

# Transfert des eaux de l'Oubangui vers le lac Tchad à travers l'option solaire

Par l'ingénieur Guy Immega  
Solar Option Group  
3668 rue Blenheim.  
Vancouver, BC, Canada V6L 2Y2  
guy.immega@kinetic.ca  
Janvier 2018

## Résumé

En 2011, la firme CIMA International (Canada), liée par contrat à la Commission du bassin du lac Tchad, a réalisé une *Étude de faisabilité du projet de transfert des eaux de l'Oubangui vers le lac Tchad*. Cette étude a recommandé la construction d'un barrage hydroélectrique de 360 mégawatts sur le fleuve Oubangui à Palambo pour produire 250 mégawatts d'électricité afin de pomper l'eau sur une distance de 128 km en direction du bassin du lac Tchad. Non seulement le barrage proposé était une solution onéreuse dont le montant s'établissait à 2,7 milliards USD (selon la valeur du dollar américain en 2011), mais aussi il causerait une inondation sur 200 km en amont, aux dépens de plusieurs villages tant en République Centrafricaine (RCA) qu'en République Démocratique du Congo (RDC). Par ailleurs, au cours des périodes de bas niveau d'eau sur le site du barrage de Palambo, le projet serait incapable de générer suffisamment d'électricité en vue du transfert planifié d'un volume d'eau de 100 m<sup>3</sup>/s vers le lac Tchad.

Toutefois, la baisse récente du coût des systèmes solaires offre une nouvelle opportunité d'effectuer un Transfert des eaux interbassins (TEIB) vers le lac Tchad à faible coût et écologiquement viable. Le présent document décrit l'option solaire, qui représente une alternative au barrage hydroélectrique sur le fleuve Oubangui. Une version de l'option solaire est résumée dans la proposition de spécifications du projet, qui montre que les prévisions de coût de l'énergie solaire seraient inférieures à 10 % du coût du barrage hydroélectrique.

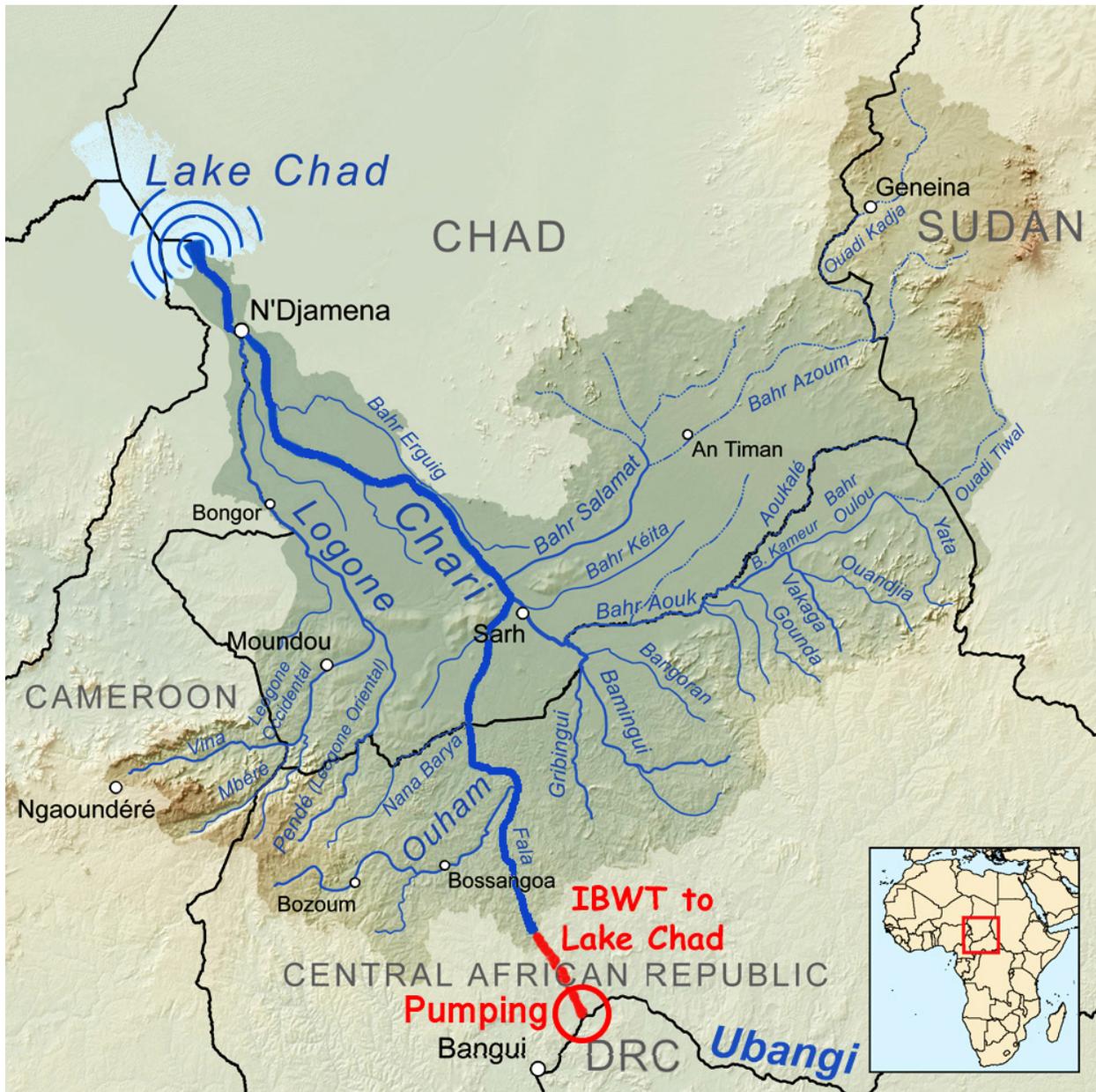
## Mots clés

- CIMA — CIMA+ génie civil, Laval, Québec; étude de faisabilité antérieure du TEIB
- Batterie de stockage d'énergie — dispositif de stockage d'une capacité importante d'énergie pendant des heures de fonctionnement prolongées
- TEIB — Transfert des eaux interbassins (de l'Oubangui au lac Tchad)
- PV — Panneaux solaires photovoltaïques qui produisent de l'électricité à partir du rayonnement solaire
- Termes de référence — Description de l'ouvrage d'art à réaliser dans le cadre de la planification d'un projet
- Option solaire — Le plan suggéré pour utiliser l'énergie solaire en remplacement du barrage hydroélectrique

## Introduction

L'étude de faisabilité réalisée par la firme CIMA (1) a recommandé la construction d'un barrage hydroélectrique sur l'Oubangui. L'option solaire représente une alternative à ce barrage. La proposition de spécifications du projet ci-après présente les grandes lignes de l'aménagement d'un modèle de production d'énergie solaire en vue du TEIB de l'Oubangui afin de restaurer l'hydrographie du lac Tchad. D'autres versions associées à ces spécifications sont disponibles.

L'annexe 1 présente des termes de référence détaillés relativement à la réalisation d'une nouvelle étude technique de faisabilité du projet de TEIB vers le lac Tchad, au moyen de l'option solaire.



**Figure 1 :** Carte du Chari dans le bassin du lac Tchad, illustrant l'itinéraire de l'eau acheminée dans le cadre du TEIB.

Source : Kmusser; disponible selon les termes de la licence Creative Commons, partage dans les mêmes conditions 3.0

## A. Proposition de spécifications du projet au titre de l'option solaire

[N.B : les prévisions de coût sont exprimées en dollars américains.]

1. **Ouvrages de captage et pompes** : Quatre ouvrages de captage immergés dans l'Oubangui alimenteront les pompes et la canalisation d'eau. Lesdits ouvrages ne nécessiteront pas un barrage et seront équipés de barrières de dispersion. Quatre stations de pompage indépendantes installées à la rive nord de l'Oubangui en RCA (au-dessus de la crue du fleuve) alimenteront en eau chacune des quatre canalisations.
2. **Canalisations** : Quatre conduits parallèles, de cinq mètres de diamètre chacun, achemineront l'eau en amont du bassin du fleuve Congo jusqu'au bassin du lac Tchad. Les canalisations du projet TEIP seront longues de 128 km et hautes de 180 mètres jusqu'à la crête du bassin versant.
3. **Canaux** : Une fois que l'eau est acheminée vers la crête du bassin versant du bassin du lac Tchad, elle s'écoulera sur environ 1000 km par gravité dans les voies d'eau naturelles et les canaux aménagés jusqu'au Chari, et ensuite jusqu'au lac Tchad.
4. **Énergie solaire** : La baisse récente du coût des panneaux PV en silicone à moins de 0,30 USD /W (2) fait de l'énergie solaire une alternative viable pour remplacer l'énergie hydroélectrique. De grandes installations de panneaux solaires (proches du site de pompage de l'Oubangui) produiront l'énergie nécessaire pour pomper un volume de 100 m<sup>3</sup>/s pendant 8 heures de la journée (heures quotidiennes de fort ensoleillement).
5. **Pompage par batterie** : La réduction prévue du coût des batteries lithium-ion de stockage d'énergie (3) à 100 USD/ kWh rend possible le pompage de nuit pendant 16 heures. Au départ, seulement l'un des quatre conduits recevra de l'eau pompée par l'énergie de la batterie après le coucher du soleil, pour une production journalière d'un débit de 25 m<sup>3</sup>/s. Un pompage continu maintiendra la circulation de l'eau en permanence dans les canaux et les fleuves jusqu'au lac Tchad, assurant une alimentation constante minimale.
6. **Coût de l'option solaire** : L'installation de panneaux solaires de 375 MW coûtera 135 millions USD. Le coût de l'installation d'une batterie lithium-ion de stockage d'énergie d'une capacité de 1000 mégawatts-heure s'élèvera à 130 millions USD. Le coût total de l'installation des panneaux solaires et d'une batterie de stockage d'énergie au titre de l'option solaire sera de 267 millions USD (soit un montant inférieur à 10 % du coût du barrage hydroélectrique).
7. **Impact sur les fleuves** : Un volume de 100 m<sup>3</sup>/s d'eau issu du pompage sera transféré au lac Tchad, soit une utilisation de 0,7 % à 5 % du débit de l'Oubangui (4). L'eau transférée au lac Tchad représente environ 0,25 % du volume moyen d'eau du fleuve Congo refoulé dans l'océan (5). Ces taux de transfert des eaux vers le lac Tchad ne sont pas susceptibles

de porter atteinte à l'environnement ni à la navigabilité de l'Oubangui. Le TEIB ne compromettra pas le projet hydroélectrique prévu dans le Grand Inga sur le fleuve Congo en RDC. Le volume d'eau issu du pompage grâce à l'option solaire est susceptible de doubler l'apport en eau du Chari au lac Tchad en avril et en mai (6), pendant les saisons d'étiage.

8. **Construction échelonnée** : Contrairement au barrage hydroélectrique, l'option solaire permet une construction de l'ouvrage en plusieurs phases et un pompage plus précoce. Ci-après figure le coût différentiel estimatif à chaque étape.

— **Étape 1.** Un tuyau de 5 m; (8 h); nécessite un panneau solaire de 63 MW; coût :

**23 millions USD**

— **Étape 2.** Un tuyau de 5 m; (24 h); ajouter une installation solaire de 125 MW + une batterie de 1000 mWh; coût : **175 millions USD**

— **Étape 3.** Deux tuyaux de 5 m; (8 h et 24 h); ajouter un panneau solaire de 63 MW; coût : **23 millions USD**

— **Étape 4.** Trois tuyaux de 5 m; (8 h, 8 h et 24 h); ajouter un panneau solaire de 63 MW; coût : **23 millions USD**

— **Étape 5.** Quatre tuyaux de 5 m; (8 h, 8 h, 8 h et 24 h); ajouter un panneau solaire d'une capacité de 63 MW; coût : **23 millions USD**

Le montant total cumulé s'élève à **267 millions USD** au titre de l'option solaire. [NB : Ce devis estimatif de l'option solaire ne comprend pas les ouvrages de captage d'eau, les pompes, les canalisations, les canaux ou des nouvelles routes.]

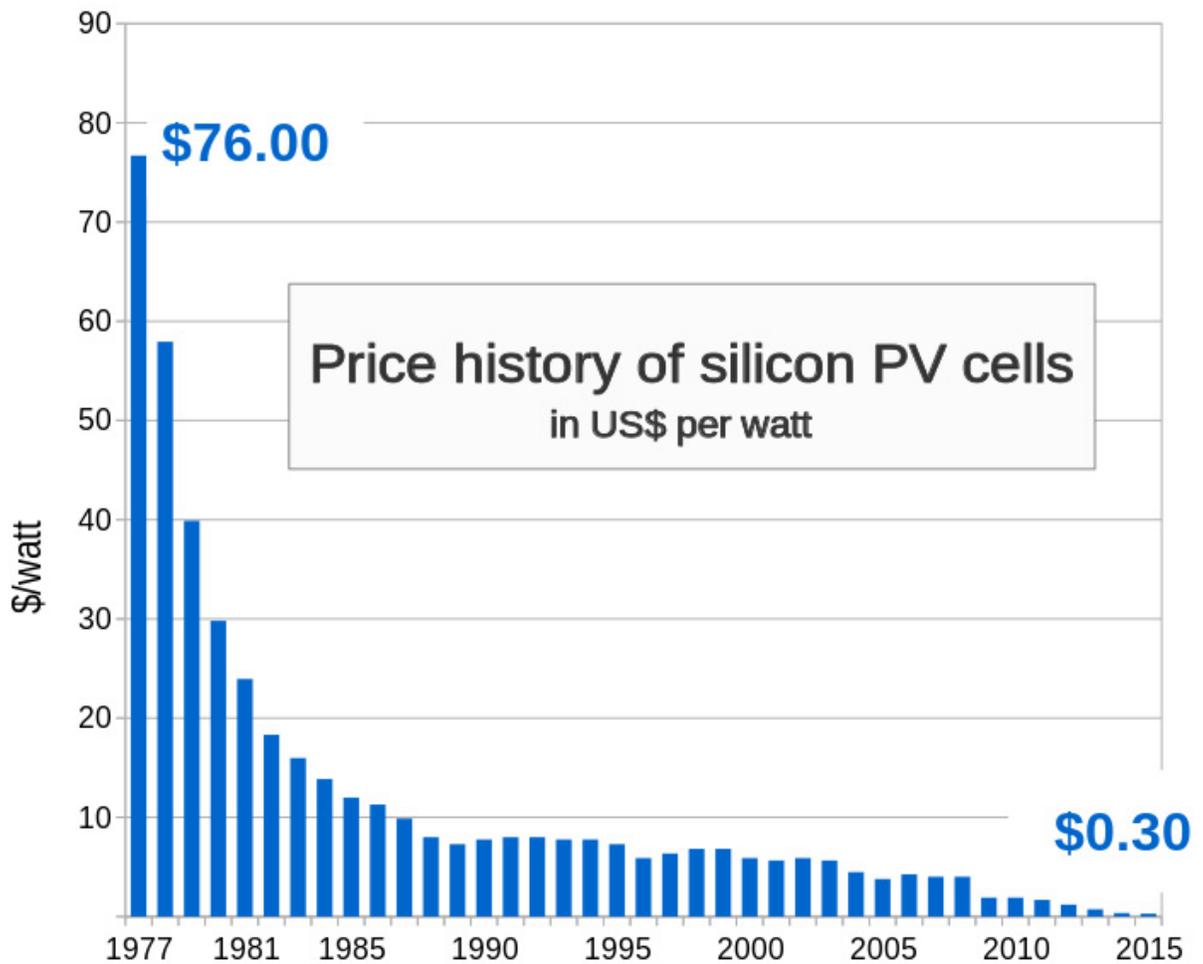
9. **Délai de remplissage du lac Tchad** : À la finalisation de l'option solaire, un volume de 1,58 milliard de m<sup>3</sup> d'eau par an sera transféré vers le lac Tchad (soit 50 % du taux généré par le barrage hydroélectrique). Sur la base de l'étude de faisabilité de CIMA, le pompage solaire permettra d'élever le niveau d'eau du lac Tchad de 50 cm et d'accroître sa surface de 3000 km<sup>2</sup> en un an. Les activités de pêche sur le lac Tchad devraient reprendre au bout de 2 à 5 ans, en fonction de l'usage concurrent de l'eau à des fins domestiques et d'irrigation, ainsi que des pertes en eau résultant de l'évaporation.

## **B. Calculs et hypothèses utilisés pour établir les prévisions relatives à l'option solaire**

1. **Options de canalisation** : L'étude de faisabilité réalisée par CIMA en 2011 (1) a recommandé l'installation de trois conduits parallèles de 6 mètres de diamètre en vue du transfert de 100 m<sup>3</sup>/s, au moyen d'un système d'une capacité de 251 mégawatts d'électricité. En ce qui concerne ces prévisions, la canalisation est constituée de 4 conduits parallèles d'un diamètre de 5 m chacun. Une autre option consiste en l'installation de 7 conduits parallèles mesurant quatre mètres chacun. Le choix de la taille des tuyaux doit répondre au critère de l'offre la moins disante et correspondre au calendrier optimal de construction échelonnée. Les canalisations longues de 128 km sont destinées à élever l'eau de 180 mètres jusqu'à la crête du bassin versant, ce qui nécessite une pression statique au fond de l'ordre de 1 766 kPa (256 psi). Chaque conduit pèse 20 tonnes/mètre et nécessite des supports adéquats. Les canalisations doivent être

enfouies sous les passages routiers, de sorte à éviter de gêner les animaux sauvages et de pâturage. [N.B : les présentes estimations ne comprennent pas le coût des canalisations (achat et installation), du fait qu'il demeure le même en cas de recours à l'option solaire. L'étude de faisabilité réalisée par CIMA prévoit un coût de 7,3 milliards USD relativement au pompage à partir du barrage de Palambo. Ce coût onéreux doit être revu.]

2. **Énergie solaire :** L'étude réalisée par CIMA recommande qu'une installation de 250 MW pompe un volume de 100 m<sup>3</sup>/s en direction du lac Tchad. Le coût des panneaux solaires photovoltaïques a connu une réduction de 76 USD/W en 1977 à 0,30 USD/W en 2015 (2). Bien que le coût de l'énergie solaire continuera de diminuer dans les années à venir, une valeur de 0,30 USD/W a été utilisée, avec un élément additionnel de 1,2 pour couvrir le coût d'installation. À titre d'exemple, pomper l'eau requise pour remplir un conduit de 5 mètres de diamètre pendant huit heures de la journée nécessite une capacité de production d'électricité de 63 MW; coût (approximatif) : 63 X 0,30 X 1,2 = 23 millions USD.



Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com

**Figure 2 : Historique des prix des cellules photovoltaïques en silicium**

Source : Wikimedia Commons; Rfassbind [domaine public]; Bloomberg New Energy Finance.

3. **Ligne de transmission :** Au départ, une installation électrique alimentée par énergie solaire produit de l'électricité uniquement pendant 8 heures de fort ensoleillement. Les panneaux solaires s'installent d'au moins deux façons : a) adjacents aux pompes sur la rive du fleuve Oubangui; b) dans la région du sahel, de sorte à les intégrer à l'installation photovoltaïque de Djermaya au Tchad (7) (à proximité de l'aéroport qui dessert N'Djaména). Le sahel au Tchad reçoit 1,5 fois plus de lumière directe du soleil qu'en RCA, le long de l'Oubangui (où les pluies fréquentes limitent l'apport moyen en énergie solaire). Toutefois, l'installation de panneaux solaires au sahel nécessitera une ligne de transmission de 1 100 km (susceptible d'être souhaitable dans le cadre du projet d'électrification rurale du Tchad et de la RCA).
4. **Coût des batteries de stockage d'énergie :** L'installation récente de batteries lithium-ion de stockage d'énergie rend possible le pompage de nuit pendant 16 heures, ce qui prolonge le temps de pompage à un total de 24 heures par jour. Le coût des batteries de stockage d'énergie constitue toutefois un obstacle. Bien que le coût des batteries lithium-ion en 2007 était supérieur à 1 000 USD/kWh, les prévisions actuelles montrent qu'il ne sera que de 100 USD/kWh d'ici 2028 (3). 100 USD/kWh a été utilisé comme prix maximum viable dans le cadre de l'analyse des options de batterie. Si le coût réel demeure élevé, l'utilisation d'un autre type de batterie peut s'avérer nécessaire. [NB : La technologie de batterie de stockage d'énergie connaît une évolution rapide. De nouveaux types de batteries verront probablement le jour dans les années à venir et rendront possible le pompage continu de tous les quatre conduits, au plein régime de 100 m<sup>3</sup>/s.]
5. **Utilisation des batteries de stockage d'énergie :** Le coût d'une batterie de stockage d'énergie se détermine par sa capacité. Pour le pompage continu d'un tuyau de 5 m de diamètre, 24 h/24, une puissance continue de 63 MW est nécessaire (250 MW/4). Pour le pompage de nuit pendant 16 heures au moyen de l'énergie de la batterie, une batterie de 1 000 MWh est nécessaire. À 100 USD/kWh (100 000 USD/MWh), le coût de la batterie s'élèvera à 130 millions USD (y compris les prévisions de coût de 30 millions USD au titre de l'installation et du dispositif de commutation). En outre, une batterie de stockage de 1 000 MWh nécessite des panneaux solaires supplémentaires de 125 MW (coûtant 45 millions USD) pour être chargée pendant huit heures de la journée, tandis que les autres panneaux solaires pompent directement l'eau. Le coût différentiel relatif à l'installation d'une batterie de stockage de 1 000 MWh s'élève alors à 175 millions USD.
6. **Construction échelonnée :** L'un des principaux avantages de l'option solaire réside dans sa capacité à être réalisée et exploitée par étapes, ce qui permet d'alimenter le lac Tchad en eau plus tôt qu'avec un barrage hydroélectrique. La proposition de spécifications du projet recommande cinq phases successives.

— **Étape 1.** Installation d'un conduit de 5 mètres de diamètre et long de 128 km allant du

poste de pompage du fleuve Oubangui à la crête du bassin versant, entre le bassin du fleuve Congo et celui du lac Tchad. Ledit conduit pompera un volume de  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  pendant 8 heures de rayonnement solaire au quotidien. Pour ce faire, une installation solaire d'une capacité de 63 MW coûtant 23 millions USD (concerne uniquement l'installation solaire et non la canalisation) s'avérera nécessaire. Quoique le conduit en question ne suffise pas à restaurer l'hydrographie du lac Tchad, il permettra de tester le système de pompage ainsi que les canaux alimentés par gravité sur une distance de 1 000 km et les voies d'eau naturelles menant jusqu'au lac Tchad. Le volume total d'eau transférée (dans un tuyau de 5 m de diamètre) vers le lac Tchad sera de **0,72 million de  $\text{m}^3/\text{j}$** .

— **Étape 2.** Compte tenu des récentes réductions du coût de l'énergie solaire, les composants les plus onéreux du système seront les pompes et les canalisations d'une longueur de 128 km. L'objectif à l'étape 2 consiste à prolonger le délai de pompage d'une canalisation de 5 mètres de diamètre à 24 heures par jour. Une batterie de stockage de 1 000 MWh coûtant 130 millions USD alimentera la pompe pendant 16 heures la nuit. Charger cette grande batterie nécessite des panneaux solaires supplémentaires de 125 MW coûtant 45 millions USD. Bien que le coût différentiel du pompage par batterie de stockage d'énergie d'un seul conduit s'élève à 175 millions USD, ledit coût serait faible par rapport à celui de la canalisation, ce qui constitue une raison suffisante pour maintenir les canalisations remplies d'eau et les exploiter également la nuit. La preuve de la faisabilité du pompage par batterie a été démontrée et ce dernier augmentera le volume d'eau (dans un tuyau de 5 m de diamètre) transféré vers le lac Tchad de 1,44 million de  $\text{m}^3/\text{jour}$  pour tripler le débit total dans un seul tuyau, soit **2,16 millions de  $\text{m}^3/\text{jour}$**  (788 millions de  $\text{m}^3/\text{an}$ ).

— **Étapes 3, 4 et 5.** La proposition de spécifications du projet prévoit un total de quatre tuyaux parallèles de 5 mètres de diamètre chacun (longs de 128 km chacun). Aux étapes 1 et 2, le pompage de l'eau se fera un seul tuyau de 5 m de diamètre. Aux étapes 3, 4 et 5, trois tuyaux supplémentaires de 5 m de diamètre chacun seront ajoutés successivement. Le pompage dans chaque nouveau tuyau installé pendant 8 heures de rayonnement solaire nécessite une énergie solaire supplémentaire de 63 MW pour un coût de 23 millions USD par tuyau. Pour trois conduits supplémentaires, des panneaux solaires supplémentaires d'une capacité totale de 187,5 MW sont nécessaires pour 8 heures de fonctionnement de jour. La proposition de spécifications du projet n'inclut aucune batterie de stockage d'énergie supplémentaire aux étapes 3, 4 et 5, du fait que des types de batteries moins onéreux sont susceptibles d'être mis au point dans les années à venir. Cependant, l'objectif à long terme consiste au pompage sur tous les conduits, 24 heures sur 24. Lorsque l'ensemble des quatre tuyaux parallèles de 5 m de diamètre est utilisé (1 tuyau utilisé 24 h/24 et, les 3 autres, 8 h/jour), le volume total transféré vers le lac Tchad s'élève à **4,32 millions de  $\text{m}^3/\text{jour}$**  (soit 1,58 milliard de  $\text{m}^3/\text{an}$ ). Le coût total de l'installation de panneaux solaires et d'une batterie de stockage d'énergie est de 267 millions USD, soit un montant inférieur à 10 % des prévisions de coût de CIMA s'élevant à 2,7 milliards USD relatives au barrage hydroélectrique sur le fleuve Oubangui.

7. **Délai de remplissage du lac Tchad :** Il est difficile d'estimer le délai de remplissage du lac Tchad. Premièrement, cela est dû aux utilisations concurrentes de l'eau (à savoir l'usage domestique et le prélèvement pour l'irrigation) ainsi qu'à la perte d'eau liée à l'évaporation. Deuxièmement, le débit des fleuves qui alimentent le lac Tchad varie d'une année à l'autre. Troisièmement, le contour du présent lac peu profond varie, de sorte que la surface couverte n'est pas proportionnelle au volume ajouté. L'étude de faisabilité réalisée par CIMA prévoit que le transfert à plein temps d'un débit de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  vers le lac Tchad augmentera son volume de 3,15 milliards de  $\text{m}^3/\text{an}$  (avec la possibilité de doubler l'apport en eau du Chari en avril et en mai, pendant la saison d'étiage); 6 mois suffiraient à élever le niveau du lac de 50 cm, pour une surface en eau supplémentaire de  $3\,000 \text{ km}^2$ . Ce chiffre, bien que faible par rapport à la surface en eau de  $26\,000 \text{ km}^2$  atteinte par le lac Tchad au cours des années 1960, est susceptible de suffire à restaurer partiellement le secteur de la pêche. La proposition de spécifications du projet au titre de l'option solaire indique un débit de 1,58 milliard de  $\text{m}^3/\text{an}$  (soit la moitié du débit généré par le barrage hydroélectrique proposé par CIMA), ce qui signifie qu'une année serait nécessaire pour élever le niveau du lac Tchad de 50 cm (et augmenter sa surface en eau de  $3\,000 \text{ km}^2$ ). En conclusion, l'option solaire atteindra l'objectif principal consistant à inverser la tendance d'assèchement et de réduction des eaux du lac Tchad grâce à l'apport de milliards de mètres cubes d'eau chaque année.
8. **Questions transfrontalières liées à la construction :** Le site de Palambo sur le fleuve Oubangui en RCA permet l'exploitation de panneaux solaires adjacents aux ouvrages de captage d'eau et pompes. Le présent site est accessible par des routes aménagées le long du fleuve Oubangui ou au moyen d'une péniche en période de crue en été, à partir de la ville de Bangui en RCA. Vu qu'aucun barrage n'est requis sur l'Oubangui, l'ensemble des infrastructures relatives au projet sera construit en RCA. Aucun ouvrage ne sera réalisé en RDC (8). L'eau issue du pompage s'écoulera par gravité dans des cours d'eau naturels et des canaux aménagés le long des rivières de Fala et d'Ouham qui parcourent le Tchad, au niveau où l'eau rejoint le Chari et s'écoule dans le lac Tchad.

## C. Conclusions

L'option solaire représente une source d'énergie viable permettant le TEIB vers le lac Tchad. L'option solaire présente les avantages suivants :

- Réduction considérable du coût : seulement environ 10 % du coût de construction d'un barrage sur l'Oubangui;
- Absence d'inondation que causerait le barrage sur l'Oubangui sur une distance de 200 km : aucun déplacement des populations des villages, aucune atteinte à la navigabilité et aucune compromission des activités de pêche;
- Aucun impact sur le territoire de la RDC; toutes les infrastructures se situent en RCA et au Tchad;
- Possibilité d'expansion du réseau électrique à Bangui ainsi que d'autres sites en RCA.
- Faible impact sur l'environnement des fleuves Oubangui et Congo;
- Restauration de  $3\,000 \text{ km}^2$  de surface en eau du lac Tchad en 1 an.

## D. Références bibliographiques

- (1) Mamadou, Hamidou, (novembre 2011) CIMA+ International (Canada), *Étude de faisabilité du transfert d'eau de l'Oubangui au lac Tchad, Document de synthèse : Principaux résultats de l'étude de faisabilité*, Commission du bassin du lac Tchad
- (2) Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com (2015) *Price History of Silicon PV Cells in US\$ per Watt*, [En ligne] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Price\\_history\\_of\\_silicon\\_PV\\_cells\\_since\\_1977.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Price_history_of_silicon_PV_cells_since_1977.svg) [7 jan 2018]
- (3) PV Magazine, (31 juillet 2017) Global Edition, *Study finds that storage prices are falling faster than PV and wind technologies*, [En ligne] <https://www.pv-magazine.com/2017/07/31/study-finds-that-storage-prices-are-falling-faster-than-pv-and-wind-technologies/>, [7 jan 2018]
- (4) The Great Soviet Encyclopedia (1979) The Free Dictionary, *Ubangi River*, [En ligne] <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Ubangi+River>
- (5) Wikipédia (2018), L'encyclopédie libre, fleuve Congo, [En ligne] [https://en.wikipedia.org/wiki/Congo\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Congo_River) [7 jan 2018]
- (6) Hindawi Scientific World Journal (2014) Volume 2014, Article ID 145893, *Characteristics of Lake Chad Level Variability and Links to ENSO, Precipitation, and River Discharge*, [En ligne] <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/145893/> and <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/145893/fig8/>, [7 jan 2018]
- (7) InfraCo Africa (2017) *Chad Djermaya Solar, Lighting the way for renewables in Chad* [En ligne] <http://www.infracoafrica.com/project/djermaya-solar/> [7 jan 2018]
- (8) African Research Review (July 2013), Multidisciplinary Journal, Ethiopia, Vol. 7 (3), Serial No. 30, *Recharging the Lake Chad: the Hydropolitics of National Security and Regional Integration in Africa*, [En ligne] [http://www.larouchepub.com/eiw/public/2011/eirv38n28-20110722/31-36\\_3828.pdf](http://www.larouchepub.com/eiw/public/2011/eirv38n28-20110722/31-36_3828.pdf) [7 jan 2018]