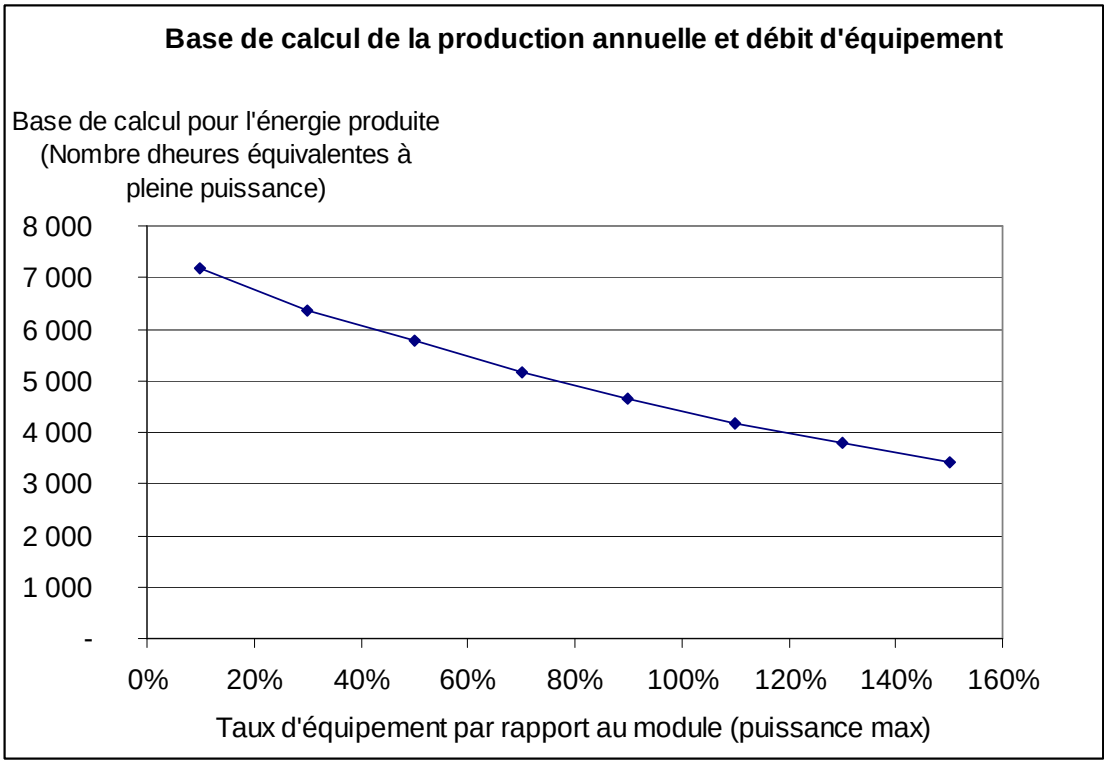


Cette analyse est donc traduite en courbe de régularité de la production. Il apparaît que le domaine admissible pourrait correspondre à un niveau de régularité où la production maximale serait garantie au moins 50% du temps.



L'énergie produite compte tenu d'un débit réservé à 10% du module peut se déduire de cette contrainte de débit maximale d'équipement, pour conserver le parallélisme avec la présentation métropolitaine. Le résultat est présenté en nombre d'heures équivalentes où l'usine turbinerait à pleine puissance. Dans l'exemple ci-dessous un débit d'équipement à 50% du module permet une production annuelle équivalente à 5800 heures de production à pleine puissance.

E = PRODUCTIBLE ANNUEL MWh = P x nombre d'heure équivalent à pleine puissance



De l'ensemble de ces informations nous proposons de retenir comme base de calcul pour les ouvrages au fil de l'eau en Guyane un équipement à la moitié du module :

P= PUISSANCE MW = 0,5 x Module (l/s) /1000 x 8 x H/1000

E = PRODUCTIBLE ANNUEL MWh = P x 5 800 heures

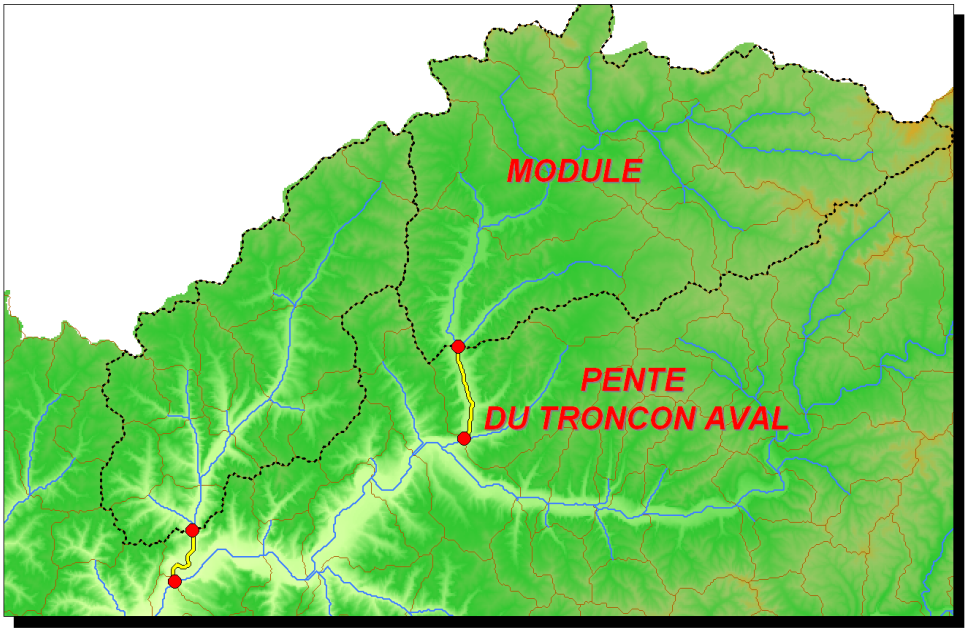
75.5. Intégration des grands aménagements hydrologiques

Seul le barrage de Petit Saut modifie de façon significative le régime des eaux du Sinnamary aval sans modifier le module des apports. A priori le régime résultant en aval de l'ouvrage accompagne la demande en énergie du réseau interconnecté. Notons cependant l'absence de chutes significatives sur ce cours aval.

75.6. Formule de calcul retenue pour la Guyane

Potentiel Théorique

A partir des modules du bassin versant et des pentes du tronçon aval, il est possible de calculer un potentiel de production théorique (énergie, puissance).



On calcule selon la formule :

M = MODULE en l/s du point amont

Ht = élévation du point amont (Top) m

Hb = élévation du point aval (Base) m

H = Ht – Hb = Hauteur de chute en m

P = PUISSANCE du tronçon théorique MW = M/1000 x 0.5 x 8 x H/1000

E = PRODUCTIBLE ANNUEL MWh = P x 5 800

Le potentiel dépendant de la longueur du tronçon, un indicateur est calculé sous la forme d'une «densité de production», c'est-à-dire un productible annuel par mètre linéaire du tronçon théorique.

G = E / longueur du tronçon théorique.

7.6. Les mesures de protection environnementale

76.1. Le cadre réglementaire de la production d'énergie en France

La loi la plus fondatrice dans le domaine de l'hydroélectricité est celle du 16 octobre 1919 modifiée. Tout projet hydroélectrique, dès le premier kW, est soumis à autorisation administrative ou à concession. Une conséquence de cette loi est d'avoir fixé un seuil à 4 500 kW de puissance brute séparant deux modes administratifs : l'autorisation ou la concession, procédure plus lourde. Ceci induit un « bridage » artificiel du potentiel de certains projets sur les plus grands cours d'eau.

La loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Energétique de la France du 13 juillet 2005 demande que le SDAGE prenne en compte le potentiel hydroélectrique établi par zone géographique. Cette loi ouvre de nouvelles possibilités pour turbiner le débit réservé, augmenter sans nouvelle autorisation ou concession la puissance administrative d'un ouvrage de +20% ou permet d'équiper accessoirement sans procédure d'autorisation loi de 1919, un barrage créé et autorisé au titre de la « loi sur l'eau » pour un autre usage que l'hydroélectricité.

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006, vise les modalités de fixation des débits réservés à la rivière ainsi que les conditions de classement des cours d'eau (réservé ou migrateur) en lien étroit avec la Directive Cadre sur l'Eau.

76.2. Les outils administratifs et réglementaires de protection de l'environnement en Guyane

Le territoire de la Guyane bénéficie d'un nombre conséquent de dispositifs de protection de l'environnement. Dans le domaine particulier des cours d'eau et de la production d'énergie renouvelable, la gestion équilibrée passe nécessairement par des compromis à définir dans le contexte légal. En Guyane, le très faible niveau d'aménagement des cours d'eau à l'exception de Petit Saut, n'a jamais nécessité de mesure d'encadrement spécifique dans le domaine de l'eau : ainsi il n'existe à l'heure actuelle aucun cours classé pour les migrateurs ou réservé pour l'hydroélectricité, ni même de classement Natura 2000.

La définition des compromis entre protection de l'environnement et développement de l'énergie hydroélectrique revêt donc un caractère très prospectif. Ces compromis se traduisent par la définition de priorités qui doivent être partagées par les acteurs. Il ne s'agit bien sûr que d'orientations mais qui permettent d'apprécier rapidement le niveau de contrainte autre que technique pour le développement de l'hydroélectricité. La méthode suivie reprend donc la logique retenue en métropole avec une proposition de classement en 4 niveaux de protections qui s'appuient soit sur des exigences réglementaires strictes et explicites soit sur une estimation des enjeux. Ce tableau a fait l'objet d'un débat préparatoire avec différents services.

76.3. Hiérarchisation de la réglementation fixant des exigences environnementales qui conditionnent le développement de l'hydroélectricité en Guyane

Le tableau proposé ici n'est pas encore validé.

Description	Potentiel non mobilisable	Potentiel sous réserve réglementaire	Potentiel mobilisable sous conditions strictes	Potentiel normalement mobilisable	Remarque
Parc Amazonien de Guyane (3,4 millions d'ha) - Zone Cœur	X				
Plans de Prévention des risques d'inondation		X			
Réserve Naturelle Nationale		X			
Sites classés		X			
Arrêtés de protection de Biotope / Forêt des Sables blancs de Mana			X		
Zone RAMSAR (Marais de Kaw / Mana)			X		
Réserve Biologique Domaniale			X		**zonage ONF**
Réserve Naturelle Régionale			X		
Réserve Biologique Domaniale			X		**zonage ONF**
Sites Inscrits			X		
ZNIEFF1			X		
ZNIEFF2				X	
Parc Amazonien de Guyane - zone de libre adhésion				X	
Parc Naturel Régional de Guyane				X	**Zonage PNRG**
Zones Droits d'usage				X	**zonage ONF**
Zones inondables / Zone marécageuse côtière					**Pas de potentiel**
Conservatoire du Littoral - Propriétés (mangroves, …)					**Pas de potentiel**

Parmi les principales remarques nous avons noté la sensibilité de la thématique zone inondable en lien avec les enjeux de sécurité.

Pour les zones côtières, l'absence de pente rend peu probable le développement d'une activité hydroélectrique traditionnelle. A plus long terme, il sera peut être intéressant de préciser le potentiel d'exploitation de la force de marée (non évaluée dans cette étude).

Pour le PNRG, il n'y a pas d'interdiction stricte dans la charte, l'avis du PNRG est requis sur les projets. L'avis du PNRG dépendra bien sûr du type (plus favorable au fil de l'eau) et de l'ampleur du projet, et au regard des autres usages du milieu (par exemple touristique). Le tableau de hiérarchisation pourrait être affiné selon les zones du PNRG, avec des zones où le potentiel serait mobilisable sous conditions (zones remarquables, zones forestières, zones naturelles, et peut-être zones agricoles à vérifier), les autres étant mobilisables "normalement" (à confirmer).

Concernant les zones de droits d'usage collectif ils sont constatés par arrêté préfectoral au profit d'une communauté d'habitants, et "Ils ne font pas obstacle à la réalisation de travaux d'aménagement ou d'équipement collectifs." (Art R170-57 du code du domaine de l'Etat). Donc a priori potentiel mobilisable normalement sur ces zones.

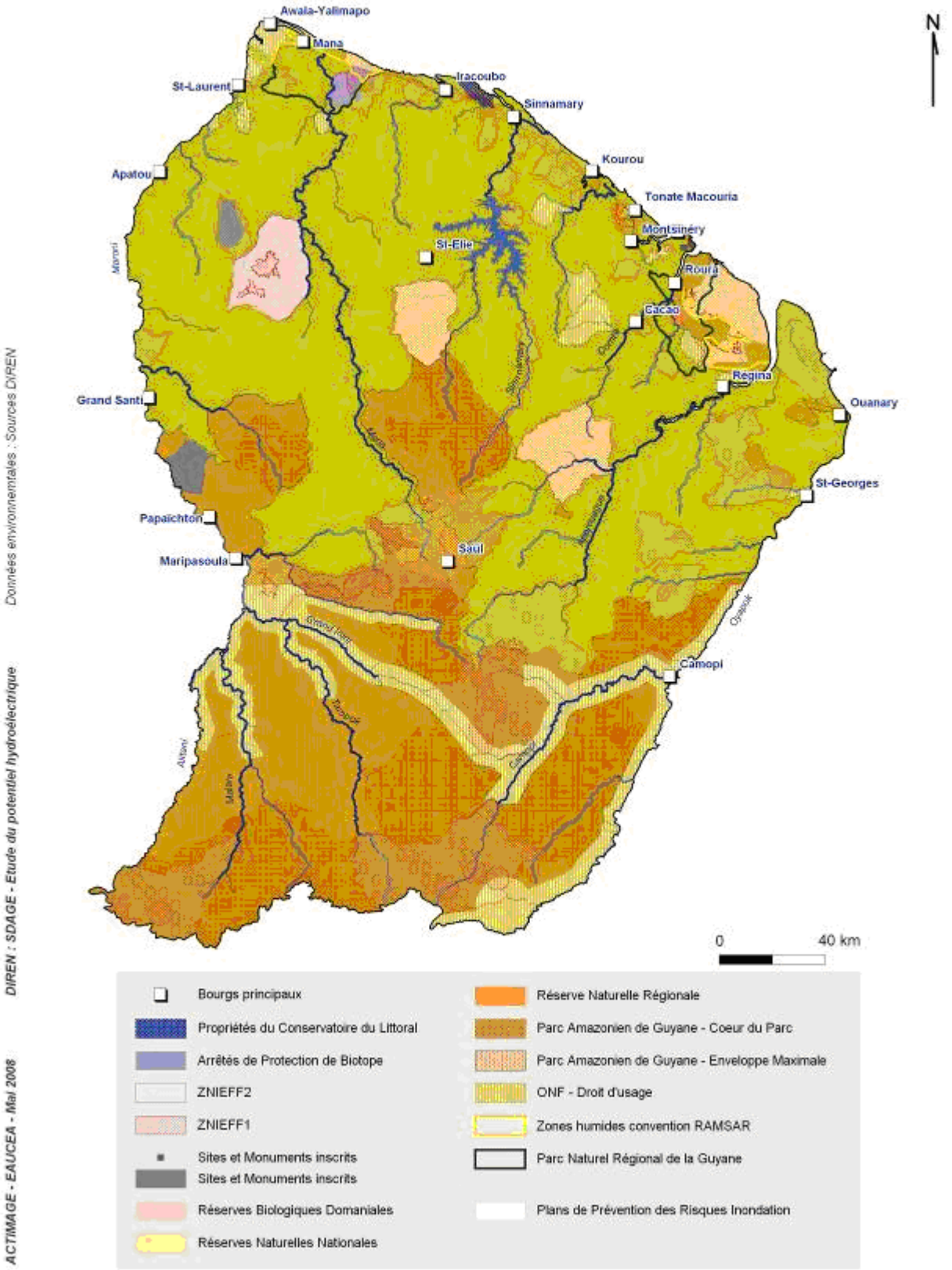
Lorsqu'un site est concerné par plusieurs réglementations : les différents champs correspondants doivent être cochés même si la catégorie la plus forte l'emporte. Cela permettra de mieux évaluer l'importance de la « protection » d'un site et de relativiser l'intérêt d'un déclassement de cours d'eau ou au contraire l'impact d'un classement nouveau pour l'hydroélectricité.

76.4. Enjeux géographiques

La carte ci-joint présente le recensement des mesures de protection de l'environnement existant en Guyane en mai 2008.

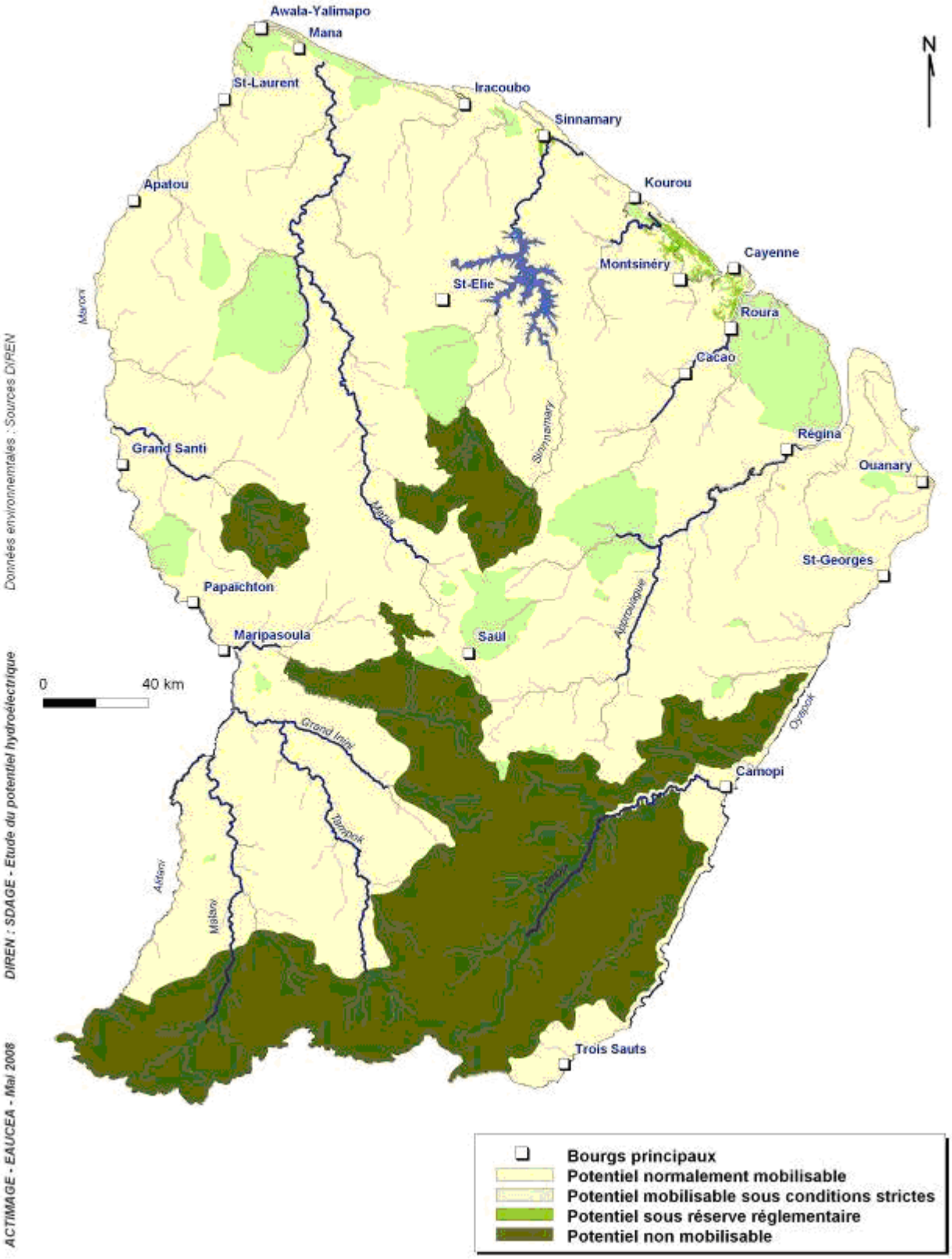
Après validation du tableau des niveaux de protection, l'ensemble des mesures de protection sera agrégé. La mesure de protection la plus forte l'emportant sur les autres, il est possible de redistribuer chaque tronçon entre les quatre niveaux de protection. Cette donnée est exploitée dans le calcul du potentiel résiduel mobilisable.

Espaces naturels protégés



ACTIMAGE - EAUCEA - Mai 2008 DIREN : SDAGE - Etude du potentiel hydroélectrique Données environnementales : Sources DIREN

Hiérarchisation des protections environnementales



ACTIMAGE - EAUCEA - Mai 2008

DIREN : SDAGE - Etude du potentiel hydroélectrique

Données environnementales : Sources DIREN

76.5. Les classements de cours d'eau

Aucun cours d'eau n'est classé « échelle à poissons ou cours d'eau à migrateurs » au titre de l'article L 432-6 du code de l'environnement ou réservé en Guyane au tire de l'art. 2 de la loi 1919.

Cette situation ne signifie pas l'absence d'enjeux environnementaux nécessitant ce type de classement, mais plutôt que le faible niveau d'aménagement et l'insuffisante connaissance des exigences écologiques ne l'ont pas rendu nécessaire jusqu'à aujourd'hui.

La réflexion préalable à des projets de classement est encore insuffisamment avancée pour définir précisément les axes qui seraient concernés. Il est cependant utile de rappeler quelques principes qui guideront ces stratégies en Guyane.

Pour les rivières « réservées » qui impliquent l'interdiction de tout nouvel ouvrage jugé comme un « obstacle à la continuité écologique ».

3 critères peuvent servir à leur définition :

- cours d'eau en très bon état au sens de la DCE, déjà cartographiés dans le SDAGE (en cours à l'heure actuelle pour les zones en doute),
- réservoir biologique défini par le SDAGE. Cette notion a été abordée comme suit «à l'échelle d'un bassin versant, la proportion de linéaire de cours d'eau concernés est faible, mais c'est essentiellement à partir de ces secteurs préservés que les autres tronçons de cours d'eau auront ainsi une chance de respecter le bon état écologique. Ces réservoirs biologiques vont en effet jouer un rôle de pépinière, de « fournisseur » d'espèces qui vont pouvoir coloniser les secteurs appauvris.»,
- migrateurs amphihalins, avec en France métropolitaine une forte mobilisation autour des salmonidés, des aloses, esturgeons, lamproies et anguilles toutes espèces non présentes en Guyane.

La réflexion à venir pour la Guyane peut faire valoir des spécificités. Avec plus de 480 espèces piscicoles d'eaux douces et saumâtres dont plus de 170 endémiques répertoriées, dont 206 espèces patrimoniales, la diversité actuelle est considérable. Le très fort taux d'endémisme des espèces aquatiques entre bassins et parfois entre les sous bassins impose une approche exigeante du concept de réservoir biologique. A priori, les têtes de bassin versant en amont des cours d'eau en mauvais état écologique (et donc dégradés sur le plan de la biodiversité) seront classées en priorité.

La continuité écologique centrée sur des migrateurs amphihalins (entre eaux douces et eaux de mer), impose un niveau de connaissance éthologique sur les espèces aquatiques qui n'est pas atteint en Guyane. Les réponses apportées au travers d'ouvrages de franchissement nécessitent aussi le développement d'une véritable ingénierie adaptée au contexte local. Une passe à truites ne répond pas forcément aux exigences du cortège de migrateurs guyanais. La préservation de la continuité écologique sur les grandes voies d'échange hydrographique entre l'océan et le continent doit être toujours mise en perspective.

La continuité sédimentaire ne devrait pas poser de souci sur des bassins versants préservés puisque l'ancienneté du réseau hydrographique et le couvert végétal réduisent à peu de chose le flux sédimentaire. En revanche, la pression exercée par l'orpaillage pose clairement la question des accumulations sédimentaires sur les zones ralenties en amont des seuils et de leur remobilisation à la faveur des crues. Derrière cette question, c'est la mauvaise qualité du sédiment (mercure) qui est la plus préoccupante et qui pourrait s'opposer à la mise en oeuvre « économiquement acceptable » de mesures de restauration des sites telles que prévues par l'article 10 de la LEMA (Obligation de principe de remise en état du site en fin d'exploitation).

76.6. La question du débit réservé

Le débit réservé (Article L214-18 du code de l'environnement) a pour objectif la préservation de l'écosystème ou l'alimentation de passes à pirogue ou à poisson (montée ou dévalaison). Ce débit est un paramètre important de tout projet hydroélectrique qui comporte une dérivation du cours d'eau car il est généralement non turbiné et constitue donc une perte de potentiel énergétique. A Petit Saut où l'usine est en pied de barrage et n'abrite pas de dispositif de franchissement, le débit réservé est turbiné.

I. Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.

Commentaire : la définition d'un débit réservé est généralement appuyée sur des méthodes de type micro habitat qui établissent un lien entre le débit et les conditions de vie des espèces piscicoles …. qu'il faut donc connaître. Historiquement, ce débit pouvait être établi en lien avec le régime d'étiage naturel du cours d'eau. Une autre méthode consiste à examiner les conséquences hydrauliques du débit réservé (zone exondée, vitesse et profondeur) et d'en proposer une expertise écologique. Dans le cas de l'équipement de sauts qui constituent des habitats spécifiques importants des grands cours d'eau, une réflexion spécifique serait intéressante à développer.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure.

Commentaire :

Aujourd'hui seul Petit Saut pourrait prétendre à double titre (ouvrage de production de puissance de pointe et module du Sinnamary à la prise d'eau supérieur à 80 m^3/s) à une révision à la baisse du débit réservé. Cependant, pour Edf, les conditions de fonctionnement actuelles inscrites au cahier des charges sont satisfaisantes (aujourd'hui le débit réservé représente environ 30% du module mais il est turbiné). Les fonctionnements atypiques pourraient concerner surtout des régimes temporaires avec des assecs fréquents ou avec des niveaux influencés par la marée.

II. - Les actes d'autorisation ou de concession peuvent fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. En outre, le débit le plus bas doit rester supérieur à la moitié des débits minimaux précités.

Lorsqu'un cours d'eau ou une section de cours d'eau est soumis à un étiage naturel exceptionnel, l'autorité administrative peut fixer, pour cette période d'étiage, des débits minimaux temporaires inférieurs aux débits minimaux prévus au I.

III. - L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau les débits minimaux définis aux alinéas précédents.

IV. - Pour les ouvrages existant à la date de promulgation de la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, les obligations qu'elle institue sont substituées, dès le renouvellement de leur concession ou autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, aux obligations qui leur étaient précédemment faites. Cette substitution ne donne lieu à indemnité que dans les conditions prévues au III de l'article L. 214-17.

V. - Le présent article n'est applicable ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés.

Commentaire : A priori l'Oyapock et le Maroni en secteur partagé serait donc exclu de cette obligation de débit réservé.

Conclusion : en l'absence de règles généralisables a priori car reposant au cas par cas sur l'autorisation, nous avons retenu la règle de 10% du module pour l'étude du potentiel technique sachant qu'à Petit Saut, ce débit est de 30% du module mais est turbiné.

7.7. Domaine pertinent pour la prospection hydroélectrique et résultat

77.1. Périmètre de prospection

La recherche de secteur favorable à la production d'électricité est fortement dépendante de la capacité à amortir les coûts d'investissement et de fonctionnement sur un bassin de consommation proportionnée. L'analyse de plusieurs simulations technico-économiques montre que le coût de construction d'une ligne d'évacuation de l'énergie en milieu forestier équatorial (de 60 €/m en aérien à 100 €/m en enterré) devient rédhibitoire au-delà d'une certaine distance. L'estimation dépend à la fois de l'importance du bassin de consommation mais aussi du nombre d'outil de production susceptible de se connecter sur la même ligne.

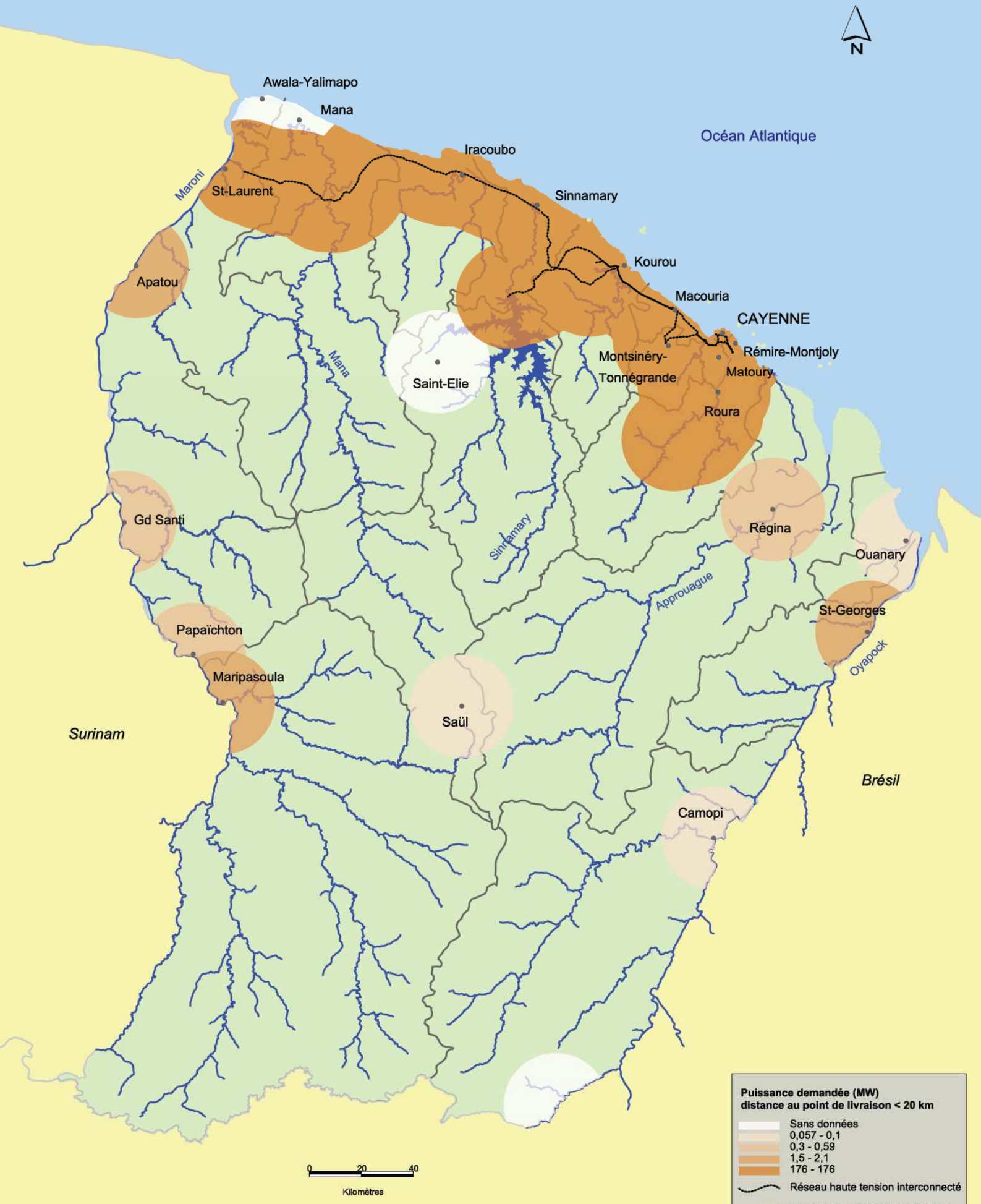
Chaque cas relevant d'une analyse spécifique hors de propos de cette étude, nous avons considéré que la distance de prospection admissible était de 20 km à partir **d'un centre bourg** (ce qui défini un cercle de prospection) et de 20 km à partir de n'importe quel point de la **ligne interconnectée** (ce qui défini un fuseau de prospection). Certains secteurs de Guyane répondent au deux conditions. Les points retenus sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs de puissance correspondent à celles retenues dans le Programme Pluriannuel d'Investissement d'EDF à l'horizon 2020. Dans le périmètre de la ligne HT, les consommations spécifiques de chaque bourg n'ont pas été distinguées.

Bourgs Principaux	Distance au réseau interconnecté inférieure à 20 km	Puissance nécessaire MW (base 2020) PPIP/EDF
Apatou	non	1,5
Awala-Yalimapo / Mana	oui	
Awala-Yalimapo / Mana / St-Laurent	oui	
Awala-Yalimapo / St-Laurent	oui	
Cacao	oui	
Cacao / Montsinéry	oui	
Cacao / Montsinéry / Roura	oui	
Camopi	non	0,1
Cayenne / Montsinéry	oui	
Cayenne / Montsinéry / Roura	oui	
Cayenne / Roura	oui	
Grand Santi	non	0,3
Iracoubo	oui	
Iracoubo / Sinnamary	oui	
Kourou	oui	
Mana	oui	
Mana / St-Laurent	oui	
Maripasoula	non	1,6
Maripasoula / Papaïchton	non	0,4
Montsinéry	oui	
Montsinéry / Kourou	oui	
Montsinéry / Roura	oui	
Ouanary	non	0,057
Ouanary / St-Georges	non	
Papaïchton	non	
Régina	non	0,59
Roura	oui	
Saül	non	0,089
Sinnamary	oui	
St-Elie	non	
St-Georges	non	2,1
St-Laurent	oui	
TROIS_SAUTS	non	
Autre (site proxi périmètre ligne HT)	oui	176

Ces critères définissent un ensemble de domaines dans lesquels la prospection de sites favorables devient pertinente. La carte ci-après présente le résultat de cette analyse.

SDAGE
SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT
ET DE GESTION DES EAUX DE LA GUYANE

DEMANDE ENERGETIQUE DES BOURGS PRINCIPAUX



Comité de Bassin de Guyane

Réalisation : DIREN Guyane / PSC - C.L, 12.2009
Sources : DIREN Guyane 2009; Fond cartographique IGN-BRGM

Carte n°10

Le croisement avec les critères techniques (existence d'un potentiel c'est-à-dire d'une pente et d'un débit) détermine le potentiel « utile ». Un second traitement permet de redistribuer l'ensemble du potentiel mais aussi les projets déjà identifiés par rapport aux zonages de protection.

77.2. Résultats

Le calcul théorique effectué pour des chutes potentielles sur les seules zones de prospection est conduit sur les principes suivants :

		Unité	Formule
Module à la prise d'eau	**M**	Litre /seconde	**[(pluvio Moyenne - Evapo) / 1000] * (Superficie BV * 1000000) / Nombre secondes à l'année**
Puissance Théorique	**P**	MégaWatt	**(Module/1000) * 0,5 * 8 * (Hauteur Chute / 1000)**
Productible Annuel	**E**	MégaWatt	**Puissance Théorique * 5800**
Productible Annuel par mètre linéaire	**G**	MégaWatt / mètre	**Productible Annuel / longueur Tronçon Aval**

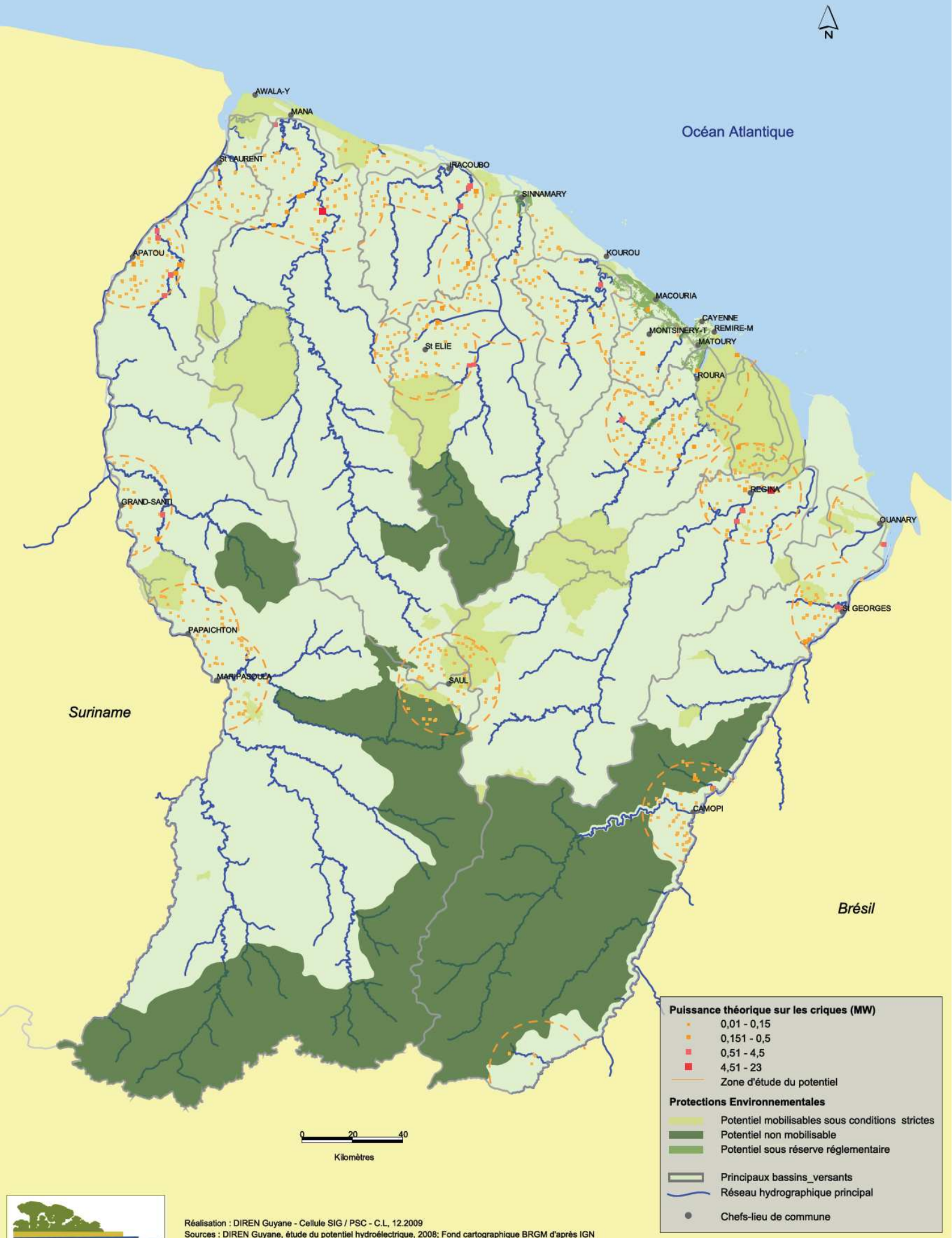
Dans le périmètre de prospection, 3828 points de calculs ont été testés ; il a été nécessaire de filtrer les résultats pour plusieurs raisons :

- des pentes de tronçons égales à 0 aboutissent à des productions nulles (en générale en zone côtière -1607 items)
- les sites inscrits dans le périmètre de la retenue de Petit Saut.
- des points dont l'évapotranspiration hypothétiques (1700 mm) est légèrement plus forte que les précipitations supposées. Dans ce cas le débit est supposé nul. (14 items)
- des points contenant des problèmes de données altimétriques (66 items).
- des points hors frontière.

Le résultat est un ensemble de 2026 sites dont le potentiel a pu être estimé. Ce qui apparaît relativement novateur dans cette analyse, est la prise en compte de petites criques dont la pente parfois élevée compense la faiblesse des débits turbinables. Le graphe ci dessous montre cependant que le potentiel en grand site reste limité, ce qui était prévisible compte tenu des contraintes topographiques en zone côtière.

SDAGE
Schéma Directeur d'Aménagement
et de Gestion des Eaux de la Guyane

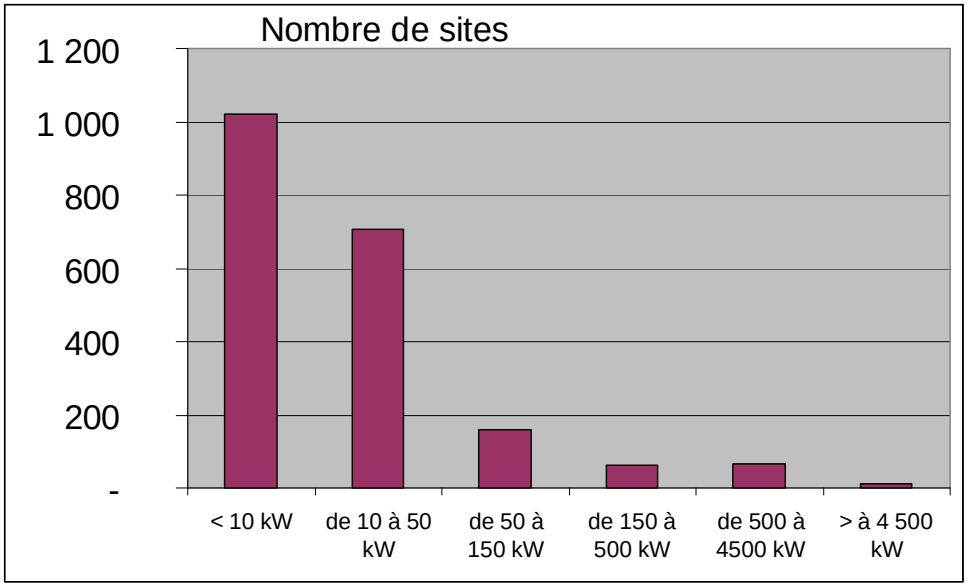
POTENTIEL HYDROELECTRIQUE



Comité de Bassin de Guyane

Réalisation : DIREN Guyane - Cellule SIG / PSC - C.L, 12.2009
Sources : DIREN Guyane, étude du potentiel hydroélectrique, 2008; Fond cartographique BRGM d'après IGN

Carte n°16

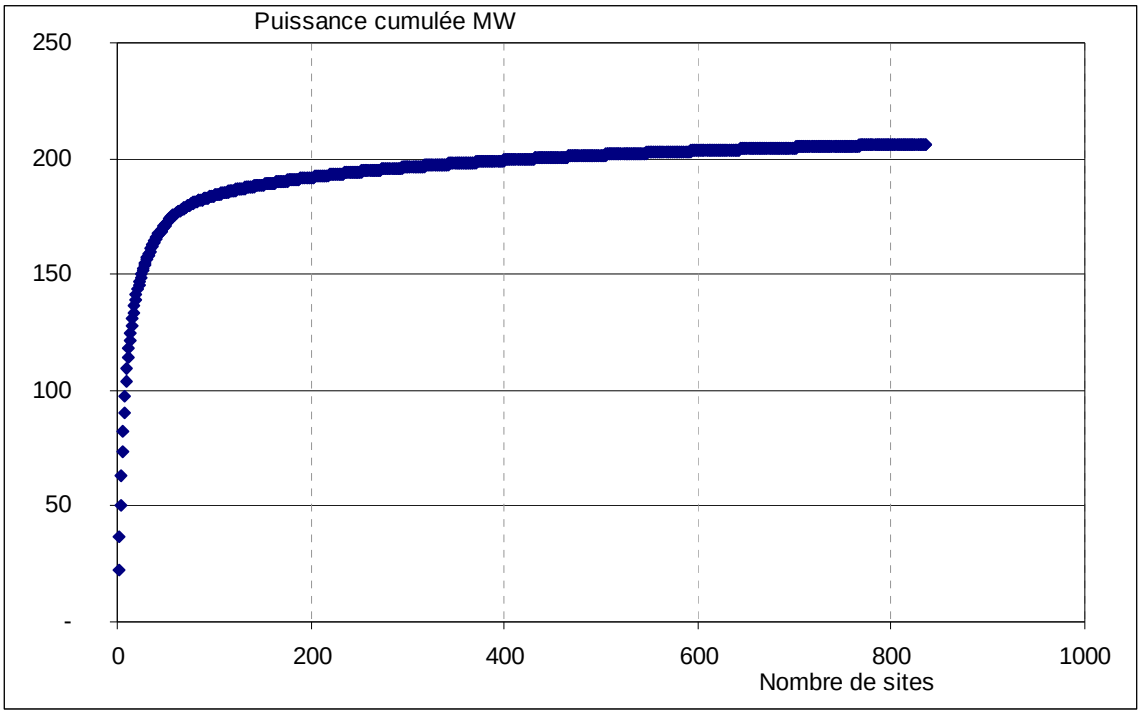


Pour la suite de l'analyse nous avons éliminé l'ensemble des sites qui ne répondaient pas à des critères que nous avons jugés rédhibitoires :

- Les sites de pente inférieure à 2 m sur grand cours d'eau, compte tenu des risques d'effacements de chute en hautes eaux et de l'imprécision de l'approche MNT.
- Les sites de puissance inférieure à 10 kW sur les criques. Les incertitudes sur le débit et sur la chute ne permettent pas une analyse à cette échelle. Pour les puissances justes supérieures, leur maintien s'explique puisqu'une succession de chutes de quelques dizaines de kW pourraient être regroupée en un seul aménagement.

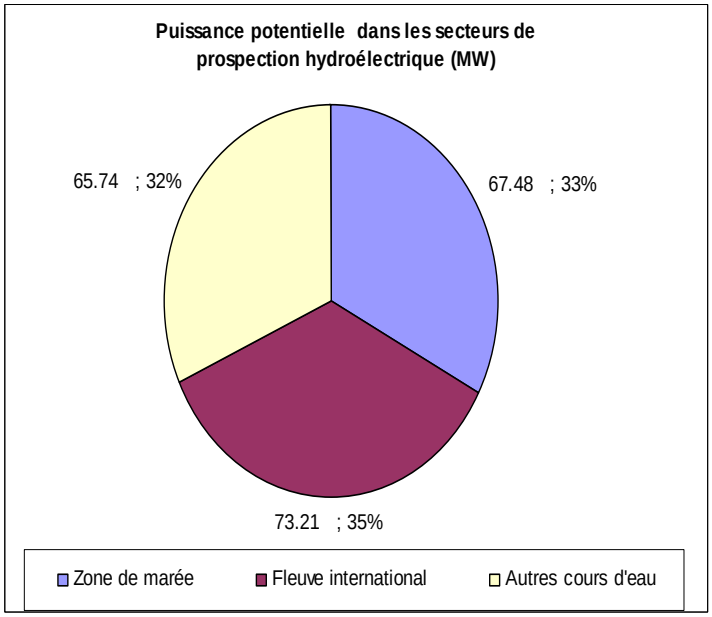
Sur cette base, le potentiel cumulé théorique des 836 sites restants représenterait une puissance de 206 MW et une production de 1 216 GWh/an au fil de l'eau. Derrière ces valeurs brutes et impressionnantes au regard de la puissance installée plusieurs commentaires sont nécessaires :

- Les trois quarts de ce potentiel se concentrent sur des grands cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m^3/s (33 sites sur les 836 identifiés).



Sinon le potentiel se distribue en trois tiers :

- Quelques uns de ces grands sites sont en secteur international (Maroni/45MW ; Oyapock/ 28 MW).
- Une part du potentiel global est en zone d'influence de la marée, domaine encore assez mal cerné.
- Il reste cependant un grand nombre de site d'intérêt plus local et dont la production potentielle est proportionnée aux enjeux locaux.



Remarquons enfin, que les mesures de protection de l'environnement ne représentent qu'une part mineure du potentiel global. **Pour le niveau actuel, nous estimons que 97% du potentiel dans la zone de prospection, échappe à des contraintes spécifiques.** Ce jugement doit cependant être tempéré par la possibilité de futurs classements au titre de la DCE (très bon état) et du SDAGE (Réservoirs biologiques). C'est bien toute la valeur ajoutée de cette étude que de proposer en amont de ces classements un outil d'analyse de l'impact d'une mesure sur le potentiel.

Le tableau ci-dessous reprend et synthétise ces résultats par secteur géographique.

Grand Bassin versant	Potentiel normalement mobilisable	Potentiel mobilisable sous conditions strictes	Potentiel sous réserve réglementaire	Potentiel non mobilisable	*Total*
	Puissance potentielle au fil de l'eau (MW)				
Influence Marée	65.07	2.31	0.10		*67.48*
Approuague	7.90	0.58			*8.49*
Mahury	5.90				*5.90*
Mana	22.99	0.13			*23.12*
Maroni	61.63	0.43	-	0.14	*62.21*
Dont fleuve international	*44.94*				*44.94*
Oyapock	34.31	-	-	0.69	*35.00*
Dont fleuve international	*28.27*				*28.27*
Sinnamary	3.78	0.46			*4.24*
Total	*201.58*	*3.92*	*0.10*	*0.83*	*206.42*
	Energie annuelle (MWh)				
Influence Marée	377 382	13 418	563		*391 363*
Approuague	45 845	3 377			*49 223*
Mahury	34 200				*34 200*
Mana	133 319	769			*134 088*
Maroni	357 479	2 500	-	833	*360 812*
Dont fleuve international	*260 637*				*260 637*
Oyapock	198 985	-	-	3 987	*202 972*
Dont fleuve international	*163 971*				*163 971*
Sinnamary	21 930	2 669			*24 598*
Total	*1 169 140*	*22 733*	*563*	*4 820*	*1 197 256*

Le tableau ci-après reprend les mêmes informations mais affectés aux périmètres de recherche proches des points de consommation, bourgs ou ligne interconnectée. Une part de ce potentiel a déjà été identifiée dans des études précédentes.

Analyse des puissances potentielles

	Cumul des Puissances Theoriques fil de l'eau MW					Recoupement avec le périmètre du réseau interconnecté	Puissance hydroelectrique réalisée en 2008	Puissance nécessaire (base 2020) PPIP/EDF
BourgsPrincipaux_20km	Total	Potentiel normalement mobilisable	Potentiel mobilisable sous conditions strictes	Potentiel sous réserve réglementaire	Potentiel non mobilisable			
Apatou	4.49	4.49	-	-	-	non		1.5
Awala-Yalimapo / Mana	0.58	0.58	-	-	-	oui		
Awala-Yalimapo / Mana / St-Laurent	-					oui		
Awala-Yalimapo / St-Laurent	-					oui		
Cacao	8.34	8.34	-	-	-	oui		
Cacao / Montsinéry	0.04	0.04	-	-	-	oui		
Cacao / Montsinéry / Roura	0.04	0.04	-	-	-	oui		
Camopi	11.38	10.70	-	-	0.68	non		0.1
Cayenne / Montsinéry	0.03	-	-	0.03	-	oui		
Cayenne / Montsinéry / Roura	0.02	0.02	-	-	-	oui		
Cayenne / Roura	0.67	0.36	0.31	-	-	oui		
Grand Santi	43.45	43.45	-	-	-	non		0.3
Iracoubo	3.83	3.81	0.01	-	-	oui		
Iracoubo / Sinnamary	0.60	0.48	0.12	-	-	oui		
Kourou	1.67	1.67	-	-	-	oui		
Mana	21.46	21.46	-	-	-	oui		
Mana / St-Laurent	0.05	0.05	-	-	-	oui		
Maripasoula	6.21	6.21	-	-	-	non		1.6
Maripasoula / Papaïchton	0.31	0.31	-	-	-	non		0.4
Montsinéry	1.23	1.18	-	0.05	-	oui		
Montsinéry / Kourou	0.04	0.04	-	-	-	oui		
Montsinéry / Roura	0.08	0.08	-	-	-	oui		
Ouanary	0.92	0.92	-	-	-	non		0.057
Ouanary / St-Georges	0.02	0.02	-	-	-	non		
Papaïchton	7.21	6.99	0.22	-	-	non		
Régina	23.69	22.69	1.00	-	-	non		0.59
Roura	0.43	-	0.43	-	-	oui		
Saül	2.37	1.30	0.92	-	0.14	non		0.089
Sinnamary	3.24	3.14	0.09	0.01	-	oui		
St-Elie	4.12	3.66	0.46	-	-	non		
St-Georges	26.30	26.21	0.09	-	-	non	1.00	2.1
St-Laurent	1.27	1.27	-	-	-	oui		
TROIS_SAUTS	0.25	0.24	-	-	0.01	non		
Autre (site proxi périmètre ligne HT)	32.07	31.80	0.26			oui	113.60	176
Total (MW)	**206.42**	**201.58**	**3.92**	**0.10**	**0.83**		**114.60**	**182.74**
Dont à moins de 20 km de la ligne interconnectée	*75.54*	*74.22*	*1.22*	*0.10*	-			

Dont potentiel déjà identifié dans des projets étudiés

Analyse des projets recensés	**Potentiel normalement mobilisable**		**Potentiel mobilisable sous conditions strictes**		**Potentiel sous réserve réglementaire**		**Potentiel non mobilisable**		**Total Projet**	
Nom de la commune	**Nbre de projet**	**Cumul puissance MW**	**Nbre de projet**	**Cumul puissance MW**	**Nbre de projet**	**Cumul puissance MW**	**Nbre de projet**	**Cumul puissance MW**	**Nbre de projet**	**Cumul puissance MW**
Apatou	4	0.69							4	0.69
Camopi	3	0.73					1	0.09	4	0.82
Grand Santi	3	0.23							3	0.23
Mana	2	4.55							2	4.55
Maripasoula	5	0.50							5	0.50
Papaïchton	6	1.70							6	1.70
Régina	13	2.38	5	3					18	5.07
Roura	11	1.26	8	1	1	4			20	5.90
Saint-Elie	5	1.27							5	1.27
Saint-Laurent-du-Maroni	3	0.89							3	0.89
Total	**55**	**14.20**	**13**	**3.31**	**1**	**4.02**	**1**	**0.09**	**70**	**21.62**

7.8. Conclusion

La production électrique de Guyane est largement fondée sur les énergies renouvelables. Elle se caractérise par sa forte dépendance à l'hydroélectricité mais s'appuie sur quasiment un seul ouvrage : Petit Saut.
La ressource en eau du territoire est immense, mais les conditions favorables au développement d'une production hydroélectrique apparaissent assez contraintes. C'est sans doute l'explication de la faiblesse du parc de production actuel.
Le développement futur potentiel des énergies hydro-électrique devra prendre pleinement en compte le retour d'expérience de Petit-Saut afin que la qualité de l'intégration des projets dans l'environnement soit exemplaire en intégrant notamment des mesures de lutte contre l'effet de serre lors de la mise en eau des ouvrages.

Sur le plan hydraulique, les grands cours d'eau posent de réels problèmes d'implantation de génie civil et ne permettent que l'exploitation de basses à très basses chutes. L'influence de la marée se fait sentir loin en amont sur la plupart des fleuves. Quelques sauts présentent cependant des caractéristiques potentiellement intéressantes qui nécessitent des expertises terrain au cas par cas.
Moins importants en production unitaire, les reliefs de Guyane permettent cependant le développement de quelques belles chutes, mais les débits restent alors modestes. Le potentiel en petites unités de quelques dizaines de kW est important en nombre et relativement réparti sur le territoire.
L'implantation humaine le long du littoral et en îlot ou chapelet d'îlots le long des grands fleuves pose le problème d'une production à caractère insulaire. Le niveau partiel de l'interconnexion, limitée à une fraction du littoral, ne peut sécuriser tous les lieux de consommation mais aussi n'offre pas de débouché économique aux sites de production décentralisés.

L'étude du potentiel a donc intégré ces spécificités en définissant volontairement une analyse restreinte à des périmètres de « prospections énergétiques » proches des lieux de consommation ou du réseau interconnecté. De plus, les formules d'estimation du potentiel retenu dans cette étude privilégient la régularité à la quantité.
L'analyse et la prospective sur l'impact des contraintes à caractère réglementaire constituent le principal objectif de cette étude. La première contrainte concerne les fleuves internationaux, le Maroni et l'Oyapock pour lesquels les conditions de production posent des problèmes considérés comme rédhibitoires à moyen terme. La seconde concerne le rôle des mesures de protection de l'environnement et il a été vérifié qu'elles sont, dans le stade actuel de la réglementation, rarement en concurrence avec le développement de l'énergie hydroélectrique. Seul 3% du potentiel sauvage nécessiterait des mesures d'accompagnement spécifiques.

L'étude attire cependant l'attention sur les enjeux spécifiques de l'aménagement des fleuves, dont le fonctionnement écologique est encore assez mal connu. Le SDAGE devra proposer des stratégies de protection adaptées aux enjeux. Les éléments cartographiques très précis, élaborés pour cette étude seront alors précieux pour analyser en toute connaissance de cause les impacts sur le potentiel hydroélectrique des futures mesures de classement.
Rappelons aussi que cette étude n'a pas vocation à « inventer » des sites de production potentielle, ni à planifier le développement de la ressource, ce qui nécessiterait des mesures de prospection terrain spécifiques ; cette démarche est déjà engagée notamment par l'ADEME depuis de nombreuses années. Cela signifie que l'étude ne statue pas sur des projets existants, ni ne peut être opposée à des nouveaux projets.
Les conditions de réalisation de l'étude ont nécessité dans des délais assez brefs, une synthèse bibliographique de l'existant, plusieurs rencontres avec les partenaires locaux, la constitution de nouveaux référentiels géographiques et une approche méthodologique spécifique au territoire guyanais. Que tous les partenaires de ce diagnostic soient remerciés.