

Programme Dear Water – Luang Prabang, Laos

RAPPORT SCIENTIFIQUE FINAL

Université de Tours – Aout 2023

Préambule

Le programme Dear Water a **officiellement démarré en 2020** mais compte tenu de la pandémie, l'implication pratique de l'université de Tours n'a pas pu se mettre en place avant la **première mission en Novembre 2022** à Luang Prabang. Les partenaires du projet ont donc étudié ensemble les possibilités d'adapter les activités de ce programme pour qu'elles puissent être exécutées dans un délai plus court, en **respectant au plus près les engagements initiaux**, tout en renforçant le lien avec le projet sur les hydrosystèmes urbains dans les zones humides de la ville de Luang Prabang.

Ce rapport scientifique intervient à peine un an après le démarrage réel, il s'agit donc d'un **compte rendu de 9 mois d'actions alors qu'il était prévu 3 ans complets** d'un programme très riche en mission, en mobilités entrantes et sortantes et en coopération académique.

Résumé

La composante 2 du programme Dear Water LP, cofinancé par l'agence Française de Développement et l'Université de Tours et associant les ONG Confluence et le GRET a permis de **collecter de nombreux échantillons de sédiments dans les canaux et les mares de la Ville de Luang Prabang**. Deux missions d'expertise ont eu lieu, en Novembre 2022 et en Mars 2023 ainsi que deux stages d'étudiants de l'Université de Tours au printemps 2023.

Dans le même temps, Un « Lecturer » de **l'Université de Souphanouvong** a été formé aux techniques de prélèvement et plus généralement aux enjeux scientifiques dans le domaine des **sciences de l'eau**. C'est d'ailleurs dans ce cadre qu'un **Memorandum of Understanding** a été signé entre les deux universités partenaires (Tours et Souphanouvong). Cette université Lao a d'ailleurs sollicité l'université de

Tours pour l'accompagner dans la mise en place d'un **département** et d'un **laboratoire** dédié aux **études hydrogéologiques**.

Il s'agit d'un **sans-précédent en matière de recherche scientifique** à Luang Prabang puisque c'est la première fois que des analyses sédimentologiques, géochimiques et bactériologiques quantifient précisément les niveaux de contaminations des eaux usées, ces dernières étant intégralement rejetées dans le milieu naturel.

Contexte général

L'eau constitue la première ressource naturelle utilisée par l'Homme. En France, l'usage domestique n'a cessé d'augmenter jusque dans les années 1990 pour atteindre 150 litres/jour/habitant. Au-delà de cette consommation journalière, les besoins (recouvrant tous les types d'activités) sont estimés à 2000 l/j/hab.

Au Laos, il n'existe **pas de chiffres consolidés concernant les usages de l'eau**. Selon la FAO, les besoins sont du même ordre mais la ressource est surtout consacrée à l'agriculture et à la production d'énergie. Ce pays reste le **plus pauvre de l'Asie**, des quartiers entiers de la capitale et de Luang Prabang n'étant pas desservis en eau potable.

Sur le volet du traitement des eaux usées, Le système d'assainissement français assure l'épuration de 5 milliards de m³/an. Au Laos, le Water and Sanitation Program a recensé les capacités de traitement des villes de Vientiane et Luang Prabang mais les volumes d'eau traitée sont mal connus et restent particulièrement faibles.

A Luang Prabang, il n'y a **pas de stations d'épuration** et hormis quelques dispositifs individuels de traitement des eaux usées, la plupart des **rejets** se font dans le milieu et rejoignent le **Mékong**.

L'eau à Luang Prabang : enjeux de gestion du patrimoine

Dans le cadre du label « patrimoine mondial Unesco », les autorités locales (urban development administration agency) ont mis en place des outils de gestion et de protection permettant une sauvegarde de la ville, de ses monuments. **L'eau** - alors même que le Mékong et la Nam Khan traversent la ville - **ne fait pas encore l'objet de grands programmes de protection**, hormis les actions menées par l'Agence Française de Développement et la Région Centre Val de Loire.

Par ailleurs, la Mekong River Commission soutient de nombreux projets plutôt orientés autour de la gestion des risques hydrologiques liés à la construction des barrages sur

le Mékong et ses affluents. **L'accès à l'eau potable et à l'assainissement des eaux usées est une problématique majeure** d'autant que les usages sont soumis à une pression démographique et touristique très forte depuis deux décennies.

Contexte de l'étude en milieu urbain

Le secteur de **Ban Mano** fait partie de la zone classée au patrimoine mondial (périmètre de conservation du plan de sauvegarde et de mise en valeur - PSMV) et il convient de rappeler que les mares et zones humides qui jalonnent le paysage urbain à Luang Prabang font partie des éléments classés par l'UNESCO.

Une étude d'impact environnemental a été envisagée pour permettre le maintien des pratiques autour des **zones humides** tout en améliorant la **qualité des eaux** et en limitant le colmatage des masses d'eau.

Des travaux ont consisté à re-profiler deux canaux de drainage qui récoltent à la fois les eaux de pluie et les eaux usées, et à recreuser partiellement certaines mares ; la connexion entre les mares et les canaux permet un écoulement dans les deux sens : en temps normal, l'eau des mares s'écoule vers le canal et en cas de très fortes pluies, l'eau du canal se déverse vers les mares, ce qui permet d'utiliser les mares comme zone tampon.

Cet aménagement a conduit (i) au reflux potentiel des mares dans les canaux de drainage, (ii) à la **pollution** des mares liée aux travaux, (iii) et à la modification du **régime hydrologique** du bassin versant puisque les travaux augmentent les débits captés en aval.

Objectifs du programme

Il convient de rappeler qu'il a fallu réaliser une étude détaillée dans un délai de quelques mois, sachant que les équipes de l'Université de Tours ne sont pas localisées sur place, à Luang Prabang.

Néanmoins, il a été possible de mener à bien trois objectifs :

- Réalisation de deux **campagnes de mesure de la qualité des eaux urbaines** à Luang Prabang & évaluation des risques de la contamination des eaux dans deux bassins versants complémentaires
- **Déploiement de l'appui scientifique et technique** dédié au suivi de la qualité des eaux par les services techniques de la ville de Luang Prabang
- **Renforcement des capacités** entre l'Université de Tours et l'Université de Souphanouvong dans le domaine de la **ressource en eau** & mise en œuvre de la convention de partenariat

Cadre général de la campagne de mesure de la qualité des eaux urbaines

La carte ci-dessous (fig. 1) présente l'ensemble des points de prélèvement et d'analyse sur les deux bassins versants urbains étudiés : celui de Ban Mano et celui de la Nam Dong.

Le bassin versant de Ban Mano, situé au cœur de Luang Prabang, correspond à une succession de canaux artificiels et de mares dédiés notamment à l'évacuation des eaux domestiques vers le Mékong ; il s'agit d'un **réseau d'égouts à ciel ouvert**.



Figure 1 : les bassins versants de Ban Mano (noté BM) en contexte urbain et de la Nam Dong (noté ND) en contexte de frange urbaine. Les cercles pleins correspondent aux points de prélèvement des sédiments et d'analyses physico-chimiques + bactériologiques des eaux. Les étangs (notés Pond) ont également fait l'objet de prélèvements de sédiment et de liseron d'eau.

En gris clair : les zones urbaines et résidentielles.

Le bassin versant de la Nam Dong est composé de **deux rivières naturelles** prenant leur source dans les collines périphériques de Luang Prabang ; La Nam Dong et la Nam Duai traversent ensuite des secteurs de la **frange urbaine** de Luang Prabang ainsi que son hôpital

L'étude comparée de ces deux bassins versants permet de mieux évaluer les niveaux de contamination de celui de Ban Mano, en testant notamment des indicateurs tels que le **pH**, la **conductivité**, l'**ATP métrie** ainsi des analyses complémentaires effectuées en laboratoire : **granulométrie laser**, stéréomicroscopie à fluorescence, perte au feu, Carbone Organique Total, **Éléments Majeurs et Éléments Traces Métalliques**.

Le substratum géologique de la région de Luang Prabang est calcaire. Le contexte géodynamique est celui d'un alignement de collines orientées Nord-Sud et connectées vers le Nord à la chaîne himalayenne. L'alcalinité d'une part et la conductivité d'autre part sont des indicateurs forcément liés à cet environnement géologique. Il convient également de préciser que cette campagne de mesure et de prélèvements effectuées en fin de saison humide est partiellement complétée par une campagne post saison sèche.

Protocole de collecte, conditionnement et préparation de sédiments et de liseron d'eau

L'évaluation de la **qualité des eaux** implique un volet essentiel d'étude de la **qualité des sédiments** - qui y circulent et qui s'y déposent – pour les raisons suivantes :

1. Les particules exercent un contrôle sur la solubilité des métaux car le coefficient de partage solide-liquide est relativement stable.
2. Les particules sont le siège de mécanismes de sorption, complexation, précipitation, inclusion, substitution
3. 90 % de la charge en métaux lourds dans les systèmes aquatiques est associée aux matières en suspension et au sédiment.
4. Les particules fines ont des surfaces spécifiques plus élevées et donc des capacités d'absorption plus importantes.
5. Les matières en suspensions et les sédiments sont des mélanges complexes d'origine minérale, biologique et anthropique.
6. Les échanges eau-biote-sédiments sont nombreux et les particules sont une source de nourritures pour les organismes
7. Une fois déposées, les particules documentent l'histoire d'une contamination

Les environnements des deux hydrosystèmes (Ban Mano et Nam Dong) sont si différents que les mélanges de dépôts minéraux et organiques ont des natures et des textures très opposées comme en témoignent les deux photos de la figure 2.



Vase prélevée dans le canal amont de la Mare #70 à Ban Mano



Sédiment prélevé en amont de la Nam Dong dans un secteur semi rural

Figure 2 : Les deux types de sédiments collectés dans les cours d'eau urbains à Luang Prabang. La couleur est fonction du % de matière organique et de matières minérales.

Les canaux de Ban Mano sont dimensionnés pour que les **particules en suspension** et la **charge de contamination** soient transportées et exportées jusqu'à l'exutoire, le Mékong. Cependant, il existe des obstacles à l'écoulement qui entravent l'export de matières et on note également la présence d'un périphyton très riche en matières organiques et de **biofilms bactériens** dont la **composition microbiologique** n'est pas encore connue à ce stade de l'étude (fig. 3).

De manière à estimer le **gradient de contamination**, les sources et les transferts de pollution, 15 échantillons de sédiments ont été prélevés sur le bassin versant de Ban Mano et 10 échantillons ont été prélevés sur le bassin versant de la Nam Dong. Sur ce bassin versant, les campagnes de collecte ont été réalisées en fin de **saison humide** (Novembre 2022) et en fin de **saison sèche** (Mars 2023) de manière à comparer l'impact du débit naturel sur la qualité des eaux.

Les **liserons d'eau** sont très présents à la surface des mares urbaines ; c'est une ressource quotidienne de **nourriture** puisqu'ils sont ramassés et consommés cru avec des aromates ou cuits dans des soupes, sautés à l'ail, etc.... **Ipomea Aquatica** a fait l'objet de nombreuses publications précisant les **niveaux de contaminations en**

métaux et les transferts sédiment/eau/biote notamment dans des mares en Thaïlande. Il n'existe pas d'études équivalentes en Laos ; c'est la raison pour laquelle 9 mares, choisies pour leur caractère représentatif de l'ensemble du bassin versant de Ban Mano ont fait l'objet de collectes de « **water spinach** » (fig. 4).



Vue d'ensemble du site BM 22-03



Biofilm benthique sur le site BM22-02

Figure 3 : Spécificités des canaux et des environnements de dépôt « sédimentaire » dans le secteur de Ban Mano

Les échantillons de **sédiment** ont été maintenus à une température inférieure à 8°C et à l'abri de la lumière depuis leur prélèvement jusqu'aux premiers traitements, deux jours après la mission. Qu'ils s'agissent d'analyses sédimentologiques préliminaires ou d'analyses **géochimiques** plus approfondies, il a été nécessaire de préparer la matrice à étudier : tous les échantillons ont donc été pesés, aliquotés, étuvés pendant 5 jours à 50 °C, tamisés à 2 millimètres, et séparés des macro-restes organiques et anthropiques. Le protocole s'est déroulé dans des conditions de salle grise au laboratoire GéHCO, limitant ainsi les contaminations extérieures (fig. 5)



Prélèvement de liseron d'eau



Conditionnement sur place

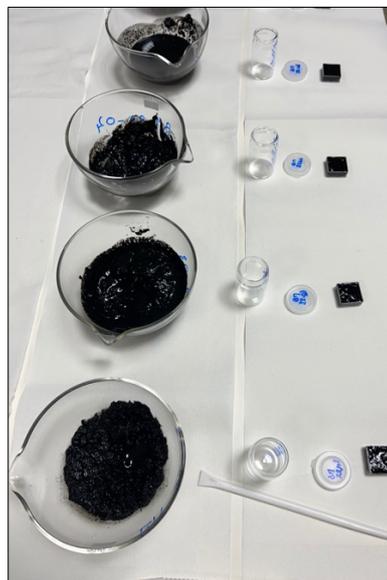


Étuvage

Figure 4 : Illustration du protocole d'échantillonnage, de conditionnement et de préparation en laboratoire des liserons d'eau



Vue d'ensemble de la paillasse de préparation



Sous-échantillonnage pour la mesure de la densité sèche



Échantillons de Ban Mano avant passage en étuve

Figure 5 : Protocole de préparation et de conditionnement des échantillons en laboratoire

Le dispositif AquaTROLL 500 (fig. 6) est une **sonde multi-paramètres** robuste et de haute précision permettant le suivi ponctuel ou continu des **paramètres physico-chimiques standards dans l'eau**. Le tableau 1 récapitule l'ensemble des paramètres mesurés sachant qu'ORP, RDO, turbidité, ne seront exploités que dans le cadre d'une mission ultérieure car cela nécessite une calibration. En moyenne, **10 analyses en continu et à pas serré** (5 secondes) ont été effectuées sur chaque station.



Figure 6 : Sonde multi paramètres et kit d'analyse physico-chimique des eaux

Les trois tableaux (tab. 2) présentent les valeurs moyennes sans les barres d'erreur, à ce stade de l'interprétation. Les tendances générales du **pH** et de la **conductivité** sont claires : l'écart de pH entre les eaux usées de Ban Mano et les eaux naturelles et usées de Nam Dong est de 0,5 tandis que la conductivité présente une **différence** encore plus **significative** de l'ordre de **350 $\mu\text{S}/\text{cm}$** .

A titre d'exemple, la conductivité moyenne d'une rivière est généralement inférieure à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et peut atteindre des valeurs supérieures à 1000 à l'exutoire des systèmes fluviaux. Les **eaux usées** étant très **fortement minéralisées**, les valeurs sont encore plus élevées : il s'agit là d'un **indicateur de la qualité des eaux** qui pourra être suivi dans le cadre d'une **métrologie à long terme** des eaux urbaines de Luang Prabang.

A noter également que nous avons également testé la qualité physicochimique des **eaux à usage domestique dans un secteur résidentiel** de Luang Prabang ; il s'agit d'eau de piscine, de nappe phréatique et du robinet. Les résultats montrent clairement que **l'eau du robinet** présente des **valeurs anormalement basses de conductivité** : il n'y a pas d'explication à ce stade de nos études.

Capteurs	Précision	Gamme	Résolution	Unité de mesure	Méthode
Température ⁵	± 0,1°C	-5 à 50°C	0,01°C	Celsius ou Fahrenheit	EPA 170.1
Pression barométrique	± 1,0 mbar	300 - 1100 mbar	0,1 mbar	psi, kPa, bar, mbar, inHg, mmHg,	Jauge de contrainte silicone
pH ⁴	± 0,1 unités de pH ou meilleur	0 à 14 unités de pH	0,01 pH	pH, mV	Méthodes Std. 4500-H+/EPA 150.2
ORP ⁷	± 5 mV	± 1400 mV	0,1 mV	mV	Méthodes Std. 2580
Conductivité ⁸	± 0,5% de lecture + 1 µS/cm de 5 à 100 000 µS/cm; ± 1% de lecture de 100 000 à 350 000 µS/cm ± 2% de lecture de 200 000 à 350 000 µS/cm	0 à 350 000 µS/cm	0,1 µS/cm	Conductivité actuelle et spécifique : µS/cm et mS/cm; Salinité : PSU; TDS : ppt, ppm; Résistivité : Ohms-cm; Densité : g/cm ³	Méthodes std. 2510/ EPA 120.1 ± 1,400 mV
TDS	-	0 à 350 ppt	0,1 ppt	ppt, ppm	-
Salinité	-	0 à 350 ppt	0,1 PSU	PSU, ppt	Méthodes std.2520A
Oxygène Dissous Optique (RDO) ⁹	± 0,1 mg/L ± 0,2 % de lecture	0 à 20 mg/L 20 à 60 mg/L	0,01 mg/L	mg/L, % saturation, ppm	Méthode In-Situ approuvée EPA : 1002-8-2009, 1003-8-2009, 1004-8-2009
Turbidité	± 2% de lecture ou ± 0,5 NTU (ou FNU)	0 à 4000 NTU 0 à 1,500 mg/L	0,01 NTU (0 à 1000); 0,1 NTU (1000 à 4000)	NTU, FNU ppt, mg/L	ISO 7027

Tableau 1 : Indicateurs physico-chimiques mesurés par la sonde Aquatroll.

Site	BM 22-01	BM 22-02	BM 22-03	BM 22-04	BM 22-05	BM 22-06	BM 22-07	BM 22-08	BM 22-09	BM 22-10	BM 22-11	BM 22-12	BM 22-13
Date	04/11/22	04/11/22	04/11/22	04/11/22	01/11/22	01/11/22	01/11/22	01/11/22	02/11/22	04/11/22	04/11/22	04/11/22	04/11/22
Heure	17:20	16:48	16:22	15:39	17:10	16:58	16:46	16:33	11:39	15:08	15:11	14:31	14:49
T°C	24,8	25,3	24	26	25,5	25,7	25,5	25	24	24,5	25	25	22
pH	8,35	8,35	8,08	8,6	8,45	8,4	8,35	8,35	8,4	8,25	8,25	8,08	8,01
Conduct.	717	705	710	725	705	695	670	730	750	681	784	660	701

Site	ND 22-01	ND 22-02	ND 22-03	ND 22-04	ND 22-05
Date	02/11/2022	02/11/2022	02/11/2022	02/11/2022	02/11/2022
Heure	17:17	16:11	15:46	14:57	16:52
T°C	24	24,3	24	24,4	24
pH	8,8	8,9	8,75	8,9	8,9
Conductivité	340	375	345	325	370

Site	Hotel LP - Robinet	Hotel LP - Piscine	Hotel LP - Nappe 3 m
Date	06/11/2022	06/11/2022	06/11/2022
Heure	11:36	10:46	11:13
T°C	23,5	27	26,6
pH	8,7	8,62	7,84
Conductivité	278	1347	635

Tableau 2 : données physicochimiques des eaux usées de Ban Mano, des eaux de la Nam Dong et des eaux à usage domestique dans le secteur résidentiel de Luang Prabang

Protocole d'analyse bactériologiques des eaux et résultats préliminaires

A l'heure actuelle, il n'existe pas d'équipement de terrain permettant de doser précisément les **concentrations en bactéries totales** dans des eaux naturelles ou anthropisées. La numération détaillée (**Coliformes, entérocoques, etc...**) implique une mise en culture longue et couteuse. **L'ATP métrie quantitative** constitue une alternative qui permet de quantifier les microorganismes totaux en dosant l'Adénosine Triphosphate par le biais d'une réaction enzymatique et d'une mesure de bioluminescence sachant que - par convention - 1 pg d'ATP correspondent à 1 000 équivalents bactéries.

Développé depuis quelques années par GL biocontrol, Le dendridiag est un équipement de terrain qui utilise le procédé d'ATP métrie et qui donne des résultats permettant de dégager des **tendances claires et robustes** quant à la **qualité microbiologique des eaux**. Le mode opératoire consiste à prélever **10 ml d'eau**, de la **filtrer à 0,45 µm**, d'y ajouter un **extractant** de type biosurfactant, puis un **réactif enzymatique** produisant un complexe enzyme-ATP et une réaction de bioluminescence (fig. 7)



Figure 7 : mode opératoire de l'ATP métrie quantitative permettant le dosage de bactéries totales dans les eaux

Des mesures ont été réalisées sur l'ensemble des stations de Ban Mano et de la Nam Dong ; elles ont été complétées par d'autres analyses sur des **eaux à usage domestique** : **eau de nappe pour arrosage** de parcs et jardins, **eau du robinet** et **eau de piscine**. D'autre part, nous avons pu réaliser des **tests d'efficacité de filtres ORISA**, développés par une société française située à Nantes. Il s'agit d'un **purificateur d'eau de haute performance** qui « élimine » partiellement les **contaminations biologiques** et les matières en suspension des eaux de surface. Le filtre retient les bactéries présentes dans l'eau et limite ainsi les maladies hydriques. En

complément, nous avons **contrôler la qualité bactériologique de l'eau** après passage dans un dispositif développé par l'ONG locale **SOAP4LIFE**. Enfin, nous nous sommes rendus dans le **village de Phon Home**, où l'association **confluence et ses équipes** ont équipé une **source, un réservoir et des bornes fontaines** pour alimenter les populations locales en eau potable.

Les données brutes et traitées sont présentées dans le tableau 3. Les **données brutes** R1 et R2 correspondent respectivement au résultat *Relative Light Unit – RLU* sur l'échantillon et sur l'échantillon + le standard. **La flore totale bactérienne** est également exprimée en équivalent bactérie pg/ml et en LOG puisque les valeurs peuvent varier de manière exponentielle d'un site à l'autre.

L'interprétation des données est délicate car cela nécessite de nombreux **tests de reproductibilité** qui n'ont pu être réalisés car le coût unitaire de l'analyse est élevé. Néanmoins des tendances se dégagent comme suit : dans le secteur de Ban Mano, bien que sur la plupart des stations, les valeurs R2 sont inférieures aux valeurs R1, on note des **concentrations extrêmement élevées** dans les canaux et un possible **gradient amont-aval de contamination**. Deux sites présentent des valeurs particulièrement intéressantes : BM 22-13, la mare amont #110 et BM 22-03, le seul prélèvement effectué dans un canal à substratum naturel, non bétonné.

Dans les deux cas, les seuils de contaminations en bactéries fécales sont significativement plus bas car des **échanges trophiques** interviennent entre les **eaux usées et le substrat naturel**. On peut ainsi conclure que les ouvrages réalisés pour mieux canaliser les eaux domestiques conduisent à **exporter des eaux très fortement contaminées jusqu'au Mékong**. Ce type d'ouvrage ne présente d'intérêt que si les eaux concernées sont collectées et traitées avant rejet dans le milieu naturel.

Sur le bassin versant de **la Nam Dong**, il existe un gradient sans équivoque entre les stations de la Nam Duai (ND 22-04, ND 22-03) et celui situé à la confluence avec le Mékong. D'autre part, les valeurs sont en moyennes **dix fois inférieures à celles de Ban Mano** : le flux **d'eaux naturelles abaisse** significativement les **teneurs en bactéries fécales**. Mais il convient de traiter avec prudence ces premières observations

Quant aux eaux à usage domestique, on note que **l'eau du robinet** présente des **valeurs trop élevées** malgré des traitements effectués dans les stations où l'eau est prélevée sur la Nam Khan. Il est probable que le **réseau d'adduction** d'eau soit impacté par des **biofilms** qui colonisent les **tuyaux d'alimentation**. L'eau d'arrosage, prélevée dans la nappe reste conforme à des valeurs d'eaux souterraines de **nappes alluviales**.

Le **traitement local** de l'eau (cf. valeurs de l'eau de piscine) reste donc la **pratique la plus efficace** de lutte et d'élimination de la flore bactérienne dans les eaux à usage domestique.

Ban Mano	BM 22-01	BM 22-02	BM 22-03	BM 22-04	BM 22-05	BM 22-06	BM 22-07	BM 22-08	BM 22-09	BM 22-10	BM 22-11	BM 22-12	BM 22-13
Date	08/11/22	08/11/22	08/11/22	08/11/22	03/11/22	-	08/11/22	08/11/22	08/11/22	08/11/22	08/11/22	08/11/22	08/11/22
Heure	11 :00	11 :20	12 :30	13 :00	14 :30	-	14 :00	14 :15	14 :30	15 :00	15 :20	16 :05	16 :20
R1	33220	22553	6436	44388	18217	-	71515	33581	45232	34994	49443	53094	5282
R2	33856	30915	7476	45302	14891	-	63087	30623	41077	29459	48628	43407	7073
Vol ml	10	10	10	10	10	-	10	10	10	10	10	10	10
ATP pg/ml	5223,27	-	618,85	4856,46	-	-	-	-	-	-	-	-	294,92
LOG	6,72	-	5,79	6,69	-	-	-	-	-	-	-	-	5,47

Nam Dong	ND 22-01	ND 22-02	ND 22-03	ND 22-04	ND 22-05	Source amont
Date	07/11/2022	07/11/2022	07/11/2022	03/11/2022	07/11/2022	07/11/2022
Heure	16 :15	15 :45	16 :45	14 :15	15 :00	10 :00
R1	3279	3932	3326	1764	8835	1021
R2	4339	4901	5470	3998	9859	3093
Vol ml	10	10	10	10	10	10
ATP pg/ml	309,34	405,78	155,13	78,96	862,79	49,2
LOG	5,49	5,61	5,19	4,9	5,94	4,99

Hotel LP	Hotel LP – Robinet	Hotel LP – Piscine	Hotel LP – Nappe
Date	06/11/2022	06/11/2022	06/11/2022
Heure	11 :36	10 :46	11 :13
R1	816	32	1935
R2	3236	1593	4784
Vol ml	10	10	10
ATP pg/ml	33,72	2,05	67,92
LOG	4,53	3,31	4,83

Tableau 3 : données bactériologiques des eaux usées de Ban Mano (3a), des eaux de la Nam Dong (3b) et des eaux à usage domestique (3c) dans le secteur résidentiel de Luang Prabang

Des eaux brutes (amont de la rivière Nam Na Duai) ont fait l'objet d'une étude de **rendement de filtres** destinés à rendre des eaux de source ou de rivière, potables. L'ATP métrie a donc été réalisée avant et après filtration dans des conditions réelles et sans préalable de préparation spécifique. Comme le montre le tableau 4a, la **flore bactérienne totale** est **50 fois inférieures** dans un cas et **8 fois inférieure** dans l'autre cas.

L'étude réalisée sur l'eau de la **source du village de Phon Home, captée, stockée et distribuée** par **Confluence** montre également que les ouvrages construits sont particulièrement efficaces puisque la valeur à la borne fontaine du village est comparable à la valeur de la source (tab. 4b). Les **seuils de conformité** (2,50 LOG) sont difficilement atteignables car l'eau captée est déjà au-delà de cette valeur. Dans tous les cas de figure, il convient de **surveiller régulièrement la biomasse totale** de ces eaux destinées à la consommation (seuil d'action corrective fixé à 3,50 LOG)

Filtration	ND 22-04 eaux brutes	ND 22-04 filtration ORISA	ND 22-04 filtration soap4life
Date	03/11/2022	03/11/2022	03/11/2022
Heure	14:15	14:20	14:25
R1	1764	20	144
R2	3998	1297	1636
Vol ml	10	10	10
ATP pg/ml	78,96	1,57	9,65
LOG	4,9	3,19	3,98

Village Phon Home	Source BPH 22-01	Amont élevage BPH 22-02	Aval élevage BPH 22-02	Confluence rizière BPH 22-04	Borne fontaine BPH 22-05
Date	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022
Heure	13:15	13:30	13:45	14:10	14:45
R1	476	69	2791	7488	736
R2	2632	304	4206	7843	1570
Volume ml	10	10	10	10	10
ATP pg/ml	22,08	26,36	197,24	1885,57	88,25
LOG	4,34	4,47	5,3	6,28	4,95

Tableau 4 : données bactériologiques d'eaux brutes de rivière, d'eaux filtrées (tab. 4a) & d'eaux de source captée (tab. 4b)

Analyses sédimentologiques : résultats préliminaires

Avant toute **étude géochimique de sédiments** potentiellement contaminés par des métaux lourds et/ou des micropolluants et/ou des macro et microplastiques, il est essentiel de préciser la **nature** et la **texture** de la **matrice sédimentaire** car il s'agit d'un mélange hétérogène de particules minérales et organiques dans lequel le **spectre granulométrique** peut être très variable. A titre d'exemple, il convient de faire la différence essentielle entre argiles minéralogiques et argiles granulométriques.

Les analyses sédimentologiques, texturales, organiques réalisées sont les suivantes : **densité sèche totale, perte en eau, perte au feu, % de Matière Organique, frottis sédimentaires et microgranulométrie laser**. Cette dernière a été faite sur un Malvern Master Sizer 3000 qui assimile pour toutes les particules à des sphères. Les lois de diffraction sont utilisées pour estimer précisément les diamètres des particules entre 0,05 µm et 2000 µm en voie humide et jusqu'à 3500 µm en voie sèche. Sans traitement préalable, hormis le prélèvement des macro-restes, il n'y a pas de différence faite entre les particules organiques et minérales.

Les résultats (Tab. 5) montrent clairement une **différence significative** entre les dépôts des canaux de Ban Mano et ceux de la Nam Dong. Les matériaux de Ban Manon sont très hétérométriques et peuvent être assimilés – pour certains d'entre eux – à des sables fins alors que la Nam Dong transporte et dépose des silts. Dans le même registre, on note des **valeurs record de teneur en Matière Organique**, proche de 50 % pour certains échantillons.

	D10	D50	D90	0-63 µm %	63-250 µm %	250-2000 µm %	Perte au feu % MO
Canaux							
BM 22-01	6,63	67,30	660,00	48,89	26,14	24,60	15,42
BM 22-02	9,54	47,23	428,67	58,51	25,60	15,89	18,11
BM 22-03	9,50	93,23	698,33	42,73	25,28	31,99	10,34
BM 22-04	15,97	77,73	504,33	43,49	35,50	21,01	30,31
BM 22-05	15,77	92,57	618,67	39,09	34,41	26,51	26,79
BM 22-06	15,13	83,10	530,00	42,01	34,99	23,00	25,20
BM 22-07	14,67	262,00	746,33	28,01	20,49	51,49	6,38
BM 22-08	18,33	427,67	1 030,00	24,43	9,98	65,57	3,15
BM 22-09	12,83	57,97	609,67	52,49	24,56	22,93	8,63
BM 22-10	11,20	47,10	300,33	60,27	27,87	11,87	48,03
BM 22-11	13,00	57,30	479,33	53,23	28,83	17,93	48,08
BM 22-12	13,03	72,53	687,00	46,59	26,60	26,47	23,00
BM 22-13	10,15	75,17	636,33	46,37	28,11	25,13	28,00
Mares							
Pond #199	3,34	13,73	184,00	78,95	13,26	7,79	-
Pond #110	3,94	34,03	562,00	59,40	19,70	20,90	-
Pond #161	5,89	43,90	474,00	57,31	24,06	18,62	-
Pond #180	5,41	28,43	368,67	67,83	18,00	14,17	-
Pond #53	7,79	308,00	1 623,33	31,34	15,41	47,54	-
Pond #66	8,19	44,60	289,67	59,45	29,07	11,48	-
Pond #32	8,49	62,40	483,67	50,43	29,35	20,22	-
Pond #40	3,46	21,90	256,00	70,37	19,39	10,24	-
Pond #146	5,90	38,60	458,67	60,72	21,54	17,74	-
post saison humide							
ND 22-01	3,77	21,37	109,67	78,93	19,36	1,72	9,12
ND 22-02	6,25	45,53	252,00	58,85	31,11	10,05	8,17
ND 22-03	6,28	48,40	582,33	55,14	21,19	23,68	7,95
ND 22-04	6,30	57,10	499,00	52,02	27,22	20,76	8,36
ND 22-05	6,10	55,10	300,33	53,31	34,09	12,60	7,87
post saison sèche							
ND 23-01	5,83	29,33	160,00	71,18	23,23	5,60	-
ND 23-02	5,43	25,87	224,33	72,35	18,65	9,00	-
ND 23-03	10,09	47,03	331,33	60,12	27,46	12,42	-
ND 23-04	6,84	32,63	196,67	68,99	23,16	7,85	-
ND 23-05	4,89	22,30	129,00	77,13	19,37	3,51	-

Tableau 5 : Données granulométriques simplifiées et teneur en matière Organique. Trois diamètres (y compris la médiane) et trois gammes granulométriques sont représentées.

Analyses géochimiques et dosages des métaux lourds : résultats préliminaires

La composition chimique a également été déterminée sur la fraction inférieure à 2 mm afin de **limiter l'effet granulométrique** et **l'influence minéralogique** associée. En effet, la sélection de sédiments fins pour les analyses géochimiques est particulièrement importante car la fraction sableuse est très hétérométrique et la composition minéralogique des sédiments dépend de la granulométrie des particules. Les macro-restes organiques (débris de feuilles, morceaux de coquilles, etc... ont été également retirés). Quant aux macroplastiques, ils ont également été soigneusement enlevés.

Un échantillon représentatif de 0,5 g de matériau sec a été digéré dans un bécher en téflon dans un four tunnel avec $\text{LiBO}_2 - \text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Une fois les échantillons séchés, les résidus ont été complètement dissous avec de l'acide HNO_3 .

Des fractions supplémentaires de 0,5 g ont été digérées par de l'Aqua Regia chaude (95 °C) pour la détermination de l'abondance des oligo-éléments (TE). La teneur totale en **éléments majeurs et mineurs** a été analysée par ICP-AES et les **éléments traces** ont été analysés par ICP-MS à l'exception du **Hg** et de **Ag**, qui ont été analysés par AAS à vapeur froide (Perkin Elmer 5100).

Tous les processus de digestion et les analyses ont été contrôlés par l'analyse d'un échantillon sur dix et de matériaux de référence internes.

Analyses des éléments majeurs et mineurs - Il s'agit du dosage des oxydes suivants : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , Sc .

Analyses des éléments traces et des terres rares - Il s'agit du dosage des éléments suivants : As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, In, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr.

Le tableau 6 représente les **données géochimiques** des échantillons de sédiments prélevés sur Ban Mano et la Nam Dong lors de la première campagne de terrain, en novembre 2022 ; les échantillons de vases et de liseron d'eau des mares de Ban Mano n'ont pas encore été analysés suite à des problèmes de congestion sur la chaîne de mesure spectrométrique au début de l'été 2023.

Les valeurs semblent **conformes** mais elles doivent faire l'objet d'un travail de normalisation, notamment vis-à-vis des éléments majeurs car la teneur en métaux lourds dans un sédiment est liée à la **nature lithologique du bassin versant**. Dans le cadre d'une publication en cours de préparation, il sera procédé à des **calculs d'index géochimiques** de manière à préciser la part des **apports anthropiques**.

	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sn	V	Zn	Zr	Ag	Hg
BM 22-01	5,15	252	13,9	52,6	60,4	21,4	23,5	62,6	3,11	93,8	257	165	0.41	555
BM 22-02	3,01	213	10,3	39,5	53,0	14,3	8,87	45,3	2,68	66,3	295	128	0.62	660
BM 22-03	4,83	248	8,00	41,9	126	12,2	53,4	41,7	127	50,5	319	106	1.54	215
BM 22-04	1,56	201	8,72	36,8	63,5	14,0	1,63	35,9	1,65	61,1	480	103	0.77	1 370
BM 22-05	2,35	210	10,4	41,2	65,8	15,5	2,18	39,8	1,87	79,0	520	115	0.83	1 200
BM 22-06	2,89	212	10,4	41,9	65,2	15,7	4,64	41,7	2,45	74,4	546	112	0.77	1 450
BM 22-07	3,23	305	7,45	29,9	49,9	13,9	31,4	55,3	10,3	43,2	312	95,5	0.46	335
BM 22-08	2,25	283	6,67	23,6	23,3	9,6	25,7	47,5	3,64	42,1	142	72,9	0.17	115
BM 22-09	3,26	243	8,05	30,5	34,4	11,5	16,4	39,0	1,98	59,2	199	74,2	0.21	315
BM 22-10	2,25	335	7,27	34,4	112	15,7	3,71	27,0	2,64	49,5	819	72,5	1.42	3 080
BM 22-11	1,35	281	6,65	28,3	94,2	18,5	1,29	21,2	2,16	31,5	474	57,1	0.42	2 535
BM 22-12	2,68	249	7,22	53,3	77,8	15,9	7,74	39,7	6,09	47,2	553	113	0.73	1 150
BM 22-13	2,24	175	11,4	41,3	42,1	17,3	3,47	49,1	2,53	74,3	162	151	0.27	275
ND 22-01	2,68	140	12,6	28,0	45,1	12,0	6,65	21,3	0,98	90,6	84,2	99,3	<0.10	68
ND 22-02	2,06	136	11,8	24,2	38,9	9,7	6,34	19,1	0,97	80,4	76,7	93,8	<0.10	52
ND 22-03	5,46	219	17,6	32,2	48,7	15,6	14,7	30,1	5,20	145	95,5	120	0.18	71
ND 22-04	4,93	206	19,1	29,7	48,4	14,0	8,84	26,5	1,11	137	96,8	111	<0.10	60
ND 22-05	1,86	131	11,6	23,5	34,2	8,7	4,79	16,7	0,71	80,1	69,9	85,7	<0.10	32

Tableau 6 : Principaux résultats des analyses géochimiques sur les sédiments des canaux de Ban Mano et sur la rivière Nam Dong. Les résultats des analyses des éléments majeurs et des terres rares ne sont pas représentés. Les unités sont en µg/g (ppm) sauf pour le Mercure (µg/kg ou ppb)

En amont des visites, des contacts avaient été pris auprès du service des relations internationales de l'Université de Souphanouvong. Ces échanges ont permis d'identifier plus précisément les composantes de formation et de recherche et les personnels impliqués dans ce programme de coopération :

- L'instruction de l'accord cadre et du **Memorandum of Understanding** a été directement suivie par M. Palitha, responsable des conventions de coopération internationale à l'université de Souphanouvong, accompagné de M. Thavone.
- Les **échanges académiques** se font avec la faculté d'agriculture et de ressources forestières, représentées par son vice-doyen, M. Boun Lam.
- Le **partenariat scientifique** est déjà à l'œuvre avec M. Anousith Vannaphon, Lecturer au sein de cette faculté, puisqu'il a participé aux campagnes d'analyse et d'échantillonnage sur Ban Mano et la Nam Dong. Il a également co-encadré les étudiants stagiaires.

L'Université de Souphanouvong a été **créée en 2003** et comprenait initialement une faculté d'éducation, d'économie et d'agriculture. En 2008, grâce au soutien de la banque nationale Coréenne, un **second campus** a été construit et il héberge notamment **trois facultés d'ingénierie**, d'architecture et d'études des langues.

L'université compte **3000 inscrits** principalement en Bachelor et développe actuellement une offre de Master en économie, foresterie et business management. **400** personnels dont la moitié d'enseignants-chercheurs travaillent dans cette université. **Les accords internationaux** de type Erasmus Mobilités Internationales de Crédits et Capacity Building sont les suivants : Helsinki, Bologne, Alicante, Uppsala, Vilnius.

Concernant les **mobilités sortantes**, deux étudiants de l'université de Tours (Licence Science de la Terre et de l'Environnement, 3ème année & Master Hydrosystèmes et Bassins Versants 1^{ère} année) ont effectué leur stage à Luang Prabang dans le cadre d'une convention d'accueil avec le GRET, en lien avec l'université de Souphanouvong et également sous la responsabilité scientifique de Marc Desmet.

Concernant le **renforcement de capacité**, M. A. Vannaphon a été formé aux enjeux dans le domaine de la ressource en eau et il maîtrise dorénavant toutes les **techniques et protocole de prélèvement d'échantillons d'eau, de sédiment et de biote**. La faculté d'agroforesterie possède de nombreux équipements scientifiques d'évaluation de la qualité des eaux et du milieu (fig. 8). Malheureusement, il n'y a pas encore d'enseignant-chercheur formé en hydrogéologie ; c'est la raison pour laquelle l'université de Souphanouvong a demandé le **soutien de l'Université de Tours** pour la mise en œuvre d'une **salle de travaux pratiques dédiées à l'analyse des eaux**.



Figure 8 : Matériel de mesure de la qualité des eaux à l'Université de Souphanouvong.

Mobilité sortante de stagiaires de l'Université de Tours

Malgré les très courts délais de réalisation du programme (**ouverture des frontières du Laos en Octobre 2022 et fin d'éligibilité des dépenses en juillet 2023**), l'Université de Tours a pu mobiliser **deux étudiants** de la faculté des sciences, régulièrement inscrits en **3^{ème} année de Licence** de Sciences de la Terre et de l'Environnement. Louis Gauthier et Michael Gaignon ont effectué leur stage de 8 semaines au printemps 2023, à Luang Prabang. La figure 9 présente les deux offres de stages rédigées par le porteur de projet de l'Université de Tours et les couvertures des mémoires.

OFFRE DE STAGE 2023

Métrologie et analyse de la qualité des eaux urbaines à Luang Prabang, Laos

Contexte général
Ce stage au Laos est proposé dans le cadre d'un projet de partenariat entre le GRET, Confluence et l'Université de Tours. Cette coopération est dédiée à :

- Le suivi de la qualité des zones humides urbaines de la ville et notamment de la qualité des eaux transitant dans le réseau de mares privées.
- Le suivi des risques sanitaires liés aux eaux usées domestiques à Luang Prabang.
- La mise en place d'un laboratoire d'analyses des eaux dans le bureau des services urbains de la ville de Luang Prabang.
- Le renforcement des capacités entre l'université de Tours et l'Université de Souphanouong.
- La création de mobilités entrantes et sortantes d'étudiants de ces deux établissements de recherche et d'enseignement supérieur.

Objectif
Le stage sera consacré au suivi de la qualité de l'eau dans les zones humides du secteur de Ban Mano à Luang Prabang. Il sera réalisé en binôme avec un étudiant ou une étudiante de l'université de Souphanouong.
La métrologie se fera à l'aide d'équipements scientifiques de l'université de Tours : sonde multiparamètres de caractérisation physico-chimique et kit d'analyse de la charge bactériologique des eaux. Il conviendra aussi de procéder à des mesures de débit et un tarage précis des canaux de Ban Mano depuis l'amont jusqu'à l'exutoire, le Mékong.

Encadrement
Il s'agit d'un encadrement conjoint assuré par le représentant du GRET au Laos (Arnaud Vontobel), l'enseignant-chercheur responsable scientifique de ce projet à l'université de Tours (Marc Desmet) et le Lecturer de l'université de Souphanouong associé au projet (Anousith Vannaphon). Confluence sera associée au suivi du stagiaire (Thibaut Célière).

Date de stage et formation concernée
Entre le 10 mars et le 10 mai, à ajuster en fonction des dates d'arrivée et de départ. Licence 3^{ème} année en Sciences de la terre et de l'Environnement

Structure d'accueil et lieu du stage
GRET
PO BOX 2483
N°262 Unit 11 Ban Saphanthang
Kang Sisattamak District
Ventiane, Lao PDR
Le stage se déroulera exclusivement à Luang Prabang, Lao PDR

OFFRE DE STAGE 2023

Accompagnement à la mise en place d'un laboratoire d'analyse des eaux urbaines à Luang Prabang, Laos

Contexte général
Ce stage au Laos est proposé dans le cadre d'un projet de partenariat entre le GRET, Confluence et l'Université de Tours. Cette coopération est dédiée à :

- Le suivi de la qualité des zones humides urbaines de la ville et notamment de la qualité des eaux transitant dans le réseau de mares privées.
- Le suivi des risques sanitaires liés aux eaux usées domestiques à Luang Prabang.
- La mise en place d'un laboratoire d'analyses des eaux dans le bureau des services urbains de la ville de Luang Prabang.
- Le renforcement des capacités entre l'université de Tours et l'Université de Souphanouong.
- La création de mobilités entrantes et sortantes d'étudiants de ces deux établissements de recherche et d'enseignement supérieur.

Objectif
Le stage sera consacré à l'accompagnement des équipes du GRET dans le cadre de la création d'un laboratoire d'analyse des eaux urbaines à Luang Prabang. Il sera réalisé en binôme avec un étudiant ou une étudiante de l'université de Souphanouong.
Actuellement, les services techniques de la ville ne disposent d'aucun équipement d'analyse et d'aucune formation à l'analyse et au suivi des eaux usées. Il conviendra donc de travailler à la mise en place de cet espace dédié et à la formation des techniciens concernant des mesures simples telles que le pH, l'oxygène dissous, la DBO5, la conductivité, ou la qualité microbiologique des eaux. Il s'agira aussi d'établir un guide de bonnes pratiques de suivi d'eaux urbaines, rejetées dans le milieu sans traitement.

Encadrement
Il s'agit d'un encadrement conjoint assuré par le représentant du GRET au Laos (Arnaud Vontobel), l'enseignant-chercheur responsable scientifique de ce projet à l'université de Tours (Marc Desmet) et le Lecturer de l'université de Souphanouong associée au projet (Anousith Vannaphon). Confluence sera associée au suivi du stagiaire (Thibaut Célière).

Date de stage et formation concernée
Entre le 10 mars et le 10 mai, à ajuster en fonction des dates d'arrivée et de départ. Licence 3^{ème} année en Sciences de la terre et de l'Environnement

Structure d'accueil et lieu du stage
GRET
PO BOX 2483
N°262 Unit 11 Ban Saphanthang
Kang Sisattamak District
Ventiane, Lao PDR
Le stage se déroulera exclusivement à Luang Prabang, Lao PDR


 Faculté des Sciences et techniques
 Licence Sciences de la Terre, Environnement

Rapport de stage pour l'obtention de la 3ème année de Licence

Suivi métrologique des variations de la qualité des eaux urbaines dans le quartier de Ban Mano, Luang Prabang, Laos



Louis GAUTHIER
Mai 2023

Encadrement scientifique : Marc DESMET
Laboratoire GÉHCO

Maitre de stage : Arnaud VONTOBEL
GRET LAOS





 Faculté des sciences, licence Sciences de la Terre et de l'Environnement

Rapport de stage pour l'obtention de la 3ème année de Licence

Accompagnement à la création d'un laboratoire et sensibilisation de la population au suivi de la qualité des eaux urbaines à Luang Prabang



Michaël GAIGNON
Mai, 2023

Encadrement scientifique : Marc DESMET

Maitre de stage : Arnaud VONTOBEL
GRET LAOS




Figure 9 : Offres et Mémoires de stages de l'Université de Tours

ANNEXE - programme détaillé des missions

Première mission - Novembre 2022				
31 octobre 2022	Arrivée à l'aéroport	Luang Prabang	M. Desmet	24 heures de retard suite à une annulation du vol Bkk-Lpg
31 octobre 2022	Reconnaissance de la zone humide de Ban Mano	BV de Ban Mano et en amont vers Ban Phon Khram	M. Desmet, A. Vontobel	Présentation du site d'étude, des travaux et des aménagements antérieurs en amont de la mare #70
01 Novembre 2022	Meeting U. Tours, U. Souphanouvong, GRET	Campus de U. Souphanouvong	M. Desmet, A. Vontobel & V. Chansavag, Pr. U. Souphanouvong, M. Palitha, R.I. U. Souphanouvong	Rencontre très importante qui permet de fixer les grandes lignes de la coopération académique et un calendrier de signature de l'accord cadre
01 Novembre 2022	Prélèvements et mesures Mare #70 et canaux amonts	BV de Ban Mano	M. Desmet & A. Vontobel	Collecte de vase organique et analyses physico-chimiques des eaux & prélèvement d'eau pour expérimentation DBO à 5 jours
02 Novembre 2022	Visite des services techniques de la ville de LP (USO)	Luang Prabang	M. Desmet, A. Vontobel & Souphanny (GRET)	Présentation du projet de partenariat en lien avec l'aménagement d'un laboratoire d'analyse de l'eau par le GRET et l'U. Tours.
02 Novembre 2022	Prélèvements et mesure du BV de la Nam Dong et de la Nam Na Duai	Frange urbaine de Luang Prabang	M. Desmet	Bassin versant à pression anthropique modérée sur le secteur du nouvel hôpital de LP
03 Novembre 2022	Analyses bactériologique et test des filtres Orisa et Soap 4 life	Mare #70 et amont BV Nam Na Duai	M. Desmet, A. Vontobel & Anousith (U. Souphanouvong)	Premiers essais d'ATP métrie. Avant et après filtrage d'eau de rivière
03 Novembre 2022	Collecte de vase organique	Amont BV Ban Mano	M. Desmet, Anousith	Branche amont des canaux de la mare #70, difficiles à identifier
04 Novembre 2022	Visite de la faculté d'agriculture et de ressources forestières	Luang Prabang, secteur de l'aéroport	M. Desmet, Anousith	Réunion avec le vice doyen, M. Boun Lam
04 Novembre 2022	Prélèvements et mesures des canaux en aval de la mare #70	BV Ban Mano	M. Desmet, Anousith	Échantillonnage et analyses physico-chimiques jusqu'à la confluence avec le Mékong
05 & 06 Nov 2022	Off	Luang Prabang	-	WE à LP
06 Novembre 2022	Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de l'hôtel	Villa Maydou	M. Desmet	Eau du robinet, eau de la piscine et eau du puit.
07 Novembre 2022	Conditionnement des échantillons de vase organique	GRET	M. Desmet	13 échantillons du BV Ban Mano et 5 échantillons du BV Nam Dong et Nam Na Duai
07 Novembre 2022	Analyses bactériologiques des eaux du BV de la Nam Dong et de la Nam Na Duai	Frange urbaine Luang Prabang	M. Desmet	Baisse sensible du niveau du Mékong
08 Novembre 2022	Analyses bactériologiques des eaux de l'aval du BV Ban Mano	Ban Mano	M. Desmet	Fort gradient amont-aval de contamination
08 Novembre 2022	Analyses bactériologiques des eaux de	Ban Mano	M. Desmet	Fort gradient amont-aval de contamination

	l'amont du BV Ban Mano			
09 Novembre 2022	Visite de la source et des bornes fontaines installées par Confluence	Village de Phon Hom	M. Desmet, T. Celerier, Loi & Lin (Confluence)	Analyses bactériologiques depuis la source jusqu'à la borne fontaine
10 Novembre 2022	Départ de l'aéroport	Luang Prabang	M. Desmet	Vol via Bkk.
Seconde mission - Novembre 2022				
10 Mars 2023	Arrivée à l'aéroport	Luang Prabang	M. Desmet	Vol via BKK
11 et 12 Mars 2023	WE off le matin et préparation du matériel l'après midi	Luang Prabang	M. Desmet	Fabrication d'un sediment sampler
13 mars 2023	Échantillonnage de 3 mares (sédiment + liseron)	Ban Mano	M. Desmet	Difficulté d'accès à certaines mares
14 mars 2023	Meeting scientifique	GRET	Desmet, A. Vontobel, L. Gauthier, M. Gaignon, Spouphany, Savang, Van Mixay	Organisation des missions scientifiques et techniques des stagiaires
14 mars 2023	Échantillonnage de 2 mares (sédiment + liseron)	Ban Mano	M. Desmet	Orages ponctuels
15 mars 2023	Sortie de terrain avec les stagiaires	Ban Mano et Nam Dong	M. Desmet, L. Gauthier, M. Gaignon, A. Vannaphon	Présentation des deux bassins versants et des protocoles
16 mars 2023	Échantillonnage de 3 mares (sédiment + liseron)	Ban Mano	M. Desmet, A. Vannaphon	Des mares cartographiées n'existent plus
17 mars 2023	Training session	GRET et terrain	M. Desmet, L. Gauthier, M. Gaignon	
18 et 19 mars 2023	Off	WE Luang Prabang		Rédaction du rapport de mission
20 mars 2023	Rencontres scientifiques et formation techniques	Université de Souphanouvong	M. Desmet, A. Vannaphon, V Chansavang, Doyen faculté	Équipement scientifique acquis par U. Souphanouvong dans le cadre d'un MIC Erasmus
21 mars 2023	Conditionnement des échantillons	GRET	M. Desmet, A. Vannaphon	Problème de séchage des liserons. Obligation de reconditionnement.
22 mars 2023	Départ de Luang Prabang	Aéroport	M. Desmet	Vol via BKK

M. Desmet, le 20 aout 2023