

# Choix du site des concessions d'exploitation

Data Environnement – avril 2011

## **PREAMBULE**

---

La disposition géographique des concessions proposée dans le document « Management Prescriptions for the Development of Lake Kivu Gas Resources » (MPs) repose sur le postulat suivant lequel chaque concession doit avoir accès aux couches les plus profondes du lac. Ce concept conduit à une structure étoilée (ou en « camembert ») pour les concessions, qui convergent alors sur la zone du lac située à 480 m de profondeur.

Il apparaît que ce découpage aboutirait à des situations absurdes, notamment lors de la fin de l'exploitation : chaque propriétaire de chaque concession devrait immerger un gazoduc depuis son site jusqu'au point le plus profond du lac, ceci pour avoir sa part des quelques km<sup>3</sup> de gaz restant. Il semble plus raisonnable que le dernier volume d'eau contenant du gaz méthane soit exploité par une seule concession, celle dont la situation sera la plus favorable à l'établissement d'un gazoduc.

Le découpage proposé n'est pas judicieux, et il n'est pas non plus équitable pour les concessions situées loin du point de convergence.

Nous pensons qu'il faut aborder le choix des sites potentiels des concessions de manière pragmatique et plus souple, en laissant plus de latitudes aux gouvernements concernés. Ils prendront en fin de compte la décision d'affectation des concessions suivant leur politique régionale de gestion de l'énergie.

Nous soumettons ci-dessous des critères de sélection des sites d'implantation des concessions potentielles. Notre étude est basée sur l'utilisation des cartes bathymétriques de Lahmeyer et Osaë (1998) qui, bien qu'imparfaites, ont le mérite d'exister.

## **PROPOSITIONS DE SELECTION DE CONCESSIONS - DIVERS SCENARIOS**

---

### **Critères de choix des sites :**

Un préalable important : on sélectionnera les emplacements des concessions sans tenir compte de l'emplacement au sol des futures centrales (possibilité de connexion à une ligne électrique haute tension, terrain favorable, liaison routière, etc.).

Cette partie « accès au sol » nécessite des informations et des concertations avec divers services techniques des gouvernements concernés.

La qualité d'une concession se juge d'après les critères suivants :

- profondeur accessible pour l'extraction et possibilité d'extensions vers des profondeurs plus importantes (gradient vertical du plancher lacustre sur la zone) ;
- distance depuis les plates-formes d'extraction jusqu'au rivage (longueur du gazoduc) ;
- étendue latérale de la zone d'extraction sur le fond du lac ;
- facilité d'ancrage des plates-formes et du gazoduc immergé ;
- positionnement vis-à-vis des couches riches en méthane (on verra qu'il faut différencier la tranche d'eau située entre 265 m et 315 m, relativement pauvre en gaz, et la partie située en dessous de 315 m, riche en gaz).

Pour quantifier la « valeur » d'une concession, il faudrait établir une péréquation faisant intervenir l'ensemble de ces critères, avec des coefficients de pondération ajustés. Au stade actuel de nos réflexions, nous ne nous hasarderons pas sur ce terrain. Une première estimation de la qualité d'une concession peut déjà résulter d'un compromis entre profondeur accessible et distance au rivage.

Plusieurs scénarios peuvent être étudiés pour délimiter les concessions :

- selon diverses formes géométriques pour leurs contours ;
- selon leurs tailles et notamment des profondeurs accessibles ;
- selon la puissance des centrales électriques.

### **i) Contours géométriques des concessions**

Les idées suivantes peuvent être étudiées comparativement, en évaluant leurs avantages et leurs inconvénients.

- Concernant les côtes à l'est et à l'ouest du lac, la limite de chaque concession pourrait être constituée par deux lignes droites orientées est-ouest (latitude nord et latitude sud) et par deux lignes correspondant à la profondeur minimale et la profondeur maximale. Ces deux dernières lignes pourront éventuellement être des droites, on obtient alors des quadrilatères.

- On peut décider que la ligne de profondeur minimale est tout simplement le rivage.

- Les zones situées près des berges au nord du lac – zone de Gisenyi et côte de Goma à Keshero – devront être traitées séparément, les concessions n'étant plus limitées par des droites d'égales latitudes.

- Les concessions n'auraient pas à couvrir la totalité du lac : elles seraient certainement disjointes, mais pas forcément jointives.

### **ii) Délimitation des concessions en fonction des profondeurs accessibles**

Les lignes limites des concessions, du côté des profondeurs maximales, pourraient consister en des lignes équi-niveau, connues d'après la carte bathymétrique dont on dispose.

Pour chaque profondeur P on connaît par ailleurs la proportion R de ressource totale du lac contenue entre le gradient principal (265 m) et la profondeur considérée. Voici la valeur de R pour quelques valeurs de P :

<b>Profondeur P (mètres)</b>	<b>% de la ressource accessible R</b>
<b>360 m</b>	<b>68 %</b>
<b>380 m</b>	<b>79 %</b>
<b>400 m</b>	<b>87 %</b>
<b>420 m</b>	<b>94 %</b>

Dans un premier temps, fixer une profondeur limite à 380 m nous semble raisonnable car cela donne accès à près de 80 % de la ressource totale du lac.

On pourra envisager d'adjoindre pour un lointain futur la question de l'exploitation des 20% de la ressource contenus dans les couches entre 380 et 485 m (le fond du lac).

### **iii) Puissance des centrales électriques**

- Grosses centrales (production entre 60 et 100 MW)

On peut envisager d'utiliser des turbines à cycle vapeur combiné. Mais ce choix comporte divers inconvénients : ces machines supportent mal les fréquentes coupures de courant, et une panne ou un arrêt pour maintenance crée une perturbation considérable sur le réseau (ces machines sont unitaires).

- Moyenne puissance : 15/20 MW – 50 MW

Une centrale peut être modulaire avec des moteurs de l'ordre de 5 à 6 MW, ce qui permet d'avoir toujours un moteur de remplacement, notamment pour les périodes de maintenance.

- Petites centrales (< 20 MW)

On gagne en souplesse d'utilisation et en facilité d'installation mais on perd nettement en coût d'investissement pour une puissance unitaire donnée.

Une étude globale doit faire intervenir le rendement des machines, le coût d'investissement, la souplesse d'utilisation, etc. Il est probable que la solution optimale résultera d'un compromis entre tous ces facteurs.

## METHODOLOGIE PROPOSEE

---

### Recherche et caractérisation des emplacements d'exploitation

Le lac est constitué par une ancienne vallée du Nil qui coulait vers le nord. Cette vallée a été partagée par l'île de Idjwi et présente une allure à orientation nettement sud-nord dans la branche est (rwandaise), sud-ouest - nord dans la branche ouest (congolaise) du lac. La vallée est barrée au nord par la chaîne volcanique des Virunga. La côte nord du lac est un escarpement raide tombant du contrefort volcanique sur lequel sont bâties les villes de Goma et Gisenyi. La vallée s'élargit ensuite rapidement vers le sud pour atteindre le plancher du bassin principal, très étendu, à une profondeur maximum de 485 m du côté congolais et 465 du côté rwandais. La vallée va ensuite en se rétrécissant progressivement des deux côtés de l'île de Idjwi et son plancher va en s'élevant très doucement lorsqu'on se déplace vers le sud. L'allure d'un profil N/S du fond du lac est donc dissymétrique avec une pente abrupte à partir du nord, une large plaine constituant le fond du bassin, puis une remontée très progressive du fond du lac, vers le sud du côté rwandais et vers le sud-ouest du côté congolais.

Cette allure est à prendre en compte dans l'évaluation des possibilités d'implantation des stations d'extraction de gaz.

i) Des profondeurs importantes sont accessibles à faibles distances du rivage dans la partie nord du lac. Les emplacements favorables à l'extraction de gaz sont situés à faible distance du bord et leur étendue latérale est considérable : plusieurs zones d'extraction peuvent être implantées côte à côte.

ii) En allant vers le sud, les profondeurs accessibles deviennent moins importantes et leurs distances au sol augmentent. La côte est du lac est extrêmement découpée, la côte ouest un peu moins. La pente des terrains est raide et des vallées d'érosion s'enfoncent profondément dans les terres. C'est dans le fond de ces vallées que l'on peut localiser des emplacements favorables à l'extraction, c'est-à-dire atteignant les couches riches en gaz à faible distance du rivage. L'étendue latérale de ces emplacements est, par contre, généralement très limitée.

### Description physico-chimique du gisement

Le gisement de méthane exploitable se trouve réparti verticalement suivant deux couches distinctes :

- La couche « gisement supérieur » (Upper Resource Zone : URZ) est située entre le gradient principal, vers 265 m de profondeur, et le gradient secondaire, vers 315 m. La richesse en méthane dans cette couche est de l'ordre de  $0,32 \text{ L}_{\text{gaz}}/\text{L}_{\text{eau}}$ . La quantité totale de méthane contenue dans l'URZ est de  $16 \text{ km}^3$ .

- La couche « gisement inférieur » (Lower Ressource Zone : LRZ) est située en dessous du gradient secondaire. La richesse en méthane y est de l'ordre de  $0,41 \frac{L_{\text{gaz}}}{L_{\text{eau}}}$ .  
La quantité totale de méthane contenue dans la LRZ est de  $30 \text{ km}^3$ .

Pour une géométrie donnée d'une station d'extraction, le débit de gaz obtenu dans la LRZ est d'environ 1,5 fois supérieur à celui qu'on obtiendrait dans l'URZ.

Lorsqu'on étudiera les différents sites d'extraction, on pourra en général identifier des emplacements favorables, soit à l'exploitation de l'URZ, soit à celle de la LRZ.

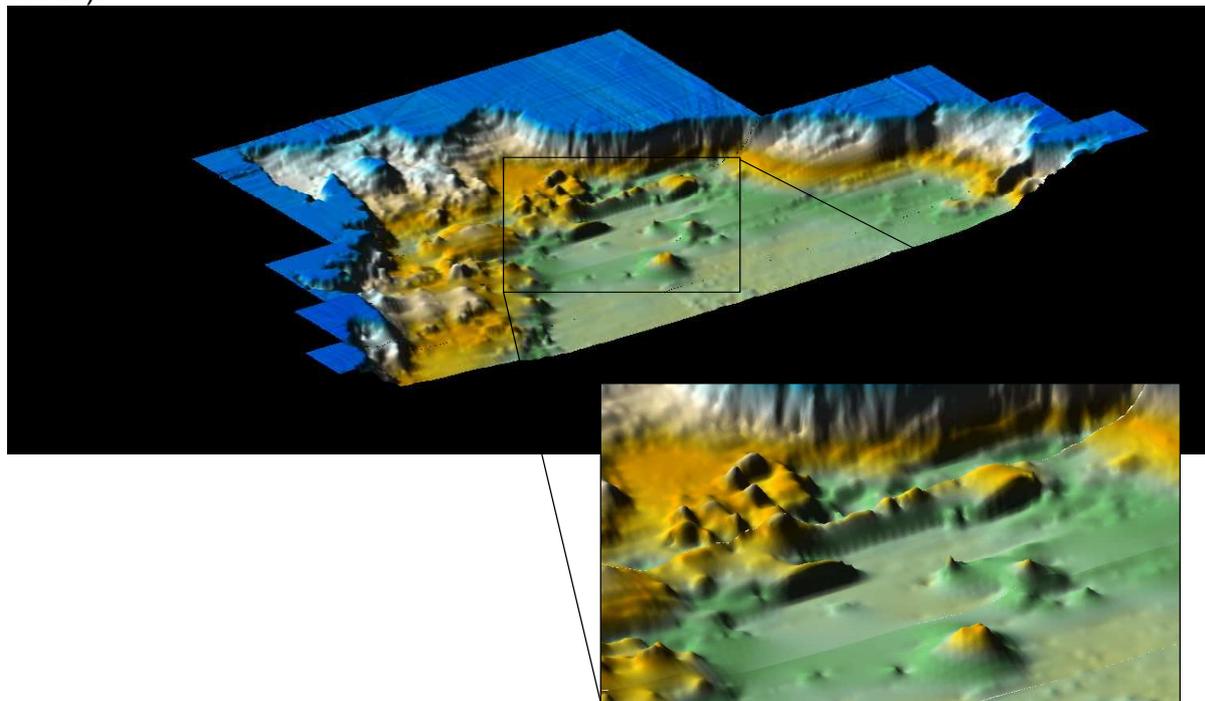
Lors de l'évaluation de la valeur d'un site, il faudra réaliser un compromis entre deux critères opposés :

- les zones d'exploitation de l'URZ sont bien entendu plus proches du rivage que celles de la LRZ,
- leur production de gaz, pour une géométrie donnée, sera nettement plus faible.

### **LE FICHER NUMERIQUE DE LA BATHYMETRIE DU LAC (LAHMEYER, 1998)**

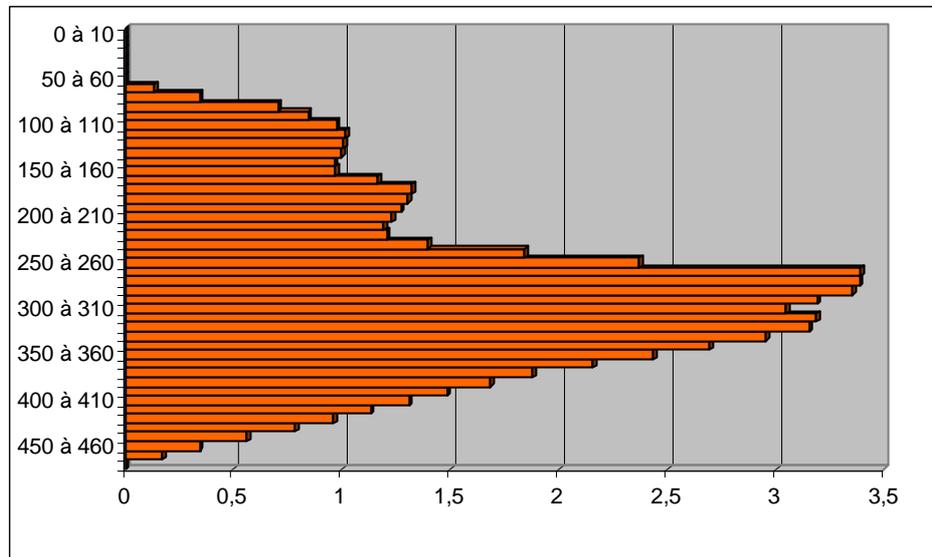
La carte bathymétrique du lac fournie par Lahmeyer n'est pas utilisable pour des traitements de présentation de données plus complexes : perspectives 3D, mesures de surfaces à diverses profondeurs, histogramme de volume d'eau en fonction de la profondeur (courbes hypsométriques), profil du fond du lac suivant un tracé donné, etc. Par ailleurs, les cartes fournies ne sont pas numérisables car les courbes équiniiveaux ne sont pas continues mais formées de segments disjoints.

En 2004, nous avons réussi à retrouver la référence de l'entreprise qui a effectué la campagne bathymétrique de 1998. Nous avons acheté l'ensemble des données brutes 3D, d'une résolution horizontale de  $10\text{m} \times 10\text{m}$ . Il s'agissait pour nous de rechercher la présence d'anciens volcans sub-lacustres que nous avons d'ailleurs localisés (cf. figure ci-dessous).



**Volcans sub-lacustres dans la zone nord du lac Kivu.**

L'utilisation du fichier numérique nous a permis par ailleurs d'obtenir la courbe surface en fonction de la profondeur (courbe hypsométrique). Enfin, en associant cette courbe avec les mesures de concentration en gaz réalisées en 2003, nous avons pu obtenir l'histogramme de volume de méthane en fonction de la profondeur, et finalement la capacité totale en méthane du lac. Avant 2004, cette capacité était évaluée à 50 km<sup>3</sup> ; nous avons trouvé 65 km<sup>3</sup>, soit un volume supérieur de 30 % à la valeur communément admise.

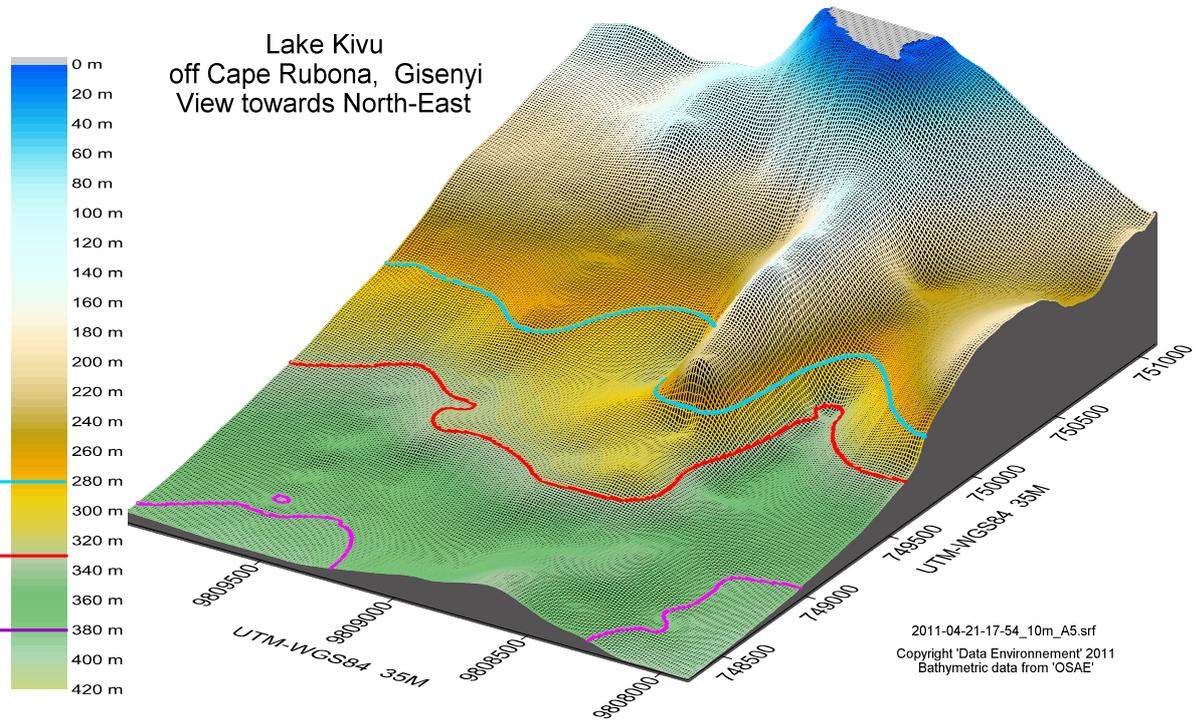


***Histogramme du volume de méthane en km<sup>3</sup> par tranche de 10 m (en km<sup>3</sup>/10 m)***

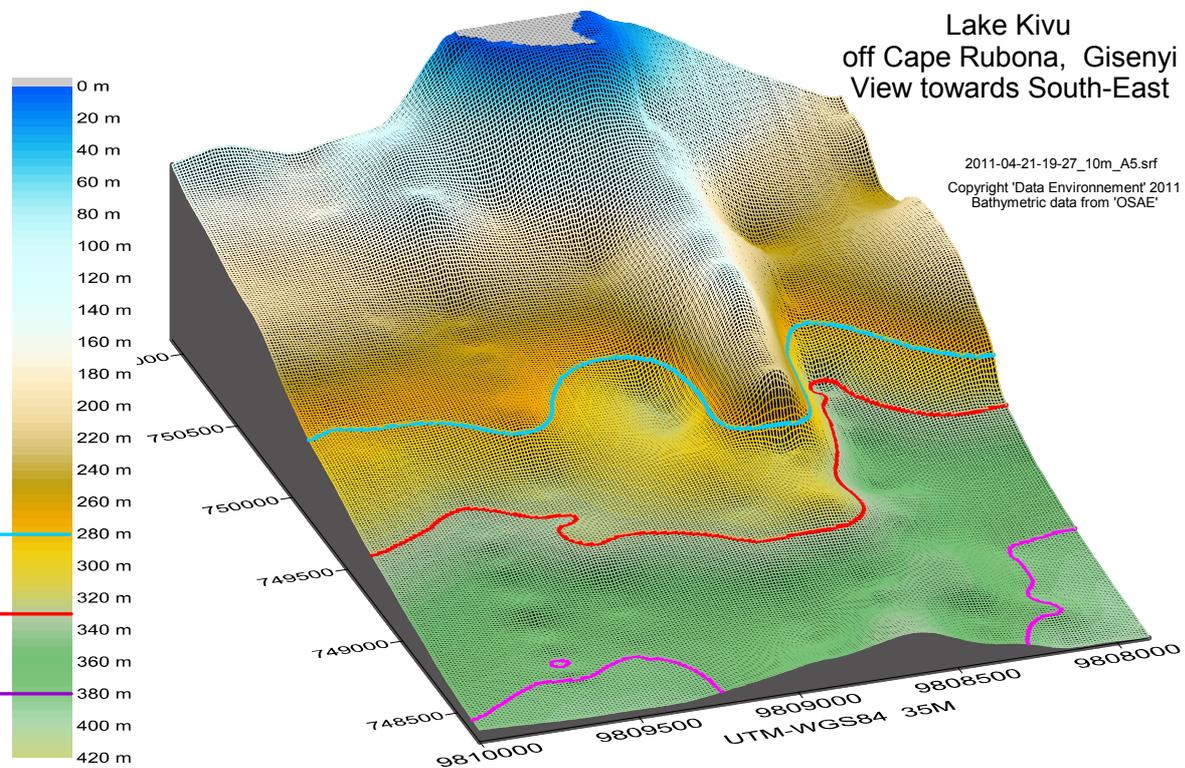
Les réalisations décrites ci-dessus – vue en perspective en trois dimensions du fond du lac et histogramme des volumes de méthane dissous en fonction de la profondeur – n'ont été possibles qu'en raison de la disponibilité d'un fichier numérique de données bathymétriques.

***En conclusion, il est clair que, pour toute étude portant sur la topographie sub-lacustre, la disponibilité de ce fichier 3D s'avère totalement indispensable.***

**EXEMPLES CONCRETS D'UTILISATION DU FICHIER NUMERIQUE DE TERRAIN**

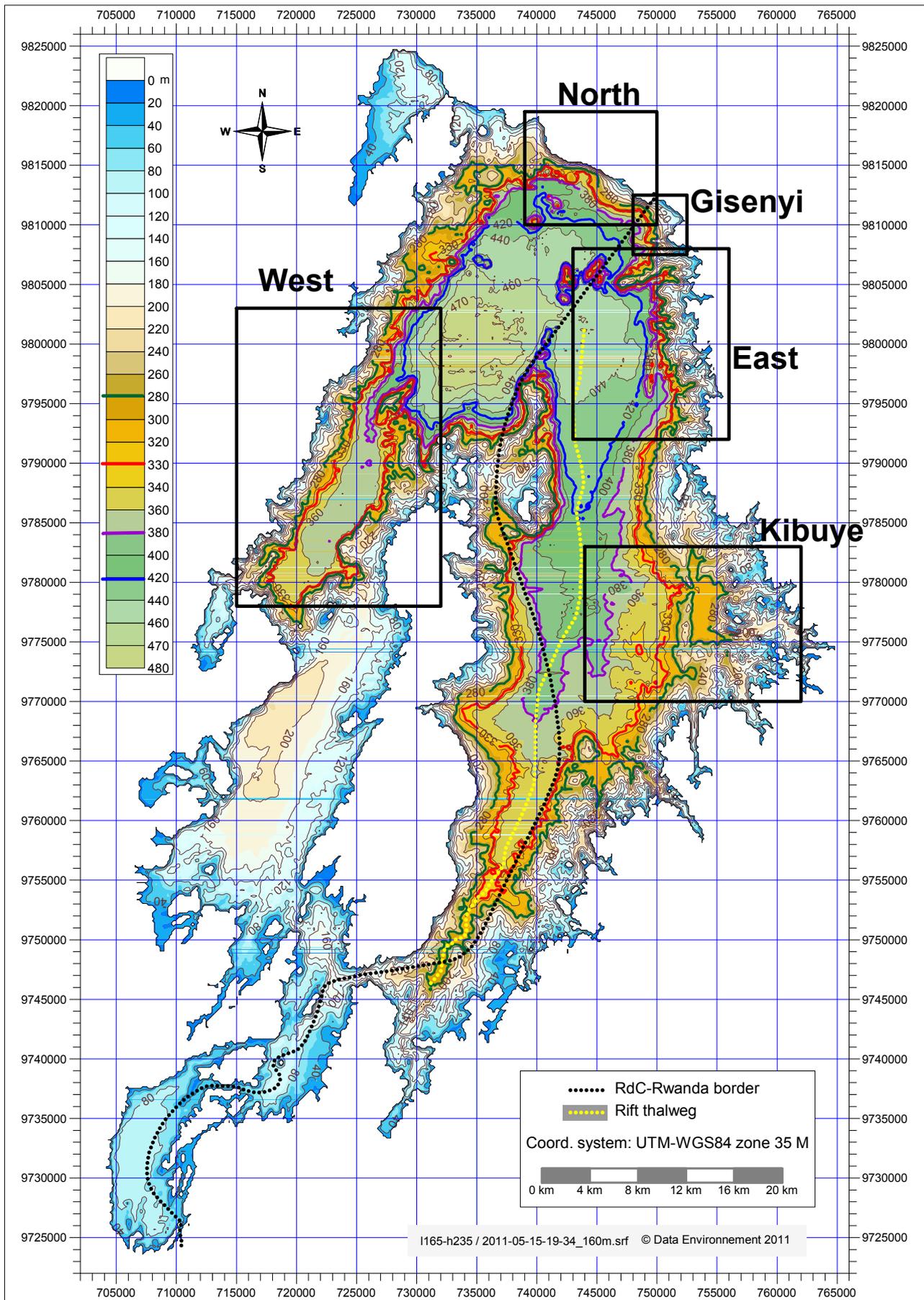


*Image en perspective de la zone du Cap Rubona, vue du Nord Est*



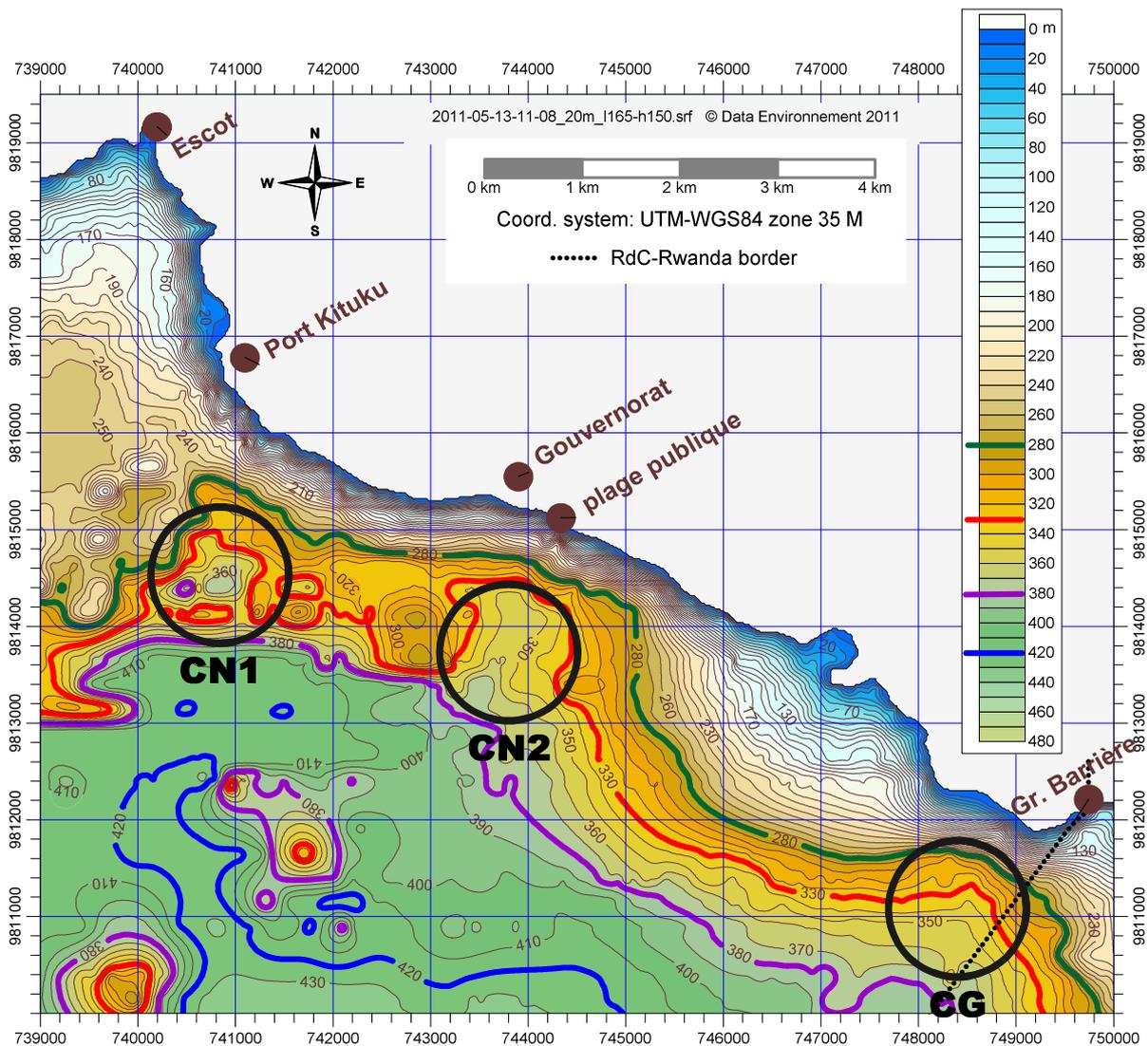
*Image en perspective de la zone du Cap Rubona, vue du Sud Est*

# DECOUPAGE DES ZONES DE CONCESSIONS DETAILLEES PAR LA SUITE



## COTE NORD DU LAC EN RDC (ENTRE GOMA ET KESHERO)

Cette zone concerne principalement la République Démocratique du Congo. Pour être plus précis, la ville de Goma, qui a connu un accroissement démographique exponentiel durant la dernière décennie, manque cruellement d'énergie électrique (on évalue les besoins actuels à plus de 20 MW). Par ailleurs, des projets existent pour relier le réseau électrique à d'autres villes du Nord Kivu (Lubero, Butembo, Beni ...).



Compte tenu de la pente escarpée du talus sublacustre dans cette zone du lac, il est économiquement plus intéressant d'exploiter la couche profonde, la plus riche en gaz (LRZ), facilement accessible à proximité du rivage.

Une étude détaillée de la position de cette couche par rapport au rivage a été effectuée sur la côte nord du lac Kivu. En se déplaçant sur une distance d'environ 10 km d'est en ouest, on voit clairement que la couche 330 m est proche de la côte au niveau de la Grande Barrière, qui constitue la frontière entre le Rwanda et la RDC, puis s'éloigne de la côte, puis s'en rapproche ensuite au niveau du Gouvernorat et jusque vers le point appelé Port Kituku.

Une étude plus fine de la bathymétrie du lac nous a permis de localiser trois emplacements favorables à l'implantation d'une station d'extraction.

Nous décrivons ci-dessous ces trois emplacements en indiquant plus spécifiquement les distances des points propices à l'extraction par rapport au rivage.

### **Site de la Grande Barrière CG**

On est situé à quelques centaines de mètres de la frontière avec le Rwanda, ce qui peut poser certains problèmes politiques. La topographie sublacustre est très escarpée : la profondeur de 330 m est atteinte à 1000 m du rivage. La zone favorable est de dimension latérale limitée (de l'ordre de 500 m). Enfin, on est dans un terrain fortement urbanisé où l'implantation d'une usine risque de poser des problèmes d'expropriation.

### **Site du Gouvernorat – plage publique CN2**

Il s'agit d'un site vraiment exceptionnel : en effet, il existe une sorte de golfe sublacustre à une profondeur de 320 à 360 m qui s'approche nettement du rivage :

- à 700 m de la côte, on est à 320 m de profondeur,
- à 750 m de la côte, on est à 340 m de profondeur,
- à 850 m de la côte, on est à 350 m de profondeur,

Le point d'arrivée du gazoduc devrait se situer entre le Gouvernorat et la plage publique, environ 1 km plus à l'est. L'extension latérale de cette zone est de l'ordre de 1 km.

### **Site du Port Kituku CN1**

Cet emplacement est localisé encore plus à l'ouest, à environ 6 km du port de Goma. Là encore, les couches profondes du lac s'avancent en direction du rivage :

- à 800 m de la côte, on est à 320 m de profondeur,
- à 1150 m de la côte, on est à 330 m de profondeur,
- à 1300 m de la côte, on est à 340 m de profondeur.

En se plaçant sur le plan du critère de la bathymétrie, ce site est moins favorable que le précédent (par exemple, l'exploitation de la couche 330 m sera à 1300 m en comparaison avec 750 m pour le site du Gouvernorat). L'extension latérale de cette zone d'extraction est relativement limitée (de l'ordre de 500 m).

Néanmoins, il se situe dans une zone nettement moins urbanisée, ce qui peut faciliter l'implantation de l'usine électrique.

Une curiosité qui peut éventuellement avoir un intérêt dans le cas d'une exploitation intensive de méthane : il existe un emplacement situé à 1850 m de la côte et qui se trouve à la profondeur considérable de 390 m.

## Choix de l'emplacement de l'usine électrique

### Site de la Grande Barrière :

Comme nous l'avons déjà signalé, le principal inconvénient de cet emplacement tient à sa proximité avec la frontière du Rwanda : le point d'arrivée du gazoduc se trouverait à 400 m de la frontière. Par ailleurs, la ligne de séparation des eaux territoriales de la RDC pourrait aussi donner lieu à des contestations entre les deux pays. En clair, l'établissement d'une station dans cette zone devrait nécessairement impliquer un accord signé entre les deux pays, voire à la proposition d'une station exploitée en commun par la RDC et le Rwanda.



### **Localisation des sites d'exploitation sélectionnés**

#### Site du Gouvernorat – plage publique :

On pourra noter qu'il existe un site très étendu qui pourrait être dédié à l'implantation d'une usine électrique de forte capacité. Il s'agit du terrain dit de la RVA (Régie des Voies Aériennes) du quartier Katindo (cf. figure ci-dessus). C'est un terrain d'Etat de grande dimension situé à proximité du centre ville et du principal transformateur entre la haute tension (110 kV) de la ligne provenant de la Ruzizi et les lignes moyennes tensions (15 kV) d'acheminement vers les quartiers de la ville. Le choix de cet emplacement impliquerait néanmoins la construction d'un gazoduc de 2 km pour acheminer le gaz depuis la plage publique. A noter que le transformateur 110 kV – 15 kV se trouve à moins d'un km du terrain RVA au départ de la route vers Saké. L'électricité produite par l'usine pourrait donc être acheminée directement vers le transformateur sans passer par la ligne 110 kV.

Nous pensons qu'il serait souhaitable de trouver un terrain à proximité immédiat du point d'arrivée du gazoduc au rivage. Sur la figure ci-dessous nous avons indiqué deux terrains

non construits se trouvant à quelques centaines de mètre de l'emplacement d'arrivée du gazoduc.



**Emplacements possibles pour l'implantation d'une usine électrique  
(terrains en clair sur la figure)**

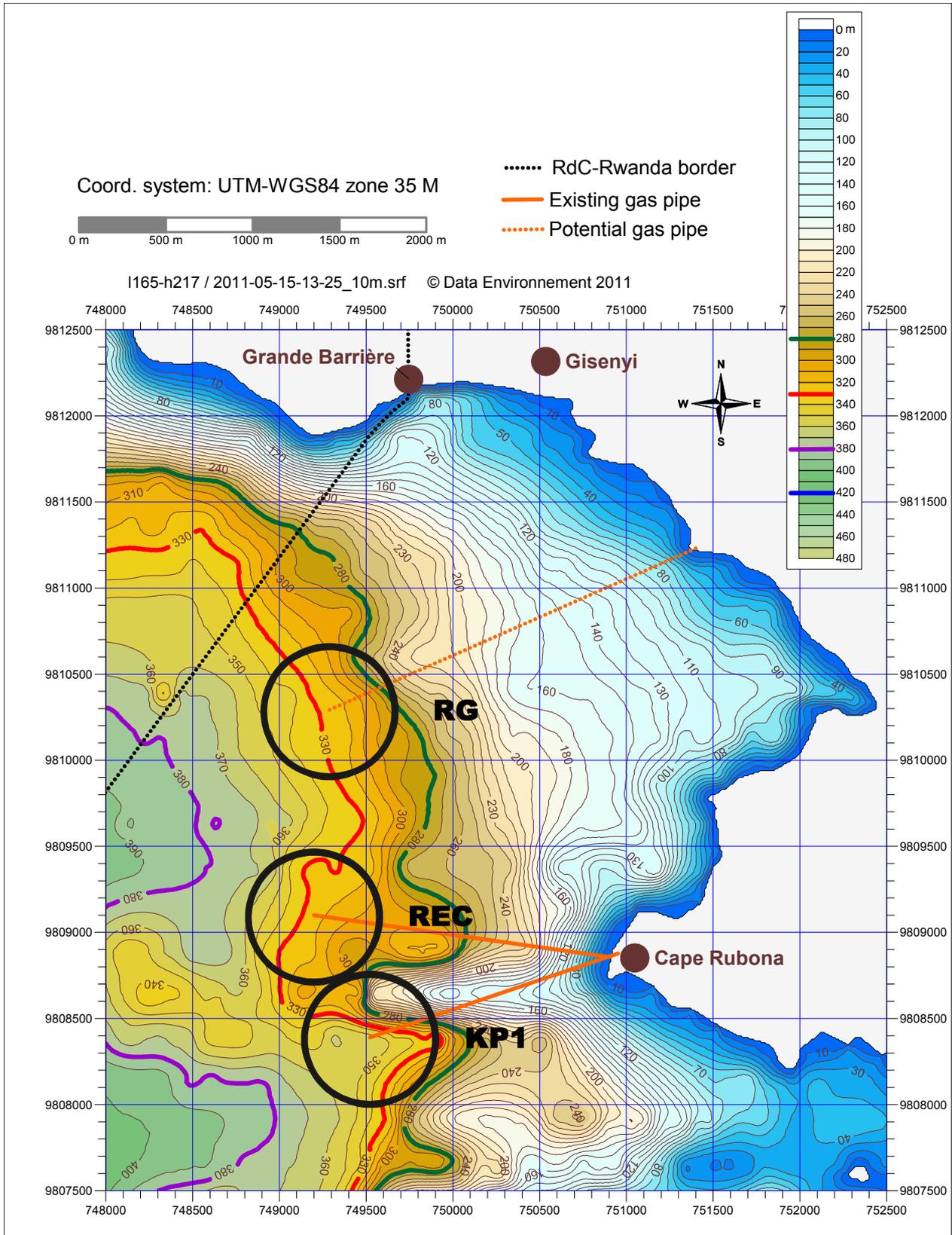
**Site du Port Kituku :**

L'emplacement d'une usine ne devrait pas poser de problème. Il existe de nombreux terrains non construits dans cette zone. A noter l'ancienne usine de torréfaction du café SOTRAKI qui se trouve à proximité immédiate de Port Kituku.

Par contre, la ligne 110 kV est plus éloignée de ce site que du précédent.

## ZOOM GOLFE DE GISENYI

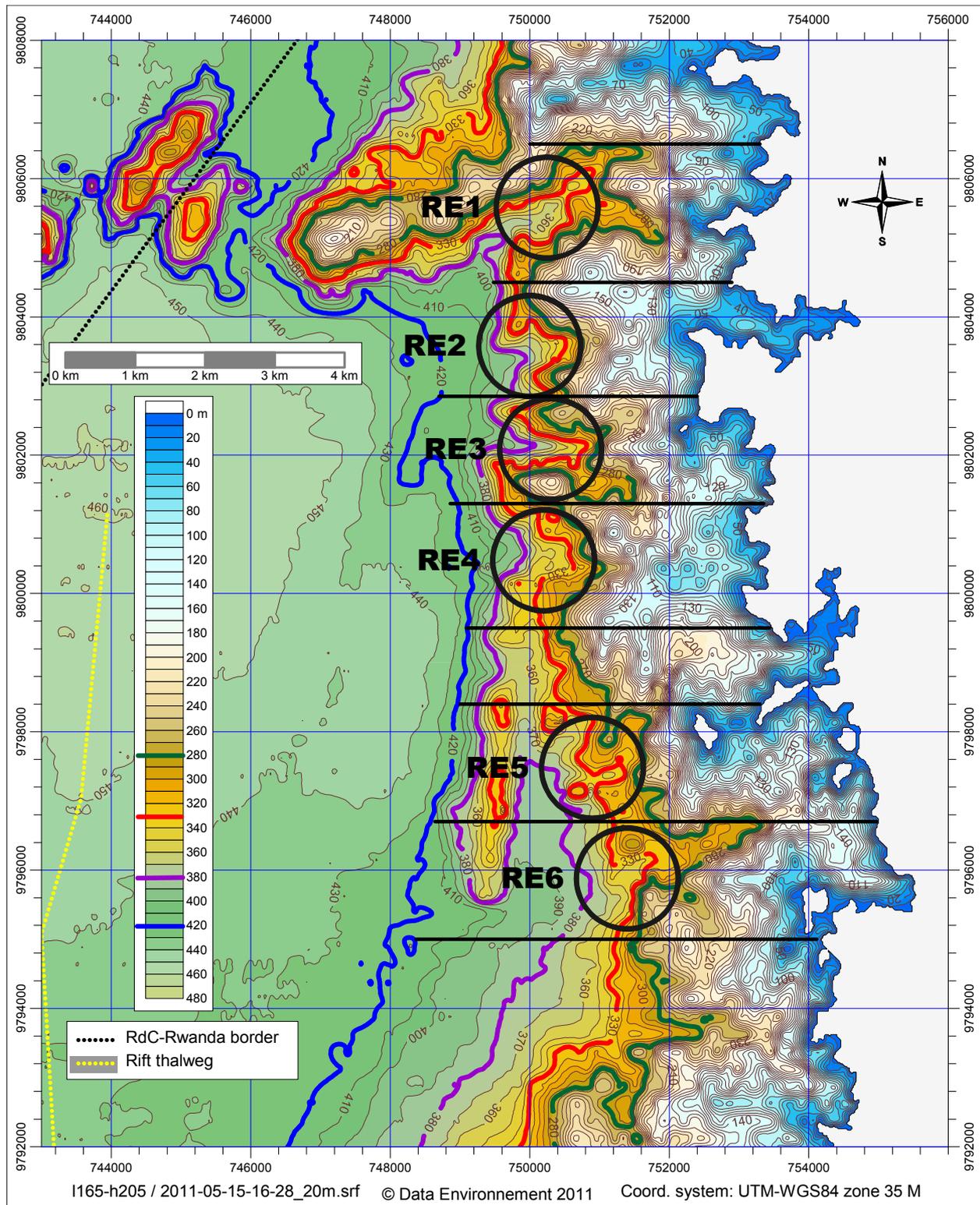
Nous avons placé sur la carte bathymétrique ci-dessous les deux stations existantes (KP1 et REC). Le site RG a été ajouté parce que situé dans une zone de la ville de Gisenyi qui n'est pas encore fortement urbanisée.



## COTE EST DU LAC AU RWANDA

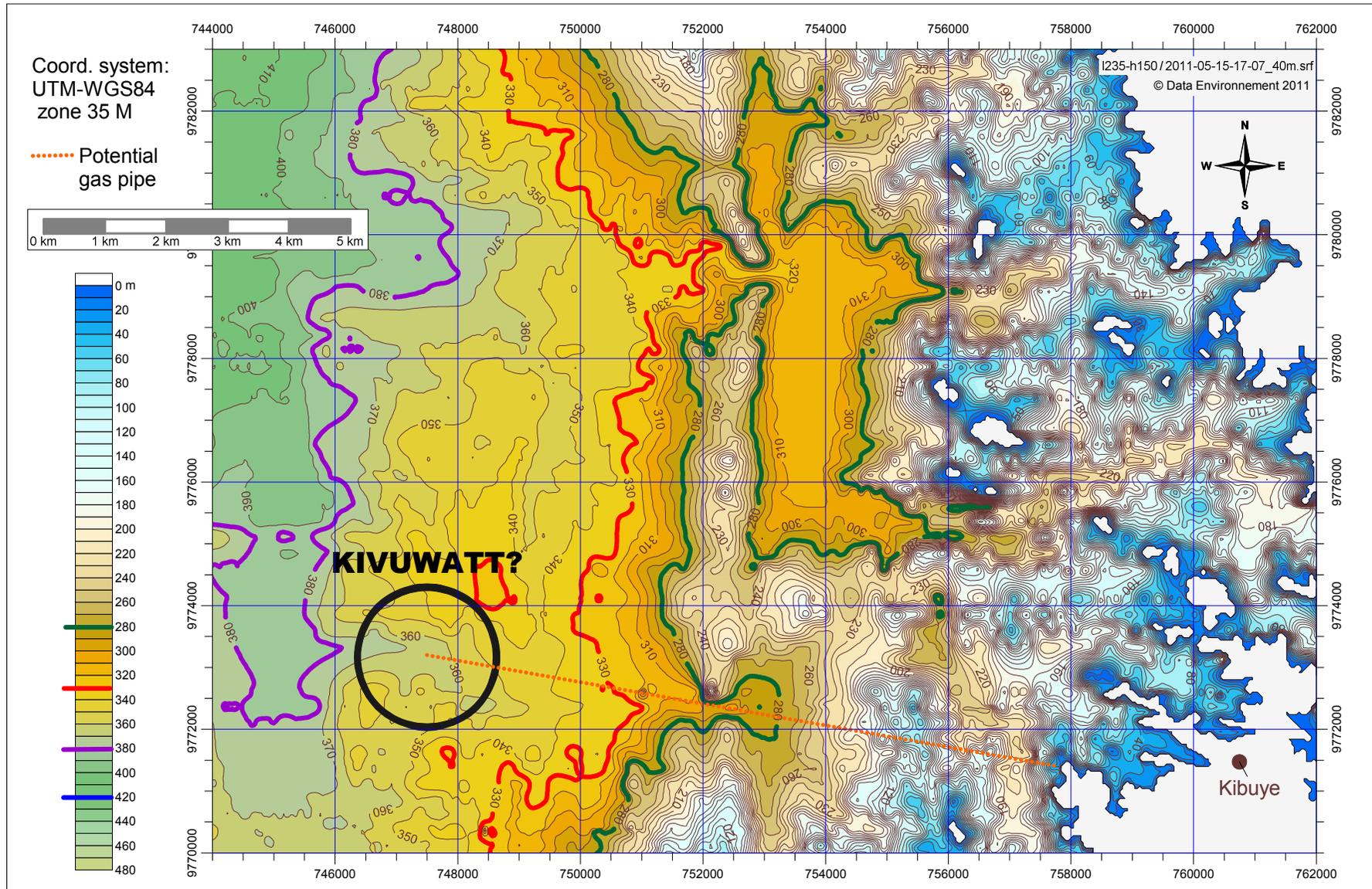
Le choix des sites de concessions sur la côte Est du lac est relativement complexe. Il s'agit en effet d'une côte extrêmement découpée et qui présente des baies qui s'enfoncent profondément dans les falaises qui bordent le lac. Nous avons relevé six sites (repérés par les notations de RE1 à RE6) qui pourraient être intéressants mais nous insistons sur le fait qu'il serait indispensable, avant de faire un choix, de vérifier la bathymétrie locale sur ces sites au moyen de sonars à haute résolution.

Notons qu'une route côtière est actuellement en construction et que quelques petites sociétés exploitent le café sur cette côte.



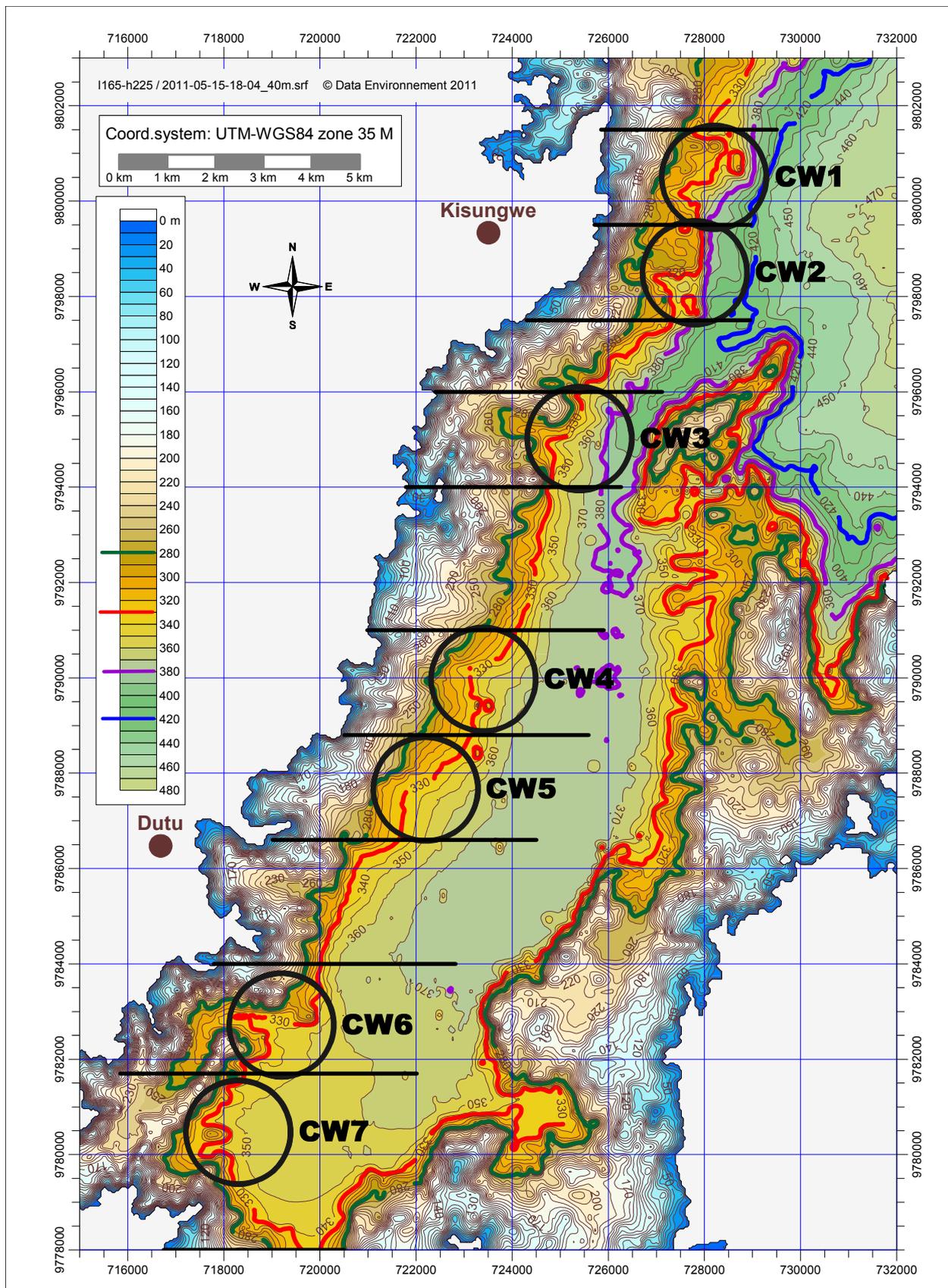
## SITE DE KIBUYE

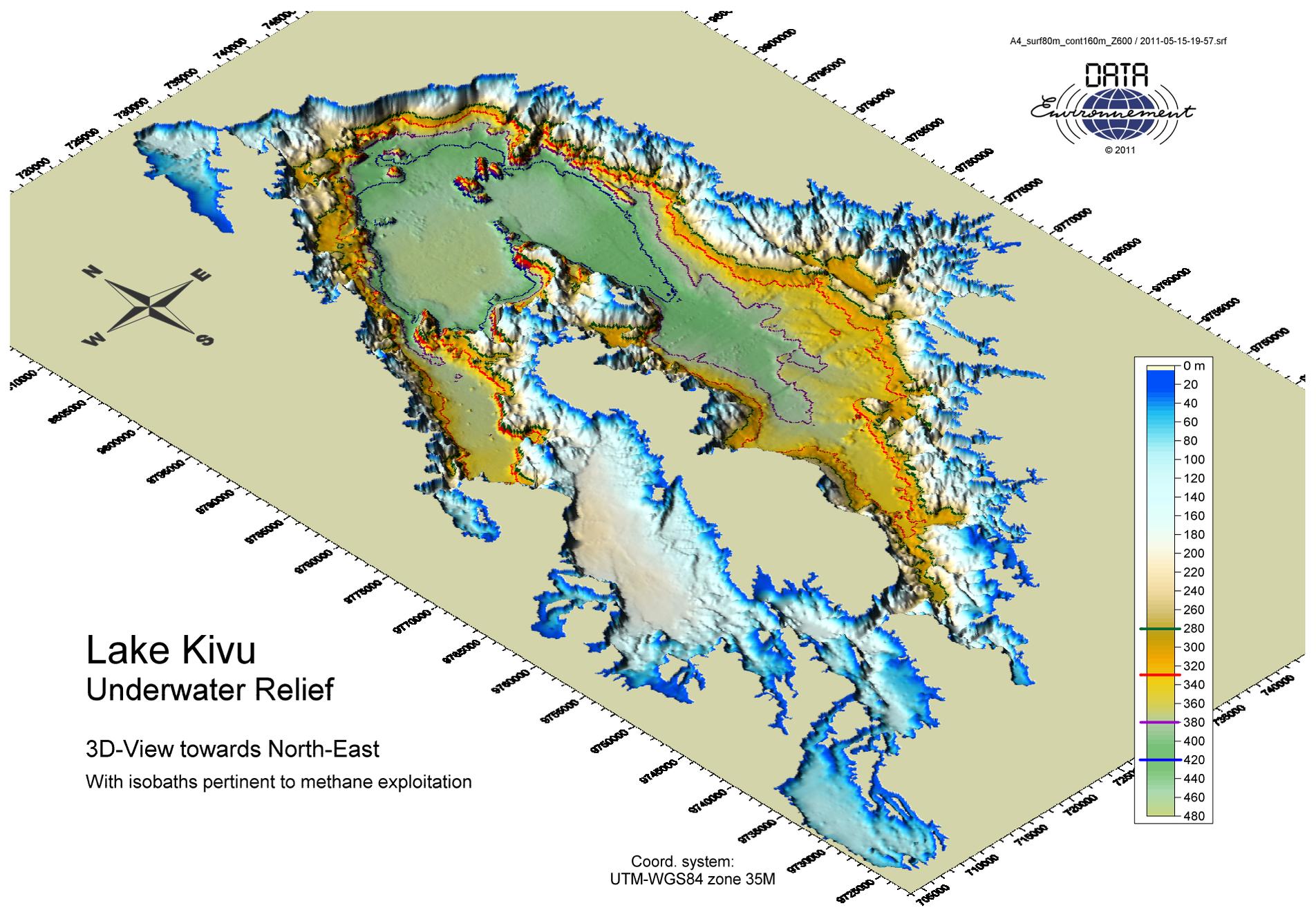
Le site de Kibuye étant situé plus au sud dans le lac, l'accès aux couches profondes est plus éloigné du rivage (> 10 km pour atteindre la profondeur de 350 m). Nous avons porté sur la carte l'emplacement du site supposé de la station de KivuWatt (en construction)



## COTE OUEST DU LAC EN RDC (ENTRE NYAMASASA ET KANIAPINGA)

Ces sites notés de CW1 à CW7 ont été sélectionnés par rapport à la proximité de la route nationale N2. Nous pensons que ces sites pourraient un jour être utilisés par des usines de traitement de minerais, très gourmandes en énergie : la province du Sud Kivu est riche en minerais de haute valeur (Colombo-tantalite, Wolframite, cassitérite, Or, ...)





# Lake Kivu Underwater Relief

3D-View towards North-East  
With isobaths pertinent to methane exploitation

Coord. system:  
UTM-WGS84 zone 35M

# Lake Kivu Underwater Relief

3D-View towards North-West

With isobaths pertinent to methane exploitation

