



RAPPORT D'EXPERTISE



Projet d'amélioration des conditions d'alimentation en eau potable du lycée de Prey Lvea, Cambodge

Mission du 26 Janvier au 04 Février 2023
Antoine Combe, Kamel Djaouti
P2022-017

Aquassistance – association de solidarité internationale des collaborateurs du Groupe SUEZ.

Association Loi de 1901 (J.O. 0047/1994) - SIRET 404 343 873 00042
300 rue Paul Vaillant Couturier - France • Tél. : +33(0)1.46.97.59.33 •
• <http://www.aquassistance.org> • E-mail : contact@aquassistance.org

Titre du rapport : Projet d'amélioration des conditions d'alimentation en eau potable du lycée de Prey Lvea, Cambodge

Auteurs : Antoine Combe, Kamel Djaouti

Référence : P2022-017

Date : Mars 2023

Destinataires

Gérard DESROCHES, Président d'AIADD Solidarité

Philippe FOLLIASSON, Délégué Général Aquassistance

Antoine COMBE, Bénévole Aquassistance, Chef de mission, en charge du volet hydraulique

Kamel Djaouti, Bénévole Aquassistance, en charge du volet hydrogéologie

Jean-Luc BESSET, Président CTO (CTO Hydraulique, Comité de gestion, Assainissement, Hygiène et santé)

Carole FORTIN, Responsable portefeuille de projets Aquassistance,

Validation de :

Philippe FOLLIASSON

Délégué Général Aquassistance

Signature :

Ce document est la propriété d'AQUASSISTANCE. Il ne peut être utilisé ou communiqué sans autorisation écrite.

Sommaire

1	Préambule	9
1.1	Consistance du projet	9
1.2	Objectifs de la mission	9
2	Présentation du contexte institutionnel.....	10
2.1	Contexte administratif	10
2.2	Contexte institutionnel	11
3	Déroulement de la mission	12
4	Contexte géographique et géologique du projet.....	14
4.1	Géographique et population	14
4.2	Géologique et hydrogéologique	15
5	Etat des lieux de l'approvisionnement en eau	17
5.1	Conditions actuelles d'alimentation en eau du lycée	17
5.1.1	Ressources	17
5.1.2	Réseau et stockages.....	18
5.2	Présentation du réseau d'eau de la ville et de l'usine de traitement (A)	22
5.2.1	L'usine	22
5.2.2	Le réseau.....	24
5.3	Visite du centre de santé	26
5.4	Projets réalisés aux alentours (Good hands, Clear Cambodia, Boudhist Library...)	27
5.4.1	Good hands et Clear Cambodia	27
5.4.2	Budhist Library Project Cambodia (BLPC) et PureAid	29
5.4.3	Oxfam	31
5.5	Analyses d'eau	32
6	Solutions techniques proposées	35
6.1	Evaluation des besoins	35
6.2	Projet technique	35
6.2.1	Projet avec traitement de l'eau de ville	35
6.2.1	Projet avec traitement de l'eau du forage	37
6.2.1	Technologies de traitement envisageables.....	38
6.3	Propositions d'amélioration des installations existantes	47
6.4	Calculs hydrauliques	50

7	Volet assainissement.....	51
8	Volet déchets.....	54
8.1	Impact de l'organisation nationale sur le contexte local	54
8.2	Description de la situation existante dans le lycée	54
8.3	Solution d'amélioration	55
9	Accompagnement, formation et suivi	57
9.1	Formation des comités de gestion / exploitant/ maître d'ouvrage	57
9.2	Réunion avec les responsables locaux	57
9.3	Sensibilisation à l'eau, à l'hygiène et à la gestion des déchets	58
10	Gouvernance du projet.....	59
10.1	Organigramme de gestion des installations	59
10.2	Acceptabilité tarifaire de l'eau	59
10.3	Accord des autorités locales	59
11	Evaluation financière du projet	60
12	Compte Exploitation Prévisionnel.....	61
13	Conclusion	62
ANNEXES		Erreur ! Signet non défini.
Annexe 1 - Personnes rencontrées et contacts.....		Erreur ! Signet non défini.
Annexe 4 : Planche photographique		Erreur ! Signet non défini.

Table des Figures

Figure 1 : Localisation du projet	7
Figure 2 : carte de localisation de la commune de Prey Lvea et des rivières alentours	14
Figure 3 : carte géologique simplifiée du Cambodge	15
Figure 4 : Forage « A » (à gauche, photo de la pompe qui a été volée avant notre arrivée). 17	17
Figure 5 : Forage « B »	17
Figure 6 : PMH hors service (installée en 2010 par OXFAM)	18
Figure 7 : Puits UNICEF de 1988 abandonné	18
Figure 8 : Eléments du système d'alimentation en eau du Lycée	19
Figure 9 : Plan du réseau du Lycée	20
Figure 10 : Robinets fuyards le premier jour	21
Figure 11 : Robinets neufs remplacés dès le lendemain	21
Figure 12 : Photos de la station de traitement d'eau potable.....	22
Figure 13 : Stocks d'hypochlorite de calcium en granulé.....	23
Figure 14 : Analyses d'eau en sortie d'usine.....	23
Figure 15 : Regard de comptage existant devant le lycée	24
Figure 16 : Plan du réseau de la ville	25
Figure 17 : Prélèvement d'eau du réseau de la ville.....	26
Figure 18 : localisation des projets alentours visites lors de notre mission.	27
Figure 19 : Composition et principe de fonctionnement d'un filtre bio-sable (source : ohorizons)28	28
Figure 20 : projet Clear Cambodia et Good Hands réalisé dans le lycée de Phny Meas	29
Figure 21 : Filtre Litree installé dans l'école primaire de Ban Luong et type de récupérateurs d'eau de pluie installé par BLPC.....	30
Figure 22 : Forages Oxfam équipés de PMH à l'école primaire (gauche) et au lycée (droite) de Prey Lvea. 31	31
Figure 23 : Valeurs guides d'interprétation des mesures d'ATP-métrie	33
Figure 24 : Schéma de principe de la solution proposée avec traitement de l'eau de ville ...	35
Figure 25 : Exemples du type de fontaines pouvant être mises en place	36
Figure 26 : Exemples de systèmes de filtration « tout en un » et cartouche associée	38
Figure 27 : Exemple de filtre à sable pour piscine.....	39
Figure 28 : Aqualink Home	41
Figure 29 : Aqualink Skid	42
Figure 30 : Systèmes d'osmose inverse commercialisés par Sun Hour	43
Figure 31 : Proposition de la société Puremine	44
Figure 32 : Taille des matériaux enlevés par processus de séparation variés (source : SDWF) 45	45
Figure 33 : Propositions de travaux de mise en sécurité du « château d'eau »	47
Figure 34 : Traces de corrosion sur la structure métallique du château d'eau.....	48
Figure 35 : Systèmes de protection des rayons solaires des cuves de stockage d'eau traitée49	49
Figure 36 : type de latrines observées dans l'enceinte du lycée.....	52
Figure 37 : Evacuations vers les puits perdus à l'arrière des latrines	52
Figure 38 : Eau s'écoulant le long d'un bâtiment depuis un bloc de latrines.....	53
Figure 39 : Travaux de réparation devant les latrines centrales	53
Figure 40 : Nettoyage de la cour par les élèves	54
Figure 41 : Poubelles dans les salles de classes et four d'incinération.	55

Table des tableaux

Tableau 1 : Déroulement général de la mission	12
Tableau 2 : Personnes rencontrées pendant la mission.....	13
Tableau 3 : Résultat des analyses Pasteur	32
Tableau 4 : Résultat des analyses Aquassistance	33
Tableau 5 : Tableau comparatif des procédés de traitement envisageables	46
Tableau 6 : Calculs de perte de charge	50

Résumé

L'association AIADD est active au Cambodge depuis plusieurs années. Un de leurs projets, initié en 2019, a porté sur la création d'un centre de ressources (médiathèque francophone) au Lycée Heng Samrin de Prey Lvea, à 60 km du Sud de Phnom Penh, dans la Province de Takeo. Ce projet faisait suite à une demande du lycée au sein duquel le français est enseigné mais dont le niveau des professeurs était insuffisant pour assurer une formation adéquate jusqu'au baccalauréat. Plusieurs professeurs de français ont été également accompagnés dans leur formation par AIADD.

Des problématiques eau et déchets sont présentes au sein du Lycée. C'est pourquoi AIADD a contacté Aquassistance afin d'étudier les possibilités d'amélioration pour l'accès à l'eau potable et une meilleure gestion des déchets.

Aquassistance a profité de l'inauguration officielle du centre de ressources le 27 janvier 2023 pour effectuer sa mission d'expertise. A cette occasion, nos volontaires étaient accompagnés de deux bénévoles d'AIADD ainsi que d'une délégation d'élus de la ville de Coubron (le maire et ses adjoints).

Le lycée dispose de deux forages en service. Des analyses réalisées par AIADD ont montré la présence de contamination bactérienne et aux métaux lourds. A notre arrivée, nous avons constaté qu'une des pompes de forage avait été volée tandis que l'autre était protégée par un ouvrage en brique verrouillé. Etaient également présents d'anciens ouvrages abandonnés (forage, pompe à motricité humaine, puits...). Enfin, depuis quelques années, la ville dispose d'un réseau de distribution géré par une société privée, cependant l'eau fournie est comparativement chère (trois fois plus qu'à Phnom Penh) et d'une qualité douteuse.

Lors de la mission, nous avons pu obtenir davantage d'informations sur le réseau de la ville et visiter la station de traitement d'eau. L'eau traitée provient d'un canal d'irrigation et subit un traitement classique (coagulation, floculation, décantation, filtration sur sable). La désinfection apparaît toutefois irrégulière. Le réseau de distribution est en PEHD et PVC et une conduite passe devant l'entrée du lycée. Cette eau représente donc une alternative intéressante à l'eau des forages.

En ce qui concerne l'assainissement, le lycée était bien équipé en blocs sanitaires avec quatre blocs chacun équipés de toilettes et robinets, alimentés en eau par les forages. Le bloc le plus récent a été réalisé dans le cadre de la construction du centre de ressources et dispose d'une cuve surélevée d'1 m³ faisant office de château d'eau pour le lycée. A partir de ces ouvrages, un réseau en PVC permet d'alimenter les autres blocs ainsi que des réserves au sol en ciment utilisées pour l'arrosage des plantes.

Au-delà de la problématique « eau », la problématique « déchets » nous est rapidement apparue comme capitale. En effet, nous avons constaté la présence de nombreux déchets plastiques à l'arrière des bâtiments (la cour principale étant nettoyée quasi quotidiennement par les élèves) ainsi qu'un incinérateur de fortune (appelé « four ») situé à seulement quelques mètres des bâtiments scolaires. Cette pratique semble assez répandue dans la région puisque nous avons également observé la présence de tels ouvrages dans plusieurs autres écoles aux alentours.

Une sensibilisation a donc été entamée (mais devra être renforcée et suivie dans la durée) sur les risques que font porter les fumées sur la santé des élèves mais aussi sur la nécessité de réduire les déchets à la source en diminuant l'usage de plastique jetable. Les autorités locales nous ont informés de la mise en place prochaine d'une collecte communale des déchets, ce qui permettra déjà d'agir sur le premier point et d'éviter aux élèves et aux professeurs de respirer des fumées toxiques. Sur le second point, nous envisageons la fourniture de gourdes réutilisables afin de limiter l'emploi de plastique à usage unique.

La poursuite du projet portera sur la mise en place d'un raccordement au réseau d'eau de ville, d'un traitement de finition et de bornes de distribution (l'eau des forages étant écartée en raison des fortes teneurs en métaux lourds). La maintenance des installations sera une question cruciale afin que le projet s'inscrive dans la durée.

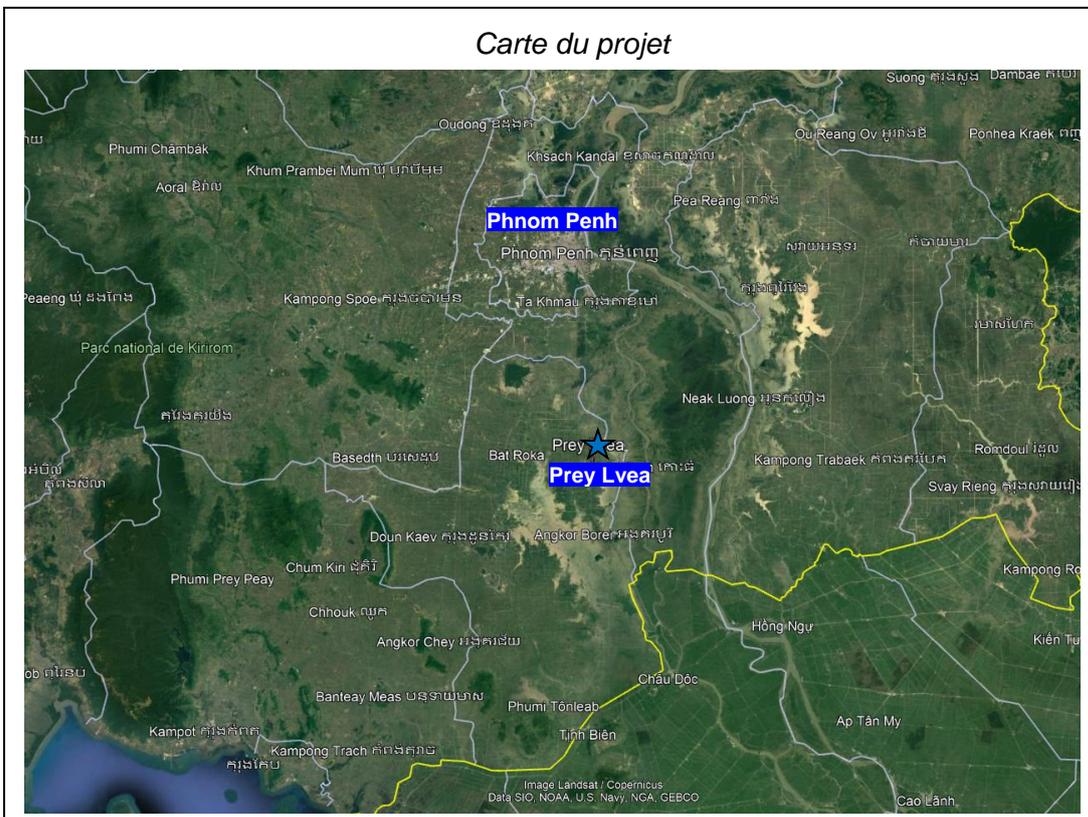


Figure 1 : Localisation du projet

Remerciements

L'équipe d'Aquassistance tient à remercier toutes les personnes rencontrées au cours de sa mission qui, sans leur collaboration et leur assistance, n'aurait pu être menée à bonne fin. Elles nous ont réservé le meilleur accueil et ont fait preuve d'une grande disponibilité pour nous fournir les renseignements qui nous étaient nécessaires pour bâtir ce projet et nous prodiguer des conseils.

Parmi toutes ces personnes :

- M. Gérard DESROCHES
- Mme Christine PICHARD
- M. Sokhen KIEN
- M. Oy SOCHEAT
- M. Try THAN
- M. Keo CHEY
- Mme Sokla KHORN
- M. Phàn

1 Préambule

1.1 Consistance du projet

L'association AIADD (Aide Intégrée Au Développement Durable) Solidarité a sollicité Aquassistance pour améliorer les conditions d'accès à l'eau, d'assainissement et la gestion des déchets dans le lycée Heng Samrin (2000 élèves et professeurs) à Prey Lvea, commune située à 60 km au sud de Phnom Penh dans la province de Takeo au Cambodge.

Fondée en 2003, AIADD Solidarité intervient dans des domaines divers comme l'environnement, la microéconomie, la formation, le logement, l'éducation, le tourisme solidaire et la santé, avec des projets situés principalement en Afrique et en Asie. L'association a inauguré le 27 janvier 2023, en présence de l'équipe d'Aquassistance et d'une délégation d'élus de la ville de Coubron, un centre de ressources francophone dont le projet a été initié en 2018 à la demande des responsables du lycée pour renforcer l'apprentissage de la langue¹. Au cours de ce premier projet, l'association s'est rendu compte des besoins en eau potable, assainissement et gestion de déchets du lycée et a de ce fait sollicité Aquassistance pour son expertise.

1.2 Objectifs de la mission

Cette première mission d'expertise consistait à :

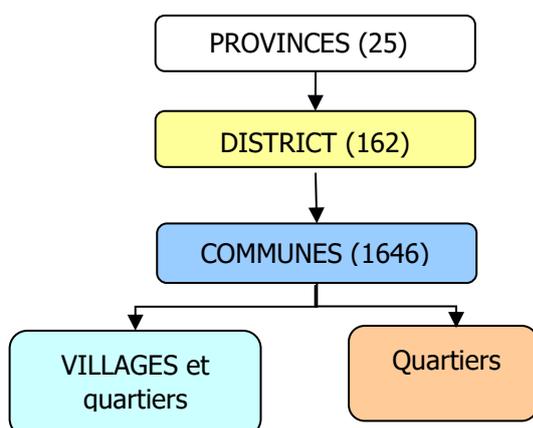
- Etablir un diagnostic technique sur les ressources en eau potentielles ou avérées et sur les usages actuels
- Confirmer les besoins en eau du lycée
- Clarifier le cadre institutionnel dans lequel le projet pourrait se réaliser
- Hiérarchiser les priorités en fonction des besoins de la population et des possibilités techniques
- Elaborer une solution technique et son chiffrage, un schéma de gestion
- Evaluer les besoins en assainissement collectif et individuel
- Identifier des partenaires techniques locaux potentiels
- Identifier des financeurs possibles et préciser leurs exigences
- Planifier les actions immédiates, définir les besoins d'études complémentaires
- Réaliser une photo du contexte local (environnement, état sanitaire, infrastructures existantes, activités économiques,)

¹ <https://aiadd-solidarite.com/apprendre-le-francaisen-cours/>

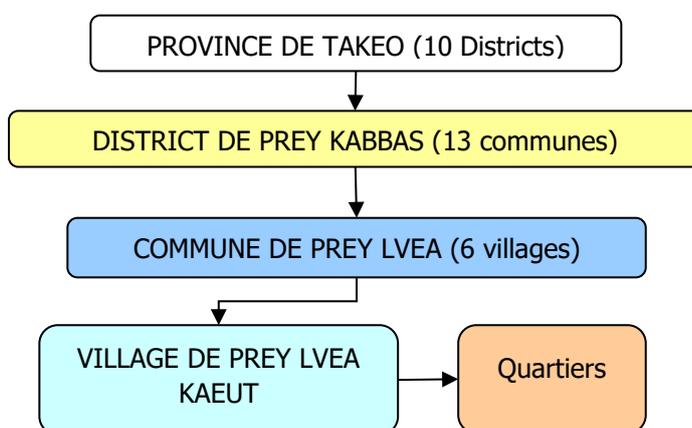
2 Présentation du contexte institutionnel

2.1 Contexte administratif

L'organisation administrative du Cambodge s'articule autour de :



L'organisation administrative dans laquelle s'inscrit le projet est donc la suivante :



2.2 Contexte institutionnel

Le ministère en charge de la gestion de l'eau potable en milieu urbain est le ministère de l'Industrie, des Sciences, de la Technologie et de l'Innovation (MISTI). Ce ministère supervise les établissements publics autonomes qui fournissent l'eau potable dans les zones urbaines, comme la régie des eaux de Phnom Penh (PPWSA) ou la régie des eaux de Siem Reap (SRWSA). Il collabore également avec d'autres acteurs, comme la Banque européenne d'investissement (BEI), l'Agence française de développement (AFD) ou des organisations non gouvernementales, pour financer et réaliser des projets d'amélioration de l'accès à l'eau potable.

La gestion de l'eau potable en milieu rural relève quant à elle du ministère des Affaires Rurales et du Développement (MRD). Ce ministère élabore des politiques et des stratégies pour améliorer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans les zones rurales, en collaboration avec d'autres ministères, des autorités locales, des organisations non gouvernementales et des bailleurs de fonds. Il soutient également la mise en place de Comités Villageois de l'Eau qui sont responsables de la gestion communautaire des systèmes d'approvisionnement en eau potable. Les communes n'ont pas de compétence particulière en matière d'eau et d'assainissement.

Le ministère en charge de la ressource en eau (réseau hydrographique et aquifères) est le MOWRAM (Ministry Of Water Resources And Meteorology – ministère des Ressources en eau et de la météorologie).

Début 2023, le conseil des Ministres du Cambodge a adopté en première lecture une nouvelle loi sur la gestion de l'eau potable. Cette nouvelle loi définit plus précisément le cadre légal pour la gestion et le développement des systèmes d'alimentation en eau au Cambodge².

Le Collège-lycée Heng Samrin est rattaché au ministère de l'Éducation via son bureau de l'éducation du district de Prey Kabbas. Le ministère de l'Éducation, de la jeunesse et des sports est organisé autour du siège central, de 24 bureaux d'éducation provinciaux/municipaux, de 193 bureaux d'éducation de district et des écoles. En règle générale, les bureaux provinciaux de l'éducation sont en charge des écoles secondaires supérieures (lycées), tandis que les bureaux de l'éducation de district supervisent les écoles secondaires inférieures (collèges).

C'est donc le Ministère de l'Education, de la jeunesse et des sports qui sera Maître d'ouvrage des installations finales.

² <https://www.phnompenhpost.com/national/council-ministers-approves-water-management-draft-law>

3 Déroulement de la mission

Journée	Matin	Après-midi
26/01/2023	- vols	- Arrivée à Phnom Penh - Rencontre avec Christine et Gérard d'AIADD
27/01/2023	- Trajet Phnom Penh -> Prey Lvea - Cérémonie d'inauguration du Centre de ressources - Rencontre avec Directeur du lycée et professeurs	- Premier tour du Lycée avec M. Phân, technicien du Lycée - Recensement des installations existantes et abandonnées - Visite des « cantines » situées à côté du lycée
28/01/2023	- Visite de la station de traitement d'eau - Rencontre avec ingénieur du service des eaux	- Visite du centre de Santé, rencontre du Directeur - Ouverture du branchement d'eau devant le lycée
29/01/2023	Journée avec M. Try THAN	
30/01/2023	- Réunion avec représentants du District et du ministère de l'éducation - Visite du lycée Phny Meas équipé d'un filtre bio-sable (projet Good Hands / Clear cambodia)	- Visites d'autres établissements scolaires aux alentours ayant fait l'objet d'autres projets (Good Hands, Clear Cambodia, Buddhist Library, etc) - Questions aux professeurs pour analyse socio-économique - Analyses d'eau
31/01/2023	- Analyses d'eau	- Trajet Prey Lvea -> Phnom Penh
01/02/2023	- rencontres de fournisseurs de filtres sur Phnom Penh (Aqualife, Purelife, Sunhour, Campure, Puremine)	- Rencontre avec l'ONG Clear Cambodia
02/02/2023	- Visite du chantier de la station de traitement d'eau de Bakheng avec Suez Consulting	- Echange avec AIADD sur la suite du Projet
03/02/2023	Journée libre sur Phnom Penh	
04/02/2023	Vols de retour	

Tableau 1 : Déroulement général de la mission

Personnes rencontrées :

Organisme	Nom	Fonction	Coordonnées
AIADD	Gérard DESROCHES	Directeur	+33659145657
AIADD	Christine PICHARD	Secrétaire Générale	+33670928772
Entreprise Amara (ayant réalisé les travaux du centre de ressources)	Sokhen KIEN	Directeur	+85516822282
District de Prey Kabbas	Chantaa DUCH	Directeur adjoint	+855121995882 +855979755747
Ministère de l'Education Nationale	Orn EM	Directeur régional	+85512286776
Lycée Heng Samrin	Oy SOCHEAT	Directeur	NC
Lycée Heng Samrin	Try THAN	Enseignant	+85512719070
Lycée Heng Samrin	Sokla KHORN	Enseignante	+85595376358
Lycée Heng Samrin	Keo CHEY	Enseignant	+85516212937
Compagnie des Eaux	Sun SOPHORN	Ingénieur	+85516332153
Centre de santé	Kha PIMONT	Directeur	+85599368527
Ville de Coubron	Ludovic TORO	Maire	NC

Tableau 2 : Personnes rencontrées pendant la mission

4 Contexte géographique et géologique du projet

4.1 Géographique et population

La province de Takéo est une province du sud du Cambodge avec pour capitale la ville de Takéo, située à 78 km au sud de Phnom-Penh. L'eau est omniprésente dans la campagne environnante au cours de la saison des pluies. Par conséquent, la province se compose essentiellement de rizières et d'autres plantations agricoles. La province dispose également d'un des plus grands fleuves du pays (symbolisant la frontière des provinces de l'Est), le Bassac (également connu sous le nom «Red River»), bras (ou défluent) du Mékong qui s'en sépare à Phnom Penh (après l'île de Koh Pich) et coule vers le Vietnam. La station de pompage et traitement d'eau qui alimente la commune prélève l'eau directement dans un canal d'irrigation alimenté par la rivière Bassac.



Figure 2 : carte de localisation de la commune de Prey Lvea et des rivières alentours

Le district de Prey Kabbas a une population d'environ 90 000 personnes avec 8 lycées, 8 collèges et de nombreuses écoles primaires réparties sur son territoire. La commune de Prey Lvea possède quant à elle une population d'environ 6100 personnes (recensement de 2019). La population s'y répartit principalement le long des routes, les terrains alentours étant utilisés pour l'agriculture. Les 1775 élèves du collège/lycée proviennent de la ville de Prey Lvea et des villages alentours, dispersés sur plusieurs kilomètres. Les élèves se rendent donc à l'école principalement par leurs propres moyens, à vélo ou à scooter (pas de ramassage scolaire). Les activités des habitants sont essentiellement agricoles avec un salaire mensuel moyen des habitants en zone rurale autour de 200 euros. Le salaire des professeurs est autour de 350 euros, ces derniers donnent aussi pour la plupart des cours privés en dehors du lycée et à leur domicile (1000 riels par heure et par élève soit 25 centimes d'euros).

Tous les habitants ont accès à l'électricité et tous les bâtiments du lycée sont raccordés. La consommation est d'environ 50 euros par mois. Quelques lampadaires alimentés par des panneaux solaires sont aussi présents sur place. De nombreux centres de santé sont présents sur la commune (environ une dizaine) dont un à proximité immédiate du lycée (visite lors de notre mission). Les aliments sont préparés et mis en vente dans les rues dans des conditions hygiéniques parfois douteuses. Les maladies type diarrhée ou infections intestinales sont donc courantes.

4.2 Géologique et hydrogéologique

Le Cambodge, avec ses deux fleuves principaux (le Mékong et le Tonlé Sap), dispose de ressources en eau abondantes. Le pays est cependant très vulnérable aux variations climatiques (fortes inondations suivies de périodes de sécheresse), accentuées par l'urbanisation croissante et la construction de barrages.

La zone d'étude se trouve dans le bassin du Mékong dont les sédiments quaternaires (sables et argiles) constituent l'aquifère principale. Il est de type semi confiné avec une recharge latérale par le Mékong et verticale lors de la saison des pluies. Dans certaines zones, l'eau (souterraine et de surface) peuvent être de mauvaise qualité avec des taux d'arsenic et de fer élevés, dont la provenance reste ambiguë (naturelle ou humaine) et une pollution bactériologique observée régionalement.

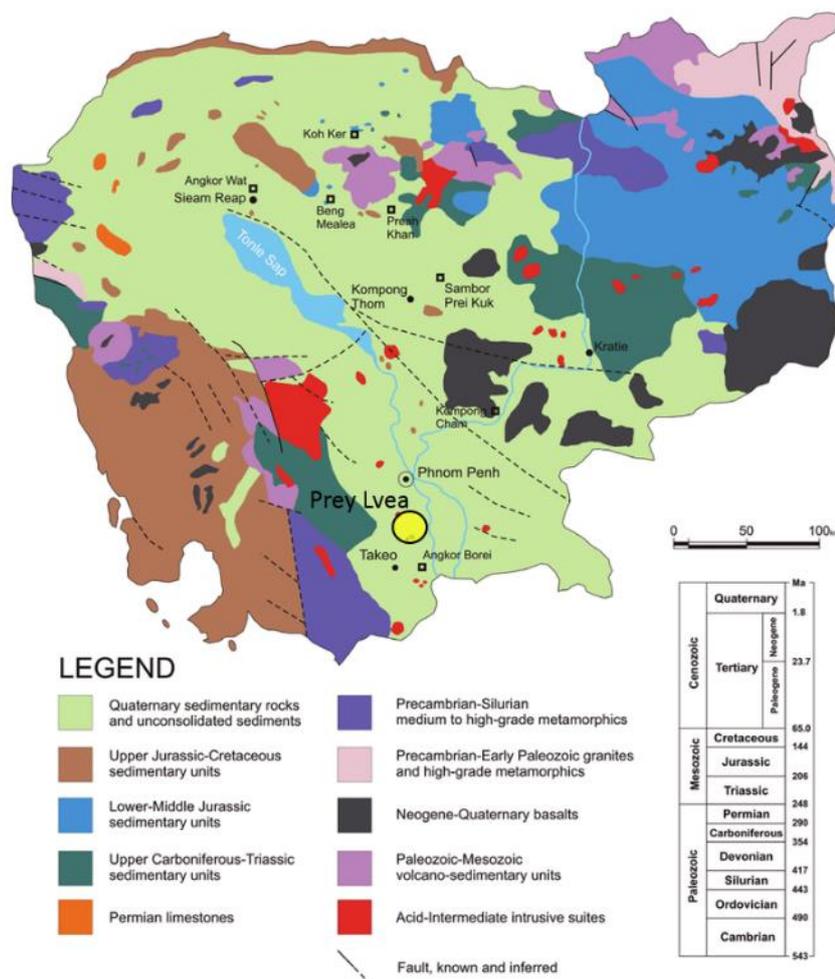


Figure 3 : carte géologique simplifiée du Cambodge

Un des forages présents dans l'enceinte du lycée, réalisé par Oxfam en 2011 avec l'aide du gouvernement Australien, présente une profondeur de 36 m avec un niveau d'eau statique observé à 6,5m et un niveau dynamique (après essai de pompage) à 8,5 m, avec un débit estimé à 4 m³/h. Un autre forage Oxfam recense dans l'école primaire de Prey Lvea, avec la même profondeur, montre des niveaux statique et dynamique similaires, avec un débit estimé à 3 m³/h.

Il est raisonnable de considérer que les forages privés, nombreux dans la région, possèdent les mêmes caractéristiques. Ils sont utilisés majoritairement et à 35% par la population comme source d'approvisionnement en eau. En saison des pluies, 60% de la population privilégie la récupération d'eau de pluie avec des récupérateurs présents quasiment dans chaque maison³. Dans les deux cas, et d'après nos échanges avec la population, l'eau est a priori bouillie avant d'être consommée pour la boisson.

³ <https://washmatters.wateraid.org/sites/g/files/jkxoof256/files/rural-water-supply-in-cambodia-consolidation-of-data-and-knowledge-gaps.pdf>

5 Etat des lieux de l'approvisionnement en eau

5.1 Conditions actuelles d'alimentation en eau du lycée

5.1.1 Ressources

Le lycée est actuellement alimenté par deux forages (nommés A et B), d'une profondeur respective de 20 et 45 mètres. Nous n'avons pas pu mesurer les niveaux de la nappe dans ces forages.

Le premier jour, nous avons constaté que la pompe du forage A avait été volée tandis que celle du forage B était protégée par un ouvrage en brique verrouillé.



Figure 4 : Forage « A » (à gauche, photo de la pompe qui a été volée avant notre arrivée)



Figure 5 : Forage « B »

Des analyses d'eau ont été réalisées par AIADD avant la mission. Celles-ci sont présentées en détail au § 5.5 avec les autres analyses réalisées au cours de la mission.

Ces analyses montrent la présence de métaux (Manganèse, Nickel, Plomb et Zinc) à des niveaux excessifs. Au niveau de la bactériologie, le forage A présente une importante contamination bactérienne tandis que le forage B présente lui une bonne qualité microbiologique (0 UFC/100ml de coliformes totaux et Escherichia Coli). Actuellement, seul le forage B alimente le réseau.

Dans la cour « Est » du lycée, se trouve une PMH installée en 2010 par OXFAM. Il est ressorti de nos échanges que celle-ci avait fonctionné une dizaine d'année mais était désormais abandonnée depuis qu'elle était tombé en panne en 2020. Avec l'installation des forages et du réseau, celle-ci n'avait, semble-t-il, plus d'utilité.



Figure 6 : PMH hors service (installée en 2010 par OXFAM)

Un puits plus ancien, construit en 1988 (le lycée date de 1985) et situé à proximité du centre de ressources est visiblement abandonné depuis longtemps. Il remonte quasiment aux origines du lycée et nous n'avons pas pu obtenir d'informations sur la date de son abandon.



Figure 7 : Puits UNICEF de 1988 abandonné

Enfin, d'autres forages privés se trouvent au niveau des « cantines », à l'est du lycée. Ils servent à la cuisson des plats (nouilles, riz...) mais pas à l'eau de boisson (vente de bouteilles plastiques).

5.1.2 Réseau et stockages

Le système d'alimentation en eau du lycée se compose, outre les deux forages présentés ci-dessus, d'un réseau en PVC et de cuves de stockage surélevées. Derrière le centre de ressources se trouve une cuve surélevée d'un mètre cube faisant office de château d'eau pour le lycée. Le démarrage du forage B est asservi au niveau de ce réservoir principal.

L'eau est ensuite distribuée gravitairement à partir de ce réservoir vers les autres réservoirs.

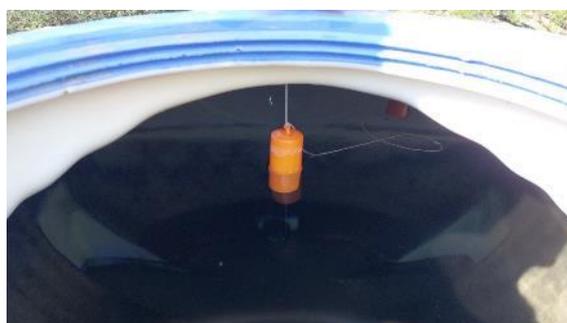
Ce système permet l'alimentation des blocs sanitaires (quatre au total) ainsi que de robinets dédiés à l'arrosage des plantes (remplissage de cuves en ciment). Le débit observé aux différents robinets était très satisfaisant (de l'ordre de 2 m³/h au niveau des remplissages de cuve en ciment).



Réserve au sol pour l'arrosage



Latrines et château d'eau financées par AIADD



Poire de niveau du réservoir principal

Figure 8 : Eléments du système d'alimentation en eau du Lycée

Le schéma de la page suivante permet de visualiser le fonctionnement du système d'alimentation en eau du lycée.

Figure 9 : Plan du réseau du Lycée



Lors de la première visite des installations, nous avons constaté la présence de robinets qui fuyaient au niveau des lavabos des élèves.



Figure 10 : Robinets fuyards le premier jour

Nous avons indiqué au technicien du lycée ainsi qu'à un professeur que le fait d'avoir des fuites sur les robinets entraînaient des démarrages excessifs de la pompe (asservie pour rappel au niveau dans la cuve surélevée) et donc une hausse des consommations énergétiques. Nous avons également constaté une autre fuite au niveau d'un raccord PVC.

Dès le lendemain, nous avons pu constater que les robinets avaient été changés. La fuite a été réparée 2 jours plus tard (nécessitait plus de matériel). La rapidité d'intervention suite à notre remarque témoigne de l'implication de la Direction du Lycée dans la gestion des problématiques liées à l'eau. Mais cela témoigne également du besoin de sensibilisation aux économies d'eau et d'énergie.



Figure 11 : Robinets neufs remplacés dès le lendemain

5.2 Présentation du réseau d'eau de la ville et de l'usine de traitement (A)

5.2.1 L'usine

La ville dispose depuis quelques années d'un réseau de distribution géré par une société privée, la « LAY LUNDI RAI COMPANY ». Nous avons pu visiter l'usine de production et rencontrer un ingénieur, M. Sun Sophorn, qui nous a fourni de précieuses informations.

- Usine construite en 2010 ;
- Production d'environ 200 m³/j avec une pression au refoulement d'environ 6 bars ;
- 6 Communes alimentées ;
- Prix du m³ d'eau : 2500 Riels, soit environ 0,6 euros (A Phnom Penh, c'est seulement 700 Riels) ;
- Prix d'un raccordement neuf au réseau : 300 000 Riels, soit environ 70 euros.

L'usine de traitement comporte une filière classique : coagulation/floculation, décantation, filtration sur sable et désinfection au chlore. Lors de notre visite, la chloration par pompe doseuse ne fonctionnait pas.



Figure 12 : Photos de la station de traitement d'eau potable

Il semble que la chloration se fasse de façon ponctuelle avec l'injection d'hypochlorite de calcium en granulés (ne contenant pas de stabilisant et étant couramment utilisé en piscine) et non de chlore gazeux ou d'hypochlorite de sodium (javel). Nous n'avons pas pu observer la méthode d'injection du chlore mais il semble qu'elle se fasse de façon discontinue. Une pompe doseuse était bien présente dans la salle des pompes mais celle-ci ne fonctionnait pas lors de notre visite.

Ce mode de désinfection discontinu explique les différences de mesure observées : aucun chlore libre lors de nos mesures de terrain, mais un niveau très élevé de 1,6 mg/l lors des analyses de Pasteur quelques jours plus tard. Ce taux correspond plutôt à la concentration observée dans une piscine que dans de l'eau potable et est nettement supérieur aux recommandations de l'OMS qui sont de 0,2 à 0,5 mg/l. A ce niveau, l'impact sur le goût et l'odeur est très fort.

De plus, l'hypochlorite de calcium a tendance à faire augmenter le pH.



Figure 13 : Stocks d'hypochlorite de calcium en granulé

L'ingénieur présent sur place nous a présenté différentes analyses d'eau récentes témoignant notamment de l'absence de pollution bactérienne et d'arsenic.

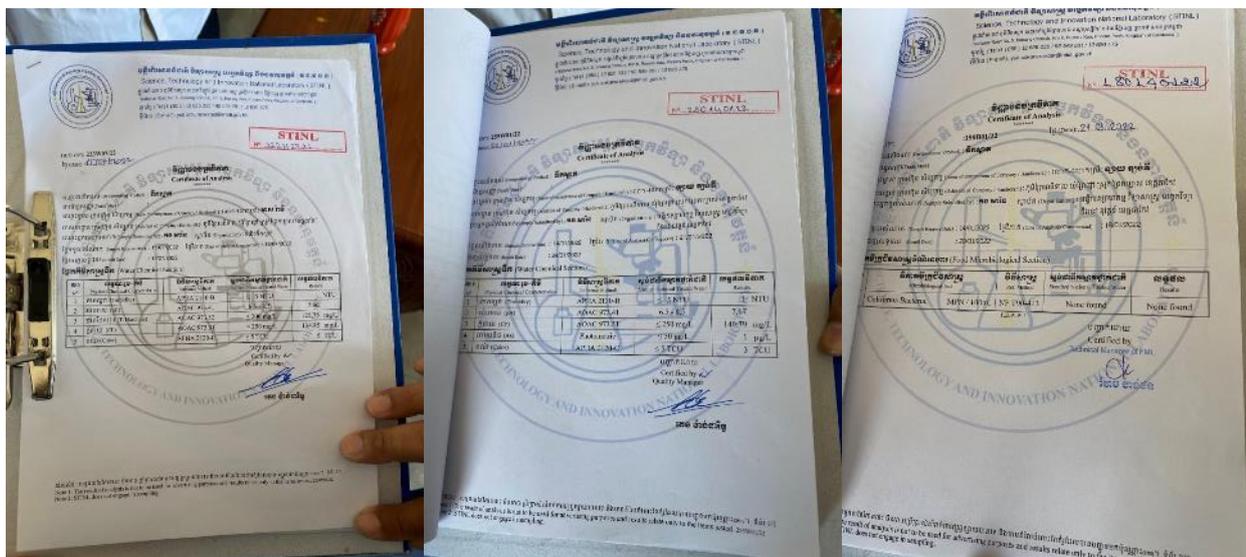


Figure 14 : Analyses d'eau en sortie d'usine

5.2.2 Le réseau

La figure de la page suivante présente le plan du réseau qui nous a été transmis par l'entreprise gestionnaire. On y note la présence d'une canalisation DN 110 qui passe devant le Lycée.

On trouve devant le lycée un branchement existant avec un compteur. Celui-ci était utilisé pour l'arrosage des espaces verts devant le lycée mais ne l'est plus depuis quelques années. Nous avons néanmoins pu y accéder et l'utiliser pour y effectuer des prélèvements. La pression était bonne (pas mesurée précisément) et le débit supérieur à 1 m³/h au niveau du réseau d'arrosage.



Figure 15 : Regard de comptage existant devant le lycée

Nous avons utilisé ce branchement pour faire des analyses sur l'eau de la ville après avoir laissé couler l'eau pendant plusieurs minutes.



Figure 17 : Prélèvement d'eau du réseau de la ville

5.3 Visite du centre de santé

Nous avons pu rencontrer le Directeur du centre de santé situé à proximité immédiate du lycée, M. Kha PIMONT. Ce centre de santé existe depuis 1997 et est financé par le gouvernement ainsi que par des dons privés.

Lors de notre entrevue, nous avons pu balayer de nombreux points relatifs à l'état sanitaire du village :

- Accès à l'eau : depuis l'arrivée de l'eau du robinet, le Directeur a noté une baisse notable des maladies d'origine hydrique. Avant, buvaient l'eau des puits, lacs, rivières. Beaucoup de gens continuent à faire bouillir l'eau du réseau. Celle-ci est chère donc les usagers ne l'utilisent le plus souvent que pour l'eau de boisson/cuisine et ont un puits ou un forage pour les autres usages.
- Maladies soignées : diarrhées (mais non hémorragiques), maux de gorge, céphalées, problèmes respiratoires, etc. Il n'y a quasiment plus de cas de COVID, le taux de vaccination au Cambodge est très élevé, même les enfants sont vaccinés à 4 doses, voire plus.
- Les diarrhées sont souvent observées chez les enfants de moins de 5 ans mais quasiment plus au-delà.
- Le centre de santé dispose d'un forage d'environ 30 mètres de profondeur. Depuis 2 ans, ils n'utilisent plus l'eau du réseau de la ville à cause du prix...
- Le Directeur sensibilise ses patients à l'importance de faire bouillir l'eau avant de la consommer, au lavage des mains après avoir fait ses besoins et/ou avant de préparer à manger.



En conclusion, il semble au vue de cet entretien que les conditions générales d'hygiène soient plutôt bonnes dans le village.

5.4 Projets réalisés aux alentours (Good hands, Clear Cambodia, Boudhist Library...)

Pendant notre mission, plusieurs projets réalisés par des ONGs ont été recensés aux alentours de Prey Lvea. Les responsables du lycée et du district nous ont en informées lors d'une réunion d'échange (cf. 9.2) et nous avons donc pu les visiter accompagnés de professeurs de français et d'anglais du lycée.

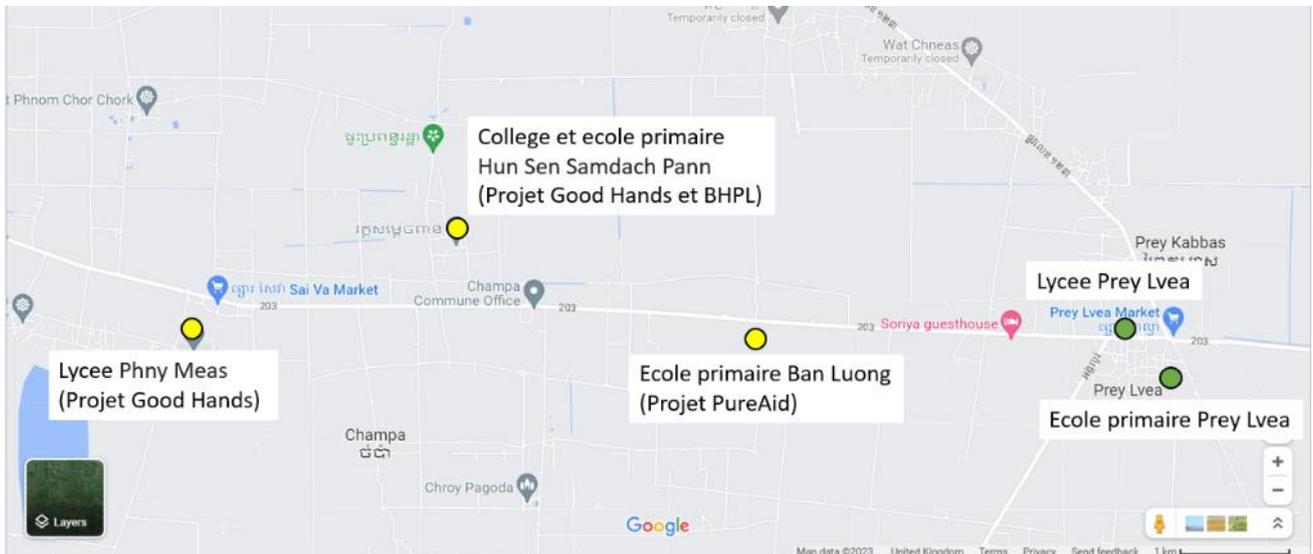


Figure 18 : localisation des projets alentours visites lors de notre mission.

5.4.1 Good hands et Clear Cambodia

Nous avons pu visiter le lycée de Phny Meas situé à l'ouest de Prey Lvea ou un projet inauguré le 25 aout 2021 a été réalisé par deux ONGs partenaires : Good Hands (ONG coréenne⁴) et Clear Cambodia (ONG cambodgienne⁵). Un projet similaire a été réalisé dans le collège Hun Sen Samdach Pannet et inauguré le 20 décembre 2022.

Le système de filtration utilisé (BioSand Filter = Filtre à bio-sable, cf. Figure 19 et Figure 20) est capable de filtrer 180 à 250 litres d'eau par heure, en éliminant d'après leurs informations jusqu'à 96 % des E Coli, 100 % des protozoaires et des helminthes, 50 à 90 % des toxiques organiques et inorganiques. Les réservoirs qui contiennent le système de filtration sont fabriqués à partir de matériaux recyclés et ont une durée de vie de 15 ans, date à laquelle les réservoirs peuvent être remplacés et le filtre BioSand déplacé vers les nouveaux réservoirs. Chacun de ces filtres est capable de fournir de l'eau propre pour boire et se laver les mains (plusieurs stations). Il s'agit d'un système simple à construire et d'un entretien facile. De nombreux tutoriels sur internet expliquent comment concevoir un filtre bio-sable de façon artisanale⁶.

D'après nos échanges lors de notre mission, une chloration est réalisée avant chaque mise en service pour nettoyer l'ensemble du système mais elle n'est pas renouvelée par la suite. Un prélèvement et une analyse d'eau en laboratoire est effectué un mois après la mise en service pour vérifier le bon

⁴ <http://www.goodhands.kr/>

⁵ <https://www.clearcambodia.org/>

⁶ https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Water_-_Biosand_Filter

fonctionnement. Clear Cambodia met en place pour chaque projet un comité de l'eau composé du Directeur du lycée et des personnes de la communauté pour s'assurer de la bonne utilisation des installations. Aucun paiement de l'eau n'est requis pour les étudiants.

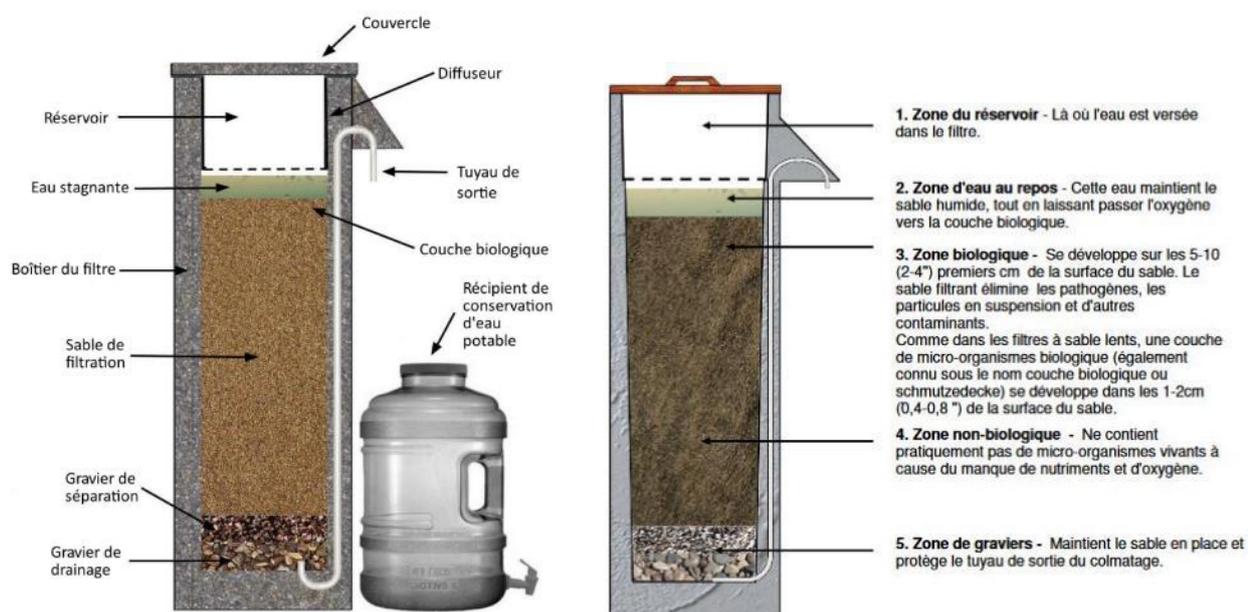


Figure 19 : Composition et principe de fonctionnement d'un filtre bio-sable (source : ohorizons)

Nous avons pu rencontrer le responsable de Clear Cambodia dans leur bureau de Phnom Penh. L'ONG est composée de 120 personnes dont environ 60 bénévoles. Elle intervient dans 6 provinces du Cambodge dont Takéo. Elle collabore avec une vingtaine d'ONG différentes et est financée par plusieurs donateurs dont trois principaux provenant des Etats unis et de Hong Kong. Ils interviennent pour des projets dans les écoles et hôpitaux, environ une dizaine par an, tout le matériel étant acheté au Cambodge. Chaque installation coute environ 5000-6000 \$ incluant une participation financière requise pour la construction des abris protégeant les installations (environ 1000\$).



Figure 20 : projet Clear Cambodia et Good Hands réalisé dans le lycée de Phny Meas

5.4.2 Buddhist Library Project Cambodia (BLPC) et PureAid

BLPC est une ONG cambodgienne créée par l'ONG Australienne PureAid. Celle-ci intervient dans le domaine de l'eau dans plusieurs provinces du Cambodge. Notre visite des écoles primaires d'Hun Sen et de Ban Luong nous a permis d'observer certains de leurs projets. Plusieurs cuves de récupérations d'eau de pluie issue des toitures des bâtiments y ont été installées ainsi qu'un traitement d'eau type « Litree » pour l'école primaire Ban Luong (cf. Figure 21). Le débit de filtration est de 240 l/h.

Le boîtier orange contenant le système de filtration est connecté au réseau électrique et possède deux robinets en sortie pour remplir des bouteilles d'eau de 20 l qui sont ensuite transportées dans les salles de classes pour les élèves. Le boîtier est verrouillé par un cadenas dont le directeur a la clef. Aucun paiement de l'eau n'est requis. Après des échanges par email avec Kin Pheap, responsable local de BLPC et Jonathan Cheah, responsable technique de l'entreprise qui commercialise ces filtres, nous avons pu recueillir les informations suivantes.

Le type de filtre utilisé est de l'ultrafiltration. BLPC les achète en gros, environ autour de 60 unités. Des analyses d'eau ont été réalisées lors des trois premières installations sur d'autres sites. Une désinfection au chlore est recommandée tous les 6 mois pour prévenir toute pollution bactérienne. Le prix à l'unité est d'environ 730 \$ (prix pour une commande entre 30 et 60 unités) incluant l'installation et la maintenance sur demande. Les filtres proviennent tous de Chine mais la société a son siège en Malaisie.



Figure 21 : Filtre Litree installé dans l'école primaire de Ban Luong et type de récupérateurs d'eau de pluie installé par BLPC.

5.4.3 Oxfam

Deux forages réalisés par Oxfam ont été recensés lors de notre mission (Figure 22). Tous deux sont équipés de pompe à motricité humaine (PMH) mais ne sont plus en état de fonctionnement. Ces forages ont été réalisés par Oxfam en 2010-2011 dans le cadre du programme eau et assainissement AusAID lancé par le gouvernement Australien (plaque apposée sur chaque PMH). Ces forages ne semblent pas avoir été entretenus et abandonnés dès que les PMHs sont tombées en panne. Les informations techniques (précieuses) ont été inscrites sur les margelles de chaque forage :

- Forage de l'école primaire de Prey Lvea : code 10.OAU.2106.004, profondeur de 36 m, débit de 3 m³/h, niveau statique de 6,5m, niveau dynamique de 8,3 m, date 24/10/2010
- Forage du lycée de Prey Lvea : code 10.OAU.2106.003, profondeur de 36 m, débit de 4 m³/h, niveau statique de 6.5m, niveau dynamique de 8.85 m, date 29/10/2010

Les élèves et les professeurs ont été questionnés et nous ont répondu ne plus vouloir utiliser ce type de pompe à usage manuelle.



Figure 22 : Forages Oxfam équipés de PMH à l'école primaire (gauche) et au lycée (droite) de Prey Lvea.

5.5 Analyses d'eau

Le 6 avril 2022, des analyses d'eau complètes sur les 2 forages ont été réalisées à l'Institut Pasteur du Cambodge (IPC). Les prélèvements ont été effectués par AIADD dans des flacons fournis par l'IPC et ont été conservés dans une glacière remplie de glaçons du prélèvement jusqu'à leur dépôt à l'IPC à Phnom Penh.

Paramètre	Unité	seuil	Forage A	Forage B	Eau de la ville
Coliformes totaux	UFC/100ml	0	TNC*	0.00	0.00
Escherichia Coli	UFC/100ml	0	0.00	0.00	0.00
Turbidité	NTU	<5	0.00	0.00	0.00
pH	-	6.5-8.5	6.52	6.58	8.20
Chlorures	mg/l	<250	28.00	45.00	48.00
Ammonium	mg/l	<1.5	0.03	0.00	0.00
Nitrites	mg/l	<3	0.10	0.08	0.06
Nitrates	mg/l	<50	0.26	0.19	0.12
Dureté total	mg/l CaCO ₃	<300	215.00	245.00	165.00
Fer	mg/l	<0.3	0.08	0.15	0.00
Arsenic	mg/l	<0.05	0.00	0.00	0.00
Chlore libre	mg/l	0.2-0.5	-	-	1.60
Aluminium	mg/l	<0.2	0.00	0.00	0.06
Cadmium	mg/l	<0.003	0.00	0.00	-
Chrome	mg/l	<0.05	0.00	0.00	-
Cuivre	mg/l	<1	0.00	0.00	0.09
Cyanure	mg/l	<0.07	0.01	0.01	0.00
Fluorures	mg/l	<1.5	0.25	0.26	0.37
Manganèse	mg/l	<0.1	0.47	0.44	0.03
Sulfates	mg/l	<250	-	-	12.00
Nickel	mg/l	<0.02	0.03	0.02	-
Plomb	mg/l	<0.01	0.68	0.53	-
Zinc	mg/l	<3	2.85	29.2	2.20
Solides Dissous Totaux (SDT)	mg/l	<800	780.00	790	510.00
Couleur	TCU	<5	0.00	0	0.80

*Colonies trop nombreuses pour être comptées

Tableau 3 : Résultat des analyses Pasteur

Des analyses complémentaires ont été réalisées par Aquassistance sur place le 8 février 2023. Les mesures de métaux et Arsenic ont un intérêt limité étant donné que la précision des tests colorimétriques in situ est forcément inférieure à celle d'analyses de laboratoire. En revanche, les mesures d'ATP (adénosine triphosphate) ont un intérêt marqué puisqu'elles « remplacent » des analyses bactériologiques.

Unité	Paramètres			
	ATP	Fer	Manganèse	Arsenic
Unité	Log	mg/l	mg/l	mg/l
seuil	2.5	0.3	0.1	<0.05
Forage B	2.37	0.04-0.07	0.3-0.5	0.00
Collège Hun Sen Samdach Pann	4.29	NC	NC	NC
Eau de la ville	3.94	0.04	0.1-0.2	0.00
Lycée Phny Meas	4.09	< 0.04	0.2-0.3	0.00
Ecole primaire Ban Luong	2.90	NC	NC	NC

Tableau 4 : Résultat des analyses Aquassistance

Des mesures d'ATP ont été réalisées avec un appareil DENDRIDIAG® SW de la société GL Biocontrol ⁷. L'ATPmétrie (ou ATP-métrie) est une technique de biologie moléculaire, basée sur le principe de la bioluminescence, qui permet de mesurer quasi instantanément la quantité d'ATP (Adénosine Triphosphate) présente dans un échantillon. Cette quantité est indicative de la quantité de micro-organismes présente dans l'eau puisque toute cellule vivante produit et consomme de l'ATP.

Ce type de mesure présente l'avantage de fournir une indication rapide du degré de contamination bactérienne de l'eau (à l'inverse des analyses bactériologiques classiques qui peuvent prendre plusieurs jours).

Le résultat est donné en log et fournit une indication du degré de contamination microbiologique de l'eau.

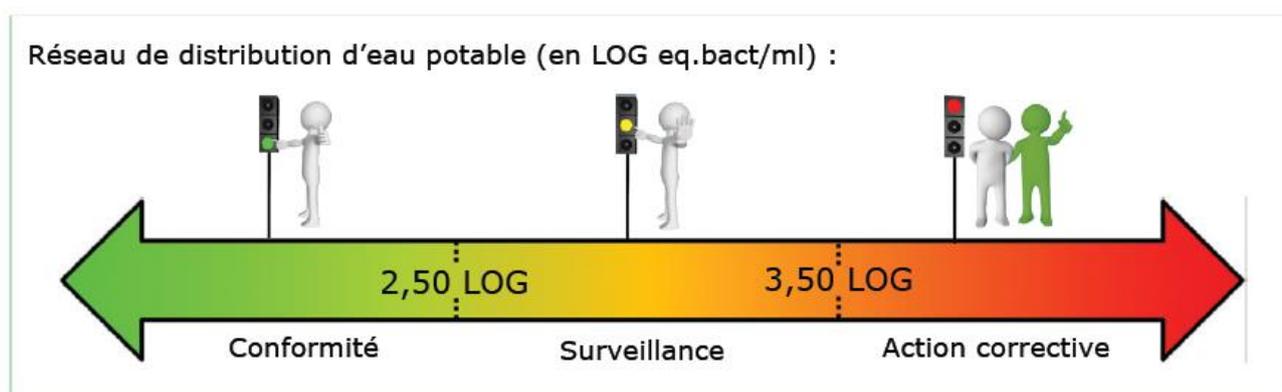


Figure 23 : Valeurs guides d'interprétation des mesures d'ATP-métrie

On considère que lorsqu'une mesure est :

- Sous le seuil de surveillance (conformité), l'installation est sous contrôle microbiologique,

⁷ <https://www.gl-biocontrol.com/>

- Entre le seuil de surveillance et le seuil de contrôle (surveillance), l'installation ne présente pas de danger immédiat. Une action corrective est recommandée si trois mesures consécutives se situent dans cette zone,
- Supérieure au seuil de contrôle (action corrective), l'installation n'est pas sous contrôle microbiologique. Une action corrective rapide est recommandée (contrôle, nettoyage, désinfection...).

Les résultats des analyses sont donc intéressants à plusieurs égards ;

- Confirmation de la bonne qualité microbiologique de l'eau du forage B ;
- Résultat intermédiaire pour l'eau de l'école Ban Luong équipée d'une membrane d'ultrafiltration Litree. Cela peut être le signe d'un manque d'entretien des membranes (absence de rétrolavage automatique) ;
- De mauvais résultats pour le Collège Hun Sen Samdach Pann et le Lycée Phny Meas qui sont le signe d'une efficacité insuffisante des filtres bio-sables ou bien d'une contamination des installations lors des opérations de maintenance ;
- Le mauvais résultat de l'eau de ville couplé est cohérent avec l'absence de chlore ce jour-là et peut être lié à la présence de biofilm dans les canalisations.

6 Solutions techniques proposées

6.1 Evaluation des besoins

En termes d'eau potable, le calcul des besoins est assez simple, cette dernière n'ayant vocation qu'à couvrir les besoins en eau de boisson. Le reste des besoins (toilettes et lavage des mains) restera couvert par le système actuel dont le fonctionnement est tout à fait satisfaisant.

Le lycée compte 1775 élèves et 65 professeurs. En partant d'un ratio maximal journalier d'un litre par élève et professeur, le besoin journalier serait de l'ordre de **1,8 m³/j**. Le besoin réel sera certainement moindre, une partie des élèves les plus aisés continuant probablement à amener leur bouteille d'eau.

6.2 Projet technique

6.2.1 Projet avec traitement de l'eau de ville

Dans ce scénario, les travaux consisteraient en :

- l'ouverture d'un nouveau branchement pour le lycée à partir de la conduite DN 110
- la pose d'environ 180 ml de canalisation du branchement au site de stockage + traitement + 150 ml du site de traitement aux points de distribution.
- La mise en place d'un traitement tertiaire et d'une désinfection avant stockage et distribution

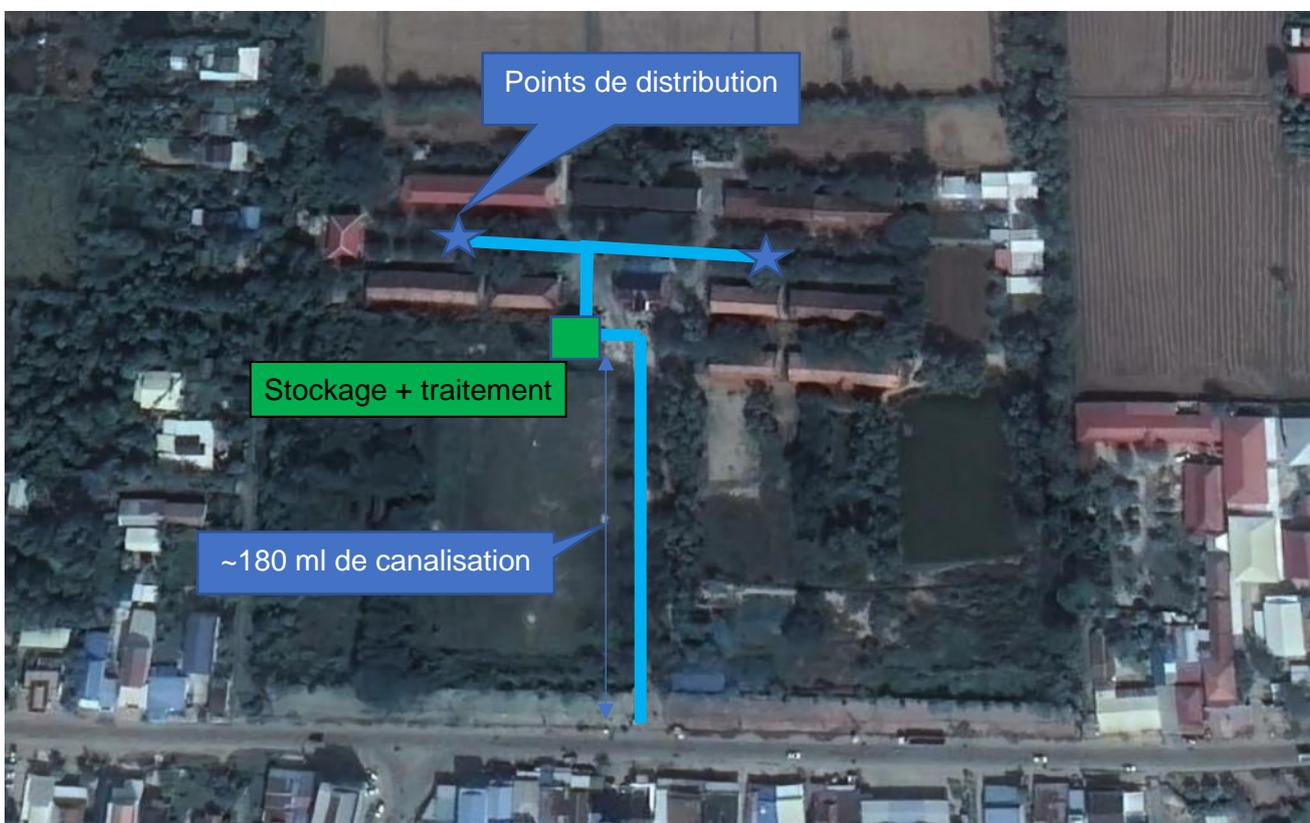


Figure 24 : Schéma de principe de la solution proposée avec traitement de l'eau de ville

Le traitement par membranes d'ultrafiltration et/ou charbon actif en grain sera suffisant pour l'eau de la ville. Les systèmes proposés par Budhist library ne semblent pas disposer d'un système de rétro lavage automatique, ce qui pourrait expliquer les « mauvais » résultats des mesures d'ATP.

En termes de désinfection, la difficulté consiste à gérer le caractère irrégulier de la chloration de l'eau du réseau. En effet, lors de nos mesures, le taux de chlore libre était nul et les mesures d'ATP non satisfaisantes. En revanche, quelques jours plus tard, lors des analyses effectuées par l'institut pasteur de Phnom Penh, le taux de chlore libre était monté à 1,6 mg/l. L'utilisation de charbon actif est à envisager afin de réduire le goût de chlore.

Différents systèmes de traitement sont envisageables et sont présentés au § 6.2.1

La distribution pourrait se faire via des petits « kiosques à eau » à installer en aval du traitement dans les cours est et ouest, chacun de ces kiosques étant équipé de 3 à 4 robinets pour permettre aux élèves de venir remplir leurs bouteilles ou gourdes.

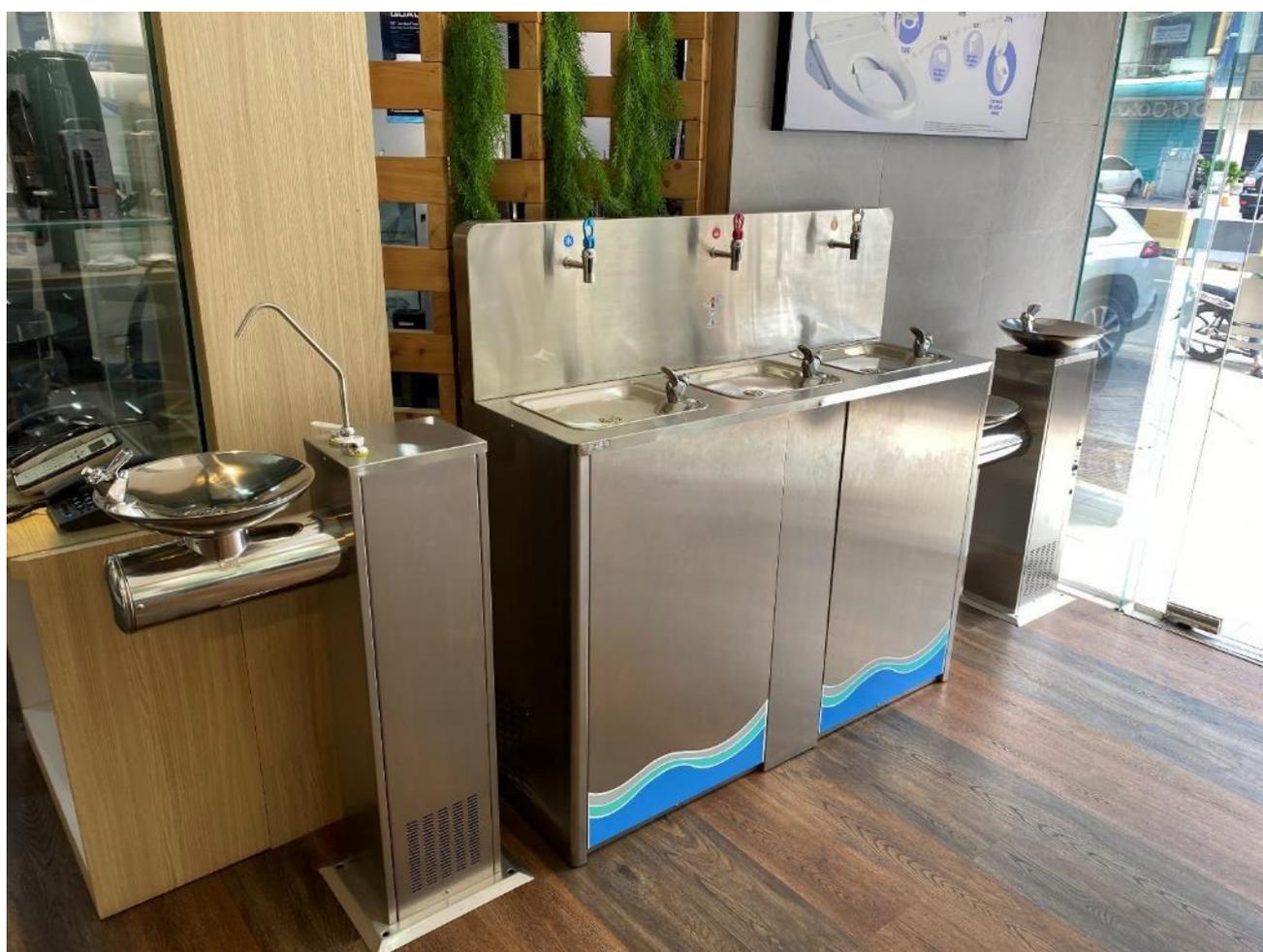


Figure 25 : Exemples du type de fontaines pouvant être mises en place

6.2.1 Projet avec traitement de l'eau du forage

Initialement envisagé, l'utilisation de l'eau du forage apparaît trop risquée au vu des teneurs en manganèse et divers métaux lourds dissous. Les procédés de traitement à mettre en place pour traiter ces métaux seraient plus complexes et nécessiteraient davantage de technicité.

A moyen terme, il subsisterait un doute sur la qualité de l'eau délivrée aux élèves et les éventuels risques encourus.

Après consultation de membres du Comité Technique Opérationnel (CTO) d'Aquassistance, il a donc été décidé de ne retenir que l'option de traitement de l'eau de ville.

6.2.1 Technologies de traitement envisageables

6.2.1.1 Filtre Bio-sable

Il s'agit du système utilisé par Clear Cambodia et présenté au paragraphe 5.4.1. Cette technique est robuste mais nécessite beaucoup de génie civil. De plus, elle est plutôt adaptée au traitement d'eau chargée, ce qui ne sera pas le cas si l'on traite l'eau de la ville. Le gain serait quasi-nul donc cette solution n'est pas intéressante ici.

6.2.1.2 Système de filtration compact

Nous avons rencontré sur Phnom Penh deux sociétés fournissant des systèmes de filtration « tout en un » généralement utilisées pour les ménages ou des bureaux :

- Aqualife qui commercialise les produits coréens « Ioncares »⁸
- Campure, société coréenne⁹

L'avantage de ce type de systèmes est leur simplicité d'utilisation et leur bon niveau de traitement avec notamment une filtration sur charbon actif. Nul besoin de formation technique, il suffit de remplacer les cartouches lorsque celles-ci sont usagées.



Figure 26 : Exemples de systèmes de filtration « tout en un » et cartouche associée

⁸ <https://aqualifecambodia.com/>

⁹ <https://www.campure-company.com.kh/>

En revanche, le débit de ces systèmes est très faible : seulement 3 à 4 litres par minutes donc **15 à 20 secondes** pour remplir une bouteille de 50 cl contre 2 à 3 secondes pour un débit classique de robinet.

La durée de vie des cartouches filtrantes est également très limitée (de 1500 à 4500 litres).

Afin de couvrir le besoin, il faudrait au moins une vingtaine de ces filtres et un changement des cartouches très fréquents, ce qui n'est pas viable.

6.2.1.1 Filtration sur CAG

L'utilisation de Charbon Actif en Grain permet d'adsorber une large gamme de polluants et également de réduire les nuisances liées au goût et aux odeurs.

La filtration pourrait s'opérer avec un système compact comme ceux de Sunwaterlife (combiné avec membranes UF, cf. § suivant) ou à l'aide d'un filtre de type piscine équipé d'une vanne 6 voies et rempli de CAG (à la place du sable).



Figure 27 : Exemple de filtre à sable pour piscine

Le prix moyen du charbon actif en grain en France est inférieur à 10 € le kilogramme.

Au Vietnam, le prix du CAG à base de coquille de noix de coco est d'environ 5 USD /kg.

NB : nous n'avons pas trouvé à ce stade de fournisseur de CAG au Cambodge. Il pourrait être nécessaire de l'importer du Vietnam. Nous sommes partis sur une hypothèse d'un coût de revient de 8 USD/kg pour le chiffrage.

6.2.1.2 Membranes d'ultra-filtration

Le traitement par ultrafiltration est basé sur l'utilisation de membranes microporeuses qui retiennent les particules en suspension entre 2 et 100 nm selon les membranes. Elle permet notamment de supprimer les algues, virus, bactéries et la plupart des molécules organiques.

En revanche, elle ne permet pas de traiter les métaux dissous sous forme ionique.

Parmi les systèmes envisageables, on peut citer ;

- Le procédé Litree¹⁰ de BLPC (cf. détails au § 5.4.2) : 4 l/min -> 240 l/h : besoin de stocker
- Un autre procédé Litree LU3B1-82C Ultrafiltration Water Purifier à 20 l/min (https://www.litree.com/en/product_view1-204-156.html)
- Le procédé NUF (Israël)¹¹ suggéré par Clear Hands, avec une barrière à 30 nm
- Sunwaterlife (Aqualink Home ou Skid)¹² : 1,2 m³/h avec 2 membranes

Chiffrage Sunwaterlife :

- 1200 € pour Aqualink Home à 300 l/h
- 3500 € pour Aqualink Skid
- Renouvellement des membranes UF : environ 300 € tous les 2 à 3 ans
- Pas de chiffrage reçu pour le remplacement des filtres à charbon actif
- Possibilité de désinfection UV : 400 €

Le traitement par membranes UF n'apparaît pas nécessaire au vu de la qualité de l'eau de la ville. De plus, les systèmes de rétro-lavage nécessitent un raccordement électrique et des connaissances en électronique en cas de panne.

¹⁰ <https://www.litree.com/en/>

¹¹ <https://www.nufiltration.com/>

¹² <https://www.sunwaterlife.fr/aqualink-skid/>



Figure 28 : Aqualink Home

AQUALINK SKID - 0,01 µm



Caractéristiques générales

Deux membranes d'**ultrafiltration** qui **filtrent virus et bactéries à 99,99%**

Un **filtre à charbon certifié NSF-ANSI** pour enlever goûts et odeurs

Conforme aux normes pour les eaux destinées à la consommation humaine (OMS)

100% de l'eau traitée est **consommable**

Rétrolavage automatique des membranes

Option 4 membranes

Raccordement à un réseau d'eau, pompe ou réservoir quelconque

Figure 29 : Aqualink Skid

6.2.1.3 Membranes d'osmose inverse

L'osmose inverse est également une technologie membranaire mais avec une capacité de filtration encore supérieure qui permet également l'abattement des ions dissous. Elle nécessite toutefois une reminéralisation de l'eau avant consommation et génère des concentrats (saumures) qui peuvent avoir des effets néfastes sur le milieu récepteur.

Nous avons rencontré sur Phnom Penh les sociétés suivantes :

- Sun Hour qui commercialise les produits américains PurePro¹³
- Puremine qui fournit des systèmes complets de traitement (mini-usines).

¹³ <https://www.pure-pro.com/>

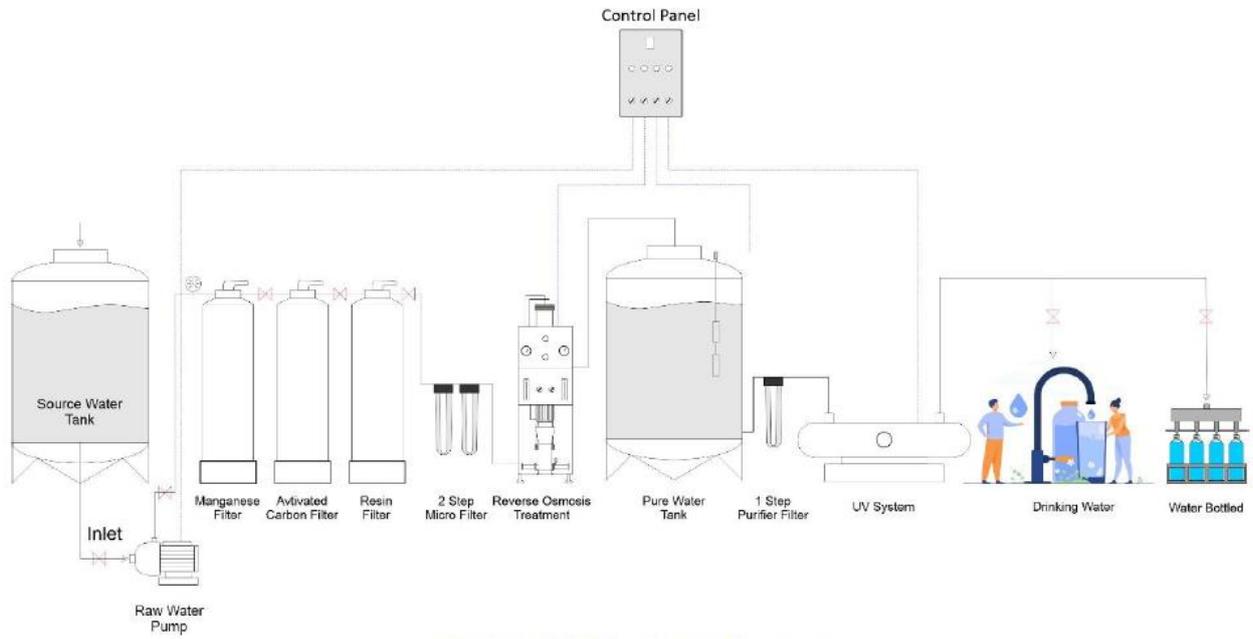


Figure 30 : Systèmes d'osmose inverse commercialisés par Sun Hour

Ici encore, la capacité de traitement de ces systèmes portables (50 GPD= 189 litres/jour) est très inférieure à nos besoins et n'est donc pas adaptée. De plus, la fréquence de remplacement des consommables est excessive.

A l'inverse, la société Puremine nous a proposé une « mini-station » d'embouteillage d'eau, ce qui ne correspond pas non plus au besoin en termes de technicité et maintenance.

DRINKING WATER DIAGRAM



250LPH Drinking Water System

Figure 31 : Proposition de la société Puremine

6.2.1.4 Tableau comparatif

Le tableau ci-dessous présente les différents processus de filtration existants avec la taille des matériaux qu'ils peuvent respectivement abattre. La filtration particulaire se réfère à la filtration à travers un milieu conventionnel, tandis que les autres types sont des filtrations membranaires.

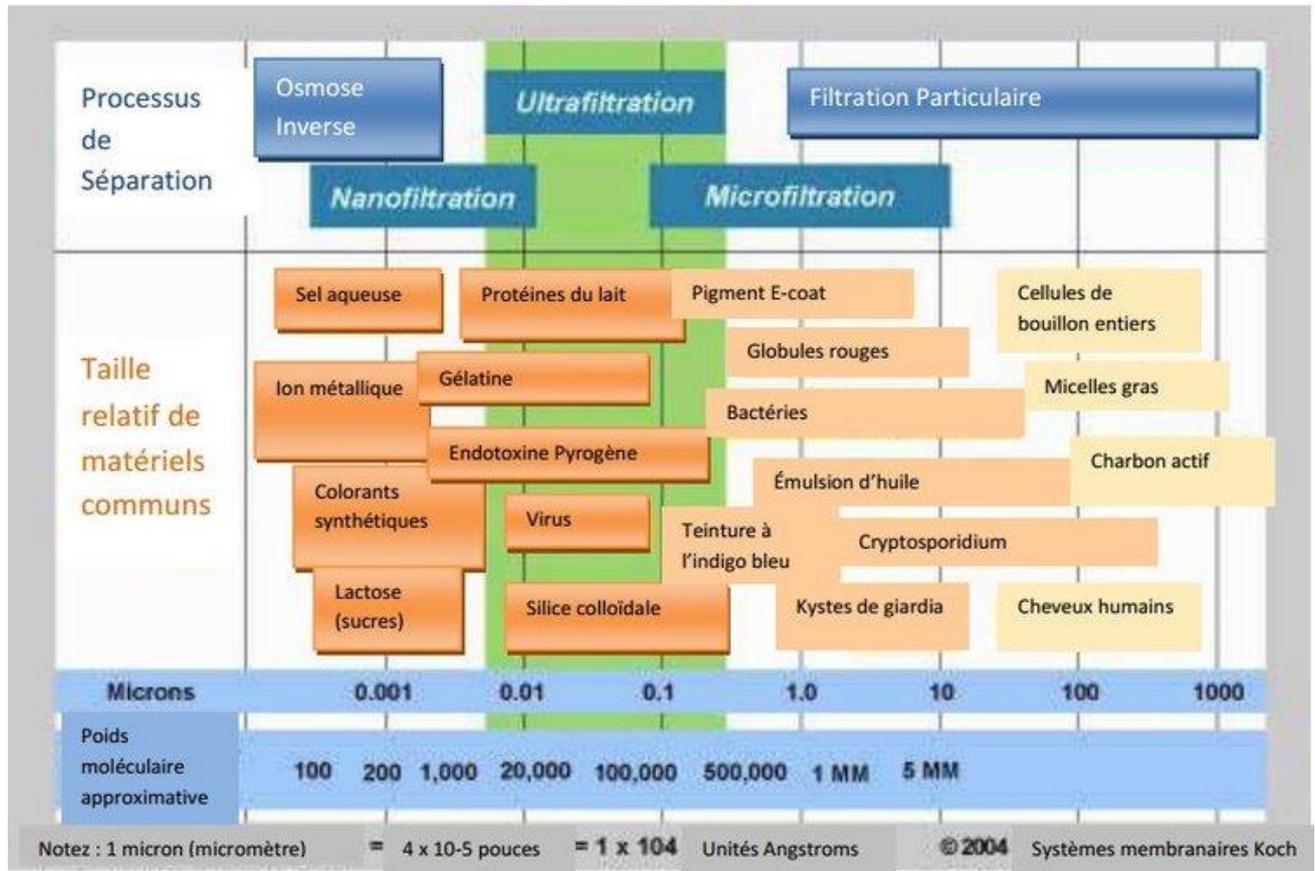


Figure 32 : Taille des matériaux enlevés par processus de séparation variés (source : SDWF)

Le tableau suivant présente un comparatif des procédés envisagés à ce stade.

Technologie de traitement	Compétences locales requises	Qualité de traitement	Coût d'investissement	Coûts d'exploitation	Classement (vert foncé 4, vert clair 3, jaune 2, orange 1, rouge 0)
Filtre Bio-sable					11 points
Système de filtration compact (ex : Jigsu)					8 points
Membranes d'ultra-filtration + CAG					12 points
Filtration sur CAG seule					14 points
Membranes d'osmose inverse					8 points

Tableau 5 : Tableau comparatif des procédés de traitement envisageables

Les systèmes de traitement par filtres CAG avec ou sans membrane d'ultra-filtration ont le meilleur rapport qualité prix et sont donc à privilégier.

Les systèmes de filtration compacte (type Jigsu) présentent des coûts d'investissement et d'exploitation trop importants et les membranes d'osmose inverse ont une complexité d'utilisation qui n'est pas adaptée à notre projet.

Enfin, conformément aux préconisations du CTO, il conviendra de prévoir une post-chloration afin d'éviter toute recontamination dans les réservoirs de stockage d'eau traitée. Celle-ci pourra être réalisée à l'aide d'hypochlorite de calcium (type HTH) en grain ou galet et nécessitera de former une personne afin de respecter le bon dosage.

A noter que le niveau de chloration devra être minime (< 0,1 mg/l) afin d'éviter tout risque de rejet lié au goût et à l'odeur de chlore.

6.3 Propositions d'amélioration des installations existantes

Lors de la mission, nous avons constaté des points méritant à notre avis de petits travaux d'amélioration et mise en sécurité :

- Installation de crinolines sur les échelles d'accès au « château d'eau » ;
- Installation de garde-corps sur le toit de ce même bâtiment ;
- Modification du réglage de la poire de niveau du réservoir principal ;
- Comblent le puits UNICEF pour éviter une chute.



Figure 33 : Propositions de travaux de mise en sécurité du « château d'eau »

De plus, il est recommandé d'intervenir rapidement sur la structure du « château d'eau » métallique afin de l'enduire d'une peinture anti-corrosion. En effet, celle-ci présente de nombreuses traces de corrosion alors qu'elle a moins de 2 ans. Cela concerne notamment les fixations des échelles et une intervention rapide est donc indispensable afin de pérenniser l'intégrité de la structure.



Figure 34 : Traces de corrosion sur la structure métallique du château d'eau

Le réglage actuel fait que le réservoir principal est presque plein en permanence (quasiment pas de marnage). Le niveau de démarrage de la pompe pourrait donc être baissé afin de limiter le nombre d'arrêts/démarrage de celle-ci. En effet, un nombre excessif d'arrêts/démarrage réduit la durée de vie d'une pompe.

Enfin, il est recommandé de protéger les cuves en plastique du soleil afin d'augmenter leur durée de vie. Le système observé au Lycée Phny Meas pourra être repris.

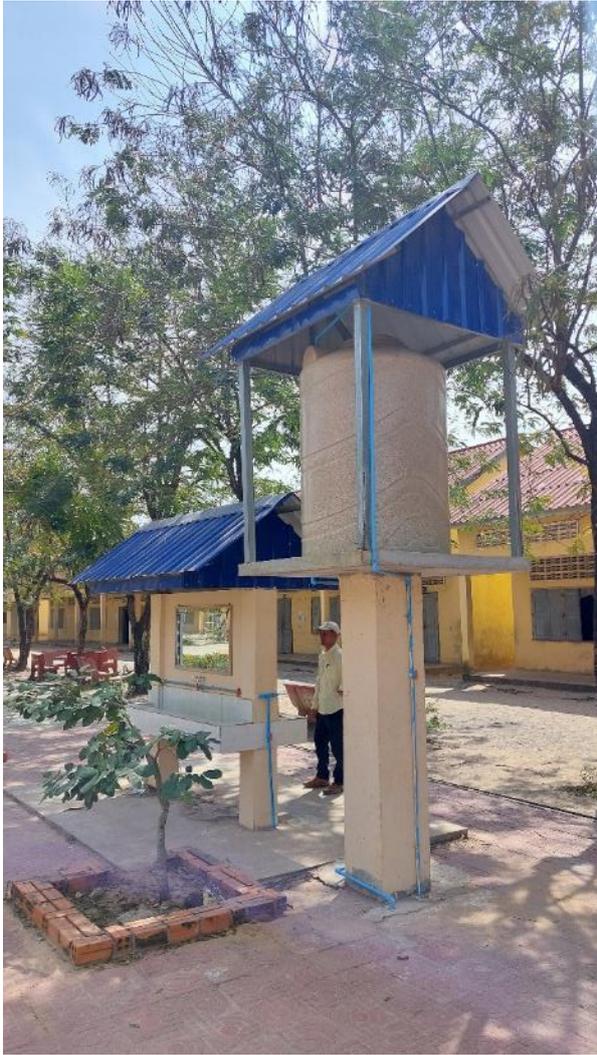


Figure 35 : Systèmes de protection des rayons solaires des cuves de stockage d'eau traitée

6.4 Calculs hydrauliques

Les pertes de charges linéaires ont été calculées à partir du raccordement en considérant un linéaire de 200 mètres (avec une petite marge de sécurité).

Le tableau ci-dessous présente les calculs de perte de charge pour différents diamètres à 1 et 2 m³/h :

Débit (m ³ /h)	Diamètre intérieur (mm)	Linéaire (m)	Vitesse (m/s)	Gradient (mCE /km)	DeltaP (mCE)
1	29	200	0,42	15,19	3,0
2	29	200	0,84	59,00	11,8
1	36	200	0,27	4,90	1,0
2	36	200	0,55	18,80	3,8
1	45	200	0,17	1,55	0,3
2	45	200	0,35	5,83	1,2

Tableau 6 : Calculs de perte de charge

Par sécurité, on retiendra le DN 40. Les diamètres intérieurs pris en compte sont ceux du PVC PN 10 mais les diamètres intérieurs en PEHD sont quasiment similaires.

	Diamètre intérieur (mm)	
	PEHD	PVC
DN 32 PN 10	28,2	28,8
DN 40 PN 10	35,2	36,2
DN 50 PN 10	44	45,2

Résumé de la solution technique :

- 320 ml de PEHD ou PVC DN 40 ;
- 2 kiosques à eau chacun équipés de 4 robinets ;
- 1 robinet pour la salle des professeurs ;
- 3 réservoirs d'eau traitée de 500 litres max (pour limiter les temps de séjour) ;

7 Volet assainissement

Le collège lycée dispose de plusieurs blocs de latrines réparties sur quatre sites différents à l'arrière des bâtiments principaux. Leur nombre paraît suffisant pour le nombre d'élèves présents sur site. Toutes les latrines sont majoritairement de type toilettes turques, à chasse d'eau (manuelle via une écuelle) et non ventilées. Les déjections sont évacuées vers des puits perdus à l'arrière des bâtiments.

Toutes les toilettes sont équipées de station de lavage des mains extérieures et alimentées en eau par des citernes situées sur chaque bâtiment, ces dernières étant elles-mêmes alimentées par l'eau provenant du forage B. La pratique du lavage des mains par les élèves paraît systématique de ce que nous avons pu observer lors de notre mission. Les eaux de lavage des mains sont évacuées vers des fossés et rizières situés à l'arrière du lycée.





Figure 36 : type de latrines observées dans l'enceinte du lycée

Les plus récentes ont été réalisées par l'association AIADD (cf. bâtiment A, Figure 36) lors de la construction du centre de ressources et se situent à l'arrière de ce bâtiment. Elles sont de loin les plus fréquentées, notamment en raison des grands miroirs installés en face des lavabos, les élèves appréciant ces derniers. L'association a par ailleurs rénové un autre bloc de latrines situé à proximité (B) dont les bâtiments étaient auparavant dans un état vétuste.



Figure 37 : Evacuations vers les puits perdus à l'arrière des latrines

Deux autres blocs de latrines (type C) sont plus anciens, datant de 2011, et nécessitent une rénovation similaire à celle effectuée par AIADD. Lors de notre passage nous avons constaté que les robinets alimentant cette station de lavage fuyaient et avons donc recommandé que ces derniers soient remplacés (cf. § 5.1.2). L'agent de maintenance du lycée a effectué la réparation dès le lendemain.



Figure 38 : Eau s'écoulant le long d'un bâtiment depuis un bloc de latrines

Nous avons également remarqué que les eaux de lavage (des pieds) issues d'un des blocs (C) s'écoulaient devant les latrines et le long d'un des bâtiments de classe (cf. Figure 38). Nous avons discuté avec le responsable du lycée et de l'agent de maintenance des solutions possibles pour rectifier le problème au plus vite (creusement d'une tranchée pour rediriger l'eau vers l'une des fosses, déplacement de la station de lavage des pieds...). La rectification a été engagée quelques jours après notre mission (photo envoyée par M. Tri).



Figure 39 : Travaux de réparation devant les latrines centrales

8 Volet déchets

8.1 Impact de l'organisation nationale sur le contexte local

La gestion des déchets du Lycée s'effectue sur place. Aucune collecte extérieure n'est effectuée contrairement au lycée de Phny Meas. Ce dernier fait appel à une société privée pour effectuer la collecte des déchets et la gestion de ces derniers. Nous avons pu observer que ce lycée était dans un meilleur état de propreté que celui de Prey Lvea lors de notre visite avec quasiment aucun déchet présent au sol et l'absence d'incinération sur place.

8.2 Description de la situation existante dans le lycée

Toutes les salles de classes disposent de poubelles. Cependant beaucoup de déchets, pour la plupart plastiques, sont retrouvés au sol, dans la cour et surtout à l'écart des bâtiments. Un nettoyage fréquent est toutefois organisé par les élèves, pendant la récréation, environ deux fois par semaine.

Tous les déchets ramassés sont transportés dans une fosse située à l'arrière des bâtiments principaux et brûlés sur place deux fois par semaine (jeudi soir et dimanche).



Figure 40 : Nettoyage de la cour par les élèves



Figure 41 : Poubelles dans les salles de classes et four d'incinération.

8.3 Solution d'amélioration

La gestion des déchets représente un problème majeur pour les responsables du lycée vue la quantité de déchets journaliers générée par les élèves. La plupart d'entre eux achètent de la nourriture et des boissons chez les vendeurs situés tout autour du lycée qui utilisent de nombreux emballages plastiques à usage unique. Ces déchets plastiques terminent au sol quelques minutes après leur achat...

Les responsables du lycée nous ont fait part à plusieurs reprises de leur souhait de les aider à mettre en place un incinérateur plus performant sur site. Le responsable du District nous a toutefois informé que la commune a effectué récemment un appel d'offres pour organiser une collecte des déchets hebdomadaire par une société privée avec un paiement mensuel (cf. § 9.2).

Dans l'attente de la mise en place de cette collecte, nous avons recommandé dans les actions suivantes :

- D'effectuer l'incinération des déchets en dehors des heures de classes pour ne pas exposer les élèves : nous avons observé des fumées s'échappant de la fosse pendant la journée et en présence des élèves à proximité, et ce en dehors des horaires annoncés pour l'incinération (jeudi soir et dimanche).
- D'installer des bennes de plus grande capacité afin d'éviter que les déchets traînent au sol.
- Limiter l'usage des déchets plastiques : une sensibilisation des élèves est nécessaire pour réduire et éviter de jeter leurs déchets dans la cour. En parallèle, l'achat de gourdes réutilisables (financement à définir) pour les élèves permettrait de réduire à la source le nombre de bouteilles plastiques. Les responsables du Lycée ont apprécié cette idée et souhaitent le voir se mettre en place. Ils souhaitent aussi y apposer le logo de l'école pour responsabiliser les élèves en cas de perte.

9 Accompagnement, formation et suivi

9.1 Formation des comités de gestion / exploitant/ maître d'ouvrage

L'organisation du présent projet s'éloigne des projets habituels d'Aquassistance avec formation d'un comité de gestion,

En effet, la gestion et la maintenance des installations reviendra au lycée. Il n'est pas envisagé de faire payer l'eau aux élèves et les frais de maintenance devront donc être couverts par le budget de l'école, au même titre que le sont actuellement l'entretien des forages et les consommations énergétiques en découlant.

Les coûts de maintenance et la technicité requises dépendront de la formule retenue. Actuellement, le technicien M. Phôn est sérieux et efficace. Toutefois, il va partir à la retraite prochainement et son remplaçant n'est pas connu.

9.2 Réunion avec les responsables locaux

Une réunion a eu lieu le lundi 30 janvier 2023 au lycée. Etaient présents le Directeur du lycée, plusieurs professeurs ainsi que le Directeur adjoint du District (M. Chantaa DUCH) et le Directeur régional du Ministère de l'Education Nationale (M. Orn EM).

Au cours de cette réunion, les points suivants ont été abordés :

- Existence de projets d'alimentation en eau potable dans d'autres établissements scolaires : oui, le lycée de Phny Meas (2000 élèves) à 9 km d'ici a fait l'objet d'un projet en 2022 (cf § 5.4 pour plus d'informations)
- Favorable à la création de « bornes fontaine » dédiées à l'eau potable
- Avis sur goût de chlore : peu de chances que les élèves boivent l'eau si elle a un goût de chlore prononcée
- Accord de principe sur la prise en charge des coûts de maintenance du nouveau système d'accès à l'eau potable
- Sur la problématique déchets :
 - Ils entendent notre mise en garde sur les risques sanitaires de l'incinération du plastique au sein du lycée,
 - Ils nous indiquent que les déchets ne sont incinérés que le dimanche mais nos observations le contredisent,
 - Un appel d'offres est en cours pour une collecte communale des déchets avec une sélection de l'entreprise prévue d'ici le mois de juillet 2023,
 - L'accent doit également être mis sur le recyclage.

Notre ressenti est que les autorités sont prêtes à accompagner nos actions. La situation actuelle semble relever avant tout d'un manque d'information/sensibilisation et de la continuité de mauvaises pratiques par habitude.

9.3 Sensibilisation à l'eau, à l'hygiène et à la gestion des déchets

Comme indiqué précédemment, les règles de base d'hygiène (lavage des mains, mise à ébullition de l'eau) sont bien connues.

En revanche, des sensibilisations aux économies d'eau (l'eau étant omniprésente, cela ne semble gêner personne de voir un robinet fuir pendant des semaines) et à la gestion des déchets semblent nécessaires.

Le GRET est présent au Cambodge depuis 1988 et pourrait être un partenaire adapté pour cette prestation ou à défaut nous orienter vers des partenaires locaux connus. Nous les avons contacté et entamé des discussions sur la stratégie à adopter et les coûts prévisionnels à prendre en compte.

10 Gouvernance du projet Prey Lvea

10.1 Organigramme de gestion des installations

Sur le modèle de ce qui a été observé au lycée Phny Meas, nous envisageons la mise en œuvre d'un organe de gestion composé du Directeur et de professeurs.

10.2 Acceptabilité tarifaire de l'eau

Comme mentionné plus haut, il n'est pas prévu de faire payer l'eau aux élèves et cela n'a pas été observé dans les autres établissements scolaires équipés de filtres.

Plusieurs éléments collectés lors de notre mission nous permettent d'estimer que la majorité des élèves aurait si besoin la capacité de payer quelques centaines de Riels par mois (rappel : 1USD = 4000 Riels).

- Coût du parking du lycée : 200 Riels/j pour une moto, 100 Riels/j pour un vélo
- Coût des cours privés : 1000 Riels/h/élève
- Coût de l'uniforme (à la charge des familles) : environ 10 USD
- Prix d'un repas simple acheté à la « cantine » : 2500 à 3000 Riels
- Prix d'un soda acheté à la « cantine » : 2000 Riels
- Prix d'une boisson sucrée avec glace pilée achetée à la « cantine » : 1500 à 3000 Riels
- Coût d'un scooter neuf premier prix : 500 USD

Grâce aux différents échanges tenus sur place, nous estimons à environ 30 % la part des familles en grande difficulté financière.

Hormis ces familles, on estime qu'en cas de besoin (bien que ce ne soit pas prévu à ce stade), la plupart des familles pourrait verser une participation mensuelle de 500 à 1000 Riels sans trop de soucis.

10.3 Accord des autorités locales

Comme mentionné au § 9.2, le projet a le soutien des représentants du District et du ministère de l'Éducation Nationale.

11 Evaluation financière du projet

Les coûts d'investissement sont relativement maîtrisés et peuvent se décomposer en trois éléments principaux :

- Travaux de canalisation (participation possible des élèves pour le creusement des tranchées comme observée dans un autre collège) ;
- Système de traitement ;
- Travaux de GC pour le bâtiment de traitement et les kiosques à eau ;
- Achat de gourdes réutilisables (si possible « logotés »)
- Volet assainissement pour la rénovation des latrines existantes

Le tableau suivant présente un budget prévisionnel du projet :

Activités	Quantité	Unité	Cout unitaire en USD	Coût global prev. (en USD, TTC)	Coût global prev. (en €, TTC) Taux à 0,93€	%
Volet 0 : Etudes préalables						
Etudes géologiques et prospection géophysique				0		
Total Volet 0				0		0%
Volet I : Réalisation des travaux						
Réalisation des ouvrages						
Volet Eau				18 255	16 977 €	
Travaux de canalisation						
Raccordement au réseau de la ville	1	u.	75	75	70	
Canalisation PEHD ou PVC DN 40 (fourniture)	320	m.	1,5	480	446	
Système de traitement						
Filtre type piscine avec vanne 6 voies	1	u.	500	500	465	
CAG	50	kg	8	400	372	
Seau de 40 kg d'hypochlorite de calcium	2	u.	100	200	186	
Travaux de GC						
Kiosques à eau chacun équipés de 3-4 robinets	2	u.	1000	2000	1860	
Réservoirs d'eau traitée de 500 litres	3	u.	200	600	558	
Génie civil divers (bâtiment traitement + kiosques)	1	Ft	5000	5000	4650	
Achat de gourdes réutilisables	3000	u.	3	9000	8370	
Assainissement				5 500	5 115 €	
Travaux de rénovation des latrines	1	u.	5000	5000	4650	
Prestations de contrôle des travaux				913	849 €	
<i>Maitre d'oeuvre</i>						
Total Volet I				24 668	22 941	51%
Volet II : Mesures sociales d'accompagnement						
Changement des comportements des élèves face aux déchets et l'utilisation de l'eau				11 500	10 695	
Total Volet II				11 500	10 695	24%
Suivi du projet (3)						
Billet d'avions et perdiem (1 mission de 7 jours de 2 personnes)				4 000	3 720	
Total Suivi du projet (3)				4 000	3 720	8%
Evaluation externe du projet (5)						
Prestation Audit post-projet				2 000	1 860	
Total Evaluation externe du projet (5)				2 000	1 860	4%
Frais administratifs et de structure (4)						
Frais de fonctionnement et de structure Aquassistance				2 000	1 860	
Total Frais administratifs (4)				2 000	1 860	4%
Valorisation (travaux par les bénéficiaires, etc.) (3)						
Terrassement Population				500	465	
Suivi du projet à distance par Aquassistance (bénévoles)				1 000	930	
Total Valorisation (3)				1 500	1 395	3%
Sous total des coûts du projet (en €, TTC)				45 668	42 471 €	
Imprévis (5% du sous total)				2 283	2 124 €	
Total des coûts du projet (en €, TTC)				47 951	44 595 €	
Montant Projet arrondi						
Total Budget hors Etudes et valorisation (en €, TTC)				46 451	43 200 €	
Montant BUDGET arrondi						

NB : il faudra vérifier la possibilité de stocker sur place les gourdes prévues pour les élèves des années suivantes

12 Compte Exploitation Prévisionnel

En cas de raccordement au réseau, le montant **maximal** de la facture d'eau serait de :

$1,8 \text{ m}^3/\text{j} \times 6 \text{ j/sem} \times 4.33 \text{ semaines par mois} = 46,8 \text{ m}^3/\text{mois} = 117\,000 \text{ Riels} \sim \mathbf{30 \text{ USD/mois}}$

La facture réelle sera probablement moindre.

Le système doit pouvoir fonctionner de façon gravitaire. Il n'est donc pas à prévoir de consommation électrique supplémentaire.

A cela doit s'ajouter le coût des consommables (chlore, CAG à changer) qui pourrait atteindre quelques centaines de dollars par an. Il est difficile de connaître la durée de vie du CAG qui va dépendre de la qualité de l'eau et notamment des pics de chlore. Ces derniers peuvent « consommer » le CAG rapidement. Un bilan devra donc être fait après environ un an.

NB : avec une participation mensuelle de 500 Riels (0.125 USD) par élève, le lycée disposerait d'un budget mensuel de plus de 200 USD.

13 Conclusion

La solution retenue à ce stade consiste à se raccorder au réseau d'eau de la ville et à mettre en place un post-traitement qui aura pour rôle de :

- Améliorer le traitement de l'eau de ville
- Diminuer l'odeur de chlore lors des pics de chloration
- Désinfecter l'eau lors des phases d'absence de chloration

En aval de ce traitement seront créés des « kiosques à eau » où les élèves pourront venir remplir leur récipient, si possible réutilisable. Afin d'impulser de nouvelles habitudes, nous prévoyons l'achat de gourdes réutilisables qui éviteront l'emploi de plastique jetable et permettront de réduire à la source les déchets générés au sein du Lycée.

Une prise de contact avec le GRET pour la réalisation de campagnes de sensibilisation est également envisagée mais pas chiffrée à ce stade.

Les recommandations faites sur l'amélioration et la mise en sécurité des installations existantes n'ont pas non plus été chiffrées à ce stade.

Une réunion à programmer avec AIADD permettra de définir la meilleure manière d'aborder la suite du projet.