

Rapport de stage pour l'obtention
de la 2ème année de Master

***Étude des macro-invertébrés benthiques de la rivière Nam Khan,
élaboration d'un protocole d'échantillonnage et inventaire préliminaire
pour la mise en place d'un suivi***

Laos



Pierre FAVRIOU

Avril-Aout 2010

Maître de stage : Mr Pierre GUEDANT

WREO

Remerciements :

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce stage, et ce voyage qui reste selon moi la meilleure façon de découvrir et de se découvrir. Je remercie donc tout particulièrement Mr Vincent Rotgé et Mr Simon Hardy pour leur investissement dans cette coopération et de m'avoir accompagné dans la démarche de ce stage. Je remercie également Mr Michel Bacchi pour sa tutelle et son aide précieuse pour la réalisation de cette étude. Mr Chanthavong Phonnachith ainsi que toute l'équipe du WREO et du projet « éco-vallée », Anaïs et Antoine, pour leur accueil au sein la structure et de m'avoir fait partager ces moments si particuliers typiquement Lao. Et enfin mon maitre de stage Mr Pierre Guédant pour le partage de ses connaissances et de sa vision du monde si particulière.

*« les vérités d'un monde ne sont pas
détenues pas ceux qui savent,
mais par ceux qui sont... »*



VAL DE LOIRE
PATRIMOINE MONDIAL



PREAMBULE

Cette étude se déroule au cœur de la péninsule Indochinoise, au Laos, sur la rivière « Nam Khan ». Elle s'inscrit dans un cadre de capitalisation des données sur le territoire du bassin versant par le WREO (Water Resources and Environment Office), organisme déconcentré de l'état Lao. Ce territoire ainsi que la ville de Luang Prabang sont inscrits depuis 1995 au patrimoine mondial par l'UNESCO, grâce à la coopération Franco-Lao avec la ville de Chinon, la région Centre et la Mission Val de Loire. Ce rapport compose également une étude préliminaire pour la réalisation d'un projet de thèse sur la caractérisation typologique et fonctionnelle de la macrofaune benthique des cours d'eau du Laos, afin d'évaluer l'impact des barrages. Ce travail a donc consisté à mettre en place une méthodologie de prélèvement adapté pour l'étude d'un inventaire préliminaire des macro-invertébrés benthiques de la Nam Khan. Ceci afin d'établir une première évaluation de la distribution et de la structure biologique, en vue de mettre en place un suivi hydrobiologique sur plusieurs cycles annuels.

Le Laos est un pays pourvu d'un réseau hydrographique très dense, constitué par les nombreux affluents rive gauche du Mékong. Enclavé par la Thaïlande, le Cambodge, le Vietnam, la Chine et la Birmanie, le Laos est l'un des pays les moins peuplés de la péninsule. Ainsi ces voisins, principalement la Chine signe de nombreux traités d'exploitations sur les principaux cours d'eau, afin de mettre en place des centaines de barrages hydroélectriques pour exporter l'énergie vers leur propre pays. Cependant aucune étude environnementale n'est réalisée lors de la construction et de la mise ne service de ces centrales. Il est alors capital d'évaluer les diverses interactions et le potentiel écologique de ces cours d'eau avant leur dégradation. Ceci dans un souci d'équilibre, il est très facile de s'apercevoir que la majorité de la population du pays utilise et exploite les cours d'eau pour l'alimentation, le commerce, l'hygiène, ou encore les rites religieux.

Ainsi, pour répondre au manque crucial de données, cette étude propose de mettre en place une méthodologie stratifiée adaptée aux conditions locales, basée sur le savoir-faire développés dans les milieux tempérés. Une campagne pilote a donc été réalisée du 1 au 5 mai 2010, sur la Nam Khan et ses affluents prenant en compte une partie macrobenthique et une partie physico-chimie. Cette campagne prévoit sept stations biologiques réparties sur le dernier tiers aval du bassin versant de la Nam Khan. Trois affluents ont été choisis avec des rangs de strahler, une hydromorphologie ainsi qu'une occupation adjacente différents, pour accueillir quatre des sept stations. Les trois autres

stations ont été distribuées sur le cours de la Nam Khan même, sur des sites avec des degrés de perturbation différents. Ceci afin de couvrir un maximum d'habitats distincts.

Le protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés étudié se base sur les fondements de la méthode de prélèvement IBGN français. Elle comporte plusieurs objectifs, tout d'abord de mieux s'adapter aux conditions et des variabilités morphologiques locales des pays d'Asie du Sud-Est, ainsi que de réaliser des prélèvements stratifiés à différents niveaux d'eau en début et fin de saison des pluies.

Les résultats sont alors présentés sous forme de fiches de synthèses, reprenant les principales informations concernant la station. Elles résument les conditions générales sur son positionnement géographique (nom du cours d'eau, coordonnées GPS, distance à la source, etc...), ainsi que les principales valeurs des caractéristiques physico-chimiques (température, conductivité, pH, oxygène dissous). Elles sont accompagnées d'une carte détaillée du site, et enfin des résultats de la détermination des différents taxons de l'échantillon avec les différents calculs des indices biologiques. Les résultats de ces indices sont ensuite traités de manière globale de façon à mettre en valeur une certaine évolution amont-aval. Ces indices biologiques comprennent l'abondance, la richesse spécifique, la diversité, l'équitabilité et enfin la dominance. L'interprétation de ceux-ci ont permis de mettre en avant une bonne qualité structurelle des peuplements sur l'ensemble du linéaire, mais une richesse spécifique non stabilisée, ce qui signifie que le nombre de prélèvement effectué par échantillon n'est pas suffisant. Les résultats physico-chimiques, quant à eux montrent une certaine homogénéité dans leurs valeurs, et ne divulguent pas de perturbation particulière pour les différents critères analysés. A la vue de ces résultats, il serait recommandé d'étudier des aires, situées plus au centre et en amont du bassin, avec des zones de diversité géologique variée. Ceci afin d'effectuer des prélèvements avec des valeurs physico-chimique plus hétérogènes.

L'analyse de l'inventaire taxonomique a permis de mettre en évidence la distribution du peuplement. Il a pu être remarqué une franche différence entre les distributions des peuplements des cours d'eau affluents qui sont beaucoup plus diversifiés, de ceux sur la Nam Khan. Les peuplements paraissent beaucoup plus équilibrés sur les zones amont, où l'impact anthropique est moindre. Les substrats et les classes de vitesses les plus biogènes ont également été déterminés, afin de mieux cerner les meilleures conditions d'accueil des macroinvertébrés.

Une première approche typologique a pu être établie grâce à la réalisation d'Analyses Factorielles des Correspondances taxons-stations. Il s'est avéré apparaître une première ébauche d'un continuum dans la répartition amont/aval des espèces. Cependant cette hypothèse devra faire

l'objet d'études supplémentaires afin d'être confirmée, pouvant à terme permettre la réalisation d'une typologie intrinsèque aux cours d'eau du Laos.

Grâce à l'ensemble de ces interprétations, plusieurs orientations sont proposées pour la réalisation d'un biomonitoring aux travers le Laos. L'étude des courbes des richesses taxonomiques a admis la mise en valeur des zones les plus intéressantes. Ainsi, de façon à mener une meilleure étude des taxons, l'implantation des stations devra s'effectuer le plus possible sur les affluents de la Nam Khan, car ils apparaissent comme plus biogènes que celle-ci. Certains substrats comme les éléments organiques (sub7 et 8), les sédiments minéraux de moyennes et grosses tailles (sub6 et 5), ressortent également comme étant les plus propices à l'accueil des invertébrés et devront être privilégiés. Quant au facteur vitesse, la gamme la plus adéquat serait comprise entre 25 et 75 cm/s, mais reste beaucoup moins représentatif dans l'explication des distributions, que les substrats. Néanmoins, le manque d'information sur les substrats et vitesses les moins représentées dans la grille de la méthodologie nécessitera l'étude de zones plus lenthiques sur des bassins versants différents.

De plus, une amélioration de la clef de détermination des macroinvertébrés réalisée par la MRC (Mekong River Commission) a été conçue afin de rendre les informations plus lisibles et accessibles que la version actuelle. Ça conception prend exemple sur celle de la clef de détermination française de Mr Henry Tachet (Invertébrés d'eau douce). Ce prototype a été réalisé pour les trois principaux ordres les plus importants qui sont les Plécoptères, les Ephémères et les Trichoptères synthétisés dans un fascicule annexe à ce rapport.

Enfin, l'analyse des limites rencontrées lors de la mise en place de cette méthodologie consent à mettre en avant différents conseils pour les futures applications. Il aura donc été suggéré de transporter les échantillons de façon plus ordonnée et douce, par exemple en utilisant des bacs superposables de type casiers à légume pour les marchés. De plus, l'utilisation du formol pour la fixation des matières organiques doit s'effectuer dès la mise en sac pour éviter la consommation de certains taxons par les prédateurs.

Ce rapport peut constituer une base et un support à la réalisation de futures investigations sur les macroinvertébrés aux Laos, cependant, les hypothèses devront être approfondies et vérifiées

Mots clef : Laos, Nam Khan, Protocole, échantillonnage stratifié, Macro Invertébré Benthique.

SOMMAIRE

PREAMBULE	2
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE	7
1. PRESENTATION DU CONTEXTE D'ETUDE	8
1.1 CADRE ET STRUCTURE PORTEUSE DE L'ETUDE	8
1.2 CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT DE LA NAM KHAN	9
1.2.1 localisation au sein du bassin du Mékong	9
1.2.2 Hydrographie	10
1.2.3 classification de strahler	11
1.2.4 topographie	12
1.2.5 coefficient de Gravélius	13
1.2.6 géologie	13
1.2.7 occupation du sol	14
1.3 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	15
1.3.1 climat et stations météorologiques	15
1.3.2 hydrologie	16
1.4 CONTEXTE SOCIOCULTUREL	19
2. METHODOLOGIE D'ETUDE PRELIMINAIRE ET REFLEXION SUR LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI	20
2.1 CAMPAGNE PILOTE SUR LA NAM KHAN ET SES AFFLUENTS	20
2.1.1 Protocole d'échantillonnage	20
2.1.2 Présentation des stations	27
2.1.3 Analyses physico-chimiques	31
2.2 RESULTATS ET INTERPRETATIONS DE LA STRUCTURE BIOLOGIQUE	32
2.2.1 détermination et appréciation de la clef de détermination du Mékong	32
2.2.2 Synthèse des résultats et interprétations	34
2.2.3 résultats des indices biologiques	39
2.2.4 résultats physico-chimiques	41
2.3 ANALYSE STATIONELLE ET INTERPRETATION	44
2.3.1 Distribution de la structure par stations	44
2.3.2 richesse taxonomique par station	47
2.4 PREMIERE APPROCHE TYPOLOGIQUE (PROPOSITION D'HYPOTHESES)	49

3.	CONCLUSION DES PRINCIPAUX RESULTATS ET ORIENTATIONS POUR L'ELABORATION D'UN BIOMONITORING SUR LES COURS D'EAU DU LAOS	50
3.1	RECOMMANDATIONS DE POSITIONNEMENT DES STATIONS POUR CARACTERISER LA TYPOLOGIE DU BASSIN VERSANT	50
3.2	ORIENTATIONS TECHNIQUES SUR LA METHODOLOGIE	50
3.3	ANALYSE DES LIMITES DE LA METHODOLOGIE, CONSEILS GENERAUX	51
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	52
	BIBLIOGRAPHIE	53
	ANNEXES	56

INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE

La péninsule Indochinoise possède un réseau hydrographique relativement dense et développé, constitué par le Mékong et ses affluents. La relation entre ses unités hydrologiques et la population de la péninsule est très forte et primordiale au développement des activités (pêche, navigation, utilisation domestique de l'eau, rites culturels et sociaux liés à l'eau...).

Cependant, l'exploitation de ces cours d'eau, principalement par la Chine sont à l'origine de la création de barrages pour l'hydroélectricité et l'agriculture, menaçant les ressources et leurs qualités. Au Laos près d'une cinquantaine d'aménagements hydroélectriques sont en phase d'étude de faisabilité. Il est donc important d'étudier dès à présent le fonctionnement biologique et écologique de ces cours d'eau afin d'en apprécier leur qualité initiale, et être ainsi en mesure de mettre en place un système d'évaluation pour définir l'impact potentiel des ouvrages à venir. Dans le but de répondre à cette attente, un projet de thèse a été déposé afin de caractériser la typologie et la fonctionnalité de la macrofaune benthique des cours d'eau du Laos.

Ce stage poursuit deux objectifs principaux, qui sont :

- amorcer le projet de thèse et d'orienter la réalisation d'un suivi macrobenthique sur les cours d'eau du Laos ;
- fournir au WREO (Water Resources and Environment Office) et au projet « éco-vallée » un premier état initial de la composition macro-benthique au sein du bassin versant de la Nam Khan.

La problématique scientifique de cette étude s'articule autour de plusieurs axes bien distincts. La première étant d'établir la possibilité d'employer les techniques déjà connues et utilisées en France et en Europe, sur des cours d'eau d'Asie. Dans un premier temps pour l'élaboration d'un protocole d'échantillonnage stratifié, adapté aux différents types d'hydrosystèmes qui pourraient être rencontrés sur les bassins versants étudiés du pays. Ensuite, dans le traitement des résultats, principalement par l'utilisation des indices biologiques. Les seules méthodologies de prélèvement utilisées pour l'instant dans cette région, comme le « kick sampling », ne paraissent pas suffisamment élaborées pour caractériser un cycle annuel complet, ni pour avoir une représentativité correcte des peuplements. Il sera aussi l'occasion de pouvoir utiliser et d'évaluer la clef de détermination des MIB du Mékong, réalisée par la MRC (Mekong River Commission).

Enfin, les interprétations des résultats à cette étude préliminaire, pourront orienter les futurs travaux sur les macroinvertébrés (MIB) du pays, mais également servir à la réalisation de suivis macrobenthiques.

1. PRESENTATION DU CONTEXTE D'ETUDE

1.1 CADRE ET STRUCTURE PORTEUSE DE L'ETUDE

Cette étude s'inscrit dans le programme du projet « Eco-vallée », faisant l'objet d'une coopération décentralisée entre la Région Centre (France) et la Province de Luang Prabang (Laos). L'objectif de cette coopération a pour finalité de renforcer l'organisme provincial chargé de la protection de l'eau et de l'environnement, le « Water Resources and Environment Office » (WREO-LP).

Les objectifs du programme se déclinent de la façon suivante :

- Préservation des richesses naturelles et culturelles à une échelle plus large que celle du site inscrit sur la Liste du Patrimoine mondial ;
- Développement socio-économique et l'amélioration des conditions de vie des populations ;
- Implication des populations locales dans un processus de préservation de la biodiversité

De plus, la Mission Val de Loire (organisme gestionnaire du territoire du val de Loire inscrit au patrimoine commun de l'UNESCO) a créé en 2006 le projet « Fleuves à Fleuves : Loire-Niger-Mékong » (avec l'appui du Ministère des Affaires Etrangères français, de la Région Centre, de la ville de Chinon, de la communauté d'Agglomération Angers-Loire-Métropole et du Parc Naturel Régional Loire-Anjou-Touraine). Ce projet propose un appui aux collectivités territoriales au Mali et au Laos, afin préserver durablement le patrimoine de leurs corridors fluviaux (Niger, Mékong) avec les objectifs suivants :

- Développement institutionnel et l'amélioration de la gouvernance des structures de développement local
- Préservation et la gestion des milieux naturels fluviaux
- Partage des connaissances entre les différents partenaires

Ces deux projets sont complémentaires et visent un même objectif principal : permettre la mise en place d'un plan de gestion intégré au sein de la vallée de la Nam Khan. On retrouve alors en tant que maître d'ouvrage, la Mission Val de Loire, avec l'appui de l'Institut International Fleuves et Patrimoine et les partenaires financier et technique qui sont la province de Luang Prabang, la ville de Chinon et la Région Centre, appuyés par la Maison du Patrimoine.

Enfin, l'université des sciences François Rabelais propose un projet de thèse sur la caractérisation typologique et fonctionnelle de la macrofaune benthique laotienne en cours de préparation. Ce stage s'inscrit dans cette dynamique en amorçant le projet de thèse et rassemblant les connaissances sur le territoire du bassin versant au bénéfice du projet « éco-vallée » et du WREO-LP.

1.2 CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT DE LA NAM KHAN

1.2.1 LOCALISATION AU SEIN DU BASSIN DU MEKONG

Cette étude s'est déroulée au Nord du Laos, dans la péninsule indochinoise (Figure 1). Le Laos est un petit pays montagneux peu peuplé d'Asie du Sud-Est, enclavé entre la Chine, le Vietnam, le Cambodge, la Thaïlande et le Myanmar (ex Birmanie). Il s'étend du nord au sud sur une longueur de près de 1500 km pour une superficie totale de 236 800 km² (Figure 1) (Ministère des affaires étrangères). Adossé à la Cordillère annamitique au nord-est et longé par le Mékong à l'ouest, l'une de ces caractéristique première est de ne pas posséder d'accès direct à la mer.

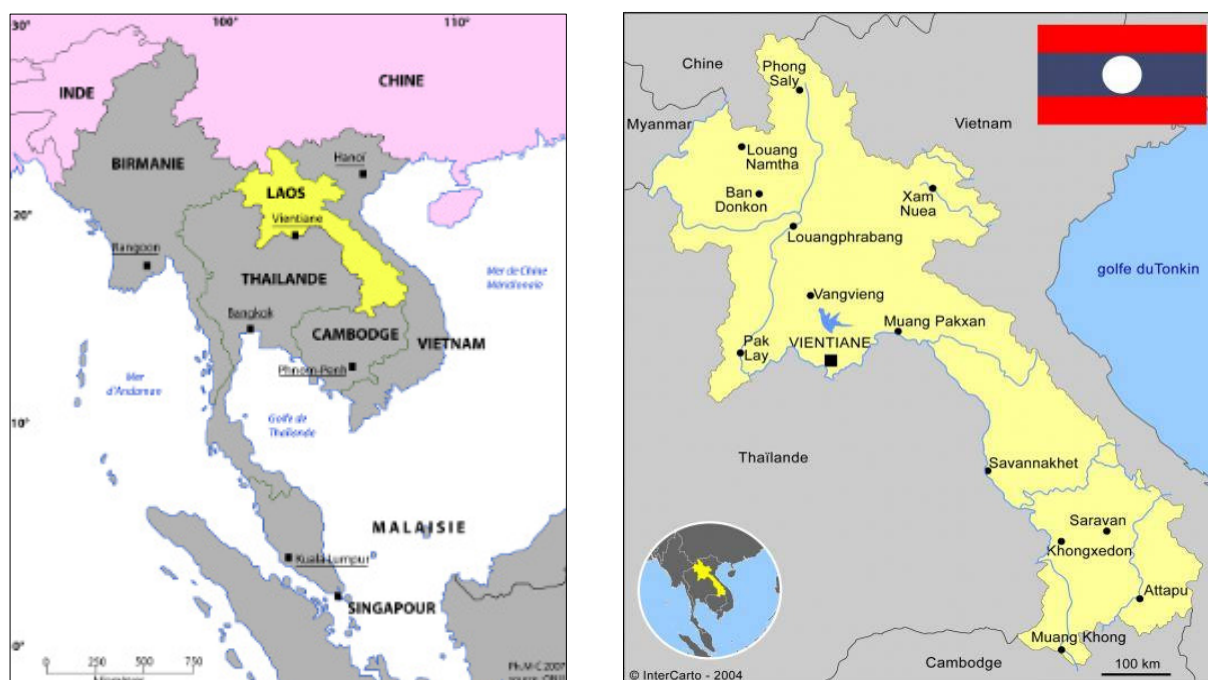


Figure 1 : Cartes de la péninsule Indochinoise et du Laos

Le pays se divise en dix-huit provinces, la Nam Khan se situant dans la province de Luang Prabang où elle conflue avec le Mékong (figure 3), formant une péninsule de plus d'un kilomètre. La province de Luang Prabang ancienne capitale du pays est située au bord du Mékong vers 280 mètres d'altitude. Elle est la deuxième des dix-huit provinces de la République Démocratique Populaire Lao par sa taille, avec une superficie de 16 875 km². Son altitude varie entre 240 et 2 275 m. Près de 85% du territoire est montagneux. La province possède 50 km de frontière avec le Vietnam au nord-est, et se situe au sein de six autres provinces : Phongsaly, Oudomxay, Xayaboury, Vientiane, Xien Khuang et Houaphan (Figure 2).

Le bassin versant de la Nam Khan se situe dans neuf districts sur un total de trois provinces.

Province de Luang Prabang

- o District de Luang Prabang,
- o District de Phonxai,
- o District de Phoukoun,
- o District de Nan,
- o District de Xiang-Ngeun,

Province de Xiangkhouang

- o District de Kham,
- o District de Phoukout

Province de Houaphan

- o District de Houamuang,
- o District de Viangthong,

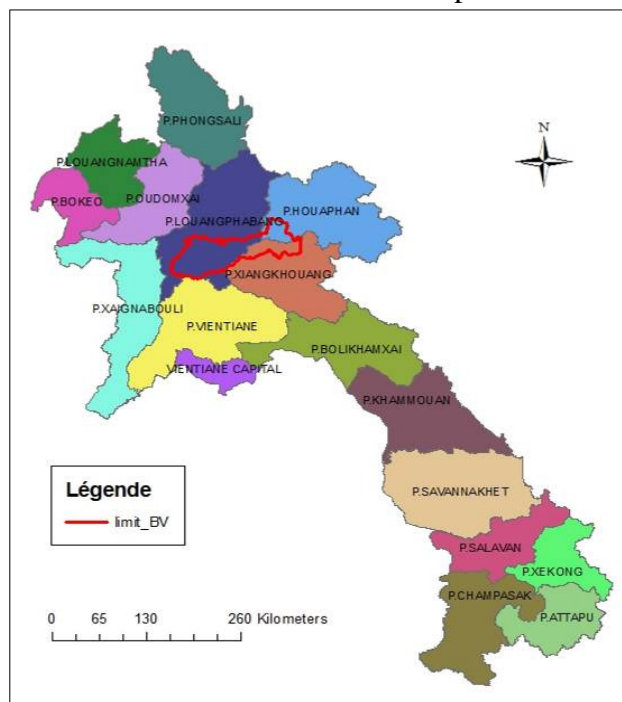


Figure 2 : Carte des régions du Laos

1.2.2 HYDROGRAPHIE

Le Laos possède un réseau hydrographique composé par le Mékong et ses affluents. Il traverse le pays du Nord au Sud (Figure 3) sur près de 1 800 km sur un cours total de 4 200 km de long et draine de nombreux affluents (CCILMB, 1976). Il s'introduit dans le pays au Nord, au niveau de la frontière avec la Chine, puis fait office de frontière administrative entre le Laos et la Thaïlande à l'Ouest et ressort à la frontière Sud avec le Cambodge. Il présente deux caractéristiques principales : des variations de débits très fortes entre les saisons sèches et humides, avec un marnage supérieur à 15 m et la présence de nombreuses barres rocheuses tout au long de son cours, limitant ainsi sa navigabilité.

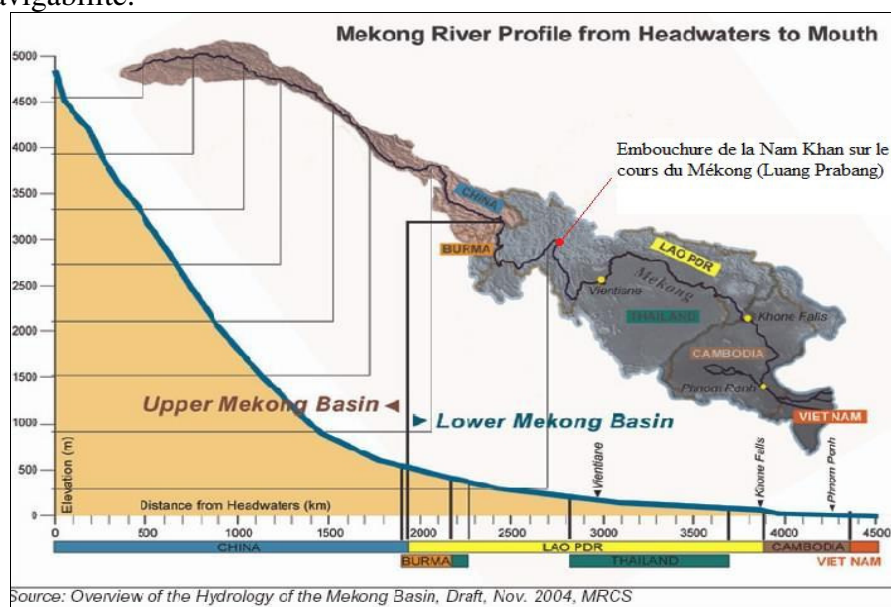


Figure 3 : Carte du bassin versant du Mékong

L'affluent du Mékong choisi pour effectuer ce travail est la Nam Khan et ses affluents (Figure 4). La rivière Nam Khan est un affluent rive gauche du Mékong et coule du nord-est au sud-ouest sur 260 km. Sa source se situe dans le Nord-Est du Laos à 1535 m d'altitude (Monts Phou Loei). Son bassin versant couvre 7 192 km² dans 3 Provinces (Luang Prabang, Houaphan et Xiengkhouang) et 8 Districts dont 5 de Luang Prabang (Xieng Ngeun, Nane, Phonxay, Phoukhoun et Luang Prabang). Il s'étend de 101° 55' à 103° 43' est en longitude et de 19° 22' à 20° 17' nord en latitude. Ce bassin représente un peu moins de 3,7% de l'ensemble des bassins versants des affluents du Mékong au Laos (Bourgeot et al., 2007).

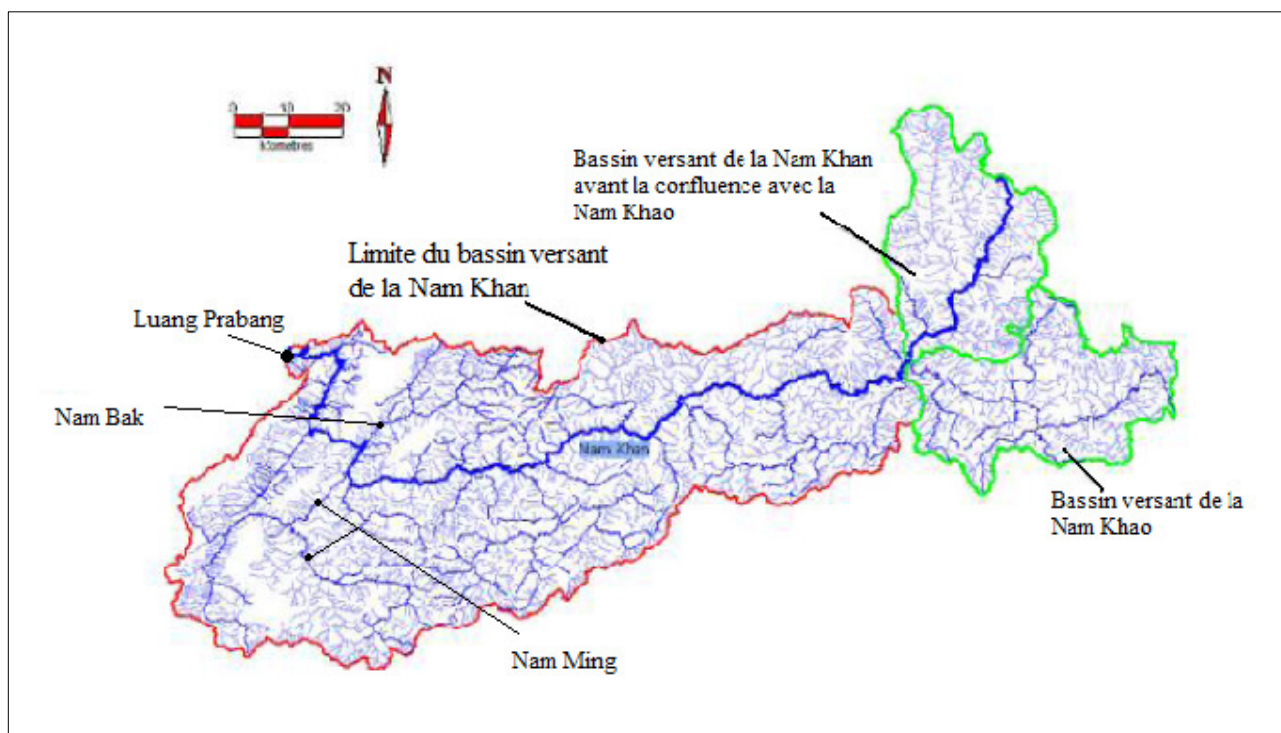


Figure 4 : Carte hydrographique du bassin versant de la Nam Khan (Boissavi, 2008)

Les affluents permanents sont de l'aval vers l'amont : H. Khan, Nam Bak, Nam Ming, Nam Thouang, Nam Thi, Nam Niao, Nam Lao, Nam Hou, Nam Hang, Nam Khao, Nam Soui, Nam Ma, Nam Xuang. Au total, 14 sous bassins versant représentent à eux seuls un peu plus de 71% de la superficie totale du bassin versant.

1.2.3 CLASSIFICATION DE STRAHLER

La classification de Strahler va permettre d'attribuer à chacune des branches du réseau hydrographique une valeur qui caractérise son importance. Cette classification permet de mieux repérer les unités hydrographiques et de décrire le développement du réseau de drainage des bassins versants de l'amont vers l'aval.

Rappel :

Les principes de la classification se base sur :

- tout cours d'eau dépourvu de tributaires est de rang 1,
- le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau de rang différent prend le rang du plus élevé des deux,
- le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau de même rang est augmenté de 1,
- le rang de Strahler du bassin versant est le rang du drain principal (le plus élevé) à l'exutoire.

Cette classification a été réalisée par en 2008 par Didier Boissavi dans son rapport sur la caractérisation du bassin versant de la Nam Khan et de ses affluents à partir des cartes topographiques digitalisées (Echelle 1/100 000) du service géographique national du Laos. (Figure 5).

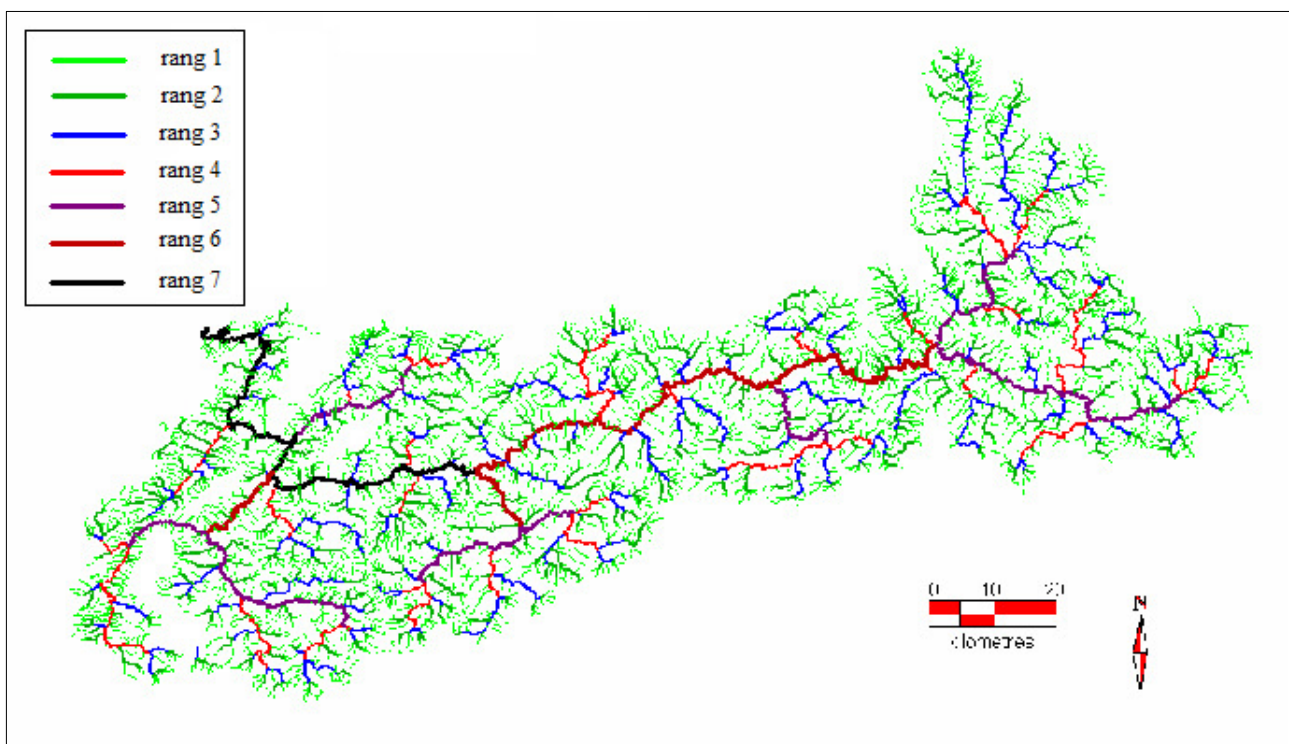


Figure 5 : Carte des rangs de Strahler de la Nam Khan et ses affluents (Boissavi, 2008)

La Nam Khan se termine donc par un rang de strahler de 7. Les principaux affluents comme la Nam Ming et la Nam Thouang avec un rang de 6, alors que la Nam Khao, la Houay Hou et la Nam Bak ont un rang de 5. La forte ramification du réseau de la Nam Khan traduit un sol imperméable, alors que les valeurs élevées des rangs 6 ou 7 sont représentatif de cours d'eau large. Cependant, les cours d'eau de rang faible (rang 1 ou 2) sont relativement nombreux et constituent une majeure partie du bassin versant.

1.2.4 TOPOGRAPHIE

La zone offre un paysage de montagnes karstiques formant de nombreuses vallées encaissées. Les pentes en tête de bassins versants sont relativement fortes et peuvent atteindre des valeurs jusqu'à 5,2% pour certains des affluents de la Nam Khan (Figure 6).

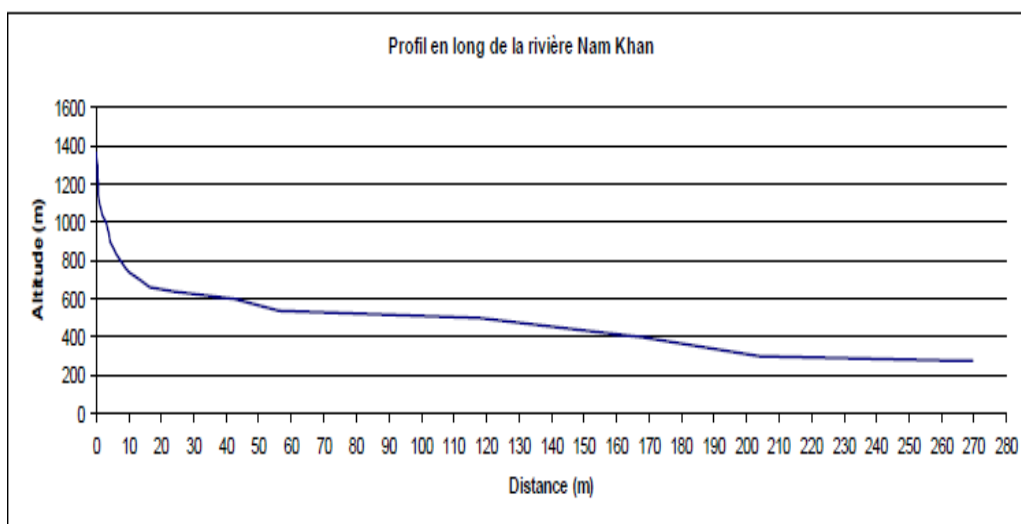


Figure 6 : Profil en long de la Nam Khan (Boissavi, 2008)

Le dénivelé total du cours principal de la Nam Khan, de la source (1 535 m) à l'embouchure (280 m), est de 1 255 m soit une pente moyenne de 0,4%.

On constate un profil de rivière active, avec une très forte pente sur les 15 premiers kilomètres, qui diminue et se stabilise en pente douce jusqu'à la confluence avec le Mékong.

1.2.5 COEFFICIENT DE GRAVÉLIUS

La forme d'un bassin versant influence le temps de réponse hydrologique pour chaque cours d'eau. L'indice de compacité de Gravélius, est utilisé pour caractériser la morphologie des bassins versants. Il est défini par le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

Rappel :

$$K_g = P / 2\sqrt{\pi \cdot A} = 0.28 \cdot P / \sqrt{A}$$

Avec :

K_g est l'indice de compacité de Gravélius,

A : surface du bassin versant [km²],

P : périmètre du bassin [km].

L'indice de compacité du bassin versant de la Nam Khan, s'élève à 2,37 indiquant donc une forme très allongée et donc une réponse hydrologique « retardée ». Cependant, selon Boissavi, les sous bassins versants bordant le cours d'eau possède des coefficients beaucoup plus faible, compris entre 1 et 1,9, ceci étant dû à leur faible superficie, permettraient des arrivées d'eau rapides et localisées.

1.2.6 GÉOLOGIE

La géologie est très homogène sur la partie inférieure et centrale du bassin versant de la Nam Khan, tandis que des formations géologiques plus variées occupent la partie haute du bassin. La carte suivante (Figure 7, annexe 1) a été établie à partir d'une carte géologique du Laos au 1/1 500

000ème, ce qui laisse les informations très imprécises. Cependant elle peut donner une bonne idée générale sur la constitution géologique du bassin versant. Il est caractérisé principalement par des roches calcaires et détritiques ainsi que des roches volcaniques comme l'andésite ou la dacite qui sont largement répandues sur la majeure partie du bassin. Seules les zones centrale et en tête de bassin se diversifient par la présence de roches volcaniques, comme le marbre ou le granite, mais aussi avec l'apparition au nord et au centre de roche détritique comme le grès. De nombreuses failles traversent le bassin versant et sont potentiellement des lieux de rupture d'écoulement, ou de pente.

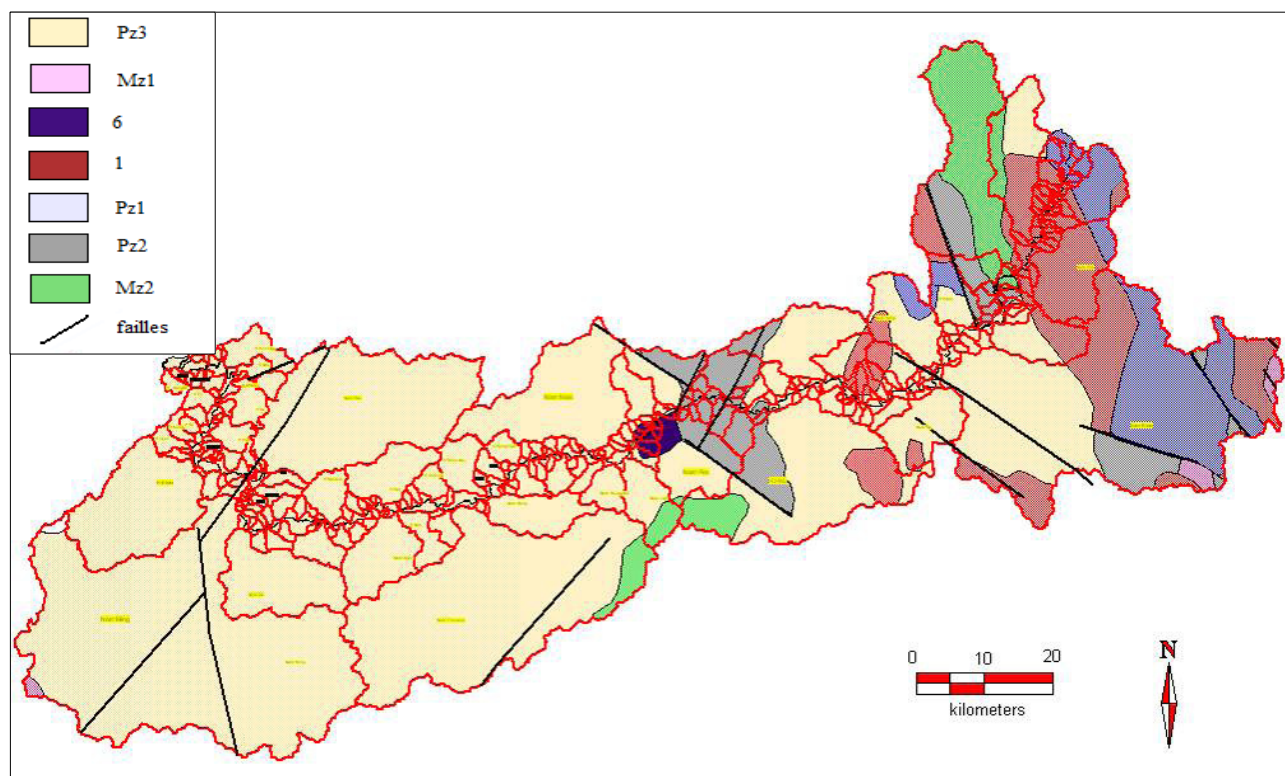


Figure 7 : Carte géologique du bassin versant de la Nam Khan (Boissavi, 2008)

1.2.7 OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol influence les écoulements de surfaces et de sub-surfaces. Il est constaté que plus de 40% du bassin est recouvert par des surfaces forestières non boisées, principalement située en partie inférieure du bassin, ceci contribuant au problème d'érosion des sols. Cependant la partie haute est caractérisée par une forêt mixte à feuilles caduques (près de 35% de la superficie), interceptant une partie des précipitations. Son système racinaire est également de nature à limiter l'érosion des sols et la présence de matière organique dans le sol contribue entre autres à retenir, stocker puis à libérer une partie des eaux de ruissellement. Il existe une délimitation très nette entre ces deux aires (Figure 8), certainement dû à la difficulté d'exploitation des pentes trop fortes, ou un changement pédologique brutale. La forêt régularise ainsi le débit des cours d'eau et amortit les crues de faibles et moyennes amplitudes.

Il n'existe que très peu de zones urbanisées sur le territoire, hormis le secteur de la ville de Luang Prabang relativement touristique et de Xieng Neung. Les villages recouvrant le territoire du bassin restent très ponctuels avec de faible densité de population.

Les industries sont quasiment inexistantes, hormis quelques teintureriers, usine d'eau, et briqueteries situées à proximité de Luang prabang.

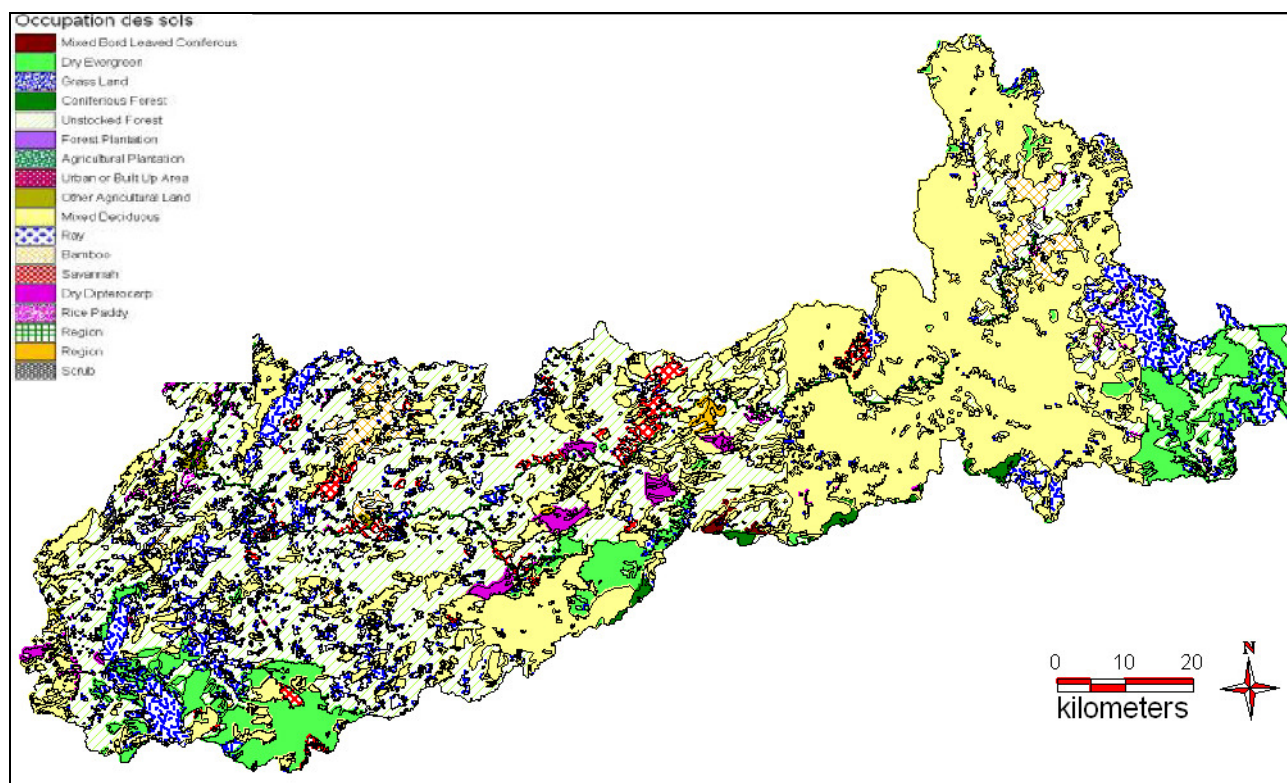


Figure 8 : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de la Nam Khan (Boissavi, 2008)

1.3 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

1.3.1 CLIMAT ET STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Le Laos est un pays au climat tropical humide, marqué par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison pluvieuse. La saison sèche de novembre à avril, est agréable en décembre-janvier, avec des températures comprises entre 14°C et 25°C.

La saison des pluies de mai à octobre, est très chaude de mars à mai, avec des orages fréquents, et les températures sont comprises entre 30°C et 44°C.

Il existe deux stations météorologiques à l'intérieur du bassin versant, l'une à l'aéroport de Luang Prabang (enregistrant des données de 1950 à aujourd'hui) et l'autre à Ban Hoaykhoath, dans le district de Xieng Ngeun (de 1988 à aujourd'hui). Les données météorologiques sont issues du site web « <http://www.theweathernetwork.com> » (Boissavi 2008) et synthétisées dans le diagramme suivant (Figure 9). Elles correspondent à la période d'observation de 1961 à 1990 et concernent la station de Luang Prabang.

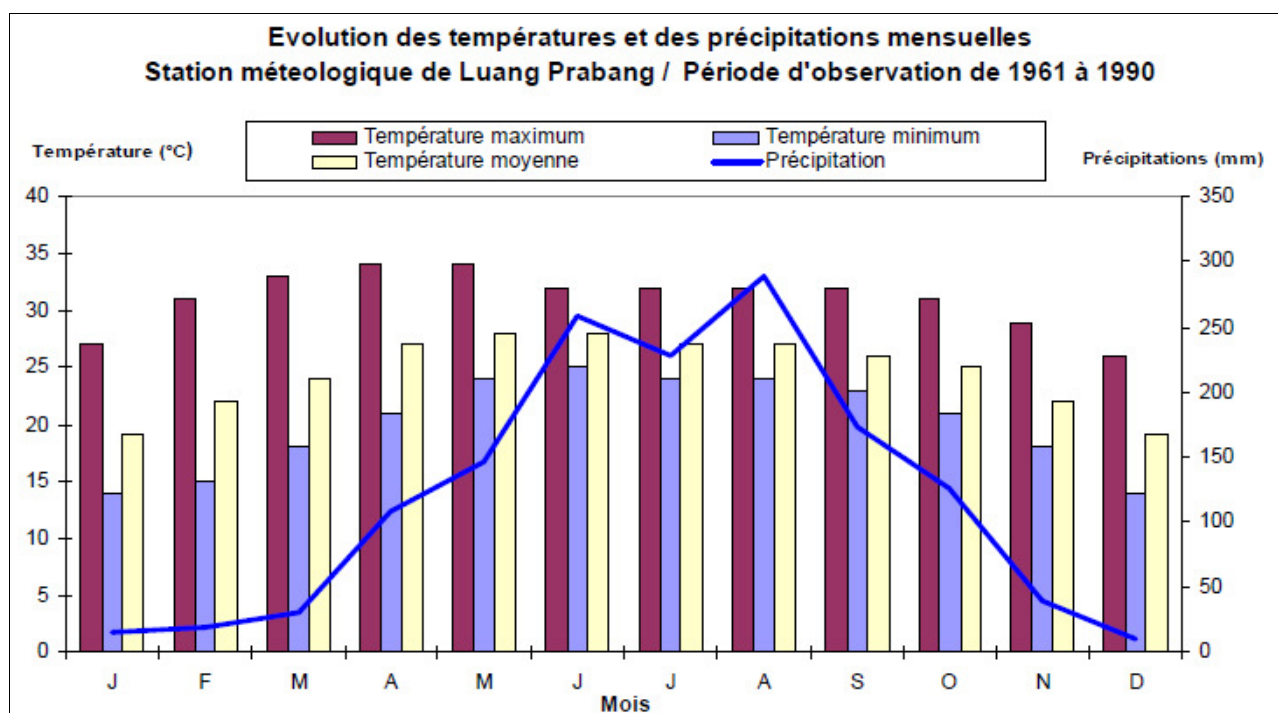


Figure 9 : Diagramme des températures et précipitations (Boissavi, 2008)

Les températures mensuelles moyennes sont comprises entre 19°C en décembre et 28°C en mai. Il peut être distingué pendant la saison sèche, une période plus froide de novembre à février, et une période chaude de mars à mai. La pluviométrie annuelle se situe autour de 1 400 mm, mais peut atteindre 2 000 mm selon les secteurs géographiques. La mousson apporte près de 90% des précipitations de l'année, entre mai et octobre, alors que pendant la saison sèche certains mois ne peuvent connaître aucun apport de précipitation.

1.3.2 HYDROLOGIE

- Mékong

Les principaux affluents du Mékong se situent dans la partie inférieure du Mékong. Ils peuvent se diviser en deux groupes. Le premier contribue à alimenter les débits de la saison des pluies et le second draine les régions au relief peu élevé et marqué par des faibles précipitations. La Nam Khan fait partie du premier groupe incluant les affluents en rive gauche du Mékong qui drainent des régions à fortes précipitations. Le deuxième groupe comprend principalement les rivières Mun et Chi qui drainent une large part du Nord Est de la Thaïlande.

Le tableau ci-dessous (Table 1) fournit la superficie du bassin versant du Mékong et la part du débit correspondant pour chaque pays traversé.

Tableau 1 : Part du débit du Mékong par pays traversé (Boissavi, 2008)

	Chine	Myanmar	Laos	Thaïlande	Cambodge	Vietnam	Total bassin versant Mékong
Superficie (Km ²)	165000	24000	202000	184000	155000	65000	795000
% par rapport à la superficie totale du bassin versant du Mékong	21	3	25	23	20	8	100
% par rapport au débit total du bassin versant du Mékong	16	2	35	18	18	11	100

Le bassin versant de la Nam Khan, avec sa superficie de 7445 km² représente un peu moins de 3,7% de l'ensemble des bassins versants des affluents du Mékong au Laos et un peu plus de 0,9% de la superficie du bassin versant du Mékong à Kratie (Cambodge). En matière de débit, la Nam Khan représente, aussi bien en sèche que pendant la saison des pluies, 0,6 % du débit total du Mékong à Kratie.

Le régime de mousson a pour conséquence un marnage important pouvant dépasser 15 m pendant la saison des pluies pour le Mékong (Figure 10). Le débit maximum étant généralement atteint en août.

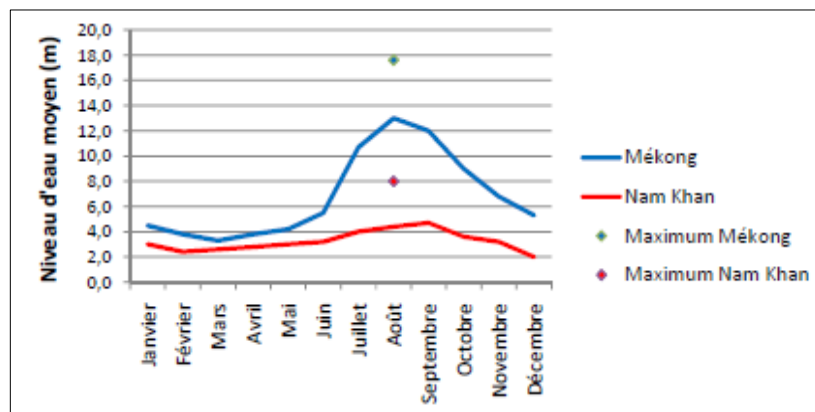


Figure 10 : Niveaux d'eau moyens mensuels du Mékong et de la Nam Khan (Luang Prabang Province Inventory, 2009)

- Nam Khan

Il existe deux stations hydrologiques sur la rivière Nam Khan, dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau suivant (Table 2) :

Tableau 2 : Récapitulation des caractéristiques des stations hydrologiques (Boissavi, 2008)

Station		Rivière	Coordonnées (Indian 1960 geodetic datum)		Paramètres	Données disponibles	
Code	Nom		Latitude	Longitude		Hauteur d'eau journalière	Débit journalier
120101	Ban Mixay (Ban Mout)	Nam Khan	19.787	102.177	Hauteur, Débit	60-06	60-05
120102	Ban Pak Bak (downstream)	Nam Khan	19.743	102.280	Hauteur, Débit	85-05	85-05

Les données de ces deux stations ont été fournies par le « River Mékong Committee ». Les diagrammes suivant montrent l'évolution des débits moyens mensuels et annuels pour les deux stations hydrologiques (Figure 11, Figure 12).

La différence de débit entre les deux stations n'est pas toujours cohérente. Les débits calculés à la station de Ban Mout apparaissent parfois moins élevés ou égaux à ceux calculés à la station de Ban Pak Bak bien que cette dernière soit placée en amont et draine donc un bassin versant de superficie moindre. Ceci peut être expliqué par la présence de failles au travers du bassin, ou de calculs erronés lors de la mise en place ou de l'exploitation des stations. De plus, il existe des périodes manquantes, principalement pour l'année 1993, ce qui peut fausser les moyennes.

Cependant, les périodes d'étiage et de crue sont cohérentes avec le diagramme des précipitations précédent. Le régime hydrologique de la Nam Khan se caractérise à un régime pluvial simple, avec une alternance annuelle de hautes et de basses eaux du aux précipitations de la saison des pluies.

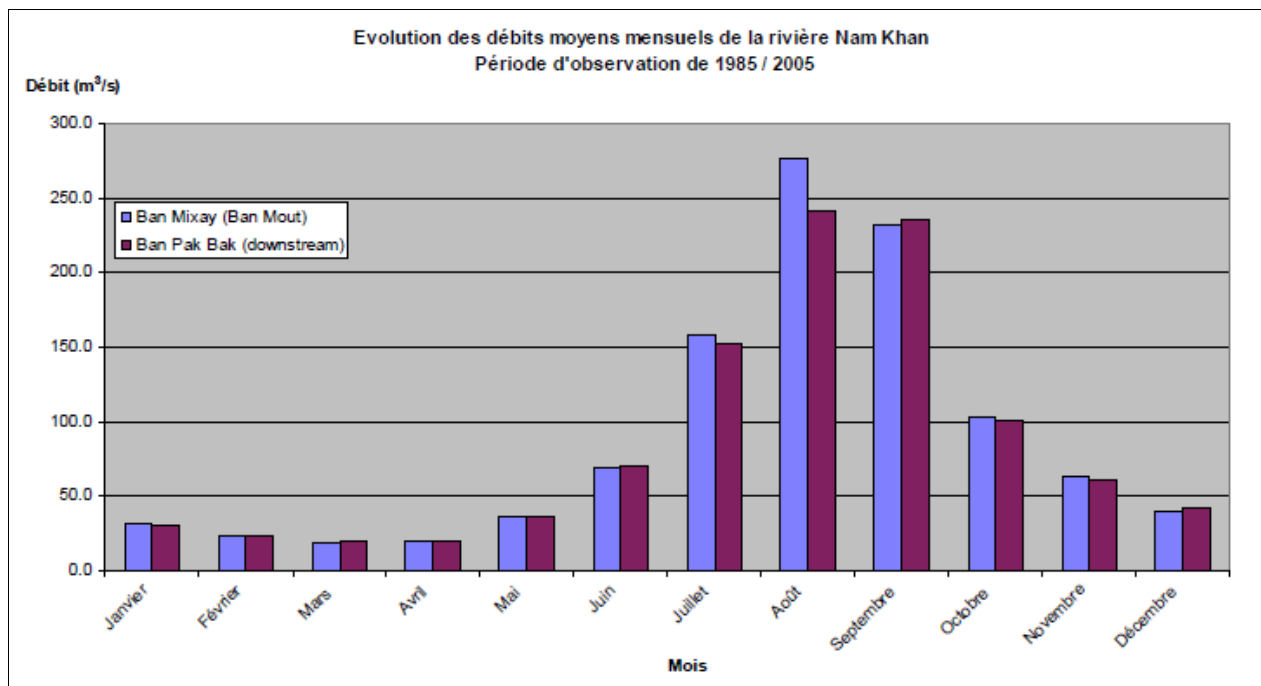


Figure 11 : Diagrammes des débits moyens mensuels de la Nam Khan (Boissavi, 2008)

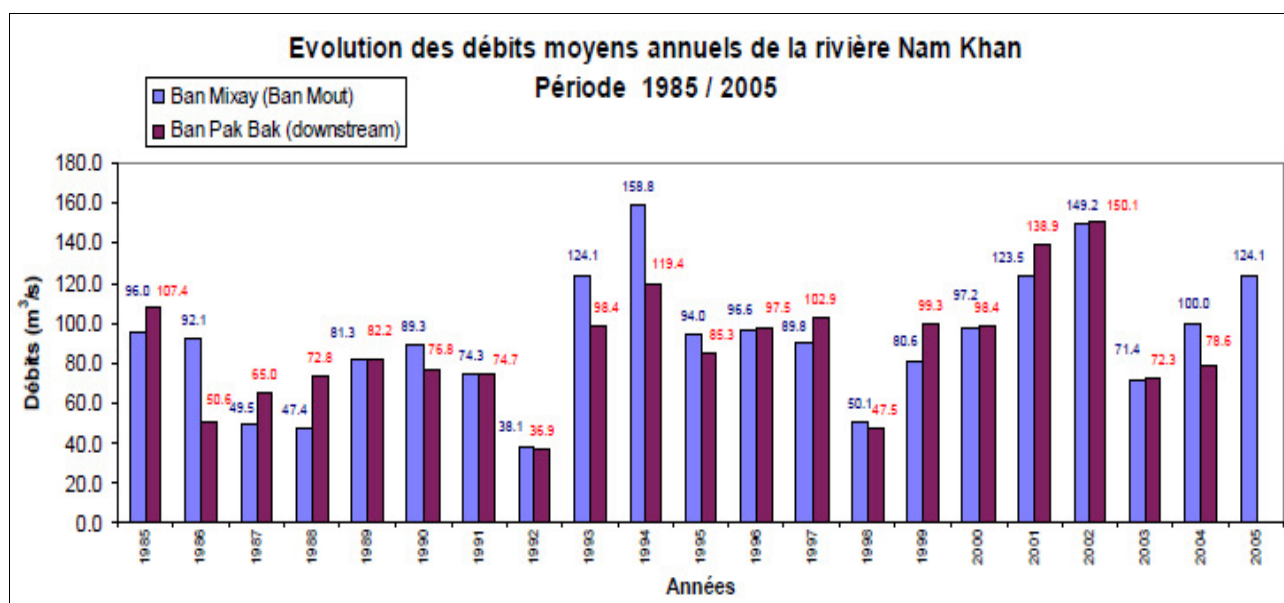


Figure 12 : Diagramme des débits moyens annuels de la Nam Khan (Boissavi, 2008)

Les débits caractéristiques de la Nam Khan à la station de Ban Mout sur les périodes d'observation sont :

Débit moyen mensuel d'étiage : 19,7 m³/s -Avril

Débit mensuel moyen : 89,2 m³/s

Débit moyen mensuel de crue : 276,5 m³/s -Août

Le débit d'étiage de la Nam Khan correspond à un peu moins de 1/5 du débit moyen mensuel.

1.4 CONTEXTE SOCIOCULTUREL

Depuis 1986, la paix s'est étendue progressivement à tout le pays, laissant se développer une politique économique favorable pour atteindre une croissance de 6,4% par an entre 1986 et 1996. Ce développement économique engendre encore une grande disparité au travers du pays, mais également de nombreux problèmes écologiques et environnementaux. La déforestation, due aussi bien à l'exploitation forestière qu'à la pratique de la culture sur brûlis (ray) a déjà commencé à provoquer l'érosion et la dégradation des sols tropicaux. L'exploitation des minerais provoque une pollution de l'eau des rivières par l'utilisation de métaux lourds comme le mercure ou d'autre produit comme le cyanure. Enfin l'exploitation hydroélectrique pousse le gouvernement à la construction d'immenses lacs de barrages en engloutissant des milliers d'hectares, conduisant à la disparition de certaines espèces animales. De plus, pour son développement, la Chine propose une multitude de projets d'exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau du Laos, accentuant leurs dégradations écologiques.

Il devient alors important d'organiser les premières études écologiques sur les cours d'eau encore peu impactés afin d'examiner le potentiel environnemental. Ceci permettant d'évaluer l'impact des infrastructures sur la biologie des organismes aquatiques et ainsi prévoir les conséquences sur l'activité humaine, très largement dépendante des cours d'eau en terme d'agriculture, de pêche, d'hygiène, etc.

2. METHODOLOGIE D'ETUDE PRELIMINAIRE ET REFLEXION SUR LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI

Afin de mettre en place un suivi biomonitoring sur les cours d'eau du Laos, il est important de savoir si nos connaissances et notre savoir-faire développés dans les milieux tempérés sont potentiellement adaptables et exportables aux conditions locales. Ainsi cette partie propose l'utilisation et l'appréciation d'un protocole stratifié adapté ; l'usage de la clef de détermination des macroinvertébrés du Mékong ; ainsi que l'application des indices biologiques pour le traitement des résultats.

2.1 CAMPAGNE PILOTE SUR LA NAM KHAN ET SES AFFLUENTS

Cette campagne a été menée du 1 au 5 mai 2010, sur le bassin versant de la Nam Khan et ses affluents. La méthodologie se fonde sur la méthode de prélèvement IBGN français. Nous verrons plus bas, comment cette méthode a été adaptée aux conditions locales.

2.1.1 PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE

La création de ce protocole comporte plusieurs objectifs. D'abord de proposer une méthodologie de prélèvement des Macro-Invertébrés Benthiques (MIB) adaptée aux cours d'eau à morphologie très variable, principalement en Asie du Sud-Est. Enfin, il permettra le prélèvement à différents niveaux de crue lors du début de la saison des pluies. Ceci dans un souci de mieux connaître et caractériser les populations MIB, ainsi que d'identifier et d'adapter les différents indices biologiques.

- ***positionnement des stations :***

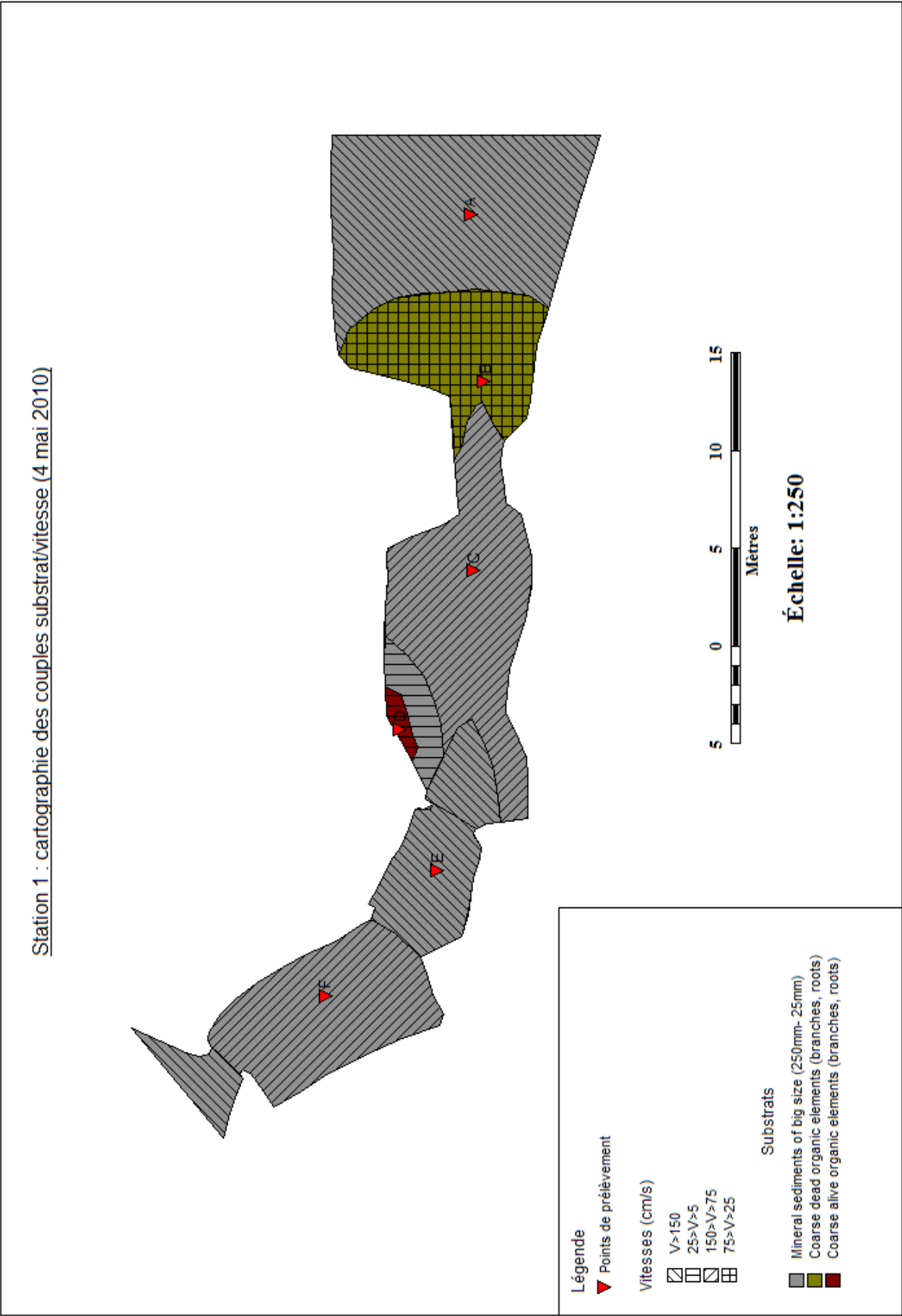
Les stations ont été distribuées de façon à caractériser au mieux les morphologies variables du cours d'eau. La détermination s'est effectuée alors sur la base de l'étude des éléments physiques constituant le bassin versant. Tel que la géologie, les variations géométriques du cours d'eau (largeur, profondeur, pente...) ainsi que les hétérogénéités ponctuelles (habitats).

Une station s'étend d'environ 10 à 15 fois sa largeur sur les affluents de faible proportion, et sur une distance considérée suffisante (observations, expérience) sur les cours d'eau à largeur importante. Il était approprié le plus souvent possible d'étendre la station sur une alternance de plusieurs radiers-mouilles, afin de couvrir un maximum d'habitats. Chaque station a fait l'objet d'une description minutieuse, comprenant sa représentation graphique de la totalité des habitats, ainsi que sa description des différentes caractéristiques physiques et des conditions adjacentes grâce à une fiche préétablie (annexe 2). De manière à retrouver facilement la station lors de campagnes ultérieures, les coordonnées GPS ont été précisément enregistrées.

- ***Cartographie et identification des stations :***

Des cartes précises de localisation de chacune des stations ont été réalisées, permettant d'y reporter l'évaluation des surfaces des différents substrats et vitesses pour chacune des stations. Lors de l'échantillonnage, les emplacements des prélèvements ont été reportés sur le schéma de la station.

Exemple de carte, station 1 :



- **habitats à échantillonner :**

Il a donc été échantillonné pour chaque site tous les types d'habitats majeurs selon une même constance pour tous les sites d'une même rivière. Un échantillonnage qui ne tiendrait pas compte du type d'habitat pourrait conduire à une interprétation erronée. Ici, nous avons travaillé principalement avec un habitat défini par la combinaison entre un substrat, et une vitesse d'écoulement.

Substrat :

Un substrat est constitué par une association d'éléments minéraux (pouvant inclure des éléments organiques), ou d'éléments végétaux, présentant des caractères physiques homogènes. Pour être pris en compte dans la description de la station et inclus dans l'échantillonnage, un substrat doit représenter une surface minimale au moins égale à 1 pour mille de la surface de la station ; cette surface est estimée visuellement.

Cette surface minimale doit être contiguë pour les substrats minéraux, définis d'après la classe granulométrique qui présente la plus forte proportion apparente en surface.

En revanche, cette surface minimale peut ne pas être contiguë pour les substrats non minéraux (racines, hydrophytes...). La surface minimale contiguë pour inclure un substrat dans l'échantillonnage est celle d'un Surber (1/20ème de m²). Les modes de prélèvements des substrats sont présentés en annexe 3.

Vitesses :

Les vitesses ont été caractérisées selon les conditions hydriques en 5 différentes gammes approximatives. Celles-ci ont été identifiées sur le terrain, soit par observation direct, et détermination simple des masses d'eaux lentes et lotiques, soit par estimation de la vitesse, par exemple à l'aide de la technique du flotteur.

Une fois les pourcentages de recouvrement des habitats définis, ceux-ci ont été reportés sur une fiche terrain. (Tableau suivant)

Tableau 3 : Grille de synthèse des habitats

Water velocity (cm/s)	V	V > 150	150 > V > 75	75 > V > 25	25 > V > 5	V < 5
Substrate		2	4	5	3	1
Byophytes	10					
Immerged spermatophytes	9					
Coarse alive organic elements (branches, roots)	8					
Coarse dead organic elements (branches, roots)	7					
Mineral sediments of big size (250mm- 25mm)	6					
Mineral sediments of medium size (25mm- 2,5mm)	5					
Emerged spermaphytes	4					
Fines sediments, mud	3					
Sand and silts (<2,5mm)	2					
Natural and artificial surfaces (rocks, blocks...) >250mm	1					
Algae's, calcareous clay, clay	0					

- ***Saisonnalité***

La saisonnalité est une question importante. La composition communautaire peut changer très rapidement au travers des saisons. Les prélèvements se sont effectués sur la période pré mousson durant la saison sèche. Cependant, les stations pourront être échantillonnées en tout début de la saison des pluies, à différents niveaux de crues, jusqu'à ce que les moyens techniques ne le permettent plus.

- ***Prélèvements***

Le prélèvement est une étape cruciale, puisque toutes les étapes qui suivent et qui mènent finalement à une conclusion sur l'évaluation et la détermination de connaissances reposent sur la fiabilité et la représentativité des échantillons recueillis. « Le but de l'échantillonnage est donc de rassembler la diversité la plus représentative de macroinvertébrés, et ce, pour chaque station examinée » (De Pauw et Vanhooren, 1983). L'important est que l'échantillonnage soit fait de façon uniforme pour tous les sites et conformément au protocole qui est établi.

Dans le cas de la Nam Khan, nous avons utilisé une méthode comprenant deux types d'instruments pour prélever un total maximum de 7 à 10 habitats par station. Il est également nécessaire de prélever le substrat ou le support de l'habitat échantillonné. Un maximum d'habitats doit être prélevés sur la station tous les habitats présentant plus de 5% de recouvrement sur l'ensemble de la station devront être échantillonnés.

Les prélèvements ont été réalisés sur des stations peu profondes (maximum 1 m de hauteur d'eau). La prospection de substrats différents est nettement privilégiée. Cependant, la vitesse du courant qui est également un facteur important de diversification des peuplements d'invertébrés benthiques.

Conduite d'échantillonnage :

Préalablement à l'échantillonnage, un repérage des habitats a été réalisé. Afin d'améliorer la précision d'évaluation du pourcentage de recouvrement des différents types d'habitats présents, il a été nécessaire d'utiliser un télémètre laser pour l'évaluation des distances et superficies,

● Conditions d'échantillonnage et méthodes de prélèvements des substrats :

Il faut veiller à réaliser les prélèvements élémentaires de l'aval vers l'amont pour éviter :

1. la gêne occasionnée par le trouble éventuel de l'eau ;
2. de récolter des invertébrés en dérive ;
3. d'endommager des habitats non prélevés.

Si la profondeur devait être supérieure à la longueur du bras, il devra être employé un haveneau (surber emmanché) pour le prélèvement des différents substrats.

Les différents substrats seront prélevés selon les prescriptions présentées en annexe 3.

● Identification des prélèvements :

Les différents sacs ont été soigneusement étiquetés avec la mention du prélèvement auquel ils appartenaient. Cet étiquetage a été doublé par un marquage interne qui est resté avec l'échantillon après la phase de tri de façon à garantir une parfaite traçabilité de l'échantillon même en cas d'effacement accidentel du marquage externe. Les informations portées sur cet étiquetage ont été les suivantes :

- Le code de la station,
- La date,
- Le nom en clair du cours d'eau,
- Le numéro de prélèvement indiqué dans la fiche prélèvement

● matériel

Les caractéristiques de la Nam Khan sont très variables dans le temps et dans l'espace. Ainsi, il a été utilisé le *Surber* lors de nos prélèvements, mais le *Filet haveneau* (à 0,5 mm de vide de maille) pourrait être utilisé en fonction de l'accessibilité des supports, afin de couvrir l'ensemble des variations morphologiques et hydrologiques. Pour chaque habitat de stations, les prélèvements de 1/20 de m² ont été réalisés.

Surber : L'utilisation du Surber est généralement limitée aux faibles profondeurs. Il a été utilisé pour prélever tous les habitats accessibles à pieds avec une hauteur d'eau maximale de 1m. Les dimensions du cadre de Surber sont approximativement 1 pied par 1 pied soit 1/20ème de m² (Figure 13). Il est placé horizontalement sur le substrat pour tracer un secteur d'un pied carré qui est agité et orienté vers le fond du filet.

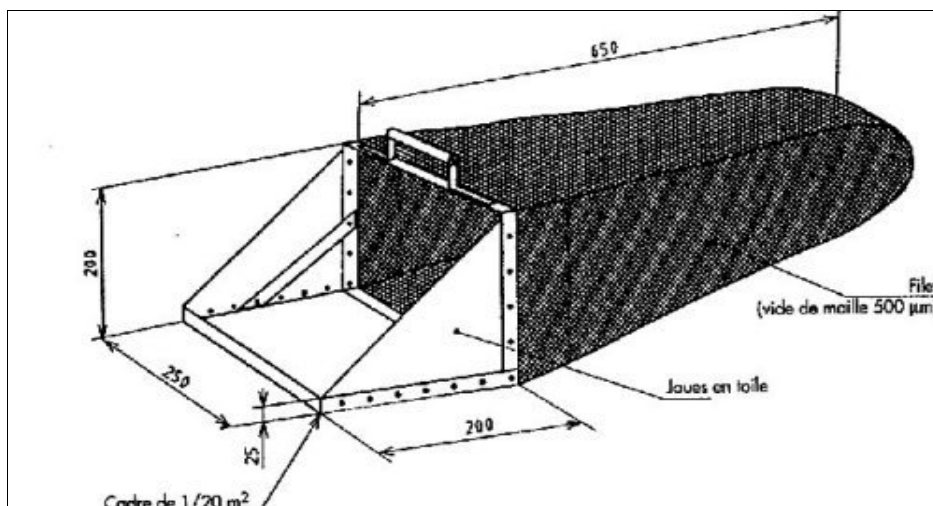


Figure 13 : Caractéristiques schématisées du surber

Filet haveneau (surber emmanché) : Ce dernier n'a pas pu être utilisé lors de cette campagne, mais pourra être utile lorsque les prélèvements au surber deviendront trop difficiles avec la montée des eaux (Figure 14). Il faut imaginer devant le filet placé à contre-courant, une surface d'un pied carré dans lequel on concentre l'effort d'échantillonnage. Il faut racler les substrats inférieurs (roches, sable, boue...) sur environ 20 cm. Celui-ci pourra être utilisé à partir d'une embarcation, d'où une première personne maintient le filet plaqué dans le fond, et une seconde tirant le haveneau à l'aide d'une corde accrochée à la base.

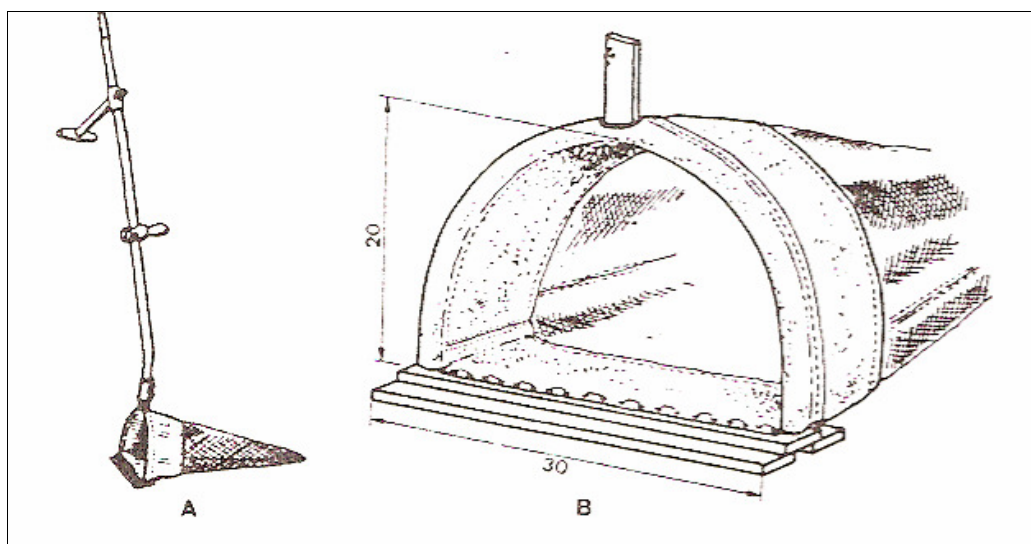


Figure 14 : Aperçu schématisé du filet haveneau

- **conservation des prélèvements :**

Les échantillons prélevés sur le terrain ont été conservés dans des sacs plastiques de types grand sac de congélation, numérotés et identifiable pour chaque habitat par station. Il est nécessaire d'y verser la totalité du contenu du filet du surber pour chaque prélèvement, comprenant le substrat

et les MIB. Les échantillons ont été stabilisés par l'ajout d'une solution de formaldéhyde à 10 %, puis délicatement homogénéisés par un léger brassage. Une fois les échantillons fixés, ceux-ci ont été conservés avant leur trie et leur détermination en laboratoire. Préalablement, une élimination des éléments minéraux et organiques grossiers, susceptible d'endommager les organismes durant le transport, s'est avérée nécessaire. Pour ce faire, ces éléments ont été soigneusement examinés et lavés au-dessus du surber ou d'un tamis avec un vide de maille de 0,5 mm.

Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau à l'aide du tamis pour enlever le conservateur, puis être déterminés.

- ***Traitement des échantillons en laboratoire :***

La collecte complète des individus pour les taxons abondants n'étant pas utile, et pouvant même constituer une sérieuse perte de temps, il a été souhaitable de recourir à l'utilisation de procédures de sous-comptage pour les taxons les plus numériquement représentés. Les individus des autres taxons ont été systématiquement triés, déterminés et comptés jusqu'au genre pour les plécoptères, éphémères, trichoptères et jusqu'à la famille pour les autres taxons.

Les échantillons ont été triés sur des tamis de maille 500µm. La conservation des individus a été réalisé **dans l'alcool (70% volume)** avant leur détermination. La détermination s'est effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire. Chaque pilulier, remplis d'éthanol à 70%, qui comprend l'ensemble des individus triés et déterminés ont été annoté de la même façon que l'identification des prélèvements.

Réflexion :

Comme expliqué précédemment, ce protocole se base particulièrement sur la méthodologie utilisée en France pour le calcul de note IBGN. Les conditions d'utilisation demandées à cette nouvelle méthodologie ont donc été prises en compte sous forme théorique, afin d'être la plus adaptée possible aux cours d'eau visés. Cette première campagne n'a de plus pas permis l'utilisation complète de cette nouvelle méthodologie, les niveaux d'eau n'étant pas suffisamment hauts pour utiliser le haveneau en embarcation. Elle pourra donc être certainement modifiée au cours de son utilisation en fonction des résultats et de la maniabilité sur le terrain.

Enfin, la stratégie d'échantillonnage doit prendre en compte les problèmes de turbidité qui masque les substrats atteignant une certaine profondeur, rendant la déduction des couples substrats/vitesses plus difficiles. Le choix de la période de prélèvement sera alors important.

2.1.2 PRESENTATION DES STATIONS

Pour cette étude préliminaire, il a été décidé d'établir 7 stations sur le cours de la Nam Khan et ses affluents (Figure 21). Le positionnement c'est réalisé afin de caractériser au mieux les variations mésologiques au travers du bassin. Les stations ont été distribuées de 1 à 7 en fonction de leur positionnement, de la plus éloignée à la plus proche de l'exutoire du bassin versant. Ainsi trois stations sont réparties sur la Nam Khan dont une en aval, proche de Luang Prabang, une seconde sur une zone perturbée, et enfin une dernière en amont sur un site représentatif du cours d'eau non impacté. Afin de compléter et d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement hydrobiologique du bassin versant, quelques stations seront positionnées sur plusieurs de ses affluents, recouvrant le plus possible de rang de la classification de strahler. C'est pourquoi il a été établi une station sur la Nam Sa, affluent direct de la Nam Khan, ainsi qu'une sur la Nam Ming. Enfin deux dernières ont été positionnées, l'une sur un tributaire de la Nam Sanam, ainsi qu'une seconde sur la Nam Sanam, affluent de la Nam Ming.

Le reste du bassin versant n'a pu être prélevé du à sa complexité dans l'accessibilité des cours d'eau plus en amont.

Les différentes métriques comparables par station sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Paramètres par station

	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
Nom du cours d'eau	Affluent Nam Sanam	Nam Sanam	Nam Ming	Nam Sa	Nam Khan	Nam Khan	Nam Khan
Largeur (m)	5	15	20	10	50	80	60
Profondeur moyenne (m)	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
Substrat dominant	Roche et galets	Roche et galets	Roche et galets	Roche et galets	Roche et galets	Roche et galets	Roche et galets
Ordre de strahler	1	5	6	4	7	7	7
Distance à la source (km)	-	-	-	201	214	235	259
Distance à la confluence (km)	83	81	80	59	46	25	1

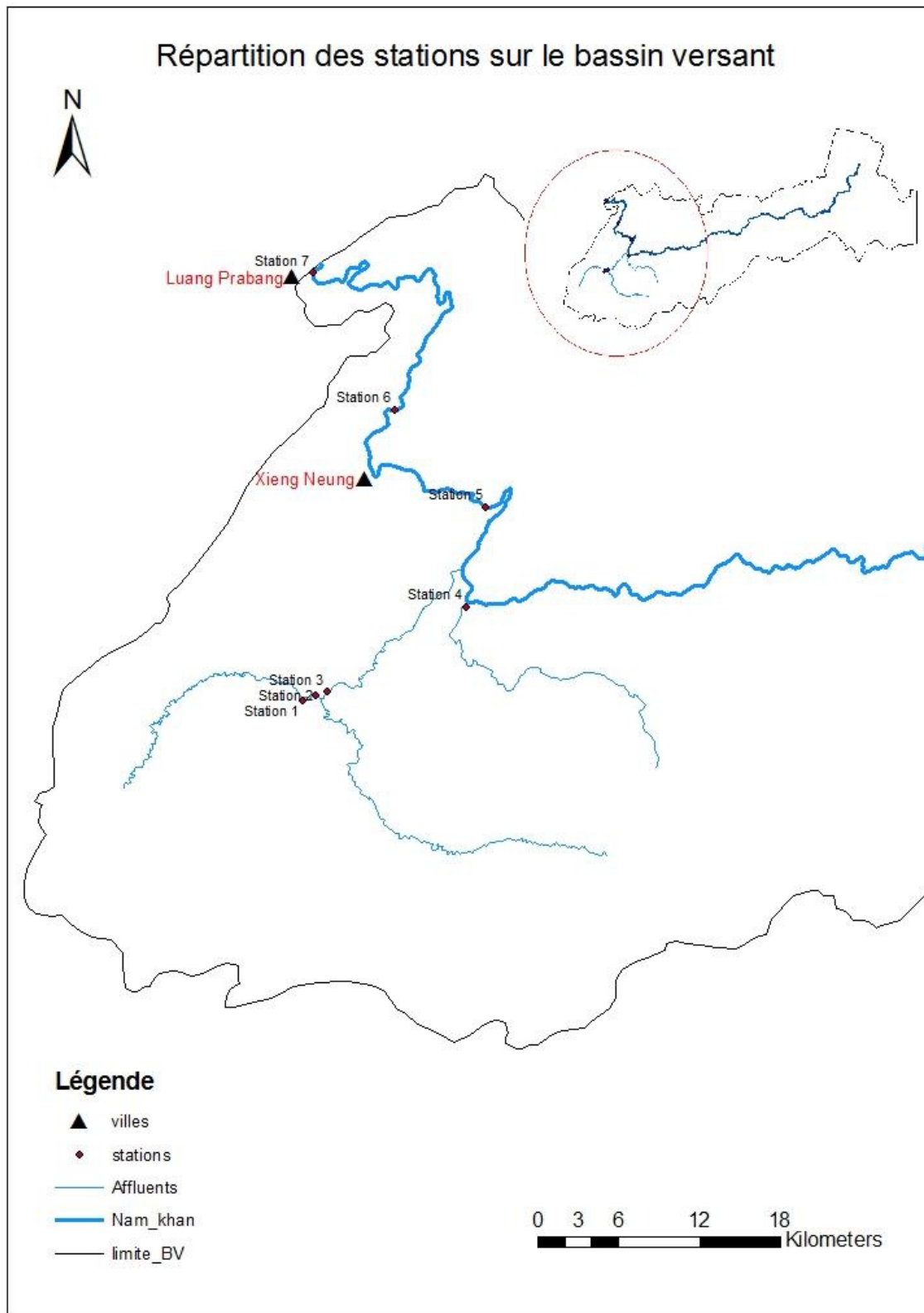


Figure 15 : Carte de répartition des stations sur la Nam Khan et ses affluents

➤ Station 1 :

Certainement la plus naturelle de toute, elle se situe en tête bassin avec un rang de strahler 1. Ce ru relativement actif avec de fortes vitesses ne dépasse pas les 5 mètres de largeur et 40 cm de profondeur. (Figure 15, Figure 16)



Figure 16 : Photos de la station 1

➤ Station 2 :

Positionnée à l'aval du village de Ban Sanam, sur la Nam Sanam, elle est représentative des nombreux affluents du bassin versant. Elle se situe sur un méandre dû à une confrontation géologique plus dure et présente une mosaïque d'habitats intéressants. (Figure 15, Figure 17)



Figure 17 : Photos de la Station 2

➤ Station 3 :

Localisée sur la Nam Ming, à 2 kilomètres après la confluence de la Nam Sanam et une dizaine de kilomètres avec la confluence à la Nam Khan (Figure 15, Figure 18). Elle représente bien les caractéristiques d'un cours d'eau moyen malgré un rang de strahler élevé.



Figure 18 : Photos de la station 3

➤ Station 4 :

La station 4 se place à la confluence de l'affluent le plus en amont de la zone d'étude sur la Nam Khan (Figure 15, figure 19). La Nam Sa est un petit cours d'eau de moins d'une dizaine de mètres de largeur, pour un rang de strahler d'ordre 4. Il draine un bassin d'environ 200 km² typiquement représentatif des sous bassins de la Nam Khan. Cette station est surplombée par un petit village situé entre la Nam Khan et la Nam Sa.



Figure 19 : Photo de la station 4

➤ Station 5 :

Très peu impactée, elle représente l'aspect naturel du cours d'eau. Elle se compose d'une forte hétérogénéité dans la diversité d'habitat, avec des substrats très différents ainsi qu'une gamme de vitesse diversifiée. (Figure 15, Figure 20)

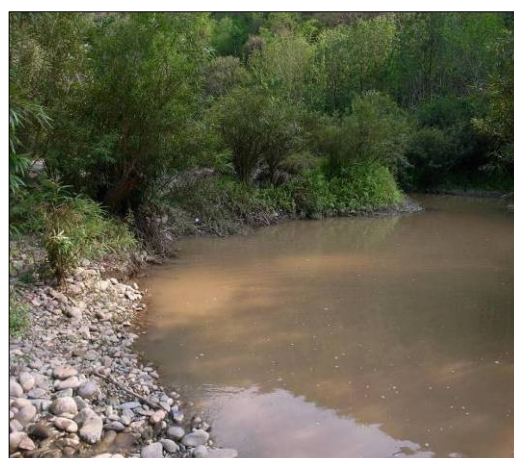


Figure 20 : Photos de la station 5

➤ Station 6 :

Elle se caractérise par la présence d'une forte exploitation de granulats sur quasiment toute la zone. Une barre sédimentaire végétalisée dans le milieu du cours laisse passer deux chenaux de part et d'autre, laissant apparaître des habitats intéressants. (Figure 15, Figure 21)



Figure 21 : Photo de la station 6

➤ Station 7 :

Cette station se positionne tout à fait à l'aval de la Nam Khan, et en amont direct de la ville de Luang Prabang. A cet endroit la distance à plein bord est relativement large, mais la profondeur ne dépasse pas 1 mètre. Cette zone subit une forte pression de pêche à l'épervier et de baignade par les habitants riverains. (Figure 15)

2.1.3 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour chacune des stations prélevées, plusieurs facteurs physico-chimiques ont été déterminés afin de caractériser au mieux les conditions environnementales adjacentes. Ainsi, les paramètres physico-chimiques choisis sont :

température	DCO	brome	ammonium
pH	phosphore total	nitrite	ammoniac
conductivité	azote total	nitrate	potassium
turbidité	fer total	phosphate	calcium
oxygène dissous	fluor	sulfate	magnésium
DBO5	chlore	sodium	

Les paramètres non conservatif (tel que : température, pH, conductivité, oxygène dissous) ont pu être mesurés in-situ l'aide d'un pH-mètre, conductimètre. Pour la partie chimie, les échantillons ont été conservés sur le terrain dans une glacière à 5 °C ainsi qu'à l'abri de la lumière. Arrivés au laboratoire du WREO à Luang Prabang, ils ont été stabilisés et filtrés sur membrane 0,45µm, puis envoyés au laboratoire du barrage de Nam Theun 2, pour être analysés au chromatographe. La mesure de la DCO c'est réalisée au laboratoire de Luang Prabang.

2.2 RESULTATS ET INTERPRETATIONS DE LA STRUCTURE BIOLOGIQUE

2.2.1 DETERMINATION ET APPRECIATION DE LA CLEF DE DETERMINATION DU MEKONG

2.2.1.1 Détermination

Pour réaliser la détermination des MIB, il a été employé en partie la clef de détermination française d'Henry Tachet et Al. (Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie), pour la caractérisation jusqu'à la famille. Afin de couvrir l'ensemble des familles présentes et descendre au genre ou à l'espèce, il a été utilisé celle des invertébrés du Mékong (Identification of invertebrates of the Mekong river and tributaries) réalisée par la MRC (Mekong River Commission).

Cette clef très générale au Mékong se décline en plusieurs chapitres, reprenant les principaux ordres. L'arborescence dichotomique est présentée sous forme de texte portant sur les caractéristiques d'un spécimen permettant l'identification étape par étape à un taxon nommé. Ces descriptifs sont alors accompagnés par des croquis représentant la particularité, tout ceci sous forme d'annexe en fin de chaque chapitre. Lors de son utilisation, il a pu être noté plusieurs remarques quant à la praticité de son usage.

Lors de son utilisation, il a pu être remarqué de nombreuses limites (maniabilité, simplicité de lecture) ainsi que sur le choix des descripteurs caractérisant les individus. Il a donc été utile de reprendre le fond de cette clef et ainsi reformuler la forme de façon plus lisible, permettant de gagner en fluidité d'utilisation. La partie suivante présente quelques idées réalisées d'améliorations pouvant être apportées à cet ouvrage.

2.2.1.2 Amélioration et modification de la clef de détermination des PET du Mékong

Présentation de la conception :

Le but de l'amélioration de cette clef est de la rendre principalement beaucoup plus lisible, et plus maniable. C'est pourquoi l'élaboration d'une nouvelle clef c'est appuyer sur le guide des « invertébrés d'eau douce » pour la partie forme, et sur « l'Identification of invertebrates of the Mekong river and tributaries » ainsi que de nombreuses observations directes pour la partie fond et connaissance.

Schéma de l'arrangement de la clef, exemple des Plécoptères (Perlidae) :

Cet arrangement c'est appliqué à l'ensemble des trois ordres les plus importants qui sont les Plécoptères, les Ephémères ainsi que les Trichoptères. Ce travail important est présenté dans un

fascicule annexe à ce rapport, et sera proposé à la MRC afin d'approfondir et de l'élargir à l'ensemble de la clef déjà existante.

L'annexe 4 présente la structure et l'organisation de la clef initiale réalisée par la MRC (Identification of invertebrates of the Mekong river and tributaries). Enfin l'annexe 5 montre un résultat possible de l'arrangement et de la configuration des données plus adapté et simple d'utilisation pour l'ordre des Plécoptères.

Réflexion :

La réalisation de cette nouvelle forme de clef de détermination va permettre un gain précieux de temps et une facilité dans son utilisation. Cependant, elle reste qu'un prototype et devra encore être améliorée, principalement sur la clarté et la simplification des caractéristiques de détermination des spécimens par expérience lors des déterminations futures.

Il devra également être généralisé cet arrangement à l'ensemble des ordres contenus dans la clef initiale.

2.2.2 SYNTHESE DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Suite à la détermination taxonomique réalisée au laboratoire, une liste faunistique des MIB a pu être établie. Les résultats pour chaque station sont consultables en annexe 6, et sont présentés sous forme de fiches synthétiques. Elles regroupent les conditions générales de la station, la physico-chimie, la grille habitat, une carte détaillée du site, ainsi que la matrice des déterminations par prélèvement et les indices biologiques correspondants. Le tableau suivant réunit les résultats de détermination des sept stations.

Tableau 5 : Tableau global de détermination des différents taxons

code	taxons	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
nem	Nemoura	0	0	0	0	6	0	0
ind	Indonemoura	0	0	0	0	2	1	0
amp	Amphinemura	0	0	0	0	1	0	0
cry	Cryptoperla	0	0	0	0	6	0	0
per	Perlidae nd	0	0	0	0	0	0	2
pha	Phanoperla	0	6	11	0	0	0	92
tet	Tetropina	0	0	0	0	2	0	1
etr	Etrocorema	0	4	6	0	5	0	1
neo	Neoperla	6	2	6	27	6	2	9
agn	Agnetina	0	0	0	0	0	3	1
tog	Togoperla	0	0	0	0	1	0	0
kam	Kamimuria	0	0	0	0	1	0	0
	Plécoptères	6	12	23	27	30	6	106
bae	Baetidae nd	2	5	0	13	22	0	7
gra	Gratia	0	0	0	0	0	7	0
pla	Platybaetis	0	0	0	0	1	2	0
nig	Nigrobaetis	0	0	0	0	1	0	0
bae	Baetis	0	0	0	0	0	0	3
caend	Caenidae nd	2	0	0	0	0	0	0
cau	Caenoculis	0	0	0	0	0	0	4
cae	Caenis	1	0	0	19	0	2	0
eph	Ephemerellidae nd	1	0	0	0	12	0	0
cri	Crinitella	0	0	0	0	1	0	0
kan	Kangella	0	0	1	0	0	0	0
ura	Uracanthella	0	0	0	0	1	0	0
ser	Serratella	0	0	0	0	0	0	167
epa	Ephemera	2	0	0	3	0	5	1
hepnd	Heptageniidae nd	4	0	0	3	20	2	7
pae	Paegniodes	0	0	0	0	3	1	0
tha	Thalerosphyrus	0	0	0	0	8	0	0
cin	Cinygmia	1	0	0	0	3	1	1
cho	Choroterpides	0	0	3	0	0	6	82
hab	Habrophlebiodes	0	0	0	0	5	0	0
cho	Choroterpes	0	1	0	0	20	3	6
cai	Caenoides	5	1	2	3	0	1	40
pot	Potamanthus	4	0	1	0	0	0	0
rho	Rhoenanthus	8	5	18	27	1	1	33
pro	Prosopistoma	0	0	0	1	0	0	0
	Ephéméroptères	30	12	25	69	98	31	351
hyd	Hydroptilidae nd	0	0	0	0	1	0	0
pse	Pseudoneureclipsinae	1	0	0	0	0	4	18
ecn	Ecnomidae	0	0	0	1	0	0	0
hydnd	Hydropsychidae nd	0	1	0	0	2	4	12
mac	Macrostemum	0	0	0	0	0	0	19
aps	Amphipsyche	0	0	0	0	0	0	10
oes	Oestropsyche	0	0	0	0	0	0	4
pse	Pseudoleptonema	0	0	0	0	0	0	1
pot	Potamyia	0	0	1	0	0	1	11
che	Cheumatopsyche	0	1	0	0	12	8	16
cer	Ceratopsyche	0	0	0	0	0	29	71
hya	Hydatomanicus	0	0	0	0	0	0	44
hyd	Hydropsyche	1	1	0	0	3	0	0
wor	Wormaldia	0	0	1	0	1	0	0

pol	Polycentropodidae	0	0	8	0	0	3	9
psy	Psychomyiidae nd	0	0	0	0	1	0	5
tin	Tinodes	0	0	0	0	2	0	0
pad	Paduniella	0	0	0	0	0	9	0
ste	Stenopsychidae	0	0	5	0	0	0	0
bra	Brachycentridae	3	0	3	0	1	0	27
let	Leptoceridae nd	0	4	0	0	5	4	17
lec	Leptocerus	0	4	8	0	0	0	4
set	Setodes	0	1	0	0	0	0	0
cer	Ceraclea	1	0	0	0	0	0	0
psi	Psilotreta	0	0	0	0	0	2	0
mar	Marilia	2	0	0	0	0	0	0
	Trichoptères	8	12	26	1	28	64	268
col	Coleoptera nd	0	0	0	0	2	3	1
dyt	Dytiscidae	0	0	0	0	0	8	4
gyr	Gyrinidae	0	1	0	0	0	1	3
hal	Halipidae	0	96	5	0	0	4	106
chr	Chrysomelidae	0	0	0	0	0	0	1
cur	Curculionidae	0	0	0	0	0	12	0
dry	Dryopidae	0	20	3	0	3	4	7
elm	Elmidae	105	87	425	212	21	383	989
hyp	Hydrophilidae	0	2	0	1	0	4	30
pse	Psephenidae	3	22	21	0	13	3	14
sci	Scirtidae	0	0	0	0	5	0	2
stp	Staphylinidae	0	0	0	0	0	0	5
	Coléoptères	108	228	454	213	44	422	1162
amt	Amphipterygidae	0	0	0	0	0	1	0
clp	Calopterygidae	0	0	0	0	0	0	2
cog	Coenagrionidae	0	0	3	0	0	0	0
eup	Euphaeidae	0	0	0	0	35	2	4
cor	Corduliidae	0	0	4	1	0	0	1
gom	Gomphidae	2	0	5	3	6	12	13
lib	Libellulidae	0	0	0	0	0	2	3
	Odonates	2	0	12	4	41	17	23
cor	Corydalidae	0	0	0	0	2	0	4
aph	Aphelocheiridae	6	4	1	6	2	7	7
nau	Naucoridae	0	1	2	0	1	1	13
nep	Nepidae	0	0	0	0	0	0	1
ple	Pleidae	0	6	0	0	9	0	7
ger	Gerridae	0	0	0	0	0	0	2
dip	Diptera nd	2	6	0	0	0	0	0
ctp	Ceratopogonidae	0	0	0	8	1	0	1
tip	Tipulidae	0	0	0	0	0	3	0
sim	Simuliidae	0	1	0	0	33	75	12
chi	Chironomidae	5	4	15	22	28	106	8
tab	Tabanidae	0	0	0	0	0	2	0
syr	Syrphidae	0	1	0	0	0	0	0
ath	Athericidae	0	1	0	0	7	1	3
emp	Empididae	0	0	0	0	0	1	0
lim	Limoniidae	2	5	0	0	5	4	15
aty	Atyidae	0	0	2	0	0	0	0
par	Parathelphusidae	0	0	0	2	1	0	0
cra	Crambidae nd	0	0	0	0	0	1	0
eoo	Eoophyla	2	0	0	0	0	0	2
pot	Potamomusa	0	0	0	0	0	1	1
par	Paracymoriza	0	0	0	0	0	0	1
cor	Corbicula	12	0	3	44	0	0	0
lym	Lymnaeidae nd	15	0	0	3	0	0	21
rad	Radix	1	0	0	90	0	0	2
phy	Physidae	0	0	0	7	0	0	0
pac	Pachydrobia	10	0	762	13	4	1	0
dre	Dreissenidae	0	0	3	0	0	0	0
oli	Oligochètes	32	1	7	2	1	8	2
	Autres invertébrés	87	30	795	197	94	211	102

Grâce à la réalisation de cette matrice, il a pu être analysé et comparé les différentes distributions des macroinvertébrés entre les stations. Le tableau 6 expose la synthèse du nombre d'individu par ordre afin d'établir plusieurs comparaisons entre les stations.

Tableau 6 : synthèse du nombre d'individu par ordres

code		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
	Plécoptères	30	6	106	12	23	6	27
	Ephéméroptères	98	31	351	12	25	30	69
	Trichoptères	28	64	268	12	26	8	1
	Coléoptères	44	422	1162	228	454	108	213
	Odonates	41	17	23	0	12	2	4
	Autres invertébrés	94	211	102	30	795	87	197

Les deux diagrammes suivant proposent une représentation de la distribution des MIB en fonction des stations. Le premier montre le nombre d'individus par ordre et par station, alors que le second présente la proportion de ces ordres.

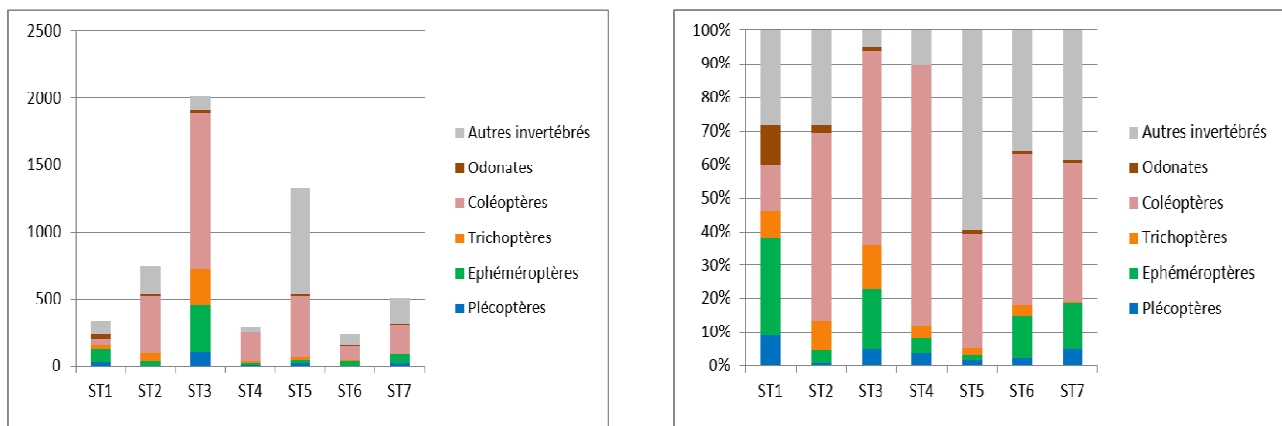


Figure 22 : Diagrammes de la distribution des taxons par station (nombre d'individus par station ; rapport entre les différents ordres par station)

Il est tout d'abord remarqué le faible nombre d'individu sur les stations, cela doit interpeler et amener un certain nombre d'hypothèses, (problème de prélèvement, écologie particulière, mauvaise saison...). On s'aperçoit également d'une augmentation du nombre d'individus en relation direct avec le positionnement amont/aval des stations, notamment avec les trois stations localisées sur les affluents de la Nam Khan (ST1, ST2, ST3). Cette augmentation suit un continuum logique et s'explique par l'élargissement du cours, ainsi que par l'apport d'individus à la dérive par les divers affluents adjacents.

Le second diagramme montre très nettement une domination taxonomique sur l'ensemble des stations, par les coléoptères, principalement représenté par la famille « Elmidae ». La distribution est répartie de façon homogène sur l'ensemble des stations et ne semble pas présenter de taxons particuliers ayant d'affinité spécifique avec une station ou une autre.

Les courbes de richesse taxonomique ci-dessous sont présentées en fonction des substrats et des vitesses.

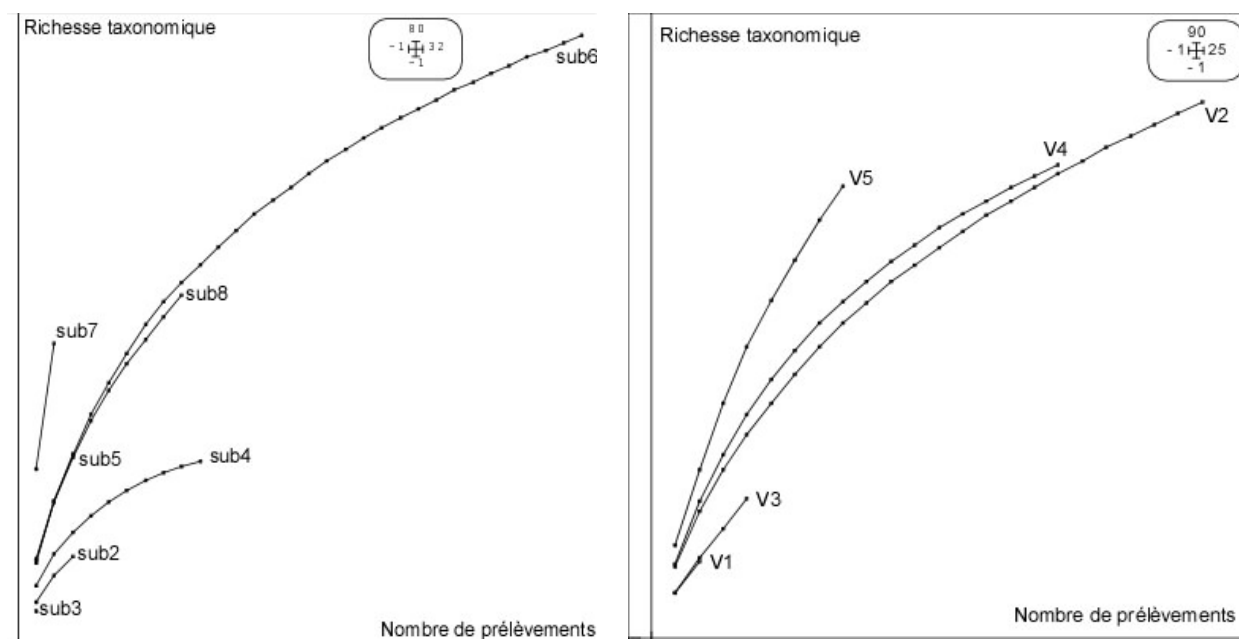
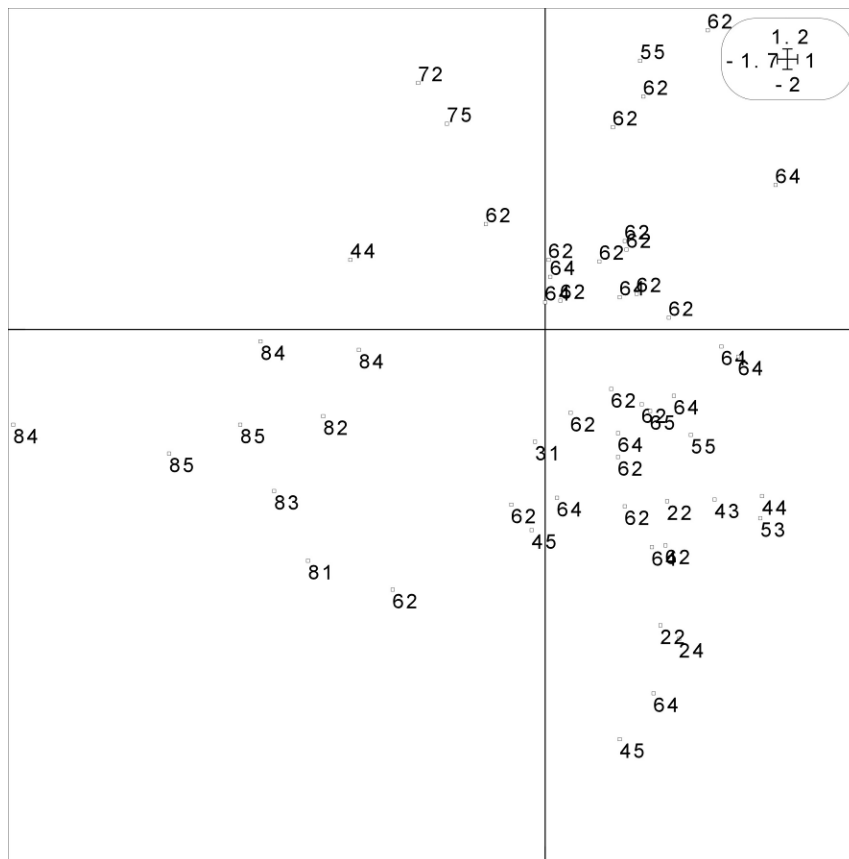


Figure 23 : Courbes des richesses taxonomiques en fonction des substrats et des vitesses

L'étude de la richesse taxonomique par substrat propose une classification des substrats selon leur biogénéité de la façon suivante (du plus aux moins biogène) ; éléments organiques morts (sub7), sédiment minéral de grosse taille (sub6), éléments organiques vivants (sub8), sédiment minéral de taille moyenne (sub5), spermaphytes émergées (sub4), sable et silts (sub2) et enfin sédiment fin et boue (sub3). On retrouve alors quasiment la même structuration des substrats proposés dans la grille de synthèse des habitats, qui classifie de la même façon les substrats étudiés en Europe. Ceci indique qu'il est possible d'utiliser cette grille afin de caractériser les habitats des cours d'eau au Laos. Cependant certains substrats n'ont pas encore été échantillonnés et le nombre de prélèvement n'a pas été suffisant pour stabiliser les courbes.

La relation de la richesse taxonomique en fonction des vitesses indique trois principales classes de vitesses. Les vitesses comprises entre 5 et 25 cm/s (V1 et V3) paraissent très peu biogène malgré leurs faible nombre de prélèvements. Cependant les cours d'eau étudiés sur le bassin versant sont relativement lothiques et les zones lenthiques restent marginales et n'offrent que peu de capacités de développement aux espèces inféodés aux milieux lenthiques. La tranche de vitesse 75 à 150 cm/s et plus (V2 et V4) est la mieux représentée et commence à se stabiliser. Elle indique un meilleur accueil des taxons, mais révèle quand même une certaine sélection des espèces les plus adaptés aux courants rapides. La gamme de vitesses V5, comprise entre 25 et 75 cm/s est la plus propice à l'accueil d'un maximum de taxon. Elle devra être privilégiée pour les prochaines campagnes de prélèvement.



La projection des couples substrats/vitesses sur le plan factoriel met en évidence principalement la distribution des substrats. On retrouve sur l'axe F1 la répartition des substrats selon leur constitution. La partie négative caractérise les substrats plutôt organiques (branches et débris végétal, racines, morts et vivants (sub7 et sub8)). Alors que la partie positive indique des substrats de type minéral (sédiment minéral de grosse et moyenne taille (sub6 et sub5), ainsi que les sables et silts (sub2). L'axe F2 ordonnerait les substrats selon leur taille, et présenterait un gradient entre ceux de grosse taille (sub6), de moyenne taille (sub5) et les sables et silts (sub2). On ne retrouve pas d'organisation aussi claire avec le facteur vitesse. Cependant il ne doit pas être négligé dans la structuration du peuplement qui serait donc défini principalement par le substrat.

Réflexion :

Ces premiers résultats indiquent une nécessité à augmenter le nombre de prélèvement par station, et d'augmenter le nombre d'habitats à échantillonner afin d'exploiter l'ensemble des habitats considérés par la méthodologie.

Il sera donc certainement nécessaire d'exploiter de nouveaux cours d'eau sur des bassins versant différents, principalement avec des zones plus lothique.

Actuellement le nombre de prélèvement est de l'ordre de 7 à 10 par station. S'il est confirmé que la stabilité n'est pas atteinte à 7-10 prélèvements, un total de 10 ou 12 prélèvements pourrait être conseillé.

2.2.3 RESULTATS DES INDICES BIOLOGIQUES

Ainsi les indices biotiques ont été calculés pour chaque station, les principaux résultats sont exposés dans le tableau suivant.

		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
Abondance	N	335	751	2012	294	1335	241	511
Abondance moyenne	N'	48	107	287	42	148	27	51
Richesse spécifique	S	51	49	65	29	29	29	23
Moyenne richesse spécifique	S'	14	12,86	22,14	8	6,78	7	7,44
Diversité	H'	4,77	2,95	3,38	3,09	1,81	3,27	2,97
Diversité maximale	H' Max	5,67	5,61	6,02	4,86	4,86	4,86	4,52
Equitabilité	J'	0,84	0,52	0,56	0,64	0,37	0,67	0,66
Dominance Simpson	Q	0,05	0,29	0,26	0,21	0,43	0,22	0,22
Dominance Berger-Parker	d	0,10	0,51	0,49	0,33	0,57	0,44	0,41

Tableau 7 : Résultats des indices biologiques

- Abondance et richesse :

L'abondance représente la somme du nombre d'individu de chaque espèce contenue sur l'ensemble d'une station. L'abondance maximum est de 2012 individus, pour la station 3, alors que la station 6 ne compte qu'un minimum de 241 spécimens. Cependant l'abondance globale sur l'ensemble des échantillons reste relativement faible, plusieurs hypothèses sont alors possible. Cette question peut être due à un ou plusieurs facteurs, comme une faible abondance naturelle, soit par un équilibre particulier à l'environnement qui l'entoure, soit due à un accident ponctuel de type rapide montée des eaux qui pourrait mettre en dérive bon nombre de MIB. Il n'est pas négligeable qu'il y est eu un phénomène de prédation lors de la mise en sac des prélèvements. La fixation au formol a parfois été réalisée plusieurs heures après le prélèvement, alors, les nymphes d'odonates et autres espèces carnivores ont pu consommer une bonne partie des spécimens les plus fragiles.

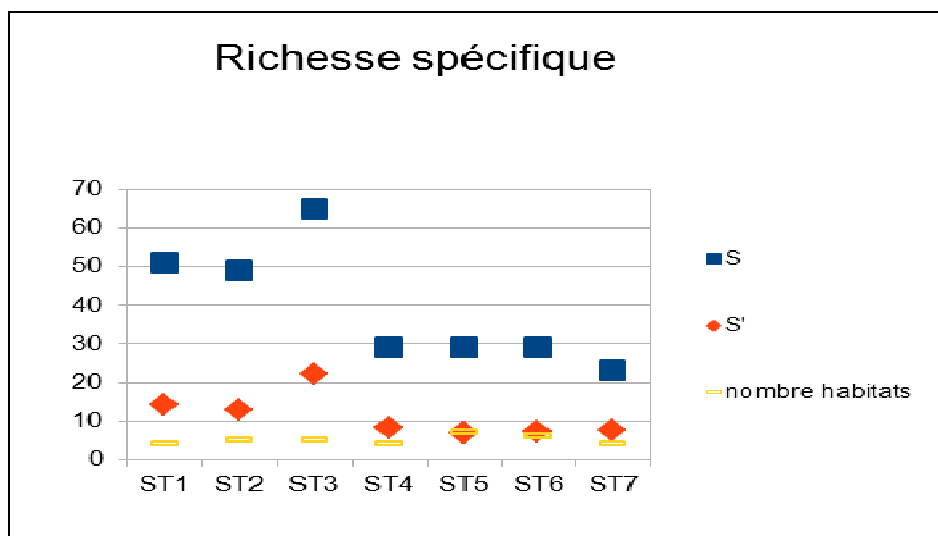


Figure 25 : Courbes de la richesse spécifique et du nombre d'habitats

Le graphique précédent expose l'évolution de la richesse spécifique de l'amont vers l'aval. La richesse est tout simplement le nombre d'espèces qui constitue un peuplement (S), mais il peut être également utilisé la moyenne du nombre d'espèces trouvées dans chacun des prélèvements constituant l'échantillon (S'). La variété taxonomique se voit donc diminuée d'amont en aval, en passant par un pic sur la station 3, pour atteindre plus de 60 espèces différentes. Il existe un décalage entre les deux stations amont et les quatre derniers avals, cependant cela reste contradictoire avec le nombre d'habitats prélevés par station. La qualité des peuplements est relativement bonne, mais pourrait certainement être meilleurs dans un contexte tel-que celui-ci. De plus, les diagrammes de richesses cumulées en annexes 4 pour chaque station, montrent bien une insuffisance du nombre de prélèvement afin de stabiliser l'échantillon. Aucuns diagrammes ne se stabilisent, hormis celui de la station 5, qui accuserait alors la spécificité taxonomique de trois milieux différents. Il va devoir être alors nécessaire de réaliser d'avantage de prélèvements par station afin de permettre de stabiliser l'échantillon.

- Diversités et équitabilité :

La mesure de la diversité exprime l'état de complexité de l'arrangement quantitatif entre les différentes espèces constituant le peuplement. Le calcul de l'indice de diversité de Shannon et Weaver (H') ainsi que celui de la diversité maximale (H' max) ont permis d'évaluer l'équi-répartition (J') des espèces. Le graphique suivant exprime l'évolution amont-aval de ces paramètres.

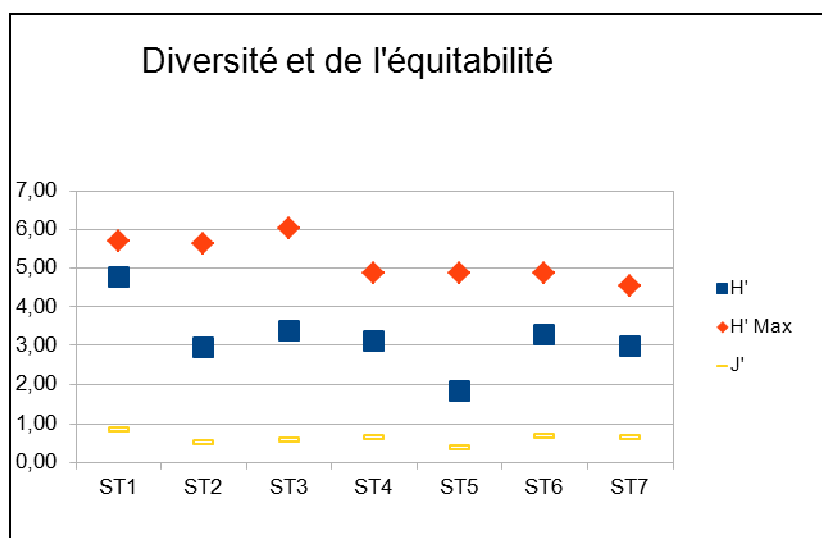


Figure 26 : Courbes de la diversité et de l'équitabilité

Dans sa globalité les résultats de diversité sont relativement élevés, comprise entre 1,81 et 4,77 bits. Seules les stations 1 et 5 se distinguent des autres. La station 1 manifeste une très forte diversité, alors que la station 5 donne la plus mauvaise note, certainement expliqué par une forte densité des « hydrobiidaes » et des « elmidaes », où ses deux espèces dominent sur le peuplement par leur forte abondance. Cette perturbation s'explique par un prélèvement dans les racines où se nichaient les « hydrobiidaes », mais n'est pas représentatif et influx sur la note de diversité. Au final, on constate une diversité stable de l'ordre de 3 bits sur l'ensemble du linéaire. Ceci caractérise un peuplement mur avec une composition spécifique complexe, ce qui peut également expliquer les valeurs d'abondances faibles. Les valeurs expriment donc des conditions favorables et un milieu diversifié sur l'ensemble des stations.

- Dominance :

L'indice de dominance représente la probabilité d'obtenir un même taxon en tirant au hasard deux fois de suite un individu dans un peuplement, et donc la probable influence exercée par une espèce sur le peuplement.

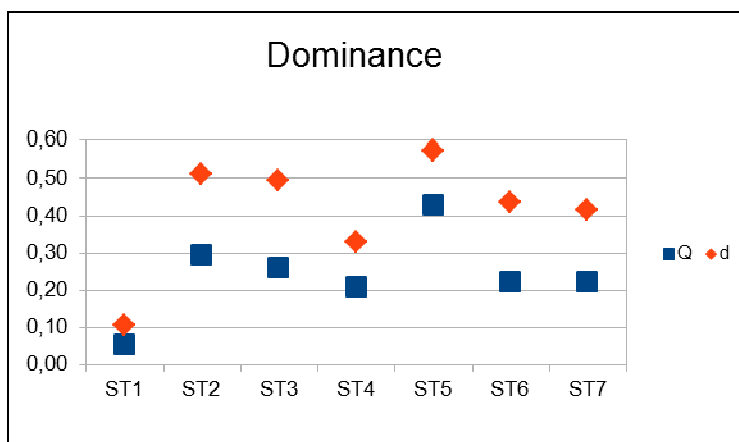


Figure 27 : Courbes de la dominance de Simpson et Beger-Parker

Le graphique précédent démontre une très faible dominance sur la station en amont, comparé aux autres stations, dont les valeurs s'étalent entre 0,3 et 0,6 pour la dominance de Simpson. Et entre 0,2 et 0,45 pour la dominance de Berger-Parker. On retrouve très nettement la dominance des « hydrobiidae » pour la station 5, ainsi que l'excellente équitabilité de la station 1.

Réflexion :

L'étude et l'interprétation des indices biologiques ont mis en avant une bonne qualité de la structuration du peuplement sur l'ensemble du linéaire étudié.

On constate alors une très forte diversité même sur les stations les plus impactées, comme la station 6 et 7, avec de faible dominance.

2.2.4 RESULTATS PHYSICO-CHIMIQUES

Les résultats physico-chimique sont donnés en annexe 7, et sont classés du point le plus en amont au point le plus en aval.

- Température et conductivité :

Les deux graphiques suivant proposent l'évolution des températures et de la conductivité d'amont en aval. Ils caractérisent le milieu pour des prélèvements effectués en fin de saison sèche, avec très peu de pluies durant la semaine précédente.

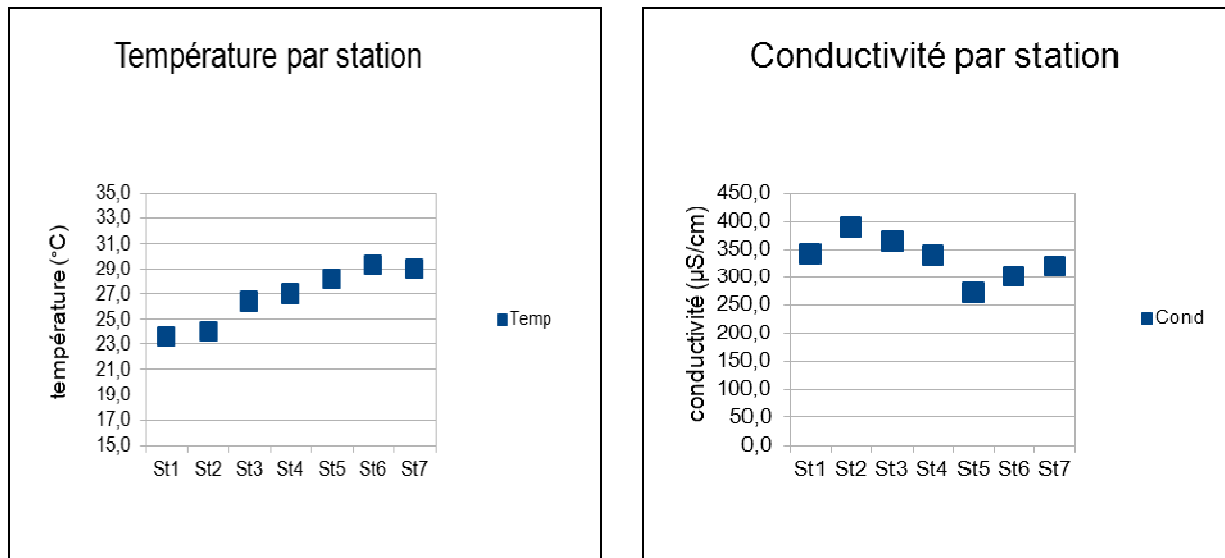


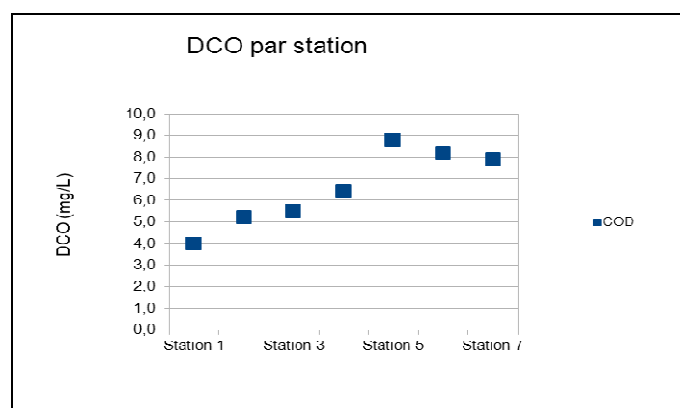
Figure 28 : Courbes des valeurs de température et de conductivité

Les températures correspondent à une gamme de valeur classique en saison sèche dans la région, sur l'ensemble du bassin, représentée par des valeurs comprises entre 23 et 29°C. Le graphique de l'évolution des températures (Figure 28) démontre un gradient de température entre l'amont et l'aval de quasiment 6°C. L'augmentation des valeurs est certainement due à l'agrandissement de la largeur à plein bord du cours d'eau, diminuant ainsi les zones ombragées par la ripisylve, les arbres ne limitant pas suffisamment par leurs frondaisons l'effet direct des rayonnements solaire sur le cours d'eau.

Les valeurs de conductivité s'échelonnent entre 270 et 390 µS/cm (Figure 28), exprimant de ce fait une faible teneur en ions électrolytables. Selon le tableau de résultats (annexe 7), on peut lire des valeurs en calcium relativement forte, assez caractéristique de cours d'eau évoluant sur des roches carbonatées. Ceci est spécifique à la nature du sol calcico-volcanique du bassin, et de la dissolution des minéraux par le cours d'eau.

- DCO, azote et phosphore :

Les différentes valeurs de nitrite, nitrate et azote total ainsi que celles de la DCO sont récapitulées dans les graphiques suivant. Quant au phosphore, les résultats donnent des quantités suffisamment faibles, aussi bien pour le phosphore total (< 0,03 mg/L) que pour les phosphates (< 0,22 mg/L) afin de les négliger.



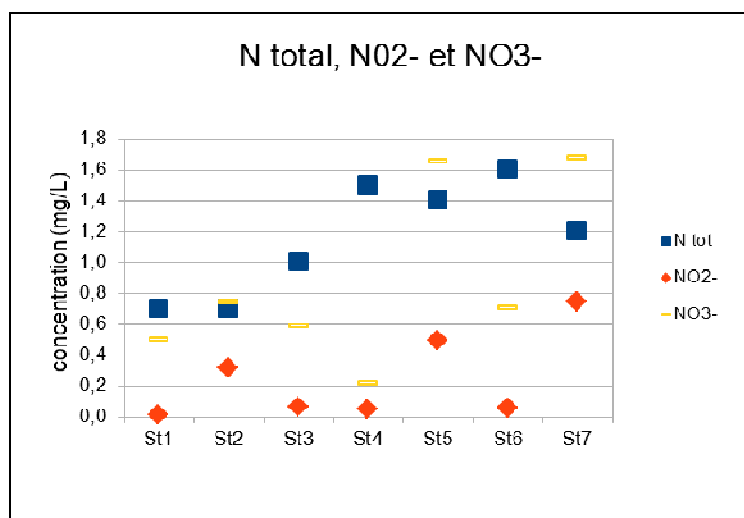


Figure 29 : Courbes de l'évolution de l'azote et de la DCO

On assiste alors à une augmentation synchronisée de l'azote totale et de la DCO de l'amont vers l'aval, du fait de l'apparition de villages riverains de plus en plus dense le long du cours d'eau. Ces hameaux rejettent principalement des effluents d'assainissement. Malgré cette augmentation, les valeurs restent très faibles, l'azote total ne dépasse pas 1,6 mg/L et la DCO 9 mg/L. Quant aux nitrites et nitrates, ils ont des valeurs très faibles sur l'ensemble du cours, mais augmentent sensiblement aux abords des villages.

Réflexion :

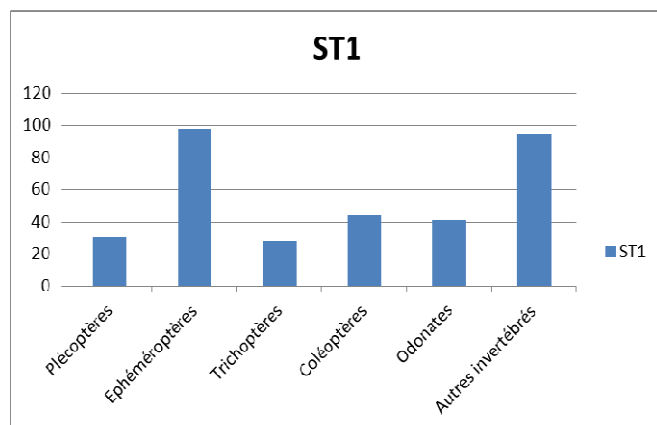
A la vue des résultats de physico-chimie, il serait recommandé d'étudier des aires situées plus au centre et en amont du bassin, dans les zones de diversité géologique caractérisées par la présence de roches volcaniques et détritiques. Ceci afin d'effectuer des prélèvements avec des valeurs de conductivité différentes, certainement plus faible.

On peut également constater que les paramètres modifiables par l'homme de sa présence abordent des valeurs très faibles (Azote, DCO) et par conséquent n'impacte pas la structuration des peuplements de MIB. Ainsi il pourrait être seulement déterminé les valeurs des variables naturelles tels que la température, conductivité, pH, turbidité et oxygène dissous.

2.3 ANALYSE STATIONNELLE ET INTERPRETATION

2.3.1 DISTRIBUTION DE LA STRUCTURE PAR STATIONS

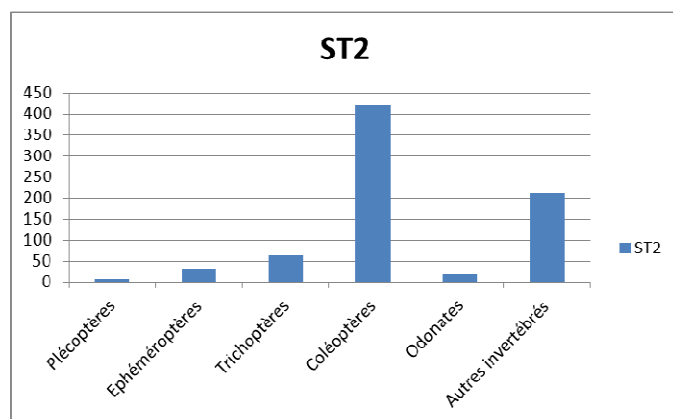
Station 1 :



		ST1
Abondance	N	335
Richesse spécifique	S	51
Moyenne richesse spécifique	S'	14
Diversité	H'	4,77
Diversité maximale	H' Max	5,67
Equitabilité	J'	0,84
Dominance Simpson	Q	0,05
Dominance Berger-Parker	d	0,10

Elle offre les meilleurs résultats des indices de diversité et de dominance. La distribution des PET (Plécoptères, Ephémères, Tricoptères) apparaît relativement bien équilibré et garde une proportion importante dans la composition de la structure biologique.

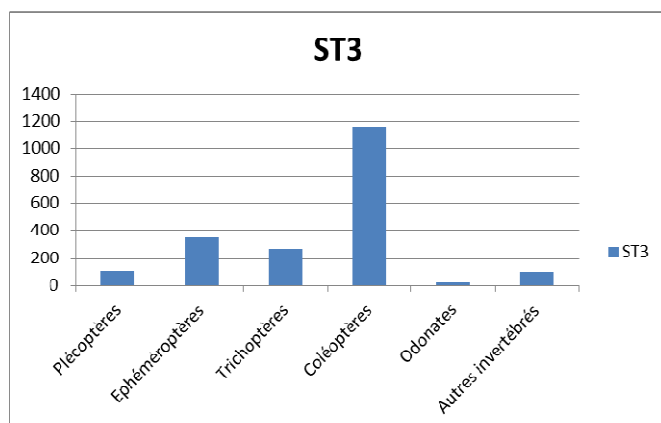
Station 2 :



		ST2
Abondance	N	751
Richesse spécifique	S	49
Moyenne richesse spécifique	S'	12,86
Diversité	H'	2,95
Diversité maximale	H' Max	5,61
Equitabilité	J'	0,52
Dominance Simpson	Q	0,29
Dominance Berger-Parker	d	0,51

La station 2 est représentée principalement par l'ordre des coléoptères, mais possède une richesse spécifique forte. Elle exprime cependant une abondance deux fois plus importante que la station 1.

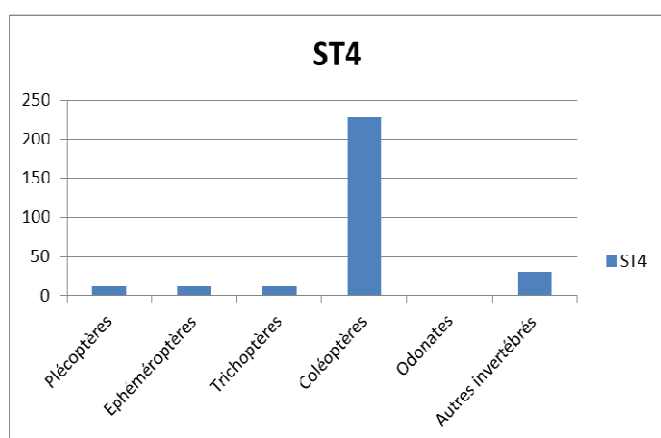
Station : 3



		ST3
Abondance	N	2012
Richesse spécifique	S	65
Moyenne richesse spécifique	S'	22,14
Diversité	H'	3,38
Diversité maximale	H' Max	6,02
Equitabilité	J'	0,56
Dominance Simpson	Q	0,26
Dominance Berger-Parker	d	0,49

Elle possède la plus forte abondance ainsi que la valeur la plus élevée en terme de richesse spécifique. La distribution du peuplement est semblable à la station 2 , avec une répartition des PET préférable.

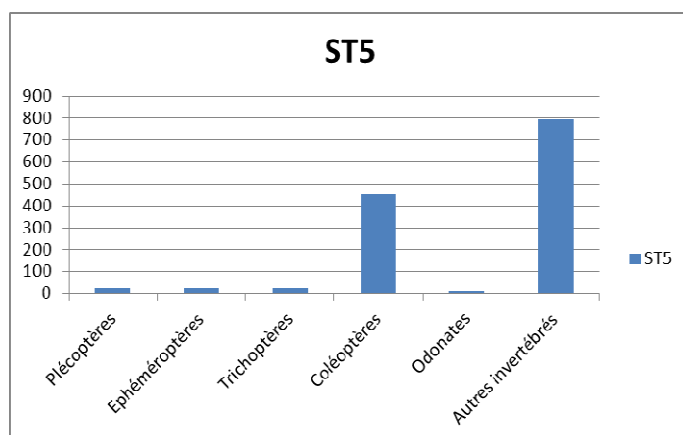
Station 4 :



		ST4
Abondance	N	294
Richesse spécifique	S	29
Moyenne richesse spécifique	S'	8
Diversité	H'	3,09
Diversité maximale	H' Max	4,86
Equitabilité	J'	0,64
Dominance Simpson	Q	0,21
Dominance Berger-Parker	d	0,33

On retrouve sur cette station un déséquilibre important des PET par rapport à l'ensemble de l'échantillon. Il existe un réel problème sur le résultat de l'abondance qui pour l'instant s'expliquerait par le seul fait qu'elle se situe à proximité d'un village. Les villageois préfèrent utiliser l'eau de l'affluent, souvent beaucoup plus claire que celle de la Nam Khan, perturbant ainsi les substrats et les habitats.

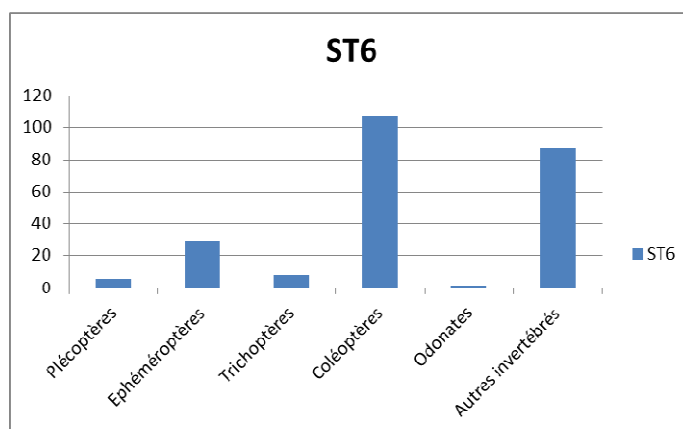
Station 5 :



		ST5
Abondance	N	1335
Richesse spécifique	S	29
Moyenne richesse spécifique	S'	6,78
Diversité	H'	1,81
Diversité maximale	H' Max	4,86
Equitabilité	J'	0,37
Dominance Simpson	Q	0,43
Dominance Berger-Parker	d	0,57

Elle accuse les plus mauvaises notes des principaux indicateurs biologiques. elle devrait pourtant être représentative des zones les plus naturelles de la Nam Khan et donc posséder de meilleurs résultats que les stations suivantes. Ces mauvais résultats pourraient être dû à un prélèvement réalisé dans les racines d'euphorbes et présentant un nombre considérable d'hydrobiidaes érronant les résultats.

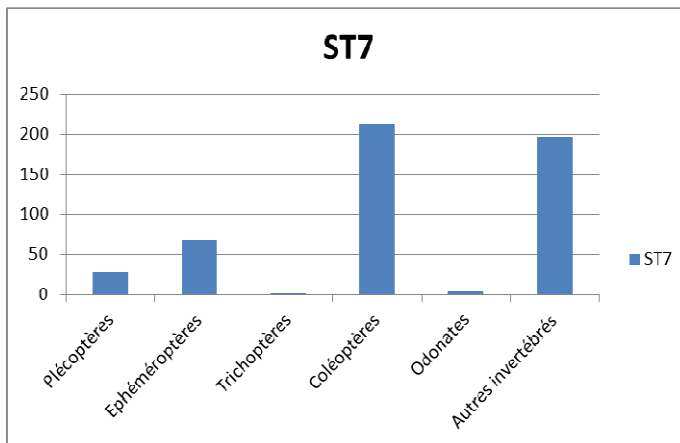
Station 6 :



		ST6
Abondance	N	241
Richesse spécifique	S	29
Moyenne richesse spécifique	S'	7
Diversité	H'	3,27
Diversité maximale	H' Max	4,86
Equitabilité	J'	0,67
Dominance Simpson	Q	0,22
Dominance Berger-Parker	d	0,44

Cette station est certainement la plus impactée par les actions anthropiques, certainement responsable de la valeur très faible de l'abondance. Cette zone a été quasiment entièrement retournée pour l'exploitation des granulats, dès lors, le peuplement ne se développe pas de façon correcte.

Station 7 :



		ST7
Abondance	N	511
Richesse spécifique	S	23
Moyenne richesse spécifique	S'	7,44
Diversité	H'	2,97
Diversité maximale	H' Max	4,52
Equitabilité	J'	0,66
Dominance Simpson	Q	0,22
Dominance Berger-Parker	d	0,41

Le nombre plus important d'individus sur la station 7 par rapport aux deux autres positionnées sur la Nam Khan, peut se justifier par son positionnement proche de l'embouchure avec le Mékong. L'impact anthropique est pourtant fort, mais cette zone très large possède de nombreux habitats différents.

2.3.2 RICHESSE TAXONOMIQUE PAR STATION

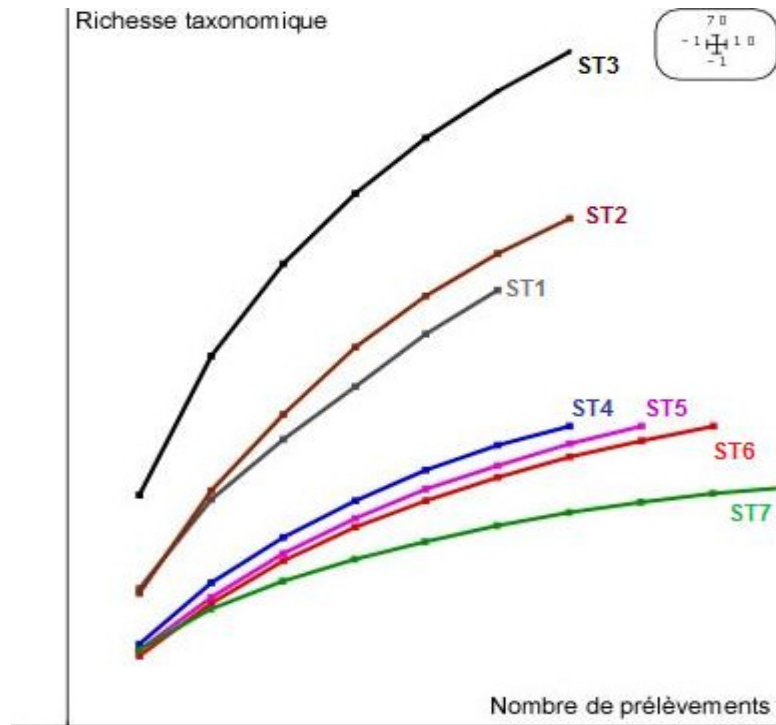


Figure 30 : Courbes des richesses taxonomiques par station

La courbe de la richesse taxonomique par station définit très nettement les stations de cours d'eau à faible gabarit qui sont les affluents (ST1, ST2, ST3) de ceux positionnés sur la Nam Khan même caractérisé par gabarit supérieur (ST5, ST6, ST7). Le nombre de prélèvement pour les stations 4 à 7 sont quasiment suffisants pour stabiliser l'échantillon, alors qu'il faudrait doubler ceux des stations 1 à 3 afin de permettre leur stabilisation. De plus, ces courbes indiquent que la partie Nam Khan possède un caractère beaucoup moins biogène et une richesse taxonomique plus faible que pour ces affluents. Ceci peut s'expliquer par une homogénéisation des habitats ainsi que par l'accroissement des actions anthropiques sur la Nam Khan.

Réflexion :

On remarque une franche différence entre les distributions des peuplements des cours d'eau affluents, de ceux sur la Nam Khan. Les peuplements paraissent beaucoup plus équilibrés sur les zones amont, où l'impact anthropique est moindre. Les prochaines stations d'études devront être essentiellement dirigées vers les affluents qui sont de loin beaucoup plus biogènes.

Enfin, on s'aperçoit que le nombre de prélèvements effectué n'est pas suffisant pour caractériser au mieux le peuplement et ainsi stabiliser l'échantillon. Il devra donc être augmenté le nombre de prélèvements à 10 ou 12 par station.

2.4 PREMIERE APPROCHE TYPOLOGIQUE (PROPOSITION D'HYPOTHESES)

Malgré le manque du nombre de stations mis en place, il a pu être réalisée une première approche hypothétique sur de la structure biotypologique des cours d'eau du bassin versant. Ces résultats restent cependant fondés et permettent d'avoir une première appréciation d'un continuum (figure 31).

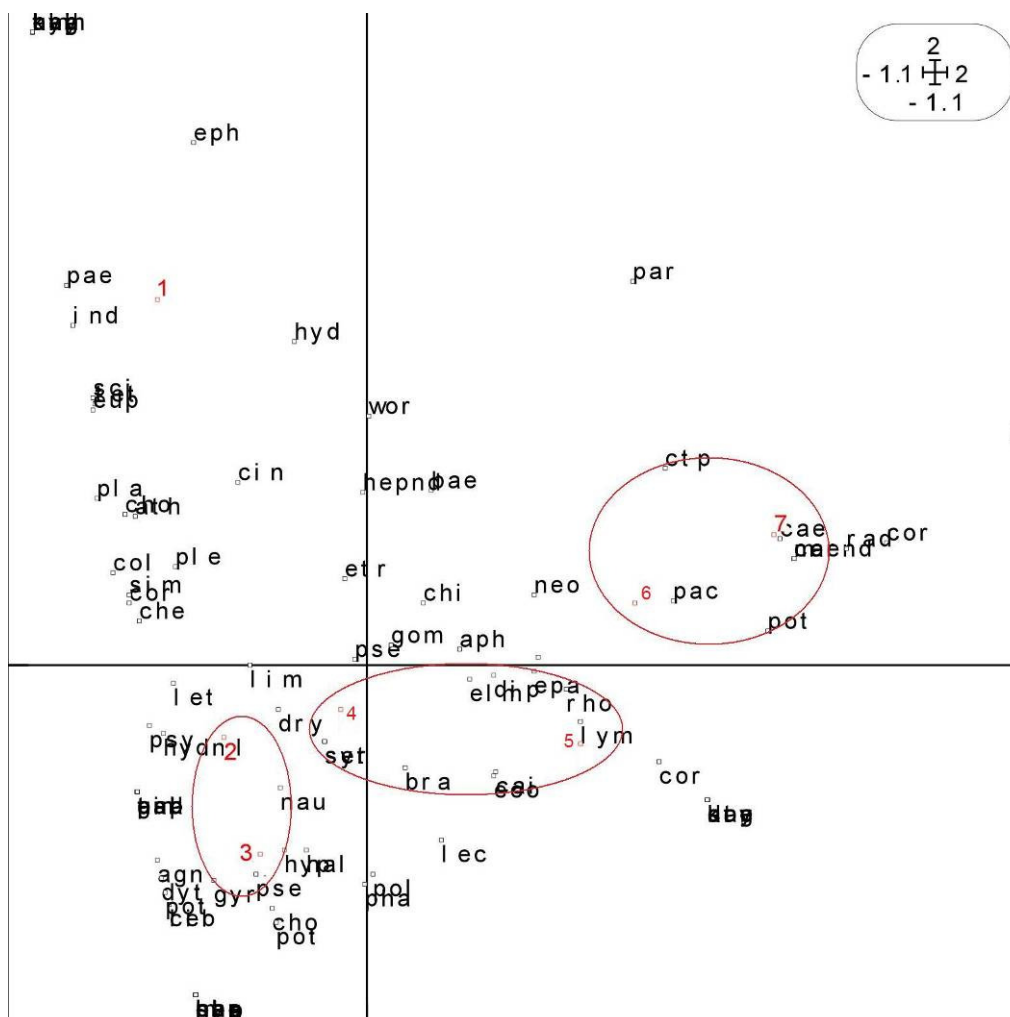


Figure 31 : Analyses factorielles des correspondances taxons-stations

Il semble exister un gradient amont/aval, par les différences entre les stations de petite taille sur l'axe F1 et les stations plus importantes sur l'axe F2. On retrouve très clairement un regroupement des cours d'eau morphologiquement semblables. Les stations 1, 2 et 3 présenteraient les caractéristiques des cours d'eau amont, tandis que les stations 4 et 5 ceux intermédiaires et enfin les stations 6 et 7 sont spécifiques des gabarits de tailles plus importantes.

La position particulière de la station 1 pourrait être due à la présence de taxons spécifiques au fait que beaucoup plus d'habitats différents ont été échantillonnés.

Cette analyse ébauche une première vision d'un potentiel continuum dans la répartition des espèces. Cependant, le nombre de station n'est pas suffisant pour affirmer cette hypothèse et devra faire l'objet d'études supplémentaires.

3. CONCLUSION DES PRINCIPAUX RESULTATS ET ORIENTATIONS POUR L'ELABORATION D'UN BIOMONITORING SUR LES COURS D'EAU DU LAOS

3.1 RECOMMANDATIONS DE POSITIONNEMENT DES STATIONS POUR CARACTERISER LA TYPOLOGIE DU BASSIN VERSANT

Suite à l'interprétation de ces résultats, il peut être suggéré plusieurs types de recommandations sur le positionnement des prochaines stations à mettre en place. Tout d'abord, l'étude des courbes des richesses taxonomiques a permis de mettre en valeur les zones les plus intéressantes. Ainsi, de façon à mener une meilleure étude des taxons, l'implantation des stations devra s'effectuer le plus possible sur les affluents de la Nam Khan car ils apparaissent comme plus biogènes que celle-ci. Certains substrats comme les éléments organiques (sub7 et 8), les sédiments minéraux de moyennes et grosses tailles (sub6 et 5), ressortent également comme étant les plus propices à l'accueil des invertébrés et devront être privilégiés. Néanmoins, le manque d'information sur les substrats et vitesses les moins représentées nécessitera l'étude de zones plus lenthiques sur des bassins versants différents. Ceci pourra alors couvrir l'ensemble des habitats proposés dans la grille de la méthodologie.

En vue de valider et d'étudier le plus précisément possible la typologie des cours d'eau, il devra être implanté plusieurs stations annexes à la zone étudiée. Il pourra s'établir alors plusieurs stations sur les rus amont en tête de bassin, ainsi que sur des cours d'eau à gabarit supérieur à la Nam Khan, jusque sur le Mékong. Cette étape est nécessaire pour mettre en évidence un continuum dans la répartition des espèces.

Enfin, les stations ne devront pas être implantées dans les zones d'influences du cours d'eau de réception ni à proximité des villages. On a pu remarquer que les deux stations ST4 et ST7 ont des résultats plus ou moins erronés, expliqué par la zone d'influence de confluence ou par l'utilisation direct du cours d'eau par les villageois.

3.2 ORIENTATIONS TECHNIQUES SUR LA METHODOLOGIE

Le premier travail à réaliser sera de répartir les séries de prélèvements sur un cycle annuel complet. Il pourra alors être mis en évidence les variabilités écologiques en fonction des différentes périodes de l'année. Ainsi il pourra être étudié l'évolution et le comportement des peuplements.

De plus, une augmentation du nombre de prélèvements par station sera nécessaire pour stabiliser les échantillons. Cette campagne a largement démontré un manque crucial dans la représentativité des résultats par cette insuffisance en prélèvements. Il serait acceptable d'en réaliser au minimum quinze par substrat pour affiner l'étude biologique, ainsi que par station pour une meilleure caractérisation de la typologie.

3.3 ANALYSE DES LIMITES DE LA METHODOLOGIE, CONSEILS GENERAUX

Cette partie rend compte de l'ensemble des commodités et des problèmes rencontrés lors de la mise en place de la méthodologie et du traitement des informations. Ainsi, elle tente de répondre aux difficultés et permet de mettre en valeur l'utilisation pratique pour de futures applications.

Le premier problème rencontré fût pour le transport des échantillons. Les sessions terrain se sont effectuées à l'aide de nombreux transports et le déplacement répété des échantillons a donc fini par provoquer de nombreuses fuites, malgré le doublage des sacs. Afin d'y remédier, il serait intéressant d'utiliser un système de casiers superposables de type casiers de transport à légumes que l'on retrouve sur les marchés. Il a été remarqué également que certains taxons se conservaient très mal dut à leur fragilité, principalement pour les éphémères qui s'écrasent facilement et rendent la détermination beaucoup plus complexe. Ces casiers permettront alors d'éviter la superposition des sacs d'échantillons et une délicatesse de manipulation, améliorant la conservation des MIB.

De plus, lors de ces sessions, la fixation des échantillons au formol s'effectuait une fois de retour au laboratoire ou au village le plus proche, laissant le temps aux espèces les plus vivaces et carnivores de dévorer les taxons les plus fragiles. Ainsi lorsqu'un prélèvement contient de nombreuses odonates, il peut y avoir une forte perturbation dans la constitution de l'échantillon. Les fixations devront alors s'effectuer lors de la fermeture des sacs, sur le terrain.

Enfin, lors de la détermination, il s'est trouvé que de nombreux taxons sont restés non identifiés, par manque de leur référencement dans la clef de détermination. Beaucoup sont certainement encore inconnus et devront être vérifiés auprès des conservatoires et muséums.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les travaux effectués dans cette étude aura permis d'établir les premières connaissances sur les peuplements de macroinvertébrés de la Nam Khan et ses affluents. Malgré un manque du nombre de stations et de prélèvements, il a pu en ressortir certains résultats intéressants et surtout les principales orientations pour les futures études macrobenthiques.

Tout d'abord, il est important de confirmer la possibilité de l'utilisation du protocole d'échantillonnage stratifié adapté, sur les cours d'eau du Laos. Les résultats des analyses ont démontré une excellente application des différents indices biologiques et dont l'interprétation a permis de mettre en avant une bonne qualité de la structuration du peuplement sur l'ensemble du linéaire étudié. Cependant la méthodologie n'a pas pu être employée en période de crue et devra être validée lors des prochains prélèvements.

Cette étude a également donné l'occasion de décrire les distributions des peuplements et de mettre en évidence les paramètres les plus biogènes, permettant l'accueil des MIB. Il est alors remarqué que les affluents sont beaucoup plus productifs et diversifiés que la Nam Khan. Il est apparu également que les substrats constitués d'éléments organiques ou de sédiments minéraux de grosse et moyenne taille, semblent définir les habitats les plus propices à l'accueil d'un maximum de taxon. Quant au facteur vitesse, la gamme la plus biogène serait comprise entre 25 et 75 cm/s, mais reste beaucoup moins représentatif dans l'explication des distributions que les substrats.

De plus, en ce qui concerne l'analyse de la qualité de l'eau, la collecte des données quant à la physico-chimie de la Nam Khan et de ses affluents ont permis de faire ressortir une qualité des eaux relativement bonne.

Enfin, l'utilisation de la clef réalisée par la MRC lors de la détermination s'est révélée peu efficace dans son fonctionnement ainsi que dans sa présentation. Une amélioration de cet ouvrage aura permis d'élaborer un outil plus performant dans son utilisation permettant une facilité de manipulation et un gain de temps dans le traitement des échantillons.

Ce rapport peut constituer une base et un support à la réalisation de futures investigations sur les macroinvertébrés aux Laos, cependant, les hypothèses devront être approfondies et vérifiées.

BIBLIOGRAPHIE

Publications :

Boissavi, D. (2008). Caractérisation des bassins versants de la rivière Nam Khan et de ses affluents. Rapport d'étude pour le compte du projet Ecovallée Nam Khan, Nommo Ltd. Thailand 54 p.

Bourjot L , Dobremez J.F., (2007). Pour une réserve de biosphère dans le bassin versant de Luang Prabang, Lao PDR - Typologie des milieux de la vallée de la Nam Khan et évaluation patrimoniale. Rapport d'étude pour le compte du projet Ecovallée Nam Khan, Bourjot Environnement 73 p.

Committee for Co-ordination of Investigations of the Lower Mekong Basin (CCILMB), (1976). "Aids to navigation required on the Mekong river". 72p.

De Pauw et Vanhooren, 1983. Cité par Touzin.D et al., 2008. Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. 41p.

Hayslip, Gretchen, editor. 2007. Methods for the collection and analysis of benthic macroinvertebrate assemblages in wadeable streams of the Pacific Northwest. Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership, Cook, Washington. 31p.

K.A.Subramanian et K.G.Sivaramakrishnan. 2007. Aquatic insects for biomonitoring freshwater ecosystems, a methodology manual. Asoka Trust for Research in Ecology and Environment (ATREE), Bangalore, India. 31p.

Supatra Parnrong. 2002. A Review of Biological Assessment of Freshwater Ecosystems in Thailand. Mekong River Commission – Environment Program. 36p.

Touzin.D et al., 2008. Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. 41p.

Sites internet :

Ministère des affaires étrangères : <http://www.diplomatie.gouv.fr>

Liste des tableaux

Tableau 1 : Part du débit du Mékong par pays traversé (Boissavi, 2008)	16
Tableau 2 : Récapitulation des caractéristiques des stations hydrologiques (Boissavi, 2008)	17
Tableau 3 : Grille de synthèse des habitats	22
Tableau 4 : Paramètres par station	27
Tableau 5 : Tableau global de détermination des différents taxons.....	34
Tableau 6 : synthèse du nombre d'individu par ordres	36
Tableau 7 : Résultats des indices biologiques.....	39

Liste des figures

Figure 1 : Cartes de la péninsule Indochinoise et du Laos.....	9
Figure 2 : Carte des régions du Laos.....	10
Figure 3 : Carte du bassin versant du Mékong.....	10
Figure 4 : Carte hydrographique du bassin versant de la Nam Khan (Boissavi, 2008).....	11
Figure 5 : Carte des rangs de Strahler de la Nam Khan et ses affluents (Boissavi, 2008).....	12
Figure 6 : Profile en long de la Nam Khan (Boissavi, 2008).....	13
Figure 7 : Carte géologique du bassin versant de la Nam Khan (Boissavi, 2008).....	14
Figure 8 : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de la Nam Khan (Boissavi, 2008).....	15
Figure 9 : Diagramme des températures et précipitations (Boissavi, 2008)	16
Figure 10 : Niveaux d'eau moyens mensuels du Mékong et de la Nam Khan (Luang Prabang Province Inventory, 2009).....	17
Figure 11 : Diagrammes des débits moyens mensuels de la Nam Khan (Boissavi, 2008).....	18
Figure 12 : Diagramme des débits moyens annuels de la Nam Khan (Boissavi, 2008)	18
Figure 13 : Caractéristiques schématisées du surber	25
Figure 14 : Aperçu schématisé du filet haveneau	25
Figure 15 : Carte de répartition des stations sur la Nam Khan et ses affluents	28
Figure 16 : Photos de la station 1	29
Figure 17 : Photos de la Station 2	29
Figure 18 : Photos de la station 3	30
Figure 19 : Photo de la station 4	30
Figure 20 : Photos de la station 5	30
Figure 21 : Photo de la station 6	31
Figure 22 : Diagrammes de la distribution des taxons par station (nombre d'individus par station ; rapport entre les différents ordres par station).....	36
Figure 23 : Courbes des richesses taxonomiques en fonction des substrats et des vitesses	37

Figure 24 : Analyse factorielle des correspondances des couples substrats/vitesses :.....	38
Figure 25 : Courbes de la richesse spécifique et du nombre d'habitats.....	40
Figure 26 : Courbes de la diversité et de l'équitabilité	40
Figure 27 : Courbes de la dominance de Simpson et Beger-Parker.....	41
Figure 28 : Courbes des valeurs de température et de conductivité.....	42
Figure 29 : Courbes de l'évolution de l'azote et de la DCO.....	43
Figure 30 : Courbes des richesses taxonomiques par station.....	47
Figure 31 : Analyses factorielles des correspondances taxons-stations.....	49

ANNEXES