



Projet : **Nachtigal Amont**

Titre : **Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011**

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

IH	NACHT-DEV	ES-DD	00032	A	BPE
----	-----------	-------	-------	---	-----

Résumé : Cette note a pour objectif d'apporter des éléments permettant de compléter l'évaluation des impacts du projet hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles en prenant en compte les résultats des inventaires piscicoles récents (2014) et des évolutions du Projet (débit réservé).

Objet de la révision :

Rédaction		Vérification		Approbation	
nom / date	sign.	nom / date	sign.	nom / date	sign.
L. BECHE		S. DESCLOUX		F. PERROT	
16/11/2015		16/11/2015		18/11/2015	
OTP	: E124/SANAG1/E3HNDEV-ES	Note Technique	<input checked="" type="checkbox"/>	Compte Rendu	<input type="checkbox"/>
Classement	: GED			Note de calcul	<input type="checkbox"/>

Accessibilité	
Confidentiel	<input type="checkbox"/> Seul le destinataire du document peut en prendre connaissance
Restreint	<input type="checkbox"/> Document ne pouvant sortir d'EDF sans lettre ou bordereau d'envoi du service émetteur
E.D.F.	<input checked="" type="checkbox"/> Document interne non diffusable à l'extérieur sans l'accord du Chef de Service
Libre	<input type="checkbox"/> Document public

Classification (Cf. procédure IH.PRO.1600)	
Catégorie 1	<input type="checkbox"/>
Catégorie 2	<input type="checkbox"/>
Catégorie 3	<input type="checkbox"/>
Catégorie 4	<input type="checkbox"/>

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

LIEU DE CONSERVATION

<i>Original papier</i>	<i>Original numérique</i>
Environnement et Société	GED

DIFFUSION PRINCIPALE INTERNE AU CIH

<i>Destinataire</i>	<i>Département-service</i>	<i>nb ex</i>	<i>format</i>
P. LORILLOU	PR	1	GED
D. MAGNAN	GC-EG	1	GED
F. NATHAN	DD-ES	1	GED

DIFFUSION COMPLEMENTAIRE INTERNE AU CIH

<i>Fonctions</i>	<i>Noms</i>	<i>nb ex</i>	<i>format</i>
Expert Environnement	A.BARILLIER	1	GED

DIFFUSION EXTERNE AU CIH

<i>Destinataire</i>	<i>Organisme</i>	<i>nb ex</i>	<i>format</i>
F. ARDORINO	Projet Nachtigal Amont	1	Pdf
O. FLAMBARD	Projet Nachtigal Amont	1	Pdf

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

SOMMAIRE

1.	SUMMARY	5
2.	RESUME	6
3.	CONTEXTE	6
4.	OBJECTIF	7
5.	PRESENTATION DE L'AMENAGEMENT	7
6.	DONNEES PISCICOLES DISPONIBLES	8
6.1	ETUDES SPECIFIQUES A LA ZONE DU PROJET	8
6.2	AUTRES SOURCES D'INFORMATION UTILISEES.....	8
7.	RESULTATS DES INVENTAIRES 2014 : ESPECES PISCICOLES DE LA MOYENNE SANAGA... 9	
8.	METHODOLOGIE D'EVALUATION DES IMPACTS SUR LES PEUPEMENTS PISCICOLES 12	
8.1	IMPACTS CONSIDERES.....	12
	8.1.1 Impacts liés à la localisation du projet	13
	8.1.2 Impacts liés à la construction	13
	8.1.3 Impacts liés à l'exploitation	14
8.2	ZONES PROTEGEES OU D'IMPORTANCE POUR LA CONSERVATION.....	15
8.3	ESPECES CIBLES	15
9.	EVALUATION DES IMPACTS LIEES A LA CONSTRUCTION	16
9.1	AUGMENTATION DES MES LIEE AUX ACTIVITES DE CHANTIER	16
9.2	ALTERATION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX.....	17
9.3	MODIFICATION HABITAT AVAL.....	17
9.4	DESTRUCTION D'HABITAT	17
10.	EVALUATION DES IMPACTS LIEES A L'EXPLOITATION	18
10.1	HYDROLOGIE AVAL.....	18
10.2	MODIFICATION DES HABITATS.....	20
	10.2.1 Habitats aval.....	20
	10.2.2 Habitats amont	21
10.3	CONNECTIVITE ET MIGRATION PISCICOLE.....	22
	10.3.1 Types de migration.....	22
	10.3.2 Migrations diadromes dans la Sanaga.....	23
	10.3.3 Migrations potamodromes dans la Moyenne Sanaga.....	25

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

11. IMPACTS RESIDUELS DU PROJET	30
12. MESURES D'ACOMPAGNEMENT ET COMPENSATOIRES	30
12.1 RESTAURATION DES TRIBUTAIRES AMONT ET AVAL.....	30
12.2 SUIVIS ECOLOGIQUES.....	31
12.3 AMELIORATION DES CONNAISSANCES.....	32
13. CONCLUSION	32
14. REFERENCES	33
ANNEXE 1 : SYNTHESE DES DONNEES SUR LA MIGRATION PISCICOLE	36
ANNEXE 2 : MORTALITE LIEE A LA DEVALAISON	41
ANNEXE 3 : CRIBLAGE INITIAL DES AFFLUENTS DANS LA ZONE DU PROJET	45

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

1. SUMMARY

This document presents an updated evaluation of the impacts of the upstream Nachtigal hydroelectric power scheme to take into account recent fish surveys (January to November 2014), recent changes to the Project (minimum environmental flows) and to provide a particular focus on migratory fish.

Of the 65 fish species captured in the project zone and the 20 other species potentially present (but not captured), 15 are considered target species (endemic, rare or IUCN Red List as NT, VU, EN or CR). 26 species are potentially migratory (potamodromous = migrating within freshwaters), but migratory behavior is clearly understudied in this region.

Historical and recent museum records in the Sanaga River basin were used to evaluate the potential for diadromous (amphihaline or euryhaline) migration (i.e. from the ocean to freshwater and vice-versa). These records do not indicate the presence of any obligate diadromous migratory species in the Sanaga river basin and only facultative euryhaline species appear to present historically and currently (either downstream of the Edea dam or both down and upstream of Edea).

The environmental flow proposed for the Project will benefit fish populations in the by-passed river (3.3 km) during low flow conditions; neither the Nachtigal project nor Lom Pangar will alter high flows. The dam will allow for annual floods generally occurring during 3 to 5 months of the year will continue to benefit downstream habitats.

Following these analyses, the residual impacts of the project on fish populations (after measures of avoidance and reduction) are :

- The reduced habitat available in the by-passed river (with the exception of annual flood periods) ;
- The reduced reproduction (spawning) habitat available as a result of reduced sediment transport (this impact is primarily a result of the Lom Pangar dam and in-river sand mines) ;
- Habitat modification as a result of altered hydrology (with the exception of annual flood periods). Minimum environmental flows reduce this impact but does not completely avoid it, especially as the minimal flows were not specifically determined for local fish species (lack of ecological information necessary).
- Potential disruption of local fish migration across the dam axis¹ (upstream-downstream) and the associated consequences.

In compliance with PS6 of the IFC, biodiversity offset measures are proposed with respect to these residual impacts, including :

- Habitat restoration (in critically important affluent habitats) to benefit spawning and feeding of dozens of fish species ;
- Ecological monitoring of project impacts and the efficacy of restoration measures ;
- Research to improve knowledge about the systematics and ecology of fishes in the Sanaga River basin.

¹ Migratory behavior of fish in the project area has not yet been studied ; this potential impact is based on potential for potamodromous migratory behavior of a subset of the species present.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

2. RESUME

Cette note a pour objectif de compléter l'analyse des impacts sur les peuplements piscicoles liés au Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont (PHNA) pour prendre en compte les inventaires piscicoles récents (janvier à novembre 2014), les évolutions du projet (débit réservé, ...) et le problème de la migration piscicole. Les espèces endémiques, rare ou ayant un enjeu de conservation constitue les espèces cibles de l'analyse.

Parmi les 65 espèces contactées dans la zone du Projet et les 20 autres espèces potentiellement présentes (mais non-contactées en 2014), 15 sont des espèces cibles.

Des records historiques ont été utilisés pour établir la présence potentielle historique des espèces migratrices dans la zone du Projet et en aval. Aucune espèce amphihaline (« grand migrateur ») n'a été identifiée comme étant présente historiquement dans la zone du Projet. En revanche, un nombre important d'espèces sont signalées comme effectuant des migrations potamodromes (en eaux douces) bien que des informations précises sur ces mouvements sont manquantes dans le bassin de la Sanaga.

Suite à ces analyses, les impacts résiduels (après mesures d'évitement et de réduction) du Projet ont été identifiés :

- La réduction d'habitat disponible dans le TCC en dehors des périodes de hautes eaux ;
- La réduction d'habitat disponible (fraie) liée à la perturbation de la continuité sédimentaire (cet impact est principalement lié au Barrage de Lom Pangar et à l'exploitation des sablières) ;
- La modification de l'habitat résultant de la modification hydrologique en dehors des périodes de hautes eaux. Le débit réservé permet de réduire cet impact mais pas complètement l'éviter. En particulier, l'efficacité de la mesure et le gain escompté dû au débit réservé pour les peuplements piscicoles n'a pas pu être démontrée a priori ;
- La perturbation potentielle de la migration piscicole locale (potamodrome)² sur l'axe du barrage et les conséquences associées.

En conformité avec le SP6 de la SFI, des mesures pour compenser ces impacts, incluant des mesures de restauration des habitats piscicoles, de suivis écologiques et d'amélioration des connaissances.

3. CONTEXTE

Le projet hydroélectrique de Nachtigal Amont (PHNA) comprend un barrage créant une retenue de 4,4 km² sur la Moyenne Sanaga qui permettra la production de 420 MW.

Une licence environnementale a été obtenue de la part du gouvernement Camerounais en avril 2014 pour la construction et exploitation de l'aménagement.

La faisabilité du projet de Nachtigal amont a été analysée pour les aspects environnementaux et sociaux à l'aide des études d'impact environnemental et social réalisées en 2006 (Tecsult et Sogreah) et mises à jour en 2011 (Aecom et Sogreah) pour obtenir une prolongation du délai du certificat de conformité environnementale. Le projet était alors géré par Alucam, filiale de RTA basée au Cameroun.

² La migration piscicole des espèces présentes dans la zone du Projet n'a pas été observée ; cet impact potentiel est basé sur le potentiel pour les espèces présentes d'avoir un comportement migratoire potamodrome (dans les milieux d'eaux douces).

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

Dans le cadre du développement repris par le groupement de partenaires EDF, RTA, SFI et Gouvernement du Cameroun, la deuxième mise à jour de l'étude d'impact a été effectuée en 2013 et a fait l'objet d'une audience publique en Janvier 2014 sous le pilotage des autorités locales avec l'appui de l'équipe E&S d'EDF-CIH. La licence environnementale a été obtenue le 24 avril 2014.

On notera que l'ensemble de ces études a été réalisé par des consultants internationaux reconnus et qu'elles ont été approuvées par le Gouvernement du Cameroun avec un débit réservé nul et sans ouvrage de franchissement piscicole, les licences ayant été obtenues sur cette base là.

Depuis, des études complémentaires environnementales ont été menées suite aux conditions imposées par le gouvernement pour l'obtention de licence environnementale, notamment des inventaires piscicoles scientifiques. De plus, les partenaires ont fait évoluer le projet pour ajouter un débit réservé dans le tronçon court-circuité sur la base d'une analyse réalisée par EDF-CIH (Bêche 2015).

4. OBJECTIF

Pour prendre en compte ces nouvelles informations et les évolutions récentes du PHNA, le Projet a souhaité apporter des compléments sur les impacts du PHNA sur les peuplements piscicoles.

Cette note n'as pas vocation à remplacer ou de compléter de façon formelle l'EIES mais plutôt d'apporter des éléments permettant de mieux comprendre les impacts résiduels du PHNA sur les peuplements piscicoles et alimenter la discussion du dimensionnement des mesures compensatoires appropriées. Dans cette analyse, seuls les éléments des études précédentes indispensables à la compréhension sont repris.

Cette présente analyse ne traite pas en totalité les impacts aval (aval lointain de la restitution des eaux turbinées) et les impacts cumulés (avec les barrages existants ou des projets connus) qui seront **évalués dans un document à part** (sous-traité à Artélia, un bureau d'études international basé en France), prévu pour fin 2015. En fonction des résultats de cette analyse indépendante, les mesures d'accompagnement, de suivi et de compensation seront révisées (cf. §12).

Conformément à la politique biodiversité des partenaires du Projet et en particulier les standards de la SFI, la doctrine « ERC » est appliquée pour éviter, réduire et ensuite compenser les impacts résiduels liés au PHNA, comme indique dans le Plan d'Actions Biodiversité (Artélia 2015).

5. PRESENTATION DE L'AMENAGEMENT

Caractéristiques succinctes

- Production : 420 MW
- Q turbiné (débit d'équipement) : 980 m³/s
- Q pertuis vannés pour évacuation des débits : 980 m³/s par vanne (fois 2)
- Q réservé : entre 25 et 47 m³/s
- Hauteur du barrage : environ 15 m
- Hauteur de chute : environ 50 m
- Type de turbines : Francis (7 turbines de 60 MW chacune)
- Diamètre des turbines : 4 m

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

- Nombre de palles par turbine : 13
- Vitesse de rotation : 136,4 tr/minute
- Usine de turbinage du Qr : turbines Kaplan, 175 à 600 tr/minute

6. DONNEES PISCICOLES DISPONIBLES

6.1 ETUDES SPECIFIQUES A LA ZONE DU PROJET

Concernant les peuplements piscicoles, plusieurs études ont été menées pour l'EIES de 2006 et sa mise à jour en 2011 et pour compléter l'EIES, à savoir :

- **EIES 2006, volet piscicole :**

Pour l'EIES, une étude « pêche » a été réalisée en 2006 qui se basait sur une campagne d'inventaire d'espèces piscicoles capturées par les pêcheurs locaux en mars 2006. Sur la base de ces captures, 23 espèces piscicoles ont été signalées.

- **EIES 2011, volet piscicole (mise à jour de l'EIES de 2011) :**

Aucun nouvel inventaire n'a été réalisé pour la mise à jour de l'EIES en 2011.

- **Synthèse bibliographique**, IH.NACHT-DEV.RAPP-ES.00001A, J. VIVIEN (2014) :

A la demande du PHNA, une synthèse bibliographique a été réalisée pour élargir le recensement des espèces piscicoles pouvant être présentes dans la Moyenne Sanaga. Cette synthèse a montré qu'un nombre important d'espèces (260) est potentiellement présent dans la Sanaga (dont 85 espèces euryhalines), avec 71 espèces signalées dans la moyenne Sanaga.

- **Inventaires piscicoles**, IH.NACHT-DEV.RAPP-ES.00006A, Dr. Arnold BITJA-NYOM (2015).

A la demande du PHNA, des campagnes mensuelles d'inventaires semi-quantitatives (pêches au filet) ont été menées sur 10 mois à plusieurs sites sur la moyenne Sanaga et sur les principaux affluents dans la zone du PHNA. Ces inventaires ont permis de caractériser le nombre d'espèces fréquentant la zone du PHNA (65), les fluctuations saisonnières dans leurs abondances ainsi que leur distribution spatiale ; ces résultats sont présentés en plus de détail dans §7.

6.2 AUTRES SOURCES D'INFORMATION UTILISEES

Plusieurs sources d'information ont également été utilisées notamment pour déterminer la présence historique des poissons migrateurs à Nachtigal (avant la construction des barrages aval sur la Sanaga) :

- Stiasny, M.L.J., Teugels, G.G., Hopkins, C.D. (2007) : Poissons d'eau douce et saumâtres de la Basse Guinée, ouest et Afrique centrale (Volumes 1 et 2), IRD Editions.
- Lévêque, C. et Paugy, D., Eds. (2006) : Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD Editions.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

- FishBase for Africa³ (qui comprend toute la collection du Muséum d'Afrique Centrale, Teuvenen, Belgique ainsi que les collections du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris)
- FAUNAFRI⁴ (base de données géographiques ichtyologiques de l'Afrique gérée par le l'IRD)

Il est à noter que les collections des muséums et les études scientifiques ayant indiqué la présence des espèces sur une ou des stations d'étude sont répertoriées dans FishBase et FAUNAFRI, permettant un accès électronique à des données de présence des poissons de la Sanaga.

7. RESULTATS DES INVENTAIRES 2014 : ESPECES PISCICOLES DE LA MOYENNE SANAGA

Les principaux résultats issus des campagnes d'inventaires piscicoles sur la Sanaga et ces affluents nécessaires à la compréhension de l'étude d'impact sont présentés ci-dessous (cf. Bitja-Nyom 2015 pour les résultats complets).

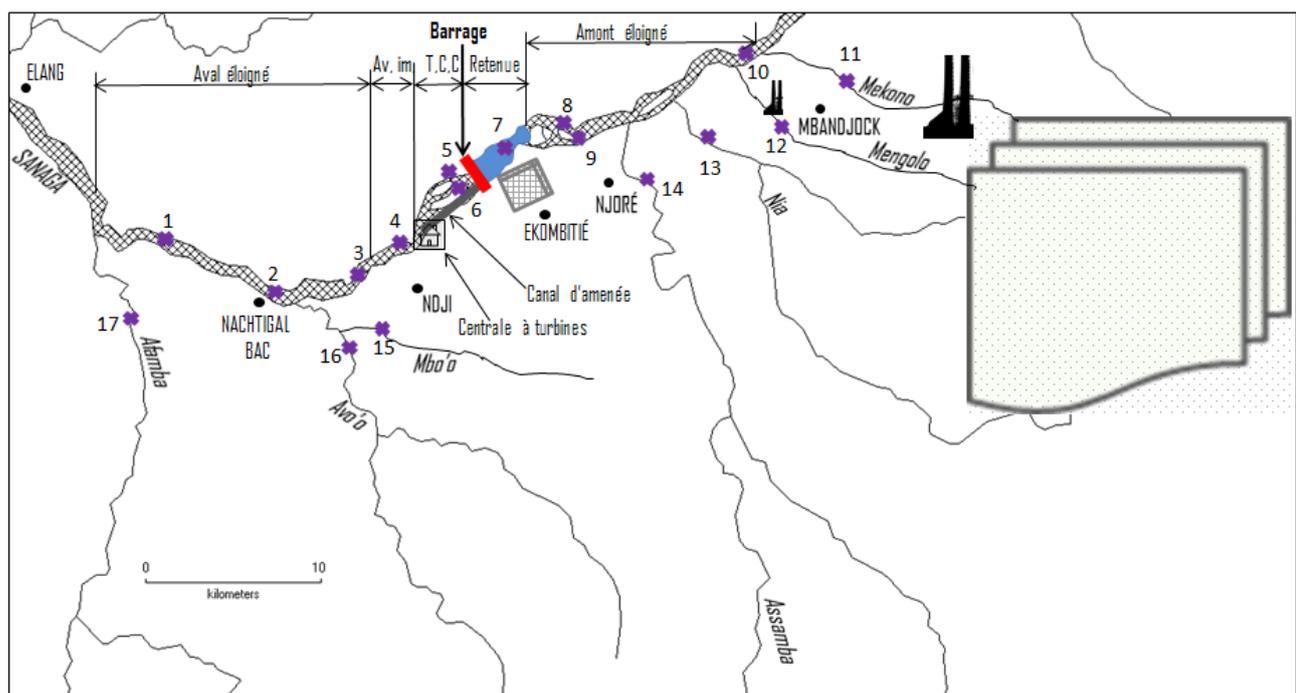


Figure 1. Localisation des principales stations d'échantillonnage piscicole sur la Moyenne Sanaga et ces affluents (Bitja-Nyom 2015).

Les pêches d'inventaire ont été réalisées dans la zone du Projet (Figure 1) et à quelques stations plus éloignées (e.g. à Belabo, à la confluence avec le Mbam, cf. Figure 1 dans Bitja-Nyom 2015). Au total, 10 mois de pêches ont été réalisés, de Janvier à Octobre 2014 sur les principales stations. Les pêches complémentaires effectuées sur les stations éloignées étaient ponctuelles et se sont déroulées essentiellement au mois d'Aout 2014.

Les pêches d'inventaire ont été réalisées suivant une technique semi-quantitative essentiellement (filets maillants), mais aussi à l'aide des techniques moins quantitatives (éperviers et nasses).

³ <http://www.fishbaseforafrica.org/>

⁴ <http://www.poissons-afrique.ird.fr/faunafri/>

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Les inventaires réalisés en 2014 indiquent la présence d'au moins 65 espèces dans la zone du Projet. Jusqu'à 20 espèces supplémentaires (présence signalée dans les collections des musées) pourront également être présentes.

Dans l'inventaire 2014 (Bitja-Nyom 2015), 16 familles sont représentées (contre 29 dans le bassin de la Sanaga) ; les Cyprinidae et les Mormyridae sont les plus représentées en termes de nombre d'espèces (17 et 14, respectivement). En revanche, les captures sont dominées en termes de biomasse et densité par les Schilbeidae et Alestidae (Figure 2), et notamment par *Schilbe mystus* (abondance relative de 26%) et *Alestes macrophthalmus* (18% abondance relative).

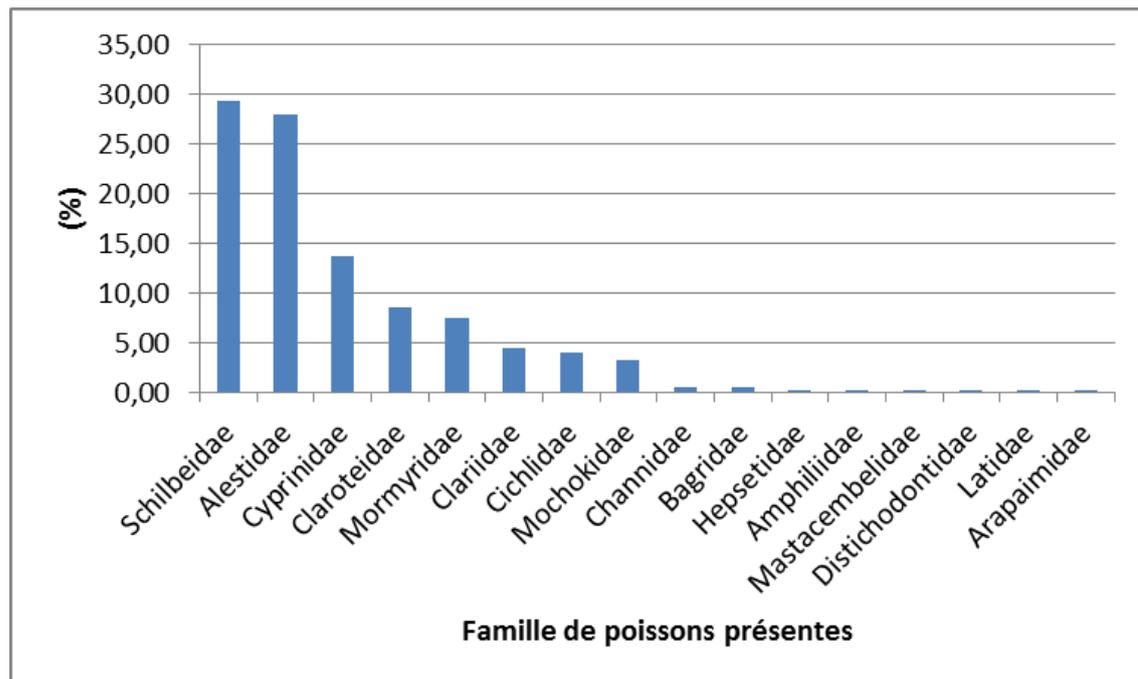


Figure 2. Abondance relative des familles recensées lors des inventaires de pêche réalisés en 2014.

Sur 65 espèces recensées, 48 espèces ont une abondance relative supérieure à 0.1% alors que seulement 18 espèces ont une abondance relative supérieure à 1% (en prenant en compte toutes les campagnes et stations d'étude), soulignant que la plupart des espèces sont rares dans la zone d'étude.

Parmi les stations échantillonnées, celle dans le futur tronçon court-circuité (bras rive gauche) présente la richesse la plus forte (40 espèces), mais cette valeur n'a pas été corrigée par rapport à l'effort de pêche et le nombre d'habitats échantillonnés qui sont les plus forts à cette station. En termes d'abondance et biomasse, en revanche, se sont les stations en aval de la future restitution qui ont les valeurs les plus fortes.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

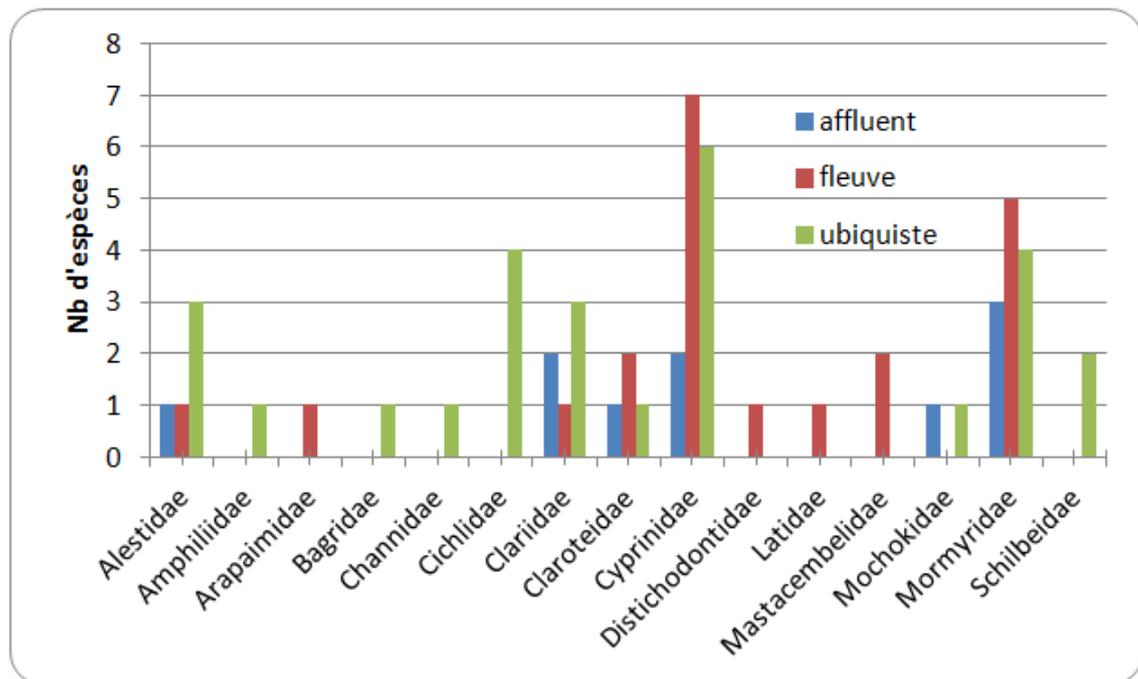


Figure 3. Nombre d'espèces de chaque famille en fonction de leur présence exclusivement dans les stations des affluents, du fleuve ou leur présence dans les deux groupes de stations (« ubiquiste »).

L'analyse de la distribution spatiale (Figure 4) montre que les espèces inventoriées⁵ dans la zone d'étude peuvent être classées comme étant inféodées uniquement au fleuve (21 espèces), soit uniquement aux affluents (10 espèces) soit les deux (« ubiquistes », 27 espèces)⁶. Parmi les espèces inféodées uniquement au fleuve (au moins pour cette étude) on peut citer la majorité des Cyprinidés (dont l'endémique *Sanagia velifera*, VU). Il convient de rester prudent quant à la classification des espèces dans le groupe « affluents » car l'effort de pêche (en termes de nombre de campagnes) y a été moindre par rapport à celui sur le fleuve (cf. Bitja-Nyom 2015). Les espèces ubiquistes sont de loin les plus nombreuses.

L'analyse de l'évolution de CPUE globale moyenne indique que les captures sont les plus élevées dans le fleuve entre janvier et février (Figure 4) et sont au plus faible entre juillet et octobre, moment où les hautes eaux de la Sanaga sont maximales. La biomasse et abondance évoluent en sens inverse dans les affluents, devenant maximale en période de hautes eaux vers octobre et minimale entre mars et avril (pour autant, les captures restent très inférieures à celles dans le fleuve). Cette inversion peut s'expliquer par une probable migration latérale de certaines espèces de poissons vers les affluents en saison de pluies suivie d'une reproduction des migrateurs et/ou des espèces inféodées aux affluents.

⁵ En excluant les espèces encore mal connues (problèmes taxonomiques ou potentiellement des nouvelles espèces).

⁶ Ces chiffres diffèrent légèrement de celles dans Bitja-Nyom (2015) puisque les espèces rares n'ont pas été exclues.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

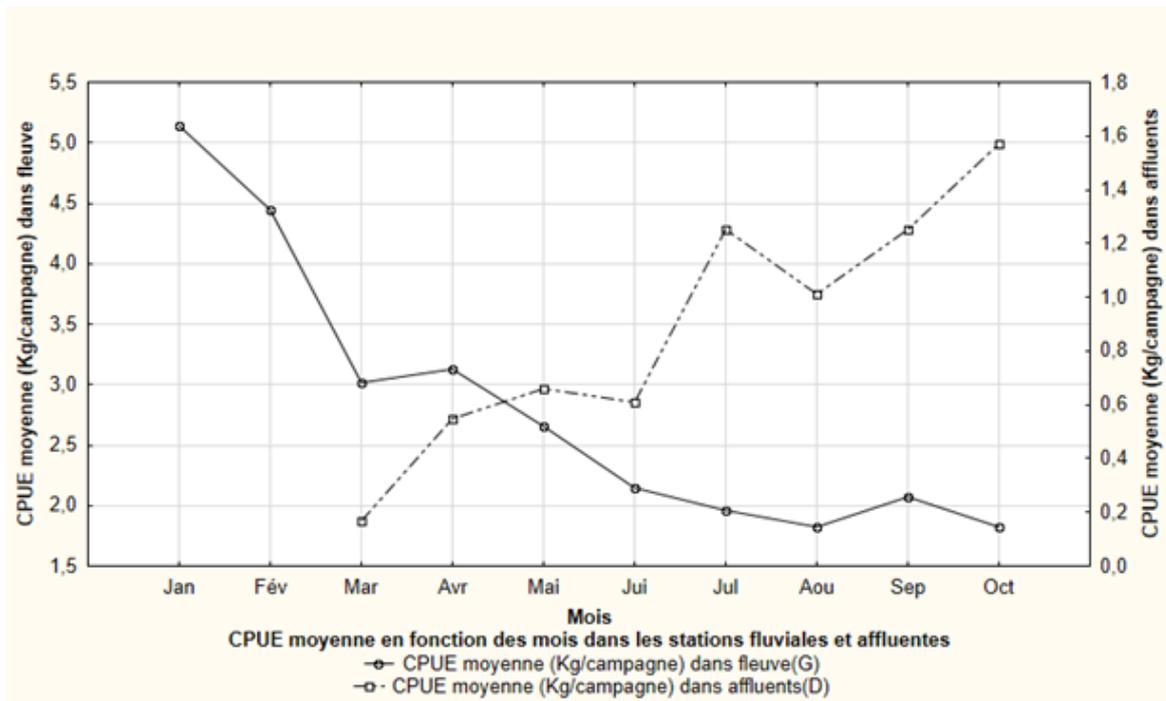


Figure 4. Variation en biomasse et en abondance (valeurs moyennes par campagne) entre les stations situées sur la Sanaga et les stations situées sur les affluents.

La prise en compte du comportement migratoire et statut de conservation (liste rouge UICN) est présenté dans §10.3.

8. METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LES PEUPELEMENTS PISCICOLES

8.1 IMPACTS CONSIDERES

L'évaluation des impacts environnementaux d'un projet repose sur une caractérisation des pressions exercées par le projet et les effets potentiels sur les récepteurs (ici, les peuplements piscicoles).

Les peuplements piscicoles peuvent être impactés par le PHNA directement (par exemple, blocage de migration) ou indirectement (par exemple, par une dégradation de leur habitat, leur source énergétique ou une augmentation des autres pressions telles que la pêche, espèces invasives, ...).

L'évaluation des impacts du PHNA utilisée dans l'EIES (2011) est découpée par phase du projet :

- Impacts liés à la localisation du projet ;
- Impacts liés à la construction ;
- Impacts liés à l'exploitation.

La présente étude se focalise sur les impacts spécifiques aux peuplements piscicoles **non-traités** par l'EIES (2011) ou qui sont la conséquence des **évolutions** du Projet depuis le dépôt du dossier.

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

Il est à rappeler que les impacts aval (en dehors de la zone du projet) et cumulés seront évalués dans un document à part (sous-traité à Artélia, un bureau d'études international basé en France), prévu pour fin 2015.

Les sections suivantes présentent l'inventaire des impacts potentiels du PHNA sur les peuplements piscicoles et/ou leur habitat par phase du projet.

8.1.1 IMPACTS LIES A LA LOCALISATION DU PROJET

Libellé	Description
Modification habitat amont	Création de retenue amont (4,4 km ²) de faible profondeur (11 m en moyenne) et avec un temps de résidence faible (12 h en moyenne). Transformation d'un milieu lotique (eaux courantes/rapides) en milieu plutôt lentique (eaux calmes)
Modification habitat aval	Création d'un tronçon court-circuité de 3,3 km Modification de l'hydrologie dans le tronçon court-circuité (TCC) qui sera réduite (eaux dérivées vers l'usine hydroélectrique par un canal usinier).

Les impacts liés à la localisation du projet sont évalués avec les impacts liés à l'exploitation car étroitement identiques.

8.1.2 IMPACTS LIES A LA CONSTRUCTION

Libellé	Description
Impacts sur la qualité physique des eaux (MES)	Rejets des eaux usées, eaux de ruissellement, défrichage, terrassements, dragage (travaux en rivière), lavage des matériaux
Impacts sur la qualité chimique des eaux	Rejets des eaux usées, eaux de ruissellement, stockage, utilisation et fuites d'huiles, hydrocarbures et autres produits dangereux/chimiques
Modification habitat aval	Mise en place débit réservé phase chantier rive gauche
Destruction d'habitat	Construction et emprise du barrage

L'EIES 2011 propose des mesures correctives permettant d'éviter ou de réduire

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

8.1.3 IMPACTS LIÉS À L'EXPLOITATION

Libellé	Description
Modification habitat amont (création retenue)	Création de retenue amont (4,4 km ²) de faible profondeur (11 m en moyenne) et avec un temps de résidence faible (12 h en moyenne). Transformation d'un milieu lotique (eaux courantes/rapides) en milieu plutôt lentique (eaux calmes)
Modification hydrologique TCC	Une partie du TCC est asséchée à l'étiage (centre et rive droite). Pour la rive gauche, le débit d'étiage est supérieur en aval du barrage qu'actuellement (TCC de 3.3 km)
Modification hydrologique aval restitution (impact cumulé avec Lom Pangar)	Débit d'étiage plus important (soutien Lom Pangar), variations de débits turbinés
Perte d'habitat aval (TCC)	Perte d'habitat piscicole (300 ha) pendant environ 7 mois par an (quand débit entrant inférieur au débit max turbiné)
Modification du transit sédimentaire	Blocage de la continuité sédimentaire (sable) pouvant modifier la quantité et qualité d'habitat piscicole en aval
Modification de la qualité de l'eau en amont	Risque d'eutrophisation, risque de dégradation de la qualité de l'eau suite à la décomposition de la biomasse noyée (ces risques sont évalués comme étant très faibles, cf. Descloux 2015 et EIES 2011)
Modification de la qualité de l'eau en aval	Potentiel de diminution d'oxygène dissous, et d'apports en matières organiques liés à la modification de la qualité de l'eau en amont (retenue); ce potentiel est très faible, cf. Descloux 2015 et EIES 2011
Migration piscicole	<u>Montaison</u> : création d'une barrière complète à la migration piscicole <u>Dévalaison</u> : création d'une barrière partielle à la migration piscicole

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

8.2 ZONES PROTEGEES OU D'IMPORTANCE POUR LA CONSERVATION

La zone du projet ne se situe pas dans une zone protégée ni dans un parc, réserve ou autre zone de protection réglementaire de la biodiversité.

En revanche, la totalité du bassin de la Sanaga est proposée au classement « zone clé pour la biodiversité des eaux douce » (« Freshwater Key Biodiversity Area ») selon une proposition de l'UICN (Darwell 2013) qui en attend de validation des experts.

Selon les standards de la SFI, les KBA sont à prendre en compte dans l'évaluation des enjeux en matière de biodiversité (SP6).

8.3 ESPECES CIBLES

De façon générale, toutes les espèces présentes ou potentiellement présentes dans la zone d'étude sont considérées dans l'évaluation des impacts du Projet sur les peuplements piscicoles. En revanche, on peut considérer que les espèces cibles prioritaires de l'étude sont les espèces endémiques de la Sanaga et/ou les espèces sur la liste rouge UICN (classements NT, VU, EN, CR⁷) qui ont été contactées lors de l'étude 2014. Ces 15 espèces sont :

	Endémicité	Classification UICN
Amphilidae		
<i>Doumea sanaga</i>	Sanaga	LC
Cichlidae		
<i>Sarotherodon galilaeus sanagaensis</i>	Sanaga et Nyong	DD
<i>Tilapia cameronensis</i>	Sanaga et tributaires	LC
Claroteidae		
<i>Chrysichthys longidorsalis</i>	Sanaga	VU
Cyprinidae		
<i>Labeobarbus mbami</i>	Mbam et Sanaga	EN
<i>Labeo nunensis</i>	Sanaga et tributaires	LC
<i>Labeo sanagaensis</i>	Sanaga	LC
<i>Sanagia velifera</i>	Sanaga et Nyong	NT
<i>Varicorhinus fimbriatus</i>	Sanaga	LC
Distichodontidae		
<i>Distichodus kollerii</i>	Sanaga	LC
Mastacembelidae		
<i>Mastacembelus seiteri</i>	Sanaga	LC
Mochokidae		
<i>Synodontis rebeli</i>	Sanaga	DD
Mormyridae		
<i>Campylomormyrus phantasticus</i>	Sanaga	LC
<i>Marcusenius sanagaensis</i>	Sanaga, Mbam et tributaires	VU
<i>Petrocephalus similis</i>	Sanaga et Djerem	NE

A noter que pour l'évaluation des impacts, toutes les espèces présentes dans la zone du Projet sont prises en compte, l'identification des espèces cibles a pour but d'identifier des habitats critiques des espèces (cf. IFC PS6, Plan d'actions biodiversité) et aussi identifier clairement les espèces ayant déjà un enjeu de conservation connu.

⁷ NT = near-threatened ; VU = vulnérable ; EN = en danger d'extinction ; CR = en danger critique d'extinction ; NE = non-évalué

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

9. EVALUATION DES IMPACTS LIEES A LA CONSTRUCTION**9.1 AUGMENTATION DES MES LIEE AUX ACTIVITES DE CHANTIER**

Le chantier pourrait être une source d'apport supplémentaire en matières en suspension (MES) qui serait susceptible de modifier la qualité physique de l'eau de la Sanaga. Les sources potentielles d'apport en MES (cf. §8.1.2) sont essentiellement liés à l'érosion due au terrassement et défrichage, ainsi que les apports venant des opérations de dragage dans la rivière. Les différents suivis de la qualité de l'eau de la Sanaga à Nachtigal (EIES 2011, étude poissons 2011) montre des concentrations en MES d'environ 20 à 30 mg/L.

Les MES (dans le cas présent plutôt d'origine minérale) peuvent avoir des impacts directs sur les poissons (écotoxicité) ou indirects (modification d'habitat, impact sur leur source d'alimentation). L'impact des apports en MES sur les peuplements piscicoles dépendra des concentrations dans le milieu et de la durée d'exposition mais surtout des caractéristiques du milieu récepteur et des peuplements concernés (Bilotta et Brazier, 2008).

Plusieurs publications existent sur l'écotoxicité des MES minérales pour les poissons, mais elles se portent essentiellement sur les salmonidés. En se basent sur plusieurs dizaines de publications, Newcombe et MacDonald (1991) proposent un modèle intégrant la concentration en MES et la durée d'exposition pour des non-salmonidés. Par exemple, le modèle prédit une absence de mortalité piscicole pour des concentrations en MES inférieures à 22 g/L pendant un jour ou de moins de 8 g/L pendant 2 jours (mais des effets sous-létaux sont possibles). La réglementation concernant les taux de MES à respecter pour maintenir la qualité des eaux de surface est très variable d'un pays à l'autre. En Europe, les normes exigent des concentrations (dans le milieu) inférieur à 25 mg/L dans les rivières non-salmonicoles tandis que les normes Canadiennes préconisent de ne pas augmenter de plus de 25 mg/L le bruit de fond dans le milieu.

Les impacts indirects en revanche sont plus difficiles à évaluer car ils dépendent sur la dynamique de dépôt/reprise des particules ainsi que l'écotoxicité des MES sur les plantes aquatiques et invertébrés formant la base du réseau trophique aquatique.

Compte-tenu des incertitudes associées à l'évaluation de l'impact des MES sur les peuplements piscicoles, il est jugé pertinent avant tout d'éviter et de réduire leur production avant rejet dans le milieu. Ensuite, les MES résiduelles rejetés dans le milieu seront fortement dilués dans les eaux de la Sanaga.

Mesures d'évitement et de réduction

La production des MES par l'érosion sera évitée au maximum en mettant en œuvre les meilleures techniques disponibles pour la gestion de l'érosion sur le chantier.

Un traitement des eaux usées sera mis en œuvre pour respecter les normes camerounaises (50 mg/L MES maximum au rejet). Ces rejets (de l'ordre de 210 m³/j) seront ensuite dilués dans la Sanaga (> 600 m³/s avec les débits régulés par Lom Pangar).

Un suivi des eaux usées et des eaux de ruissellement pendant le chantier sera également mis en œuvre pour vérifier la bonne performance des ces techniques.

Ces exigences ont été transcrites dans les spécifications techniques du dossier de consultation des entreprises qui seraient responsables pour les travaux en phase de construction.

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

9.2 ALTERATION DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX

Les sources potentielles d'une altération de la qualité chimique des eaux sont présentées dans la section 8.1.2.

L'EIES 2011 présente les risques pour le milieu aquatique de ces altérations qui incluent une baisse de l'oxygène dissous, une écotoxicité aiguë pour la vie aquatique (ex : produits chimiques, hydrocarbures).

Comme évoqué pour le contrôle des MES, l'approche est d'éviter et réduire à la source ces impacts en mettant en œuvre les mesures citées dans l'EIES 2011 et transcrites dans les spécifications techniques des entreprises.

Par exemple, les eaux usées seront traitées selon les normes camerounaises et françaises afin de respecter le guide EHS de la SFI. Des bacs de rétention seront utilisés dans des zones de stockage ou d'utilisation des hydrocarbures ou de produits chimiques. Des formations à leur utilisation et la gestion des déchets seront dispensés aux travailleurs.

Un suivi de la qualité des eaux (rejetés et dans la Sanaga) est notamment prévu pour vérifier le respect des normes imposées.

9.3 MODIFICATION HABITAT AVAL

Les travaux de construction du barrage vont s'effectuer de la rive gauche vers la rive droite avec la mise en place de batardeaux pour assécher les zones de travaux. Les eaux seront dérivées vers la rive droite pendant la durée des travaux en rive gauche.

Pendant cette phase de travaux en rive gauche, et afin de respecter les engagements du Projet, un système de pompage sera mis en place permettant d'alimenter la rive gauche en aval du site de construction avec le débit réservé (entre 25 et 47 m³/s, valeur à fixer avant le début des travaux).

Quand les travaux seront sur la rive gauche (fermeture du barrage), le débit entrant passerait par les pertuis vannés (rive gauche). Les travaux sur le barrage seront effectués en dehors des périodes des hautes eaux (ce qui limitera également la production des MES dans le lit de la rivière).

L'impact de la modification des écoulements pendant les phases de construction du barrage devraient être minimisé par la mise en place du système de pompage assurant le débit réservé en rive gauche (même à l'étiage ce pompage ne mettrait pas en péril les écoulements en rive droite car les débits entrants de Lom Pangar seraient de l'ordre de 650 m³/s).

Afin de limiter l'impact sur les poissons pouvant se trouver entre la zone de construction et la sortie du système de pompage délivrant le débit réservé, une fermeture progressive de la rive gauche pourrait être proposée ainsi qu'une pêche de sauvetage dans cette zone avant l'assèchement.

9.4 DESTRUCTION D'HABITAT

La destruction d'habitat correspond à l'emprise du barrage (impact permanent) ainsi que la zone de chantier dans le fleuve (impact temporaire : accès des engins, mis en place des batardeaux, merlans, etc.).

La zone détruite par l'emprise du barrage est comprise dans l'évaluation de la perte d'habitat (cf. §10.2).

La perte de l'habitat liée au chantier sera temporaire en dehors de la zone d'emprise du barrage et sera évitée ou réduite au strict minimum en mettant en œuvre des bonnes pratiques de travaux en

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

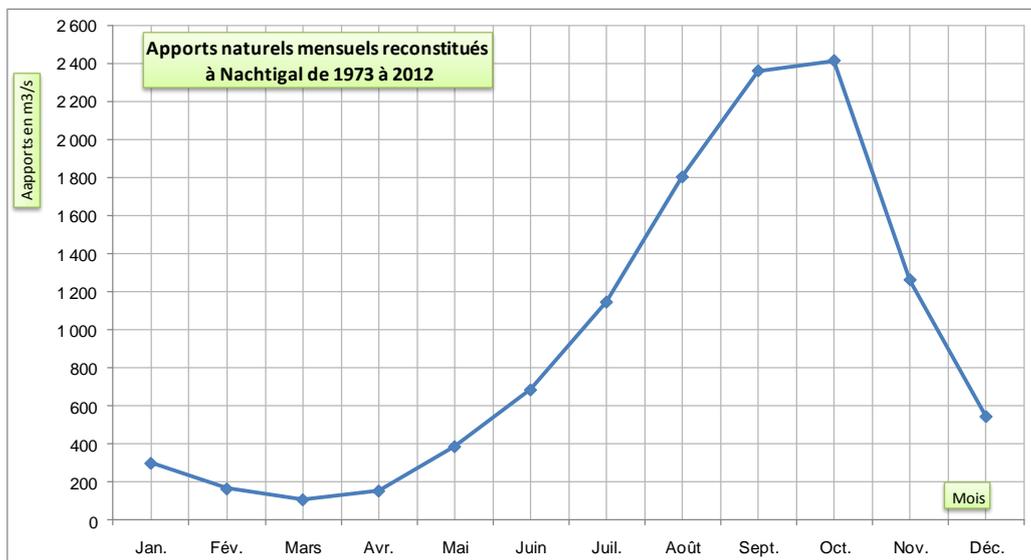
rivière, par exemple en limitant la zone à assécher pour l'accès des engins et en utilisant la même voie d'accès pendant la durée du chantier.

Au fur et à mesure de l'avancement du chantier et en fonction des besoins d'accès, les habitats asséchés seront remis en eau au plus vite pour favoriser la recolonisation piscicole. Cet impact sera donc mineur en comparaison à la perte d'habitat lié à la mise en eau et à l'exploitation du barrage (cf. §10.2).

10. EVALUATION DES IMPACTS LIEES A L'EXPLOITATION

10.1 HYDROLOGIE AVAL

L'année hydrologique à Nachtigal permet d'identifier deux saisons clairement marquées : une période de saison sèche entre les mois de décembre et de juin, et une période de hautes eaux de juillet à novembre :



Une fois mise en eau la retenue de Lom Pangar, et en complément du réservoir de Mbakaou ; on peut considérer que l'année hydrologique se composera d'une saison sèche de 32 semaines environ où l'apport hydrologique sera régulé par les retenues amont, et considéré comme constant à 650 m³/s, et une saison humide (20 semaines résiduelles environ) durant laquelle le débit entrant pourra dépasser notablement le débit d'équipement de l'aménagement. La présence des barrages de Lom Pangar et de Nachtigal ne modifieront pas sensiblement les débits à Nachtigal pendant la saison humide (cf. EIES 2011). En particulier, avec Lom Pangar, les débits d'étiage nettement plus soutenus (de l'ordre de 650 m³/s contre 200 à 300 m³/s actuellement), les débits moyens en saison des pluies seront plus faibles ; en revanche, les débits des plus fortes crues ne seront pas atténués (les débits ci-dessous sont issues d'une simulation) :

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

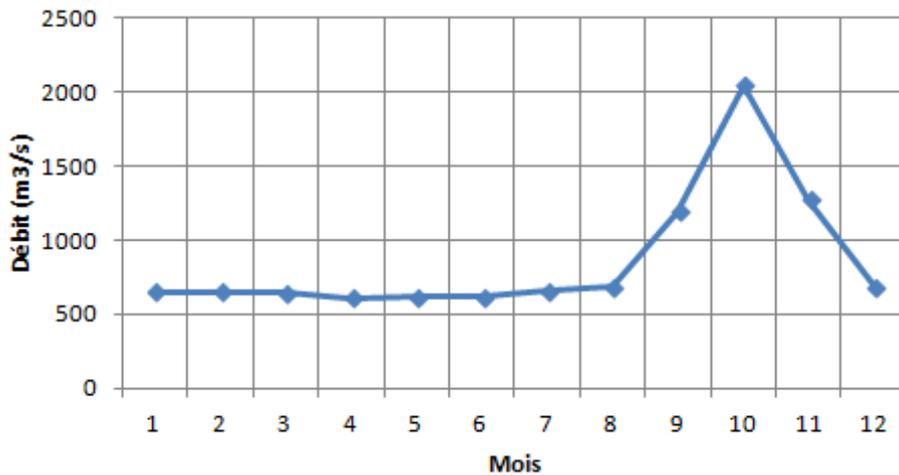


Figure 5. Simulation des débits entrants (moyens mensuels) à Nachtigal avec Lom Pangar.

Quand le débit entrant est supérieur au débit d'équipement (980 m³/s pour l'usine principale + 47 m³/s pour l'usine « débit réservé »), l'excès de débit sera restitué en aval immédiat du barrage (dans le tronçon court-circuité – TCC) soit par les pertuis vannés (rive gauche) soit par déversement (toute la longueur du barrage).

- Entre 980 m³/s et 2987 m³/s : ouverture progressive des pertuis vannés en rive gauche
- 2987 m³/s : débit excédent passe par les déversoirs.

Lors de la grande saison des pluies (de septembre à novembre), l'excédent du débit entrant passerait par les pertuis vannés (61% du temps en moyenne sur ces trois mois, cf. Figure 1) mais des déversés aurait lieu seulement 4% du temps (avec un pic en octobre de 10% du temps).

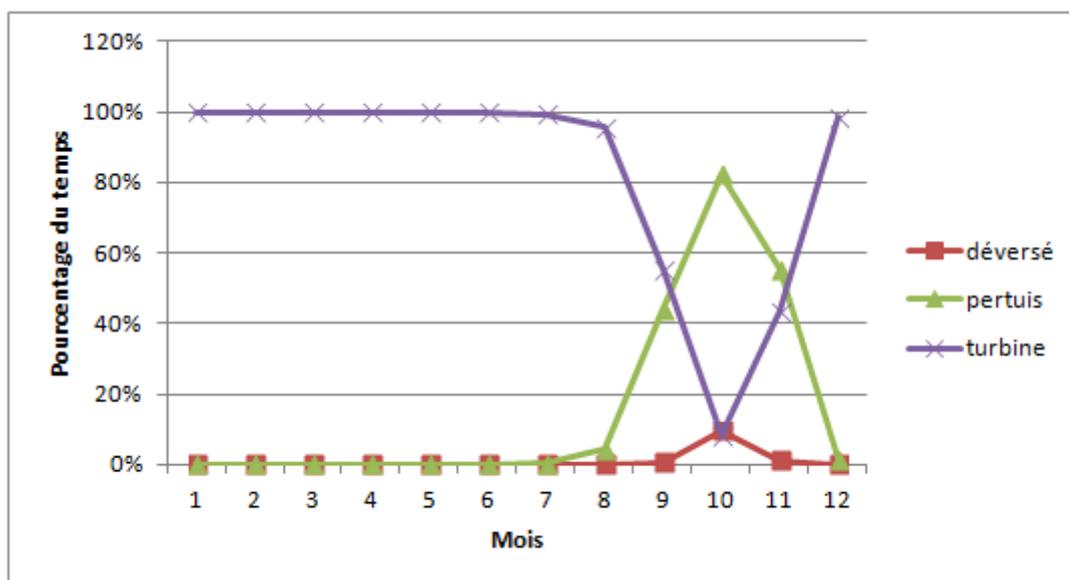


Figure 6. Situation après mise en service de Lom Pangar : pourcentage de jours que le débit entrant passe par les différents exutoires pendant chaque mois.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

10.2 MODIFICATION DES HABITATS

Les habitats piscicoles sont divers en fonction des stades de vie concernés (œuf, juvénile, adulte) et les besoins associés (protection des prédateurs, alimentation, reproduction,...). Le Projet entrainera des modifications sur l'habitat piscicole en aval liées à la modification de l'hydrologie dans le TCC (hors période des hautes eaux), cf. §10.1 et en amont liées à la création d'un lac artificiel (4.4 km²). En aval de la restitution des eaux turbinées, il n'est pas attendu de modification significative de l'habitat piscicole. En effet, la régulation du débit en période d'étiage a débuté (partiellement) en septembre 2015 avec la mise en eau de Lom Pangar. Le Projet de Nachtigal Amont ne rajoutera pas de modification hydrologique supplémentaire en aval de la restitution, si ce n'est le potentiel pour des éclusées avec des variations de débit maximales comprises entre 650 et 980 m³/s.

10.2.1 HABITATS AVAL

Dans la zone aval, le TCC sera alimenté en dehors des périodes des hautes eaux (< 980 m³/s) par un débit réservé compris entre 25 et 48 m³/s dans le grand bras rive gauche (environ 250 à 300 m de largeur sera mis en eau, cf. . La localisation du débit réservé ainsi que la valeur proposée ont été déterminées sur la base d'une analyse hydrologique et au regard des besoins de l'espèce cible (une plante aquatique : *Ledermanniella sangaensis*, cf. Ghogue 2015). Le lit mineur en aval du futur axe du barrage fait plus d'un kilomètre de large et est divisé en plusieurs bras, ce qui a également motivé le choix de concentrer le débit sur un seul bras (Bêche 2015).

Les peuplements piscicoles auront moins d'habitat disponible dans le TCC en période des basses eaux (83 ha au lieu de 400 ha).

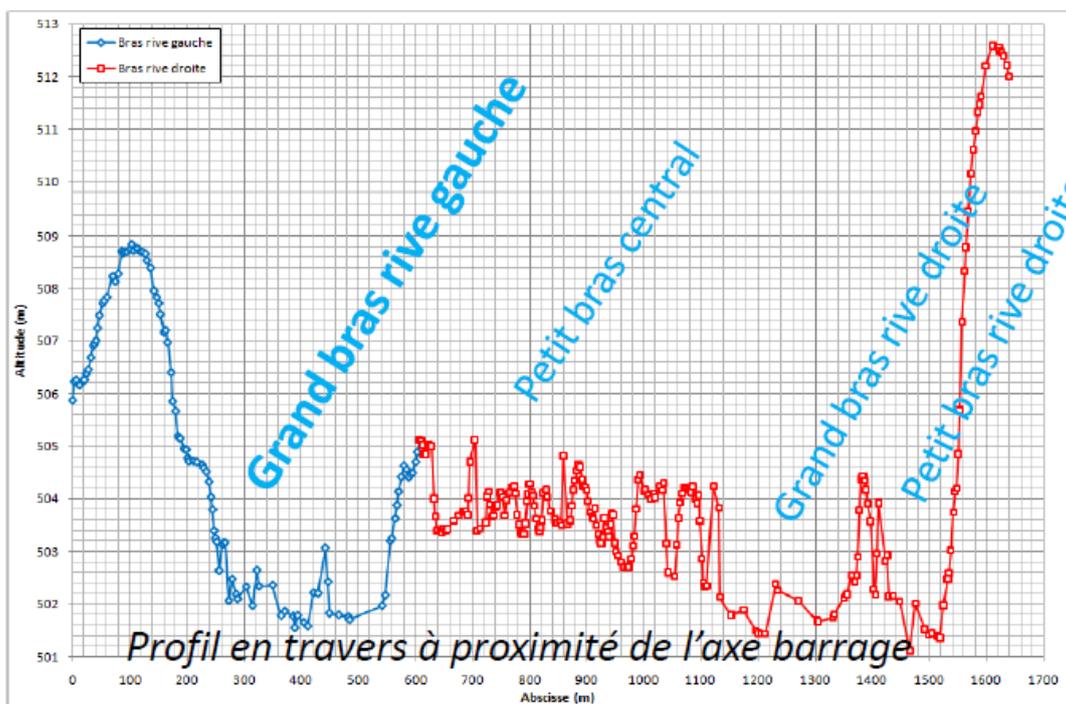


Figure 7. Profil en travers à proximité de l'ouvrage.

Les résultats des inventaires 2014 montrent une plus forte diversité et densité piscicole dans le grand bras rive gauche par rapport aux bras rive droite ; ces différences sont systématiques au fil de l'année. De plus, les bras droit de la Sanaga en aval immédiat du futur barrage sont partiellement émergés (mise à nu des affleurements rocheux, cf. Bitja-Nyom 2015) pendant l'étiage, réduisant davantage son attractivité en tant qu'habitat piscicole en cette période. Pour ces

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

raisons, l'alimentation en rive gauche du débit réservé devrait favoriser un maximum d'espèces (y compris les espèces rhéophiles). Les espèces « cibles » endémiques et/ou menacés (comme *Labeobarbus mbami*, *Chrysichthys longidorsalis* et *Sanagia velifera*, cf. §8.3) ont été échantillonnées dans le TCC (rive droite comme rive gauche) mais également en aval du TCC. Elles pourront donc bénéficier du débit réservé qui a pour objectif de minimiser la perte d'habitat en saison sèche.

Quelques sites de frayères d'espèces rhéophiles et inféodées au fleuve (*Labeo* spp) ont été identifiés le long du fleuve dans la zone d'étude y compris en rive droite du TCC. Des frayères identiques en termes de fonctionnalité ont également été identifiées en amont de la retenue et en aval du TCC. Ces espèces rhéophile se reproduisent pendant les crues ; l'utilisation des habitats de fraie en rive droite sera donc possible après la mise en service du Projet puisque les débits des hautes eaux ne seront pas modifiés de façon notable ni par Lom Pangar ni par Nachtigal amont.

D'autres espèces qui se reproduisent dans les affluents ne seront pas directement impactés par la perte d'habitat dans le TCC puisque leurs mouvements latéraux sont conditionnés par l'hydrologie (Lévêque et al. 2006) et notamment par la montée des eaux.

Altération de la qualité d'eau en aval

En ce qui concerne la qualité de l'eau, aucune modification majeure n'est attendue suite à la mise en eau du barrage (cf. ci-dessous et Descloux 2015). La baisse en oxygène dissous suite à la mise en eau de Nachtigal sera temporaire. Les habitats de la zone du TCC et en aval de la restitution ne seront pas donc impactés par des phénomènes d'anoxie.

Le transport sédimentaire (essentiellement composé de sable) sera également perturbé par la présence du barrage, ce qui pourrait impacter les peuplements piscicoles soit directement (perte d'habitat de fraie) soit indirectement (réduction de la production des proies invertébrés).

Actuellement des carrières de sable fluvial ont déjà exploité le stock disponible de sable dans la rivière et au vue des volumes extraits dans la région, il semble que le flux annuel d'apports en sédiments soit également exploité (Artélia 2014). La situation est déjà dégradée en termes de disponibilité de sable pour le maintien d'habitats piscicoles et invertébrés.

Avec la présence du barrage, les sables s'accumuleront en queue de retenue et ne passeront plus en aval (il est également probable qu'une carrière s'y installe). La plupart des sédiments viennent de l'amont du bassin de la Sanaga (Lom et Djerem) ; il semble donc que l'impact du barrage de Lom Pangar soit prépondérant sur les flux sédimentaires en aval, bien qu'il ne soit pas ressenti avant au moins 20 ans. Les affluents de la Moyenne Sanaga continueront à apporter des sédiments et sur le long-terme, l'impact de Nachtigal amont seul semble minoritaire face aux impacts des exploitations des carrières et du barrage de Lom Pangar.

Néanmoins des zones de frayère dans le fleuve en aval du barrage pourront être réduites suite à la mise en eau du barrage de Nachtigal amont (diminution des apports et activité accrue d'extraction de sable). Un suivi en aval des zones de frayères sableuses serait nécessaire pour vérifier cet impact.

10.2.2 HABITATS AMONT

La modification des habitats en amont du barrage vient de la création d'une retenue de 4,4 km². Cette retenue artificielle de taille relativement faible aura un temps de résidence très court (12 h maximum) et une profondeur maximale de 11 m (au pied du barrage). La faible densité de carbone (sous et hors sol), combiné avec les caractéristiques de la retenue (taille, profondeur, temps de résidence), indiquent que l'altération de la qualité de l'eau sera relativement mineure et de courte durée (Descloux 2015).

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Par conséquent, l'impact principal du barrage sur les habitats amont est la transformation d'un milieu lotique en milieu lentique, qui sera en revanche sur une surface relativement faible (<4,4 km² de retenue). L'impact de cette transformation a déjà été suffisamment traité dans l'EIES (2011) avec des compléments apportés par Bitja-Nyom (2015) ; la présente étude ne revient pas sur le détail de ces évaluations.

10.3 CONNECTIVITE ET MIGRATION PISCICOLE

La connectivité de la rivière est à considérer en quatre dimensions : longitudinale, latérale, verticale et temporelle (Ward 1989). Dans le cas du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont, la connectivité longitudinale sera principalement affectée alors que les autres formes de connectivité ne le seront pas du fait que le barrage ne modifiera pas l'hydrologie des hautes eaux (ni en débit ni en durée), ce qui assurera la connectivité latérale et verticale en aval du barrage.

En effet, le barrage de Nachtigal Amont créera une barrière infranchissable à la montaison et partiellement franchissable à la dévalaison (franchissable pendant la saison des hautes eaux, soit par les pertuis vannés soit par déversement). Cette barrière fragmente donc partiellement les habitats de la moyenne Sanaga entre l'amont et l'aval de l'aménagement.

En créant une barrière plus ou moins franchissable à la migration⁸ piscicole, les barrages ont le potentiel de réduire l'accès des poissons à des zones de reproduction ou d'alimentation, contribuer à la fragmentation des habitats ou modifier la fonctionnalité de ces zones, affectant ainsi la distribution des espèces piscicoles (cf. Reidy Liermann et al. 2012), sans pour autant que ce type d'impact soit généralisable (Branco et al. 2013).

Pour des espèces potamodromes, une compétition accrue pour des zones de fraie et d'alimentation peut apparaître (conséquence de la fragmentation et réduction de taille des habitats disponibles). Plus généralement, la fragmentation des habitats peut aussi contribuer à une perte de diversité génétique qui pourrait impacter aussi bien les poissons migrateurs que les poissons « résidents » ou non-migrateurs.

10.3.1 TYPES DE MIGRATION

L'impact de la rupture de connectivité longitudinale est censé avoir un impact décroissant pour les groupes d'espèces suivants : migrateurs diadromes, migrateurs potamodromes, non-migrateurs « résidents » (cf. Fullerton et al. 2010, Branco et al. 2012).

Pour les poissons d'eau douce, on peut distinguer deux types de migration : potamodrome (migrations au sein du milieu d'eau douce) ou diadrome (migrations entre un milieu marin ou estuarien et un milieu d'eau douce). Dans ce deuxième cas, il y a des migrations en lien avec la reproduction qui sont soit de type anadrome (allant de la mer vers l'eau douce) ou de type catadrome (allant de l'eau douce vers la mer). Il y a également des migrations amphidromes (entre milieux marins et continentaux) sans lien avec la reproduction. **De façon générale, les poissons effectuant des migrations de type anadrome ou catadrome sont rares en Afrique tropicale ; en revanche les espèces potamodromes sont nombreuses** (Lévêque et al. 2006). Compliquant encore plus la catégorisation du comportement migratoire, certains peuplements peuvent aussi être « partiellement migratoire », c'est-à-dire que seulement une portion du peuplement est migratoire (potamodrome) alors que les autres restent sédentaires ou n'effectuent que des mouvements locaux (e.g. Chapman et al. 2012, 2015 ; Broderson et al. 2014). Enfin, la plasticité dans le comportement migratoire des espèces potamodromes a été mise en évidence pour plusieurs espèces piscicoles face aux changements environnementaux, allant de la

⁸ La migration est définie par des mouvements d'un habitat à un autre par la plupart de la population.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

modification de la période de migration (e.g. Skov et al. 2010) à l'initiation ou à l'arrêt total des migrations (e.g. Skov et al. 2010, Sandlund et Jonsson 2014). D'autres études en milieu tropical (Amérique du Sud) témoignent également que la diversité des comportements migratoires est très importante, pouvant varier dans le temps (migration absente, vers l'amont, vers l'aval ou de façon latérale) entre les espèces mais aussi au sein d'une même espèce (e.g. Makrakis et al. 2012). En Afrique, la variabilité interannuelle des migrations latérales (en fonction des paramètres environnementaux dont l'hydrologie) a également été mise en évidence (Niare et Bénech 1998).

10.3.2 MIGRATIONS DIADROMES DANS LA SANAGA

Lors de différentes études réalisées (cf. §5) la présence de poissons effectuant une migration diadrome (entre la mer et la rivière) n'a pas été signalée à Nachtigal.

Puisque les barrages sur la Basse Sanaga (Edéa, Song-Loulou et éventuellement Song-Mbengue) bloquent toute migration potentielle venant de la mer ou de l'estuaire, il a été jugé nécessaire de déterminer la présence historique des poissons migrateurs euryhalins ou amphihalins dans la zone d'étude.

Les barrages de la Sanaga se situent sur des ruptures de pente naturelles (cf. profil en long de la Sanaga, ci-dessous). Les chutes d'Edéa (35 m de dénivelé sur 10 km) suivies par les rapides d'Herbert et les chutes de Song-Loulou (100 m de dénivelé sur 17 km dont 22 m pour les chutes de Song-Loulou) constituent les premiers obstacles naturels sur la partie inférieure du cours d'eau (Figure 8). En moyenne Sanaga, les chutes d'Eweng (7 m), de Kam (8 m), de Sakbayeme (10 m) reliées entre elles par une série de rapides ininterrompus dans la région de Sakbayeme se succèdent avant d'arriver aux rapides de Nachtigal.

Aucune information n'est actuellement disponible sur la franchissabilité de ces chutes avant la construction des barrages sur le tronçon aval ; par principe de précaution, on suppose que ces obstacles naturels étaient franchissables (au moins pendant la période des hautes eaux), bien que ce constat ne soit pas confirmé..

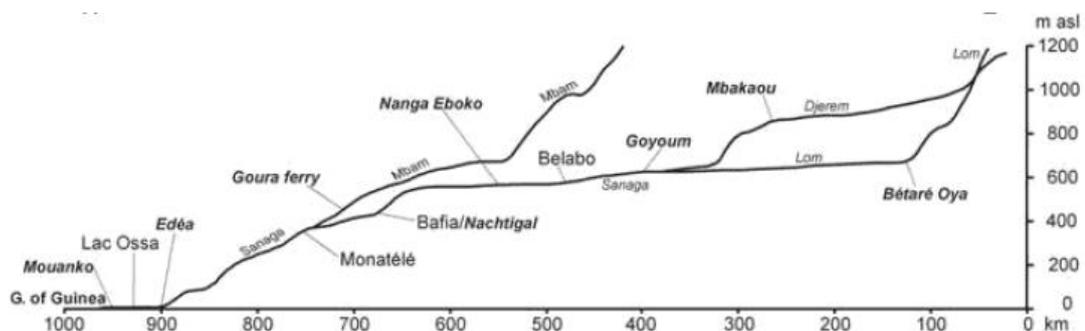


Figure 8. Profil en long de la Sanaga, extrait de Runge (2012).

Espèces euryhalines et amphihalines

Partant de la liste des espèces piscicoles de la Basse Guinée pouvant être rencontrées dans les zones estuariennes (soit de façon permanente, transitoire ou occasionnelle), leur présence et distribution dans le bassin de la Sanaga a été recherchée utilisant la base de données « Faunefri » (Paugy et al. 2008). Il convient de noter que toutes ces espèces ne sont pas forcément amphihalines mais sont susceptibles d'effectuer des migrations longitudinales pouvant être importantes (lien plus ou moins obligatoire avec l'estuaire).

Cet inventaire montre que plusieurs espèces euryhalines (de tolérance variable à la salinité) sont présentes dans la Sanaga, mais ces espèces ne remontent pas jusqu'à Nachtigal. De plus, aucune espèce effectuant des migrations de la mer vers le fleuve n'est signalée dans le bassin. En effet,

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

les espèces euryhalines signalées dans la Sanaga sont limitées dans leur distribution actuelle à l'aval d'Edéa.

Les informations recueillies indiquent qu'il n'y a pas de migrateur diadrome dans le bassin de la Sanaga qui soit présent en amont d'Edéa. En revanche, la construction du barrage d'Edéa a eu lieu dans les années 1940 et il y a eu très peu d'inventaires piscicoles antérieurs à cette date dans le bassin de la Sanaga. Par principe de précaution, l'écologie des poissons diadromes identifiés (*Pellonula* sp) dans d'autres fleuves côtiers est considéré afin d'identifier le potentiel naturel de migration au-delà d'Edéa.

Les deux espèces « d'alose » (*Pellonula vorax* et *Pellonula leonensis*, Clupeidae) sont présentes dans la Sanaga jusqu'au lac Osso vers Edéa pour le dernier alors que le premier semble être plutôt restreint à l'estuaire (pas de spécimen signalé en dehors de l'estuaire). Il n'y a pas d'obstacle entre l'estuaire et Edéa (le fleuve y est même navigable), et son absence en aval d'Edéa suggère la possibilité que *P. vorax* n'effectuait pas de migration importante en remontant le fleuve de la Sanaga avant la construction du barrage d'Edéa.

P. leonensis (une espèce euryhaline d'importance économique) peut effectuer des migrations de plus de 150 km dans le Cross River (bassin transfrontalier entre Nigeria et Cameroun), cf. Künzel et Löwenberg (1990). Dans ce bassin, *P. leonensis* utilise l'estuaire en tant qu'habitat d'alimentation, la reproduction et maturation des juvéniles ayant lieu dans les habitats d'eau douce en amont. Cette espèce fréquenterait l'estuaire uniquement quand la salinité y est faible (hautes eaux). *P. leonensis* peut s'adapter également à la vie lacustre et fait l'objet de pêcheries importantes dans les lacs artificiels (Lac Kainji, Lac Volta, Lac Kossou, etc). Dans ces lacs artificiels, des migrations potamodromes ne sont pas signalées. La distance entre Edéa et Nachtigal est environ 500 km. Compte-tenu les distances parcourues par *P. leonensis* dans le Cross River, il est possible mais pas certain que *P. leonensis* ait été présent un jour dans la zone de Nachtigal.

Il n'y a pas d'indication à travers les collections des muséums et publications qu'une autre espèce euryhaline ou amphihaline ait été présente dans la Moyenne Sanaga avant la construction des barrages.

Espèces d'eau douce

Parmi les espèces d'eau douce migratrices identifiées (cf. Tableau I), celle qui a été identifiée le plus en amont dans le bassin de la Sanaga serait *Chrysichthys nigrodigitatus* (contactée jusqu'à Belabo soit plus de 400 km en amont d'Edéa). Bien que pouvant fréquenter des estuaires au cours de sa vie (espèce euryhaline), cette espèce ne migre pas jusqu'à la mer.

Tableau I. Poissons de la Sanaga effectuant des migrations vers l'estuaire ou présents de façon occasionnelle (basé sur Whitfield 2007).

Famille	Genre	Espèce	Distribution dans la Sanaga ⁹	Captures dans zone d'étude (2014)
<u>Espèces d'eau douce occasionnellement rencontrées dans les estuaires</u>				
Alestiidae	<i>Brycinus</i>	<i>macrolepidotus</i>	Sanaga, Mbam, Djerem, Ndjim	Oui (très fréquent)
Cichlidae	<i>Hemichromis</i>	<i>guttatus</i>	pas présent dans la Sanaga	Non
	<i>Tilapia</i>	<i>mariae</i>	Edéa	Non
	<i>Tilapia</i>	<i>rendalli</i>	pas présent dans la Sanaga	Non
Clariidae	<i>Clarias</i>	<i>gariepinus</i>	pas présent dans la Sanaga	Oui (rare: 4

⁹ Selon Faunafri

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

				individus)
Claroteidae	<i>Chrysichthys</i>	<i>walkeri</i>	pas présent dans la Sanaga	Non
Hepsetidae	<i>Hepsetus</i>	<i>odoe</i>	en aval de Nachtigal, à la confluence avec le Mbam (Ebebda)	2 individus (Hepsetus sp.)
Schilbeidae	Schilbe	<i>mystus</i>	Sanaga, Mbam, Djerem, Ndjim	Oui (très commun)
<u>Migrants d'eau douce souvent rencontrés dans les estuaires</u>				
Alestiidae	<i>Brycinus</i>	<i>longipinnis</i>	Edéa	Non
Cichlidae	<i>Hemichromis</i>	<i>elongatus</i>	pas présent dans la Sanaga	Oui, taxonomie à confirmer
	<i>Sarotherodon</i>	<i>melanotheron</i>	aval Edéa/Dizangué	Non
	<i>Tilapia</i>	<i>guineensis</i>	aval Edéa/Dizangué	Non
Claroteidae	<i>Chrysichthys</i>	<i>nigrodigitatus</i>	jusqu'à Bélabo	Oui (assez fréquent)
Clupeidae	<i>Pellonula</i>	<i>leonensis</i>	Edéa	Non
	<i>Pellonula</i>	<i>vorax</i>	aval Edéa	Non
Dasyatidae	<i>Dasyatis</i>	<i>ukpam</i>	embouchure uniquement (Movanko)	Non
Gobiidae	<i>Chonophorous</i>	<i>lateristriga</i>	Edéa	Non
	<i>Sicydium</i>	<i>brevifile</i>	pas présent dans la Sanaga	Non
Poeciliidae	<i>Aplocheilichthys</i>	<i>spilauchen</i>	pas présent dans la Sanaga	Non

Compte-tenu que très peu d'espèces migratrices étaient potentiellement ou sont actuellement présentes dans la Basse et Moyenne Sanaga (cf. Tableau I), l'effet cumulatif des barrages de la Basse Sanaga et de Nachtigal semble être minimal. En revanche, un dispositif de suivi des espèces migratrices euryhalines est proposé (§12.2) en cas d'aménagement des ouvrages aval en dispositif de franchissement.

10.3.3 MIGRATIONS POTAMODROMES DANS LA MOYENNE SANAGA

Bien que toutes les sources soient d'accord sur la nature de la migration potamodrome (migration d'un habitat d'eau douce à un autre), certaines sources spécifient que pour être classifiée en tant que potamodrome, la migration doit être cyclique, prévisible et importante (> 100 km, cf. Froese et Pauly, 2015). Il semble que la classification des espèces dans la catégorie de potamodrome ne respecte pas toujours le critère de distance parcourue (cf. ci-dessous).

Parmi ces migrations potamodromes, on peut distinguer deux types différents (cf. Welcomme 1985) : les migrations longitudinales (qui sont pour la plupart d'entre elles associées à la reproduction) et les migrations latérales (qui sont généralement associées à l'alimentation mais peuvent également être associées à la reproduction). Les deux types de migration ont lieu généralement au début ou pendant la période des hautes eaux (crues) pour la phase de montaison ou d'éloignement du lit principal et à la décrue pour la phase de retour.

Les migrations potamodromes ont été beaucoup étudiées dans le delta du Niger, dans les systèmes du Lac Tchad, et du Lac Victoria ainsi que dans plusieurs autres lacs (en Afrique de centrale, de l'ouest et de l'est) et elles peuvent s'avérer être importantes (plusieurs centaines de km), (e.g. Welcomme 1985, Lévêque et al. 2006). Dans le cas de ces lacs, les migrations de montaison des rivières sont associées à la recherche des zones de reproduction en milieu lotique ; les juvéniles procèdent ensuite à une dévalaison vers le lac d'origine. Parmi les espèces

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

concernées par ces migrations on retrouve des représentants des genres *Alestes*, *Brycinus* (Alestidae), *Labeo*, *Barbus*, *Labeobarbus* (Cyprinidae), *Schilbe* (Schilbeidae), *Marcusenius*, *Mormyrus* (Mormyridae).

La documentation des migrations longitudinales en milieu uniquement fluvial est plus éparse pour l'Afrique tropicale ; la documentation existante concerne essentiellement des migrations de/vers des grands deltas ou estuaires (e.g. Welcomme 1985, Lévêque et al. 2006, Niare et Bénech, 1998).

Aucune publication n'a été recensée spécifiquement sur la migration potamodrome des espèces piscicoles dans la Sanaga. En revanche, la classification des espèces potamodromes par Reide (2004) ainsi que les informations supplémentaires de diverses publications sur la migration des mêmes espèces dans d'autres bassins hydrographiques peuvent être utilisées pour identifier les espèces potentiellement potamodromes dans la Sanaga.

En partant de la liste des 85 espèces présentes ou potentiellement présentes à Nachtigal (soit contactées dans l'étude 2014 soit signalées dans la littérature, cf. Bitja-Nyom 2015), un inventaire de leur comportement migratoire a été réalisé en s'appuyant sur Reide (2004) et les fiches espèces dans la base de données UICN (Liste Rouge) ainsi que la littérature scientifique. Les résultats complets sont présentés en Annexe I.

Cette compilation de données révèle que 20 espèces présentes ou potentiellement présentes dans la zone du Projet sont considérées « migratrices » (potamodromes) selon Reide (2004) dont 15 qui ont été contactées en 2014 (Bitja-Nyom 2015). Parmi ces 20 espèces, 13 sont considérées « migratrices » selon l'UICN et deux espèces non-identifiées par Reide (2004) sont signalées comme effectuant des migrations de fraie par l'UICN¹⁰. Bitja-Nyom (2015) a identifié également le comportement migratoire de 6 autres espèces, portant le total nombre d'espèces ayant un comportement potentiellement migratoire à 28 (sur 85), cf. Annexe I.

Le comportement migratoire des espèces n'est pas lié à son statut UICN (Tableau II). En effet, la grande majorité des espèces potentiellement migratrices sont classées « LC » (préoccupation mineure). Les résultats sont similaires quand l'endémicité des espèces est considérée : seulement deux des 28 espèces endémiques (10 endémiques au Sanaga, 18 endémiques au Cameroun) ont été identifiées potentiellement migratrices, il s'agit de *Labeobarbus mbami* (Cyprinidae, endémique à la Sanaga et au Mbam et EN) et *Sarotherodon galilaeus sanagaensis* (Cichlidae, endémique au Cameroun et LC). Il convient néanmoins de nuancer ces résultats car l'écologie de nombreuses espèces n'a pas encore été étudiée.

Statut (UICN)	Migrateur potentiel	Non-Migrateur (ou pas d'évidence)
Not evaluated (NE)	3	2
Data deficient (DD)	0	5
Least Concern (LC)	24	36
Near threatened (NT)	0	1
Vulnerable (VU)	0	5
Endangered (EN)	1	0

Tableau II. Migration piscicole et statut de conservation des espèces piscicoles dans la zone du Projet parmi les 85 espèces identifiées dans les captures ou la littérature dans la zone du projet (cf. Bitja-Nyom 2015). Les espèces ayant des problèmes taxonomiques ne sont pas incluses.

¹⁰ *Labeobarbus micronema*, qui a été signalée dans la zone d'étude par la bibliographie mais non-contactée en 2014.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Environ 68% de ces migrateurs effectuent des migrations latérales (ou latérales et longitudinales), essentiellement vers des tributaires et/ou des plaines d'inondation, 29% effectuent des migrations principalement longitudinales ; pour une espèce la nature du comportement migratoire n'est pas documentée (Tableau III). Cet inventaire de comportements migratoires n'est certainement pas exhaustif puisque le phénomène est encore relativement peu étudié dans les rivières d'Afrique centrale (Lévêque et al. 2006).

Type de migration	Nombre d'espèces	(%)
Latérale et longitudinale	8	(29%)
Latérale	11	(39%)
Longitudinale	8	(29%)
Pas documenté	1	(4%)

Tableau III. Type de migration cité dans la littérature pour les 28 espèces potentiellement migratrices dans la zone du Projet.

La prédominance des migrations latérales est confortée par les inventaires piscicoles qui mettent en évidence une variabilité saisonnière de l'abondance qui semble refléter un comportement de migration saisonnière du fleuve vers les affluents (espèces du groupe « ubiquiste »), cf. Figure 4.

En considérant le comportement migratoire par famille (Figure 9), certaines familles ont une proportion d'espèces migratrices plus importante que d'autres. Par exemple, 100% des six espèces de Claridae ont un comportement migratoire alors que seulement 22% des Cyprinidae ont un comportement migratoire connu.

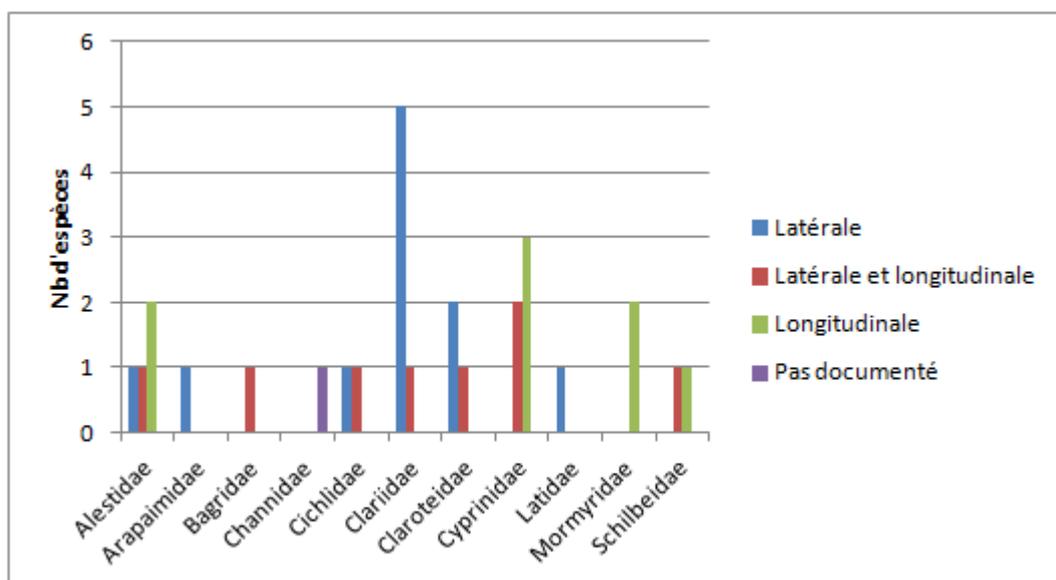


Figure 9. Nombre d'espèces (sur 77) dans chaque famille ayant un comportement migratoire avéré (Oui) ou pas (Non). Les 8 espèces mal-connus (problèmes taxonomiques) n'ont pas été incluses.

Considération de quelques espèces caractéristiques du site et/ou espèces cibles

Les spécificités de migration des espèces les plus abondantes (dans la zone du Projet), les familles ayant une proportion importante de migrateurs ainsi que espèces cibles (espèces à enjeu cf. §8.3) sont considérées afin de mettre en évidence la conséquence des impacts potentiels du Projet sur la migration piscicole.

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

Les deux espèces les plus abondantes dans la zone du Projet, *Alestes macrophthalmus* (Alestidae) et *Schilbe mystus* (Schilbeidae) sont classées en tant que potentiellement migratrices. Pour la première, *A. macrophthalmus* fréquente aussi bien des habitats en rivière qu'en lac et la migration latérale vers des plaines d'inondation mise en évidence par certains auteurs (cf. UICN) semble être facultative car non mise en évidence dans certains lacs (Bowmaker 1969). *S. mystus* semble également posséder des capacités d'adaptation remarquables qui lui permettent de s'épanouir dans des milieux lacustres, fluviaux et estuariens (cf. §10.3.2), mais des migrations semble avoir lieu dans chaque milieu. Les migrations observées sont longitudinales quand *S. mystus* est en milieu lacustre (cf. Munro 1990) ou estuarien, mais sont latérales et/ou longitudinales (vers des tributaires) en milieu fluvial (UICN).

Les six espèces de Claridae (genre *Clarias*) présentes sur la Sanaga ont toutes un comportement migratoire essentiellement latéral, vers des zones latérales inondées (herbiers, plaines) pour la fraie et/ou pour l'alimentation. La migration est enclenchée en début de la saison des pluies, comme la grande majorité des espèces migratrices dans les fleuves tropicaux africains.

Parmi les Claroteiidae, on peut citer notamment *Chrysichthys nigrodigitatus* (LC) comme étant migratrice, bien qu'elle soit moins abondante que sa congénère (*C. auratus*) dans la zone du Projet. Elle est également indiquée par Whitfield (2007) comme étant une espèce euryhaline et qui a visiblement une distribution assez large dans le bassin de la Sanaga (allant jusqu'à Belabo). Dans la Cross River, *C. nigrodigitatus* migrent du fleuve vers les plaines d'inondation (zones herbées), en eau douce pour la reproduction mais les distances parcourues sont relativement faibles. Une dévalaison a ensuite lieu des juvéniles et adultes vers l'estuaire, cf. Ayotunde et Ada (2013). *C. auratus*, en revanche effectuent plutôt des migrations pendant les hautes eaux vers les zones inondées (Tiané et Bénech 1998). Aucune information particulière sur la migration de *C. longidorsalis* (VU et relativement rare) n'est disponible, mais compte-tenu de sa distribution relativement limitée dans la partie amont des bassins, il semble probable que cette espèce ait un comportement migratoire proche de celui de *C. auratus*.

Parmi les 24 espèces de Cyprinidae dans la zone du Projet on note que seulement 5 ont un comportement migratoire documenté mais d'autres espèces dans les genres *Labeo* et *Barbus* pourraient également avoir un comportement migratoire (cf. Skelton et al. 1991 qui indique que c'est principalement les grands *Barbus* et les Labeines dont *Labeo* et *Labeobarbus* qui effectuent des migrations de reproduction). La plupart des observations publiées de comportement migratoire de ces Cyprinidae concernent des migrations des lacs vers des rivières pendant la période de reproduction (e.g. Bénech et Quensièrre 1985) ou alors des migrations vers des zones d'inondation (e.g. Bénech et Penaz, 1995). En dehors des situations lacustres, des migrations longitudinales d'importance n'ont pas encore été identifiées chez les cyprinidés africains.

Labeobarbus mbami, espèce classée en danger d'extinction (EN) est présente dans la zone du Projet bien que cette zone semble représenter la limite supérieure de sa distribution dans la Sanaga ; sa distribution principale étant dans le bassin du Mbam (Bitja-Nyom 2015). Cette espèce, comme toutes les *Labeobarbus* est considérée comme migratrice. En revanche, aucune documentation publiée n'a pu être trouvée sur cette espèce spécifiquement et les experts associés à son classement n'étaient pas en mesure de fournir des informations permettant de mieux comprendre ces phénomènes (cf. Bitja-Nyom 2015). Les migrations des *Labeobarbus* les plus connues dans la littérature scientifique correspondent à celles réalisées par le complexe de 16 (ou 17) espèces endémiques du Lac Tana en Ethiopie. Là, les *Labeobarbus* effectuent des migrations du Lac vers des tributaires allant jusqu'à 50 km (e.g. Anteneh et al. 2012). En milieu fluvial, la documentation des migrations est plus éparse. Une autre espèce de *Labeobarbus* endémique au Cameroun (*L. batesii*) effectuent des migrations du fleuve vers des zones inondées des tributaires dans la plaine d'inondation du Mbô (Tiogué et al. 2013). Sans d'autres données à l'appui, il semble

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

raisonnable que *L. mbami* réaliserait des migrations similaires (du fleuve vers des tributaires), comme indiqué dans la fiche UICN. En revanche, aucune évidence de migration longitudinale considérable ne peut être mise en avant.

La dévalaison

La migration de l'amont vers l'aval du fleuve ou des tributaires vers le fleuve concerne des juvéniles mais également des adultes après la fraie. Le Projet pourrait impacter la dévalaison des individus de l'amont du réservoir vers l'aval en créant une barrière à ces mouvements mais également en introduisant une source supplémentaire de mortalité liée au passage potentiel dans les turbines. Cette mortalité dépend du comportement du poisson mais également de la répartition du débit entre les différentes voies de sortie de l'aménagement (canal usinier, pertuis vannés, déversoir, cf. Figure 10 dans Annexe 2). L'analyse de cette mortalité est étudiée en plus de détail en Annexe 2. La mortalité dans les turbines (ayant les caractéristiques décrites en §5) varie de 7 à 92% (fusiforme) ou de 39 à 48% (anguilliforme) en fonction de la taille du poisson. La majorité de la dévalaison a lieu probablement après la fraie pendant la période des hautes eaux, ce qui favoriserait le passage des poissons en dévalaison par d'autres exutoires qui présenteraient une mortalité plus faible. Il faut également supposer que les conditions lenticules dans le réservoir (longueur d'environ 4 km) dissuaderait la dévalaison des poissons jusqu'au barrage. Soit les espèces trouveraient des habitats convenables dans la retenue (espèces adaptées aux milieux plutôt lenticules), soit elles s'arrêteraient dans des habitats lotiques amont convenables à leur développement.

Conclusion

La plupart des espèces présentes ou potentiellement présentes dans la zone d'étude n'ont pas un comportement migratoire avéré et aucune migration diadrome historique n'a été détectée jusqu'à Nachtigal selon les collections des muséums.

Parmi les espèces potamodromes, toutes réalisent leur migration en période de hautes eaux pour des raisons de reproduction principalement (bien que l'alimentation des juvéniles peut également être concernée). En aval du barrage, le Projet ne modifiera pas l'hydrologie des hautes eaux et de ce fait, la migration soit dans le fleuve vers des sites de reproduction convenables (ex. *Labeo*, cf. Bitja-Nyom 2015) soit vers des tributaires (beaucoup d'espèces concernées) pourra continuer de se réaliser.

Comme mis en évidence pour les différentes espèces citées ci-dessus, il existe une diversité dans les comportements migratoires même au sein d'une seule espèce, par exemple des différences de comportement entre milieux lacustres, fluviaux ou estuariens ou bien l'adaptation rapide des espèces à un comportement migratoire diadrome à un comportement sédentaire (ex : *Pellonula leonensis* en milieu lacustre). Ces variations comportementales indiquent un niveau de plasticité très élevé du comportement migratoire dans les fleuves tropicaux qui contraste avec les migrations obligatoires des espèces amphihalines les plus connues (saumon, anguille, aloses).

En revanche, la déconnexion des peuplements amont et aval de la même espèce ayant une distribution de part et d'autre du barrage pourrait contribuer à une fragilisation des peuplements (brassage génétique réduit). Aucune espèce n'est endémique à la Moyenne Sanaga ce qui suggère qu'un brassage des populations amont et aval a déjà eu lieu. Ce brassage pourra continuer avec le barrage de Nachtigal dans les deux secteurs amont et aval.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

11. IMPACTS RESIDUELS DU PROJET

Les impacts résiduels de la phase construction (après mise en œuvre des meilleurs techniques disponibles pour éviter et réduire les impacts du chantier) sont considérés comme mineurs et temporaires par rapport aux peuplements piscicoles.

Les impacts résiduels du Projet de la phase exploitation sont :

- La réduction d'habitat disponible dans le TCC en dehors des périodes de hautes eaux ;
- La réduction d'habitat disponible (fraie) liée à la perturbation de la continuité sédimentaire (cet impact est principalement lié au Barrage de Lom Pangar et à l'exploitation des sablières) ;
- La modification de l'habitat résultant de la modification hydrologique en dehors des périodes de hautes eaux. Le débit réservé permet de réduire cet impact mais pas complètement l'éviter. En particulier, l'efficacité de la mesure et le gain escompté dû au débit réservé pour les peuplements piscicoles n'a pas pu être démontrée a priori ;
- La perturbation potentielle de la migration piscicole locale sur l'axe du barrage et les conséquences associées.

Les impacts en amont du barrage (modification de l'habitat) sont considérés comme relativement faibles puisque la retenue est de petite taille et puisque la qualité de l'eau ne sera pas modifiée pour les espèces pouvant s'adapter à un milieu plus lentique. Les mesures citées ci-dessous permettront néanmoins de contrebalancer des effets négatifs potentiellement ressentis en amont de la retenue par des peuplements piscicoles.

12. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT ET COMPENSATOIRES

Les mesures d'accompagnement et compensatoires proposées par rapport aux impacts résiduels identifiés en §11 sont de trois types :

- Mesures de restauration des habitats ;
- Mesures de suivi (des impacts du Projet et de l'efficacité des mesures de restauration) ;
- Mesures d'amélioration des connaissances.

12.1 RESTAURATION DES TRIBUTAIRES AMONT ET AVAL

Plusieurs auteurs mettent en évidence l'importance des tributaires dans la conservation de la biodiversité des grandes rivières tropicales (aménagées ou pas) puisque ces milieux jouent un rôle fondamental pour les phases de reproduction et parfois de croissance des juvéniles (e.g. Makrakis et al. 2012, Pracheil et al. 2009, 2013).

Pour la Moyenne Sanaga, l'importance des tributaires semble également forte : la plupart des espèces migratrices semble utiliser les tributaires ou des zones marginales du fleuve pour la reproduction. Or, plusieurs affluents dans la zone étudiée semblent être dans une situation dégradée (Bitja-Nyom 2015), probablement en lien avec le développement de l'agriculture et parfois de l'industrie qui apporte des modifications de l'habitat (physique et chimique) réduisant la qualité des habitats des affluents pour les peuplements piscicoles.

Ces affluents dégradés ont une fonctionnalité réduite dans l'état actuel pour les peuplements piscicoles, ce qui est témoigné par la plus faible abondance et richesse spécifique dans ces stations. A noter qu'en ce qui concerne spécifiquement les affluents amont influencés par des

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

activités agro-industrielles, un travail collaboratif sera nécessaire pour identifier les pistes d'amélioration de la qualité de l'eau permettant une vie piscicole saine et pérenne. Les affluents étant qualifiés en plutôt bon état voient leur abondance et richesse augmentées de façon significative (Bitja-Nyom 2015, Annexe 3).

Vue l'importance de ces milieux pour la reproduction et croissance des poissons et l'impact résiduel du PHNA sur la migration piscicole amont-aval (réduisant l'accès à certains affluents de l'amont pour les peuplements en aval), il semble pertinent d'envisager des actions d'amélioration de la qualité de l'habitat des affluents aussi bien en aval de l'aménagement qu'en amont. Ces actions permettront ainsi d'augmenter l'attractivité et la capacité d'accueil de ces zones. Cette mesure est présentée et chiffrée dans le Plan d'Actions Biodiversité (Artélia 2015).

En annexe 3, les principaux affluents amont et aval dans la zone d'étude sont présentés ainsi que quelques caractéristiques physiques et biologiques sommaires. Cette analyse sommaire propose quelques affluents pouvant être intéressants pour des mesures de restauration. Cependant, des études plus approfondies seront nécessaires pour identifier les affluents et les habitats pouvant faire l'objet des mesures de restauration physique et d'amélioration de la qualité physico-chimique des eaux. Pour ce faire, il est proposé de réaliser une thèse doctorale sur l'écologie des poissons et la restauration des affluents dans la Moyenne Sanaga.

La thèse permettrait de mettre en évidence la fonctionnalité actuelle des affluents (en tant que frayères, zones d'alimentation) et proposer un plan d'actions pour la mise en place de cette mesure compensatoire.

Concrètement la thèse se découpera en deux volets :

Un volet écologique

Objectif : identifier les causes et les conséquences de la dégradation actuelle des habitats de poissons dans les affluents.

Thèmes abordés :

- Caractérisation de l'habitat physique (hydromorphologie) et physico-chimique des principaux affluents (avec un suivi de la qualité des eaux et identification des polluants potentiels provenant de l'agriculture, industrie, etc.
- Identification de l'utilisation de ces affluents par les peuplements piscicoles : étude des relations trophiques, régimes alimentaires, de la variabilité temporelle et spatiale de l'utilisation des tributaires (ex : cartographie des frayères et leurs caractéristiques physiques).

Un volet systématique

Objectif : identifier les espèces présentes dans les affluents ayant des problèmes taxonomiques ou étant nouvelles pour la science (cf. Bitja-Nyom 2015) pour mieux comprendre leur écologie et la composition des communautés.

Il est estimé que la mise en œuvre de cette mesure (amélioration des connaissances et plan d'actions pour la restauration des affluents) nécessitera deux étudiants Master's (un sur la systématique des poissons et un sur l'écologie trophique des poissons) pour appuyer le doctorant.

12.2 SUIVIS ECOLOGIQUES

Il est proposé que l'impact du barrage de Nachtigal soit suivi en commençant avant la mise en eau de Nachtigal afin de disposer d'un état initial après la mise en eau de Lom Pangar (les inventaires 2014 étant réalisés avant).

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Les suivis devraient se focaliser aussi bien sur les peuplements piscicoles (richesse, diversité, PUE¹¹, croissance, condition physiologique et RGS¹²) que sur l'habitat (caractéristiques physico-chimiques et cartographie des faciès, zones de frayères). En termes de fréquence, le suivi devrait permettre d'identifier les variations saisonnières (a minima une campagne par saison). Ces paramètres pourront être comparés avec l'état initial (la présente étude et l'état initial après mise en eau Lom Pangar) afin de déceler d'éventuels impacts de l'aménagement sur la composition et la structure des peuplements. En termes de stations, il convient de suivre les peuplements dans et en amont de la future retenue, dans le TCC (rive gauche lors de toutes les saisons et rive droite en saison des hautes eaux) et en aval de la restitution.

Un suivi des frayères dans le fleuve en aval du barrage (cf. celles identifiées pour les *Labeo* spp, Bitja-Nyom 2015) permettrait de détecter d'éventuels impacts de la modification du transport sédimentaire sur l'habitat piscicole en aval et proposer des mesures d'amélioration de cet habitat aval si un impact est avéré.

Il est également proposé que le suivi des peuplements et de l'habitat piscicole du fleuve soit complété par une étude approfondie de l'utilisation des affluents par les poissons (cf. 12.1).

Une fois les actions de restauration des affluents définies (cf. §12.1) et mises en œuvre, un suivi adapté aux mesures entreprises sera réalisé afin de vérifier l'efficacité des mesures.

Enfin, si les barrages sur la basse Sanaga (Edéa, Song-Loulou, ...) sont équipés d'aménagements de franchissement piscicoles, un suivi des poissons en aval du barrage de Nachtigal est proposé afin d'identifier la présence d'éventuels migrateurs et leurs besoins de migration longitudinale. En cas de migration avérée, des mesures pourraient être prises pour faciliter leur passage vers l'amont (transport, ...).

12.3 AMELIORATION DES CONNAISSANCES

Afin de mieux caractériser les enjeux piscicoles sur la Moyenne Sanaga, certaines actions d'amélioration des connaissances (mesures d'accompagnement) sont proposées.

Un certain nombre d'espèces de poissons identifiés dans les inventaires 2014 ont des problèmes taxonomiques avérés ou sont mal-connues voire non-décrites (Bitja-Nyom 2015). Ce manque de connaissance sur la systématique des poissons freine l'acquisition des connaissances écologiques et la caractérisation des enjeux de protection de la biodiversité. Il est donc proposé de mener des études complémentaires sur la systématique de certains taxons (e.g. *Labeo* sp. 1 et 2, *Mormyrops* spp. « mouthmouth », etc) dans le cadre de la thèse « affluents » proposée ci-dessus (§12.1).

La thèse « affluents » sera également l'opportunité d'étudier le rôle des tributaires dans la dynamique des peuplements piscicoles dans un fleuve d'Afrique centrale.

Suite aux résultats sur l'utilisation des affluents et des zones avales en période de reproduction par les différentes espèces, des études ciblées pourraient être proposées pour vérifier la nature et caractéristiques des déplacements piscicoles (radiopistage, isotopes stables, ...).

13. CONCLUSION

Les impacts résiduels du projet après la mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction concernent principalement la modification des habitats aval et la perturbation potentielle de la migration piscicole (encore mal décrite).

¹¹ Prise par unité d'effort (kg/unité d'effort)

¹² Rapport gonado-somatique, un indice qui permet d'identifier la période d'activité reproductrice des espèces

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Les mesures d'accompagnement, de compensation et les suivis associés ont été identifiés afin de vérifier que le Projet a un impact neutre voir positif (restauration des affluents) sur la biodiversité piscicole de la Moyenne Sanaga.

14. REFERENCES

- [1] AECOM/SOGREAH, (2011). Projet hydroélectrique de Nachtigal : Mise à jour de l'Etude d'Impact Environnemental et Social.
- [2] Artélia (2014). Barrage de Nachtigal : Expertise de l'impact sédimentaire sur la rivière Sanaga. Réf : 8210345, 05/2015.
- [3] Artélia (2015). Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont : Elaboration du Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) détaillé : Lot 2A – Plan d'actions biodiversité (PAB).
- [4] Ayotunde, E.O., Ada, F.B. (2013). Silver Catfish *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepède, 1803), an endangered fish species in Cross River, Cross River state, Nigeria. International Journal of Agricultural Science Research 2(3) : 83-89.
- [5] Bêche, L. (2015). Note d'aide à la décision relative au débit réservé du projet. 16/11/2015. IH.NACHT-DEV.ES-DD.00025D.
- [6] Bénech, V., Penaz, M. (1995). An outline on later fish migrations within the Central Delta of the Niger River, Mali. Hydrobiologia 303 : 149-157.
- [7] Bénech, V., Quensièrre, J. (1985). Stratégies de reproduction des poissons du Tchad en période 'Tchad normal' (1966-1971). Revue d'Hydrobiologie Tropicale 18 : 227-244.
- [8] Bilotta, G.S, Brazier, R.E., (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water Research 42 : 2849-2861.
- [9] Bitja-Nyom, A.R. (2015). Projet hydroélectrique de Nachtigal amont : état initial des peuplements piscicoles. Rapport final. IH.NACHT-DEV.RAPP-ES.00007A, 03/04/2015.
- [10] Bowmaker, A.P. (1969). Contribution to knowledge of the biology of *Alestes macropthalmus* Gunther (Pisces : Characidae). Hydrobiologia 33(3) : 302-341.
- [11] Branco, P., Segurado, P., Santos, J.M., Pinheiro, P., Ferreira, M.T. (2012). Does longitudinal connectivity loss affect the distribution of freshwater fish ? Ecological Engineering 48 : 70-78.
- [12] Brönmark, C., Hulthén, K., Nilsson, P.A., Skov, C., Hansson, L.-A., Brodersen, J. Chapman, B.B. (2013). There an back again : migration in freshwater fishes. Canadian Journal of Zoology 92(6) : 467-479.
- [13] Darwall, W., (2013). Freshwater Biodiversity and Protected Areas in Africa: a Gap Analysis. Accessed through the Global Freshwater Biodiversity Atlas (atlas.freshwaterbiodiversity.eu) on 29/10/2015.
- [14] Descloux, S. (2015). Intérêt d'un retrait de la végétation aérienne dans l'emprise du réservoir du Nachtigal. 11/2015. IH.NACHT-DEV.ES-DD.00029D.
- [15] ECOGEA (2010). Evaluation de la mortalité cumulée des anguilles passant par les turbines au Gave de Pau.
- [16] Froese, R., Pauly, D. Eds., (2015). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (08/2015).

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

- [17] Künzel, T., Löwenberg, U. (1990). Studies on the population dynamics of *Pellonula leonensis* (Clupeidae) in the Cross River, Nigeria. *Fishbyte* 8(1) : 8-12.
- [18] Larinier, M., (2001) dans Marmulla, G. (ed.) Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries Technical Paper. No. 419. Rome, FAO. 2001. 166p.
- [19] Larinier, M., Dartiguelongue, J. (1989). *Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, N°312-313.
- [20] Lévêque, C. Paugy, D., Duponchelle, F. (2006). La reproduction. *dans* : Lévêque, C. Paugy, D. (Eds). (2006). *Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie, utilisation par l'homme*. IRD Editions.
- [21] Lévêque, C. Paugy, D. (Eds). (2006). *Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie, utilisation par l'homme*. IRD Editions.
- [22] Lucas, M.C., Baras, E. (2001). *Migration of freshwater fishes*. Blackwell Science, Oxford.
- [23] Makrakis, M.C., Miranda, L.E., Makrakis, S., Fontes Junior, H.M., Morlis, W.G., Dias, J.H.P., Garcia, J.O. (2012). Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. *Journal of Fish Biology* 81 : 866–881.
- [24] Munro, A.D. (1990). Tropical freshwater fish. *dans* : Munro, A.D., Scott, A.P., Lam, T.J. (Eds). *Reproductive Seasonality in Teleosts : Environmental Influences*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- [25] Newcombe, C.P., MacDonald, D.D., (1991). Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North Am. J. Fish. Manage.* 11, 72–82.
- [26] Niare, T., Benech, V., (1998). Between-year variation of lateral fish migrations in the Inner Delta of the River Niger (Mali, West Africa). *Italian Journal of Zoology* 65 (suppl) : 313-319.
- [27] Paugy D., Zaiss R., Troubat J.J., (2008). "Faunafri". World Wide Web electronic publication. <http://www.poissons-afrique.ird.fr/faunafri/>, version (10/2015).
- [28] Pracheil, B.M., Pegg, M.A., Mestl, G.E. (2009). Tributaries influence recruitment of fish in large rivers. *Ecology of Freshwater Fish* 18 : 603–609.
- [29] Pracheil, B.M., McIntyre, P.B., Lyons, J.D. (2013). Enhancing conservation of large-river biodiversity by accounting for tributaries. *Frontiers in Ecology and Environment* 11(3): 124–128.
- [30] Reidy Liermann, C., Nilsson, C., Roberston, J., Ng, R.Y. (2012). Implications of dam obstruction for global freshwater diversity. *BioScience* 62(6) : 539-548.
- [31] Runge, J., ed (2012). *Landscape evolution, neotectonics and quaternary environmental change in southern Cameroon*. CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton, FL, USA.
- [32] Sandlund, O.T., Jonsson, B. (2014). Life history plasticity : migration ceased in response to environmental change ? *Ecology of Freshwater Fish* DOI :10.1111/eff.12204.
- [33] Skelton, P.H., Tweedle, D., Jackson, P.B.N. (1991) *Cyprinids of Africa* dans *Cyprinid fishes : systematics, biology and exploitation*, Winfield I.J. et Nelson, J.S., (eds). Thomas Press, India.
- [34] Skov, C., Aarestrup, K., Gaktoft, H., Brodersen, J., Brönmark, C., Hansson, L-A., Nielsen, E.E., Nielsen, T., Nilsson, P.A. (2010). Influences of environmental cues, migration history and habitat familiarity on partial migration. *Behavioral Ecology* 21(6) : 1140-1146.

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

- [35] Stiasny, M.L.J., Teugels, G.G., Hopkins, C.D. (Eds). Poissons d'eaux douces et saumâtres de basse Guinée, ouest de l'Afrique centrale. Vol.1 et Vol. 2. IRD Editions.
- [36] Tiogué, C.T., Tomedi, M.T.E., Tchoumboué, J. (2013). Reproductive strategy of *Labeobarbus batesii* (Boulenger, 1903)(Teleostei: Cyprinidae) in the Mbô Floodplain Rivers of Cameroon. International Journal of Zoology (Article ID 452329).
- [37] Welcomme R.L., (1985). River fisheries. Rome, FAO, Fisheries Technical Paper, 262, 330 p.
- [38] Whitfield, A.K. (2007). Espèces piscicoles associées aux estuaires. Dans : Stiasny, M.L.J., Teugels, G.G., Hopkins, C.D. (Eds). Poissons d'eaux douces et saumâtres de basse Guinée, ouest de l'Afrique centrale. Vol.1. IRD Editions.

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

ANNEXE 1 : SYNTHÈSE DES DONNÉES SUR LA MIGRATION PISCICOLE

Famille	Espèce	E ¹³	Abond (%) ¹⁴	Distribution spatiale	UICN Liste rouge	UICN migration	GROMS ¹⁵	Type de Migration ¹⁶	Description
	<i>Alestes macrophthalmus</i>		17.96	ubiquiste	LC	Migration de fraie	--	Latérale	dans les plaines d'inondation (obs au Tchad)
Alestidae	<i>Brycinus macrolepidotus</i>		4.34	ubiquiste	LC	--	Oui	Latérale et longitudinale	obs River Jamieson (Nigeria)
	<i>Hydrocynus forskalii</i>		1.79	ubiquiste	LC	Migratoire	Oui	Longitudinale	du lac vers les tributaires (Lac Kariba)
	<i>Hydrocynus vittatus</i>		0.12	fleuve	LC	Migratoire	Oui	Longitudinale	vers les petits affluents
	<i>Phenacogrammus major</i>	C	3.66	affluents	LC	--	--	--	
Amphiliidae	<i>Doumea sanaga</i>	S	0.14	ubiquiste	LC	--	--	--	
Bagridae	<i>Bagrus docmak</i>		0.49	ubiquiste	LC	--	--	Latérale et longitudinale	fraie dans des zones rocheuses des affluents (Bitja-Nyom 2015)
Channidae	<i>Parachanna obscura</i>		0.56	ubiquiste	NE	--	Oui	Pas documenté	
	<i>Hemichromis cf elongatus</i>		3.31	ubiquiste	LC	--	--	--	
Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	I	0.12	ubiquiste	NE	--	Oui	Latérale et longitudinale	
	<i>Tilapia camerounensis</i>	S	0.49	ubiquiste	LC	--	--	--	
	<i>Clarias buthupogon</i>		1.26	ubiquiste	LC	Migratoire	Oui	Latérale	reproduction dans des herbiers peu profonds (saison des pluies)
Clariidae	<i>Clarias camerounensis</i>		1.42	ubiquiste	LC	--	--	Latérale	vers des marais/plaines d'inondation
	<i>Clarias gariepinus</i>	I	0.17	ubiquiste	LC	Non-migratoire	Oui	Latérale	vers les plaines d'inondation
	<i>Clarias jaensis</i>		0.22	affluents	LC	--	--	Latérale	vers les plaines d'inondation (alimentation/fraie)
	<i>Clarias pachynema</i>		1.29	affluents	LC	--	--	Latérale	vers les plaines d'inondation (feeding/spawning)

¹³ Endémicité : Sanaga (S) et/ou Cameroun (C) ou Introduit (I)¹⁴ Abondance relative moyenne (%) sur tous les échantillons¹⁵ Selon Reide (2004)¹⁶ Selon UICN ou littérature scientifique

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

	<i>Anaspidoglanis macrostoma</i>		0.49	affluents	LC	--	--	Latérale	juvéniles présents dans les zones d'inondation (UICN) -> migration supposée
Claroteidae	<i>Chrysiichthys auratus</i>		5.73	fleuve	LC	--	Oui	Latérale et longitudinale	comportement migratoire pas documenté, probablement latérale et longitudinale. Espèce euryhaline.
	<i>Chrysiichthys longidorsalis</i>	S	0.51	fleuve	VU	--	--	--	
	<i>Chrysiichthys nigrodigitatus</i>		1.59	fleuve	LC	Migratoire	Oui	Latérale	plaines d'inondation végétalisées (Ayotundé et Ada, 2013)
	<i>Barbus aspilus</i>	C	0.53	affluents	LC	--	--	--	
	<i>Barbus guirali</i>	C	0.74	affluents	LC	--	--	--	
	<i>Barbus martorelli</i>	C	6.24	affluents	LC	--	--	--	
	<i>Labeo nunensis</i>	S	0.31	fleuve	LC	--	--	--	
	<i>Labeo sanagaensis</i>	S	2.32	ubiquiste	LC	--	--	--	
	<i>Labeobarbus mbami</i>	S	0.16	ubiquiste	EN	Migratoire	Oui	Latérale et longitudinale	vers des forêts inondées (UICN)
	<i>Opsaridium ubangiense</i>		0.84	affluents	LC	Migratoire	Oui	Longitudinale	vers l'amont pour la fraie (UICN); données 2014 ne supportent pas cette assertion
Cyprinidae	<i>Raiamas senegalensis</i>		1.33	ubiquiste	LC	--	Oui	Latérale et longitudinale	comportement migratoire pas documenté dans la littérature, probablement latérale et longitudinale (cf. autres espèces du même genre). Espèce euryhaline.
	<i>Sanagia velifera</i>	C	0.26	fleuve	NT	--	--	--	
	<i>Varicorhinus fimbriatus</i>	S	0.22	ubiquiste	LC	--	--	--	
	<i>Varicorhinus mariae</i>	C	0.5	ubiquiste	LC	--	--	--	
Mochokidae	<i>Synodontis rebeli</i>	S	2.93	ubiquiste	DD	--	--	--	
	<i>Campylomormyrus phantasticus</i>		0.61	fleuve	LC	--	--	--	
Mormyridae	<i>Hippopotamyrus castor</i>	C	0.35	fleuve	LC	--	--	--	
	<i>Marcusenius moorii</i>		0.52	affluents	LC	--	--	--	
	<i>Marcusenius sanagaensis</i>	S	1.33	ubiquiste	VU	--	--	--	

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

	<i>Mormyrops anguilloides</i>		0.34	fleuve	LC	Migratoire	Oui	Longitudinale	
	<i>Mormyrus macrophthalmus</i>		0.13	fleuve	LC	Migratoire	Oui	Longitudinale	
	<i>Mormyrus tapirus</i>		0.71	fleuve	LC	Non-migratoire	--	--	
	<i>Paramormyrops kingsleyae</i>		0.49	affluents	DD	--	--	--	
	<i>Petrocephalus similis</i>	S	2.62	ubiquiste	NE	--	--	--	
	<i>Schilbe cf intermedius</i>		3.37	ubiquiste	LC	Migratoire	Oui	Longitudinale	des lacs vers la rivière (fraie)
Schilbeidae	<i>Schilbe mystus</i>		25.87	ubiquiste	LC	Migratoire	Oui	Latérale et longitudinale	vers les tributaires et dans les plaines d'inondation
Claroteidae	<i>Anaspidoglanis sp</i>		0.18						
Cyprinidae	<i>Labeo sp1</i>		0.21						
Hepsetidae	<i>Hepsetus sp "microlepis"</i>		0.18						
Mochokidae	<i>Synodontis sp</i>		0.18						
Mormyridae	<i>Mormyrus sp</i>		0.24						
Espèces rares (<= 1% abondance relative)									
Arapaimidae	<i>Heterotis niloticus</i>	I	0.01	fleuve	LC	--	--	Latérale	mouvements locaux; reproduction dans des marais/plaines d'inondation
Cichlidae	<i>Sarotherodon galilaeus sanagaensis</i>	C	0.05	ubiquiste	NE	--	Oui	Latérale	mouvements locaux; reproduction dans des plaines d'inondation probable
Clariidae	<i>Heterobranchus longifilis</i>		0.07	fleuve	LC	Migratoire	Oui	Latérale et longitudinale	vers les tributaires
	<i>Labeo annectens</i>		0.01	fleuve	LC	Non-migratoire	Oui	Longitudinale	vers les affluents
Cyprinidae	<i>Labeo cf lukulae</i>		0.04	fleuve	LC	--	--	--	
	<i>Labeobarbus habereri</i>	C	0	fleuve	LC	--	--	--	
	<i>Varicorhinus steindachneri</i>		0	fleuve	LC	--	--	--	
Distichodontidae	<i>Distichodus kollerii</i>	S	0.07	fleuve	LC	--	--	--	
Latidae	<i>Lates niloticus</i>		0.02	fleuve	LC	Migratoire	Oui	Latérale	vers les herbiers en berge
Mastacembelidae	<i>Mastacembelus niger</i>		0	fleuve	LC	--	--	--	

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

	<i>Mastacembelus seiteri</i>	S	0.1	fleuve	LC	--	--	--
Mochokidae	<i>Synodontis marmorata</i>	C	0.08	affluents	DD	--	--	--
	<i>Mormyrops caballus</i>		0.1	fleuve	NE	--	--	--
	<i>Hippopotamyrus sp</i>		0					
Mormyridae	<i>Marcusenius sp</i>		0.03					
	<i>Mormyrops sp</i>		0.05					
	«mouthmouthi »							
Cyprinidae	<i>Labeo sp2</i>		0					

Espèces signalées (littérature) mais non-contactées

Anabantidae	<i>Ctenopoma maculatum</i>				LC	--	--	--	
Anabantidae	<i>Microctenopoma nanum</i>				LC	--	--	--	
Claroteidae	<i>Platylanis depierrei</i> (= <i>Notoglandium depierrei</i>)	S			DD	--	--	--	
Cyprinidae	<i>Barbus jae</i>				LC	--	--	--	
Cyprinidae	<i>Garrus ornata</i>				LC	Non-migratoire	--	--	
Cyprinidae	<i>Labeobarbus micronema</i>				LC	Migration de fraie	--	Longitudinale	Information basée sur le comportement "générique" du genre <i>Labeobarbus</i>
Cyprinidae	<i>Leptocypris crossensis</i>				VU	Non-migratoire	--	--	
Cyprinidae	<i>Prolabeops melanhyopterus</i>	S			LC	--	--	--	
Cyprinidae	<i>Raiamas buchholzi</i>				LC	--	--	--	
Cyprinidae	<i>Varicorhinus werneri</i>				LC	--	--	--	
Distichodontidae	<i>Nannocharax rubrolabiatus</i>	S			VU	--	--	--	
Mastacembelidae	<i>Mastacembelus sanagali</i>	S			LC	--	--	--	
Mochokidae	<i>Chiloglanis batesii</i>				LC	--	--	--	
Mochokidae	<i>Chiloglanis sanagaensis</i>	S			LC	--	--	--	
Mormyridae	<i>Marcusenius mento</i>				LC	--	--	--	

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Mormyridae	<i>Paramormyrops batesii</i>		DD	--	--	--
Mormyridae	<i>Petrocephalus christyi</i>		LC	--	--	--
Nothobranchiidae	<i>Aphyosemion dargei</i>	S	VU	Non- migratoire	--	--
Nothobranchiidae	<i>Aphyosemion elberti</i>		LC	--	--	--
Nothobranchiidae	<i>Aphyosemion exiguum</i>		LC	Non- migratoire	--	--
Nothobranchiidae	<i>Aphyosemion batesii</i>		LC	Non- migratoire	--	--

Nachtigal Amont**Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011****Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles**

ANNEXE 2 : MORTALITE LIEE A LA DEVALAISON

La dévalaison des poissons n'a pas encore été documentée dans le bassin de la Sanaga dans une publication ou étude particulière.

Lors de la dévalaison et face à un aménagement bloquant la rivière, le poisson peut se trouver dans plusieurs situations : dévalaison par le canal d'aménagé (et par les turbines), dévalaison par déversement en cas de forts débits, dévalaison par des vannes ouvertes lors des forts débits, dévalaison par l'organe délivrant le débit réservé (ou dans le cas de Nachtigal par la centrale qui turbine le débit réservé).

La mortalité des poissons lors de leur dévalaison dépend de plusieurs facteurs, dont des facteurs biologiques : la période de dévalaison (et l'hydrologie associée), le stade de vie lors de la dévalaison (juvénile, adulte) et la taille des individus, son comportement lors de la dévalaison (nage en surface, passif en surface, nage au fond, à côté des berges), sa capacité de nage.

La mortalité dépend aussi des caractéristiques de l'aménagement : la localisation de la prise d'eau, son orientation et les caractéristiques des grilles anti-intrusion ; la hauteur de chute (Q turbiné) ; le débit turbiné et le débit passant par les autres organes (pertuis, vannes, évacuateur de crue, débit réservé) ; les caractéristiques des turbines : type, diamètre, nombre de pales, vitesse de rotation ; la hauteur de chute en cas de déversement et la configuration du déversoir et des enrochements.

Actuellement, l'évaluation de la mortalité piscicole en dévalaison se fait principalement par mesures sur le terrain (radio-pistage ou autre forme de marquage-recapture) et essentiellement pour les migrateurs amphihalins (anguille, saumon) et les truites (*Salmo trutta* ssp).

Des formules empiriques pour ces espèces ont été développées suite à des expériences sur le terrain, qui permettent d'estimer a priori la mortalité piscicole en fonction des caractéristiques de l'aménagement. En revanche, ces formules empiriques existent uniquement pour les Salmonidae et les anguilles et sont spécifiques à un type de turbine.

Estimation de la mortalité piscicole en dévalaison pour l'aménagement de Nachtigal Amont

Plusieurs étapes sont nécessaires pour conduire une analyse de la mortalité en dévalaison. Tout d'abord, il convient de déterminer les caractéristiques biologiques des espèces cibles (notamment leur période de dévalaison et leur taille).

Compte-tenu l'analyse des migrations potamodromes présentée ci-dessous, des juvéniles et des adultes sont susceptibles de dévaler, surtout en période de crue ou de décrue.

La taille des juvéniles de ces espèces lors de la période potentielle de dévalaison n'est pas connue. On peut supposer que cela serait environ 3 à 20 cm. La taille des adultes varie entre les espèces de 16 cm pour *Sanagia velifera* à plus de 31 cm pour *Labeobarbus mbami* (longueur standard max observé lors des pêches) pour les espèces « cibles ».

Probabilité de passage par les turbines

En supposant que la dérive se fait de façon passive (généralement le cas), on peut comparer les débits des différentes voies d'exutoire pour évaluer la probabilité de passage du poisson par chacune de ces voies (turbines Francis, turbines débit réservé, pertuis vannés, déversoirs) en différents scénarios de débit seuil (cf. §10.1).

En considérant le pourcentage du débit passant par chaque exutoire, plus de 50% du débit entrant passerait par les turbines et moins de 10% en déversement même lors des périodes des plus hautes eaux (cf. Figure 10).

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

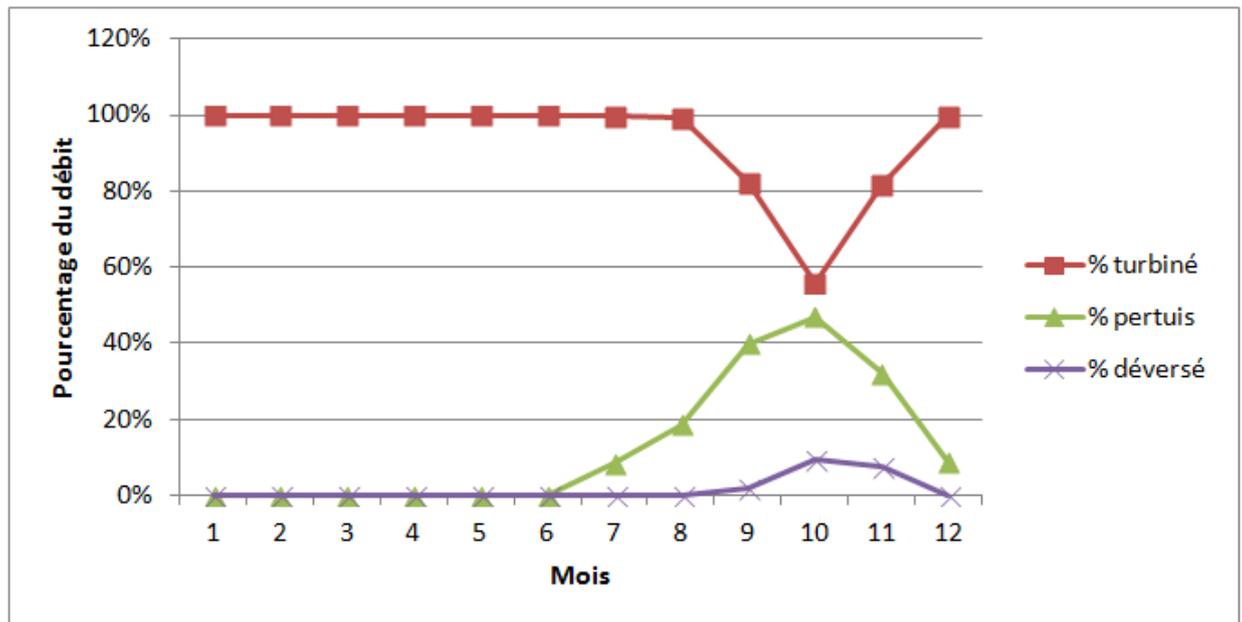


Figure 10. Pourcentage du débit entrant passant par les différents exutoires (situation après mise en service de Lom Pangar).

La mortalité des poissons lors des ouvertures de vannes et des déversements

Il y a plusieurs causes de mortalité piscicole (immédiate ou différée) associée avec les déversements ou passage par les vannes : effets d'abrasion, turbulence à l'entrée de l'eau au pied du barrage, variations de vitesse et de pression et l'impact physique sur les structures de dissipation de l'énergie.

Indépendamment de la taille du poisson, si la vitesse d'impact du poisson sur la surface de l'eau excède 16 m/s, des dommages non-négligeables peuvent être occasionnés (branchies, yeux, organes internes). Pour un poisson, une colonne d'eau va atteindre la vitesse critique avec une chute d'environ 13 m. Au-dessous de ce seuil, les mortalités peuvent être conséquentes ; en dessous, les mortalités restent généralement faibles. Il est en effet considéré que le passage des poissons par les déversés serait le moins dommageable quand la chute est inférieure à 10 m (cf.[14]).

Dans le cas de Nachtigal, le passage par les pertuis vannés semble rentrer dans ce dernier cas (chute relativement faible) et peu d'embâcles au pied du barrage. En situation de déversements, le niveau d'eau en aval du barrage aurait déjà augmenté, ce qui pourrait réduire encore les dommages piscicoles. Dans la littérature, on cite des mortalités très variables selon les sites et les espèces concernées : 0 à 37% pour des déversés avec des chutes d'environ 30 m (cf. études citées en [14]).

Calcul de mortalité en passage par les turbines

En appliquant des formules de mortalité disponibles pour les saumons ([19]) et pour les anguilles (pour se rapprocher des espèces plus longiformes ; [14]) pour les caractéristiques des turbines Francis à Nachtigal, on observe une mortalité faible pour les individus de petite taille (7% de

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

mortalité seulement pour les individus de 10 cm) mais une mortalité plus importante pour les grands individus (78% de mortalité pour les individus de 50 cm).

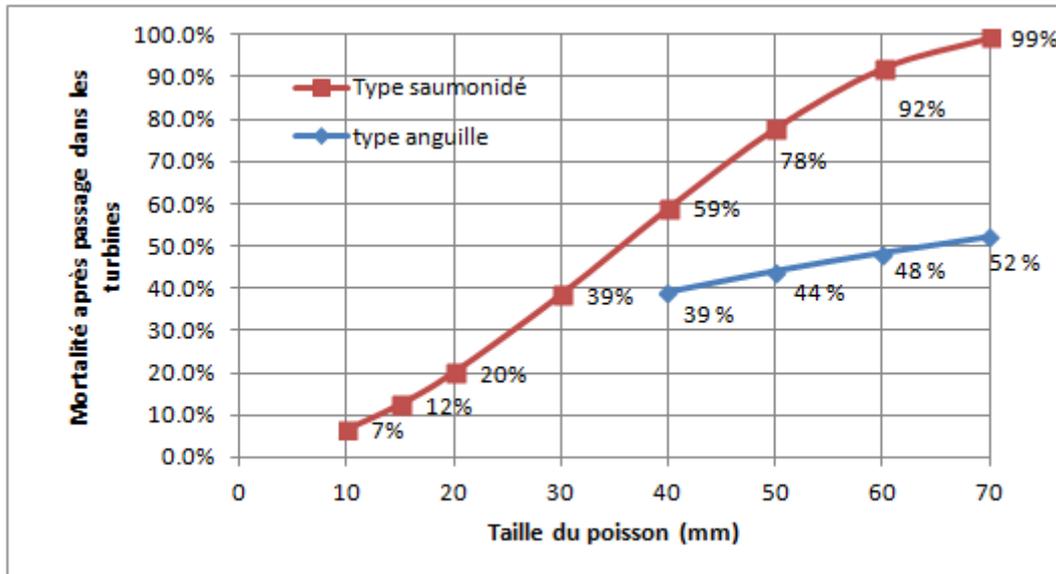


Figure 11. Pourcentage de mortalité des poissons de type saumon ou anguille en passant par des turbines Francis ayant les caractéristiques prévus pour le projet Nachtigal Amont.

Il existe beaucoup d'incertitude concernant la dévalaison des poissons, même dans les zones tempérées où la dévalaison des poissons anadromes a déjà été bien étudiée. En plus, il manque des informations précises sur les espèces effectuant des dévalaisons (bien qu'il y ait des hypothèses robustes), ainsi que sur la période et le stade de vie qui pourrait effectuer des dévalaisons à Nachtigal.

Malgré ces incertitudes, l'analyse des débits et des mortalités permettent de conclure que la mortalité due au passage dans les turbines sera probablement plus élevée (mais variable selon la taille de l'individu) que la mortalité due au passage par les pertuis vannés. Les déversements sont rares et concernent qu'une faible proportion de débit (et donc probablement une faible proportion des individus dévalants).

Les formules utilisées pour calculer la mortalité en passant par les turbines sont présentées ici :

- Saumon (Larinier et Dartiguelongue 1989) :

$$\text{Arcsin}(\sqrt{M}) = 6,54 + 0,218 H + 118 TL - 3,88 D + 0,0078 N$$

H = hauteur de chute (m), TL = longueur total du poisson (cm), D = diamètre de la turbine (m), N = nombre de pales

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

- Anguilles (Ecogea 2010) :

$$\text{Arcsin}(\sqrt{M}) = a + b.H^c.D^e.TL^f$$

Où : M = mortalité (%), H = hauteur de chute, D = diamètre de la turbine et TL = longueur totale

a à f = coefficients empiriques en fonction du type de turbine. Quand turbine = Francis :

a =	-17.98
b =	45.62
c =	0.181
e =	-0.207
f =	0.224

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

ANNEXE 3 : CRIBLAGE INITIAL DES AFFLUENTS DANS LA ZONE DU PROJET

Tableau IV. Présentation des caractéristiques principales des affluents dans la zone du Projet (Bitja-Nyom 2015), cf. Figure 12.

Affluent	Position (Rive)	XY ¹⁷ Altitude (m)	Largeur (m) Profondeur (m) Vitesse (m/s) ¹⁸	Température , pH, MES (mg/L), O ₂ dissous (mg/L) ¹⁴	Pressions identifiées	Richesse spécifique	Description (Bitja-Nyom 2015)	Qualité observée (Bitja-Nyom 2015)	Potentiel pour la restauration (criblage a priori à approfondir)
Mekono (Mbandjock)	Amont éloigné (RG)	011°54'34,9" 04°27'05,1" 557 m	14 1.3 18.4	23.8 5.6 57.2 6.2	pollution sucrierie, agriculture	12	La Mekono est un petit cours qui naît près de Biboté à l'est de la ville de Mbandjock. Elle coule discrètement dans les champs de canne à sucre, passe au pied de l'usine sucrière N° 1, traverse une partie de la ville de Mbandjock, avant de rejoindre la Sanaga lorsqu'elle a parcouru 20 km environ. Entre l'axe routier Yaoundé-Nanga Eboko qui traverse la Mekono au pied de l'usine et son embouchure avec la Sanaga, le cours d'eau est encombré de débris, elle coule par endroit sous une canopée	Ces affluents coulent en forêt sous une canopée d'importance variable en fonction de la distance avec les villages (où elle est en général peu représentée) ; leurs berges sont herbeuses et leur substrat comporte souvent un mélange de sable et d'argiles. La Mekono et la Mengolo évacuent des eaux troubles, parfois de couleur noirâtre, riches en matière organiques issues des déchets agro-industriels et autres rejets des populations riveraines.	Faible. Peut-être difficile puisque dépend d'un travail de concertation avec Sosucam / ADIC pour réduire pollution de ce cours d'eau (mais plutôt pour des questions de qualité de l'eau que pour la vie piscicole)
Mengolo (Mbandjock sud)	Amont éloigné (RG)	011°53'37,0" 04°26'37,4" 555 m	15.9 1 24.7	23.5 5.8 34.7 6.1	pollution sucrierie, agriculture	11	La Mengolo prend sa source non loin de celle de la Mekono et parcourt environ 16 km avant de se jeter dans la Sanaga. Le long de son parcours encombré d'herbiers, elle traverse les champs de canne à sucre, passe derrière l'usine sucrière, sous le pont sur l'axe routier Yaoundé Nanga Eboko, puis reçoit en aval, entre l'axe routier et l'axe ferroviaire, les eaux issues des rejets de la société de distillation de Mbandjock	Peu dégradé	Moyen. Situé plus loin en amont et déjà peu dégradé (À vérifier). Par contre, important pour les poissons = mesures potentielles à proposer concerne la préservation de cet habitat important.
Nia (Nio Babouté)	Amont éloigné (RG)	011°51'32,2" 04°25'48,9" 549 m	41.8 3.8 23.8	23.3 6 19.3 6.3	agriculture	22	La Nia prend sa source non loin de celles du Mekono et du Mengolo, son cours constitue la limite naturelle sud des champs de canne sucre de la société sucrière puis elle traverse la route et coule en forêt avant de se jeter dans la Sanaga	Peu dégradé	Moyen voir haut. Géographiquement bien placé. Pression actuellement faible mais important pour les peuplements piscicoles.
Assamba (Ndjoré)	Amont éloigné (RG)	011°49'46,0" 04°24'30,8" 548 m	39.4 2.9 30	23 6.1 20 6.8	non- identifiés	23	L'Assamba coule en forêt, traverse la route au nord de Njoré (station d'échantillonnage), puis rentre en forêt avant de se jeter dans la Sanaga	Peu dégradé	Moyen voir haut. Géographiquement bien placé. Pression actuellement faible mais important pour les peuplements piscicoles.
Mbo'o (Ndji)	Aval éloigné (RG)	011°40'48,14 " 04°19'55,11" 473 m	16.2 2.6 36	22.7 6.4 50 7.2	cultures - pollution (pesticides) ?	14	Le Mbo'o et l'Avo'o coulent en forêt et passent près de Batchenga. Après sa traversée de la route Yaoundé-Nanga Eboko, l'Avo'o reçoit la Mbo'o avant de se jeter dans la Sanaga. Sur leurs parcours respectifs, ces rivières peuvent être ou non encombrées, elles sont bordées par des champs de cultures vivrières et maraichères	La Mbo'o et l'Avo'o traversent également de vastes champs de cultures vivrières mixtes, constituées en majorité de plantes de maïs, manioc, ignames, arachides et bananeraies souvent traitées avec des pesticides.	Haut. Géographiquement bien placé. Pression essentiellement agriculture. Possibilité de réduire la pression de pollution + restauration d'habitat (zone rivulaire = buffer zone).
Avo'o (Olembe-Batchenga)	Aval éloigné (RG)	011°40'22,1" 04°19'36,2" 470 m	27.3 3.3 36	23.4 6.3 37.5 7.8	cultures - pollution (pesticides) ?	15			

¹⁷ Coordonnées station de pêche

¹⁸ Valeurs moyennes

Nachtigal Amont

Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011

Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

Afamba (Ondondo)	Aval éloigné (RG)	011°33'41,2" 04°20'30,7" 444 m	48.8 1.5 27.5	non- identifiés	18	Ce cours d'eau, qui traverse la ville d'Obala sur l'axe routier Yaoundé-Nanga Eboko, afflue dans la Sanaga en aval de la limite inférieure de notre zone prioritaire. Elle a été échantillonnée au niveau du village Ondondo	Peu dégradé	Moyen. Plus en aval et déjà peu dégradé. Par contre important pour les poissons = mesures potentielles à proposer concerne la préservation de cet habitat important.
Tiede (Avangan près de Nanga Eboko)	Amont plus éloigné (RG)	012°16'03,9" E 04°37'39,4" 589 m					(pêchée une fois)	
Mbam (Bafia)	Aval plus éloigné (RD)	011°17'41,8" 04°47'31,3" 439 m					(pêchée une fois)	
Meloko (Koro)	Aval plus éloigné (RD)						(non pêchée)	
Ndjéké (Mbandjock)	Aval plus éloigné (RD)						(non pêchée)	
Mélé (Nkoteng)	Aval plus éloigné (RD)						(non pêchée)	
Sélé (Nkoteng)	Aval plus éloigné (RG)						(non pêchée)	

Nachtigal Amont
Complément à l'étude d'impact environnemental et sociétale EIES 2011
Synthèse des impacts du Projet Hydroélectrique de Nachtigal Amont sur les peuplements piscicoles

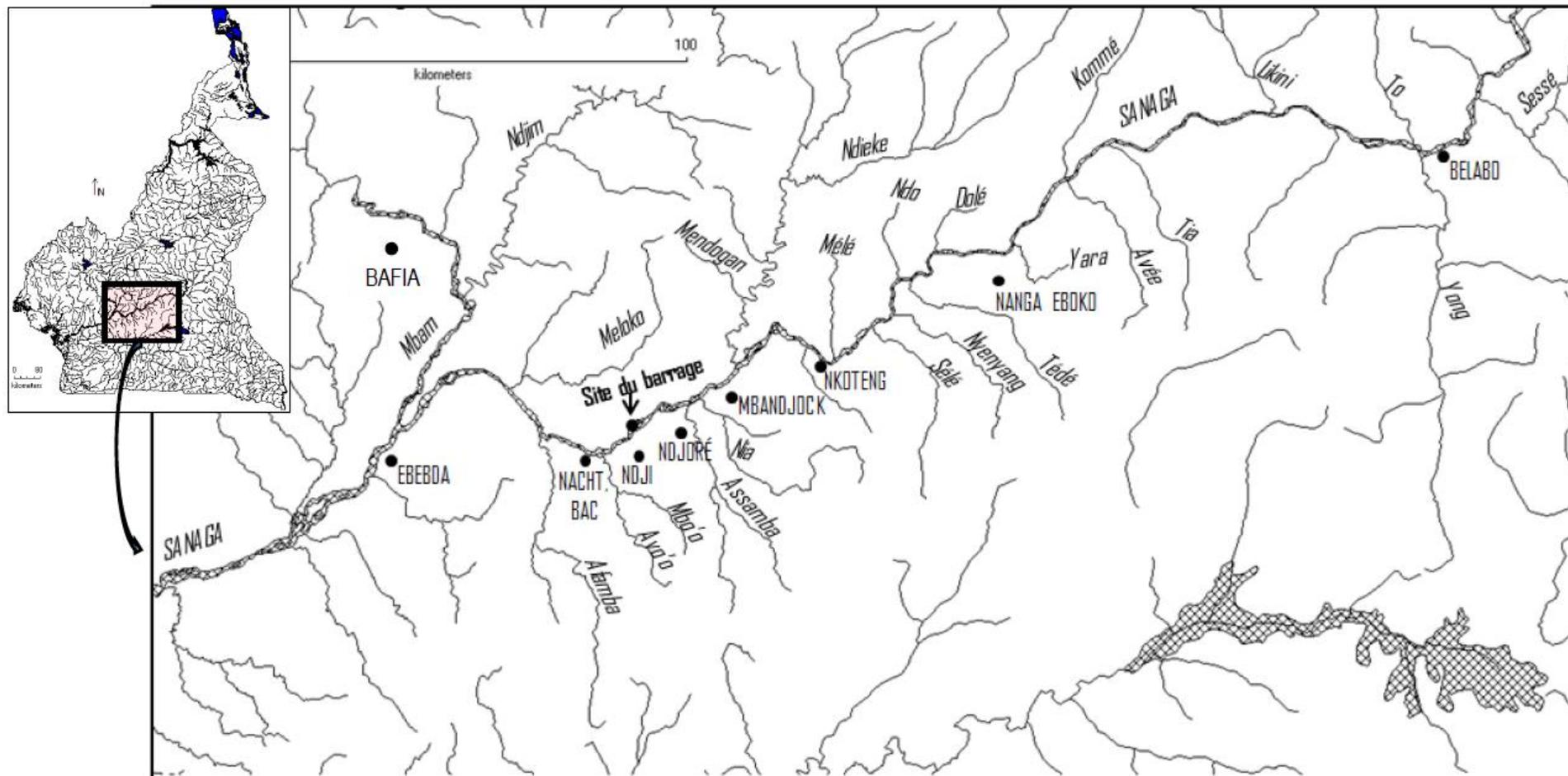


Figure 12. Carte hydrographique de la zone d'étude des inventaires piscicoles avec la localisation des principaux affluents (cf. Tableau IV).