



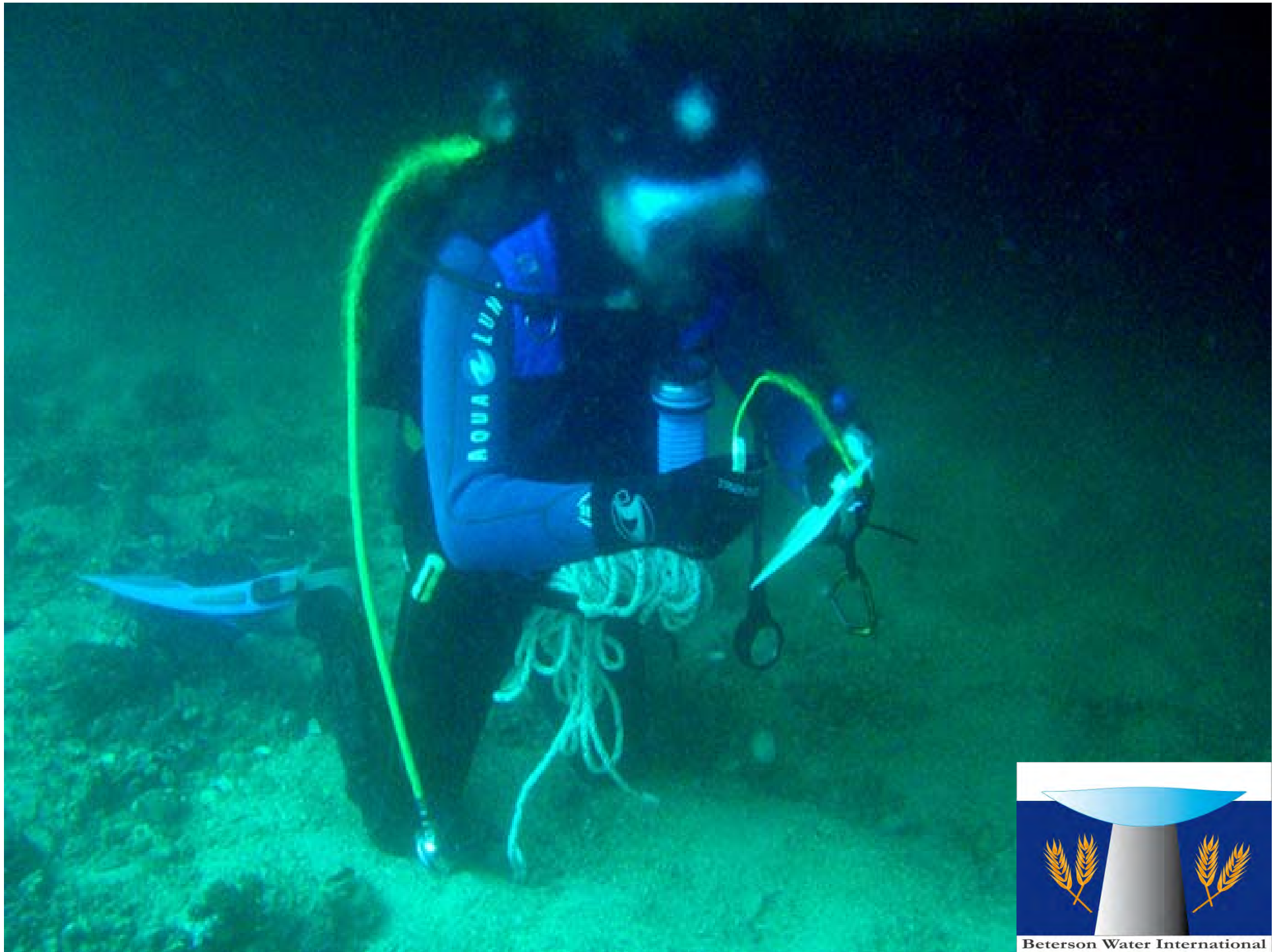
Beterson Water International

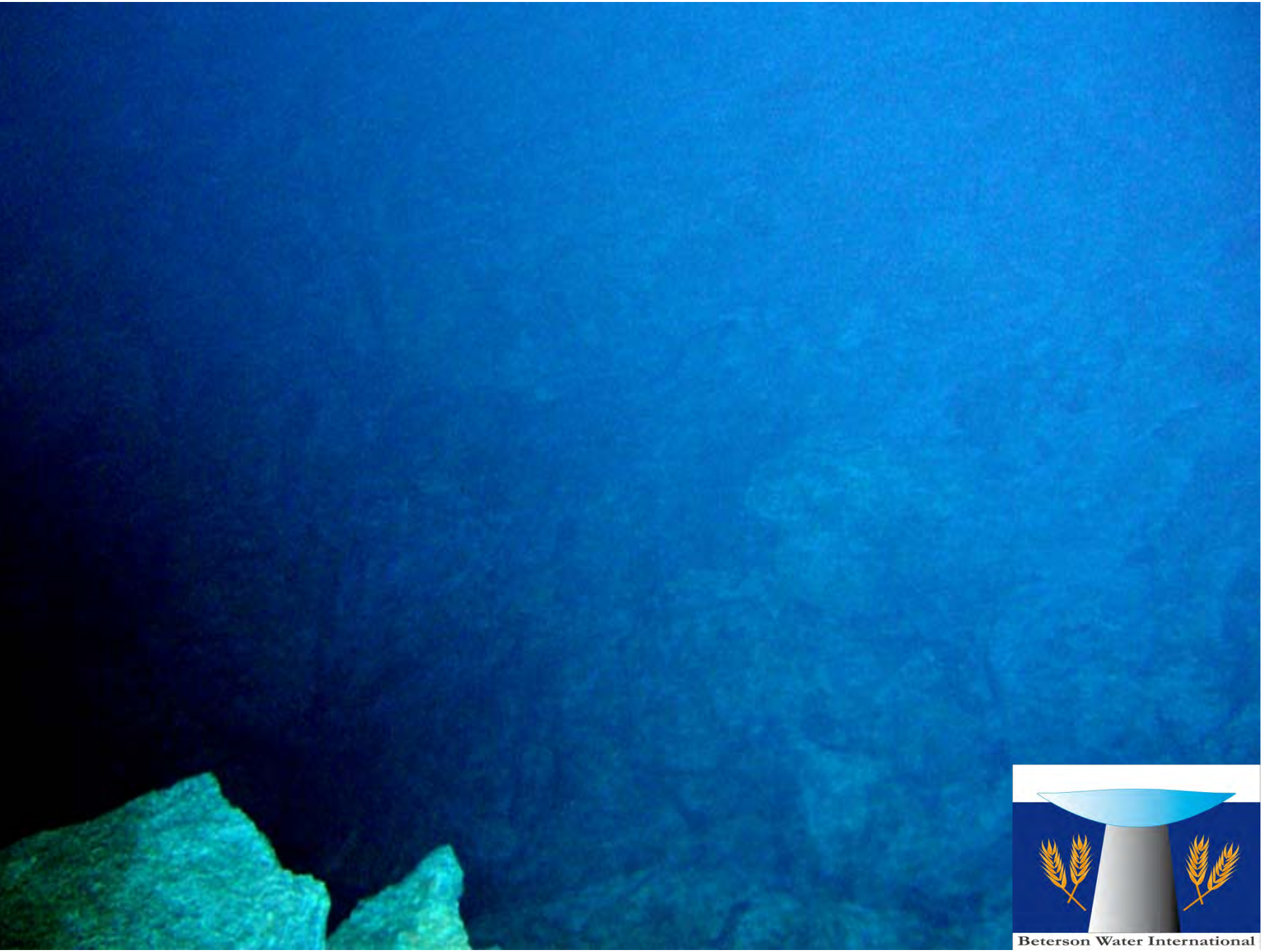








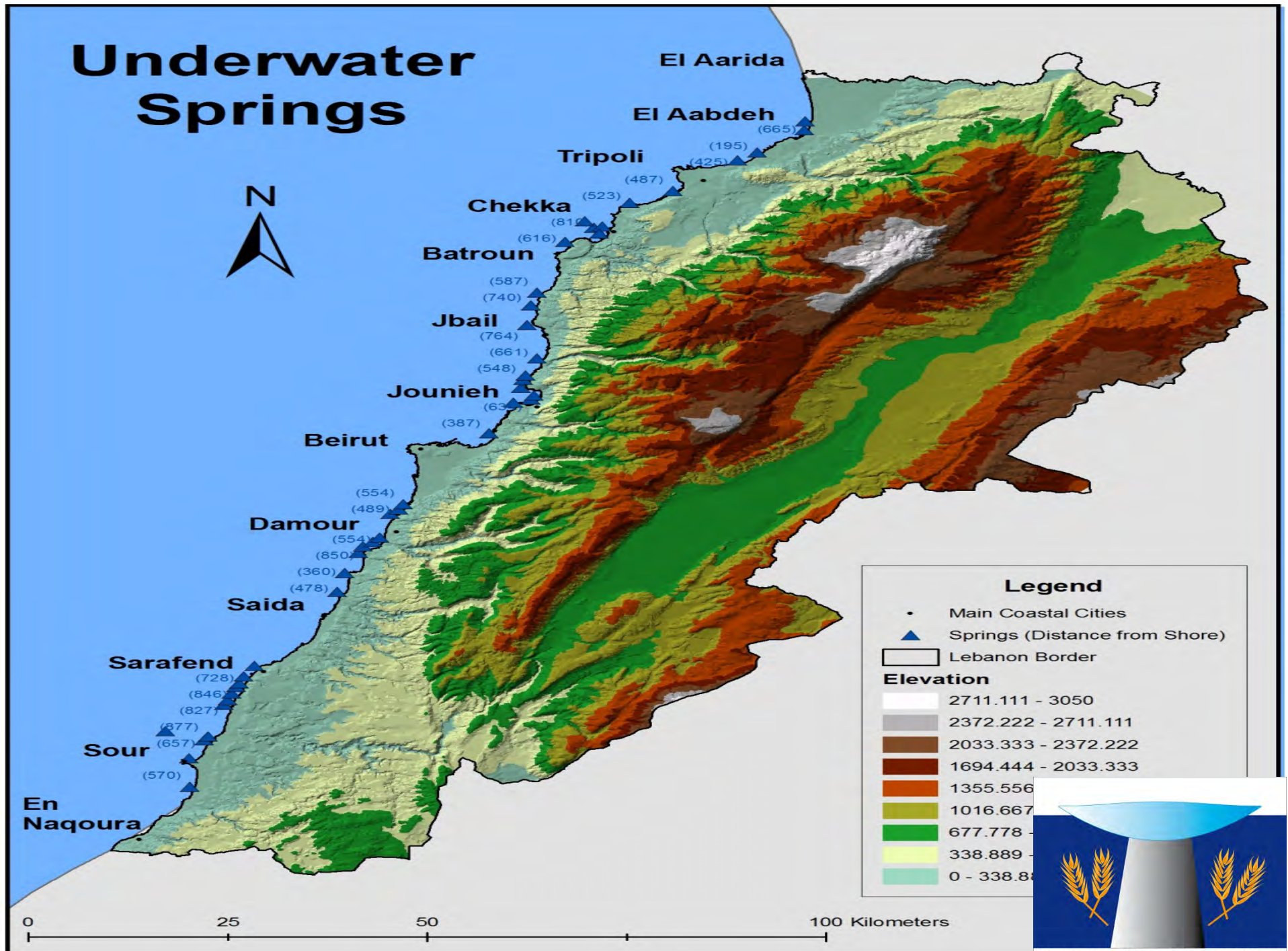








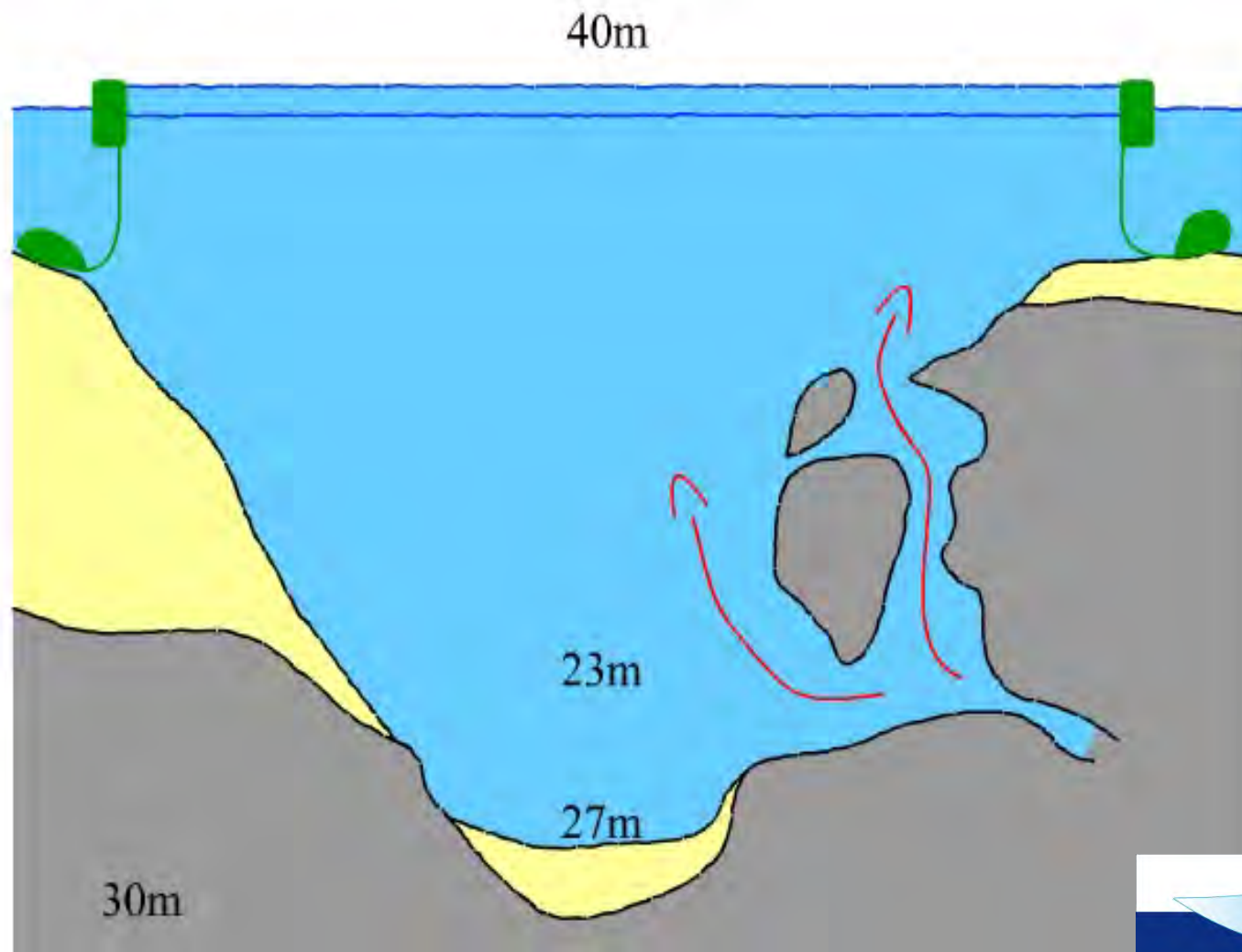
Underwater Springs



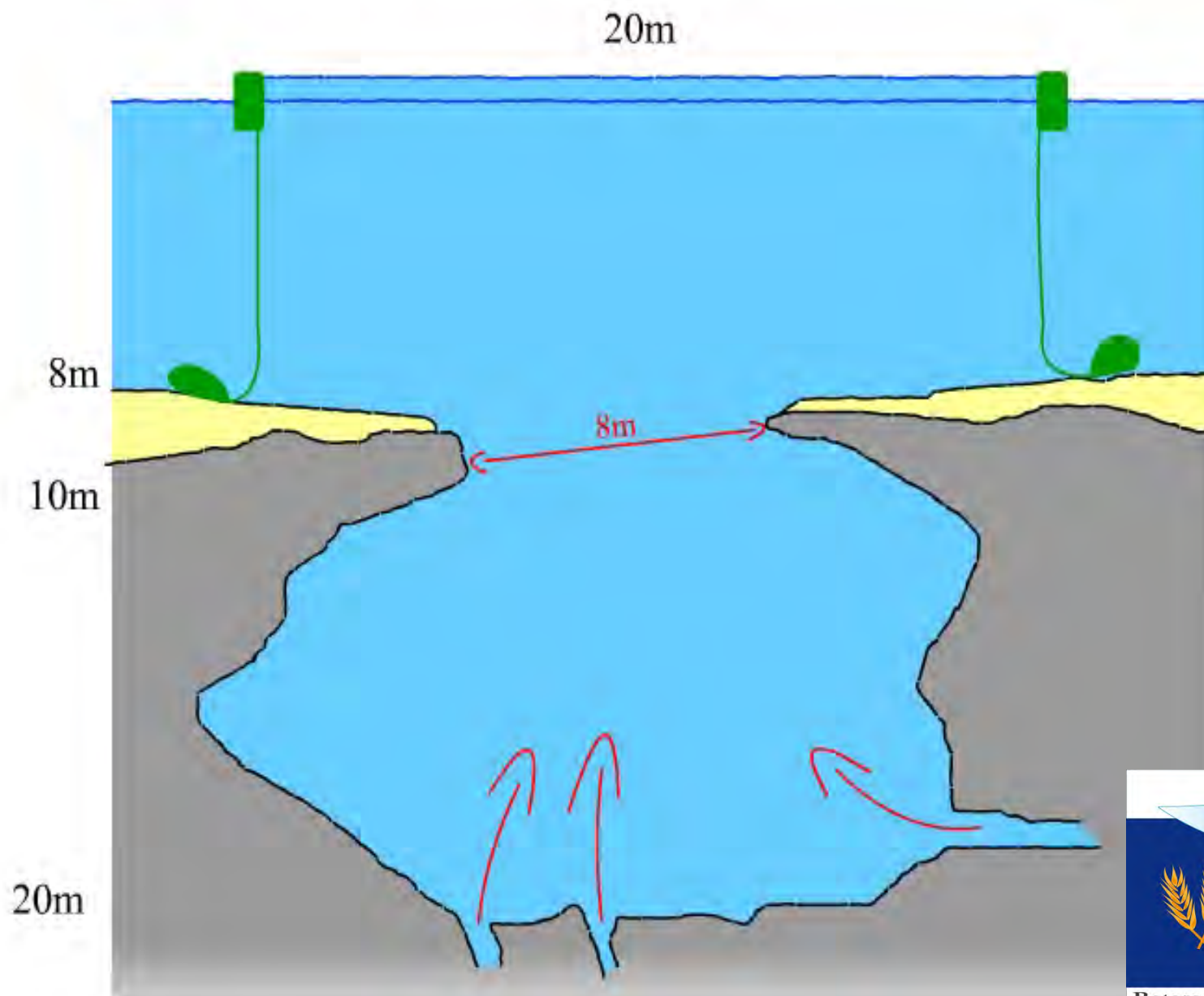


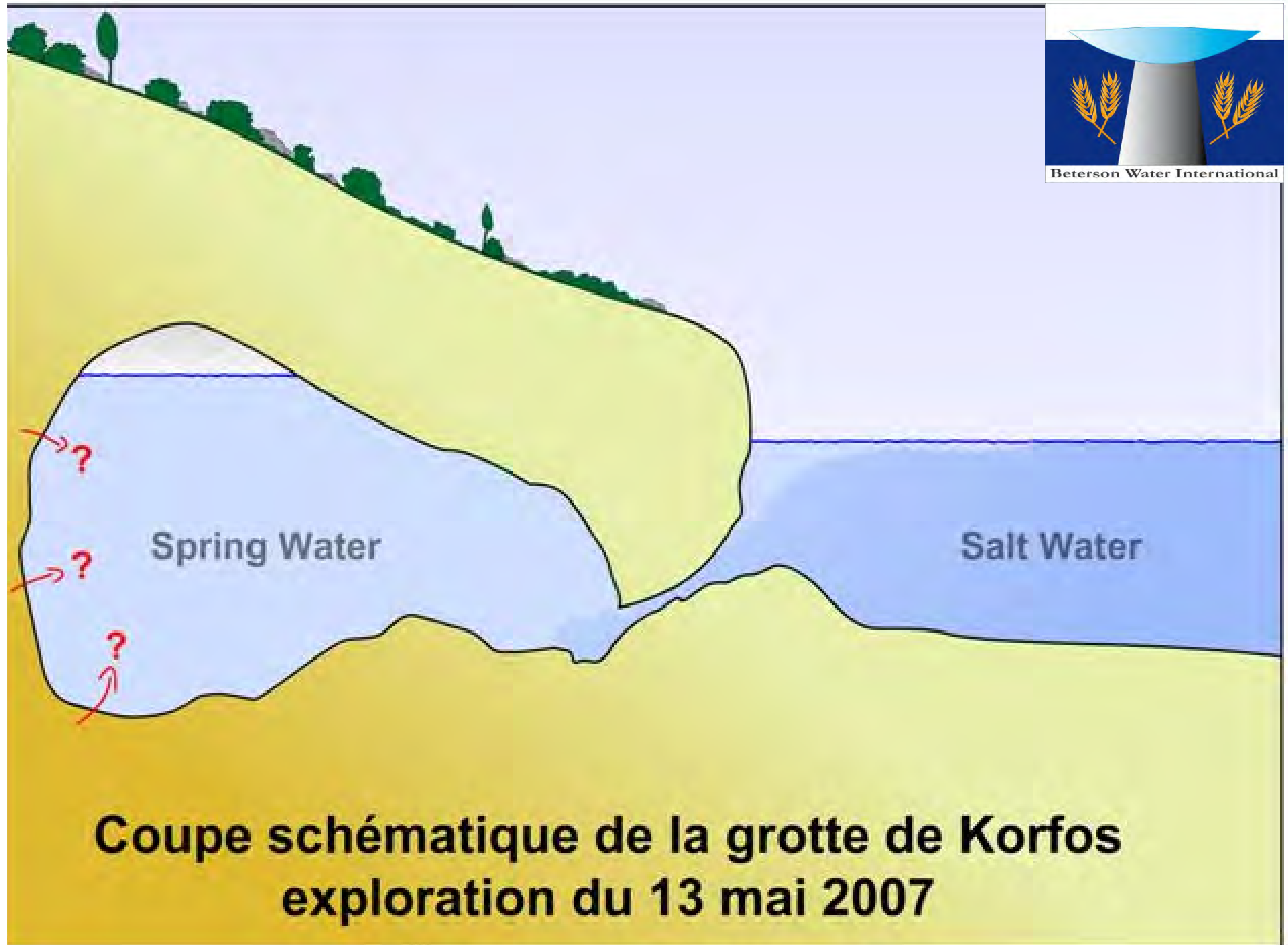


STOUPA Nord

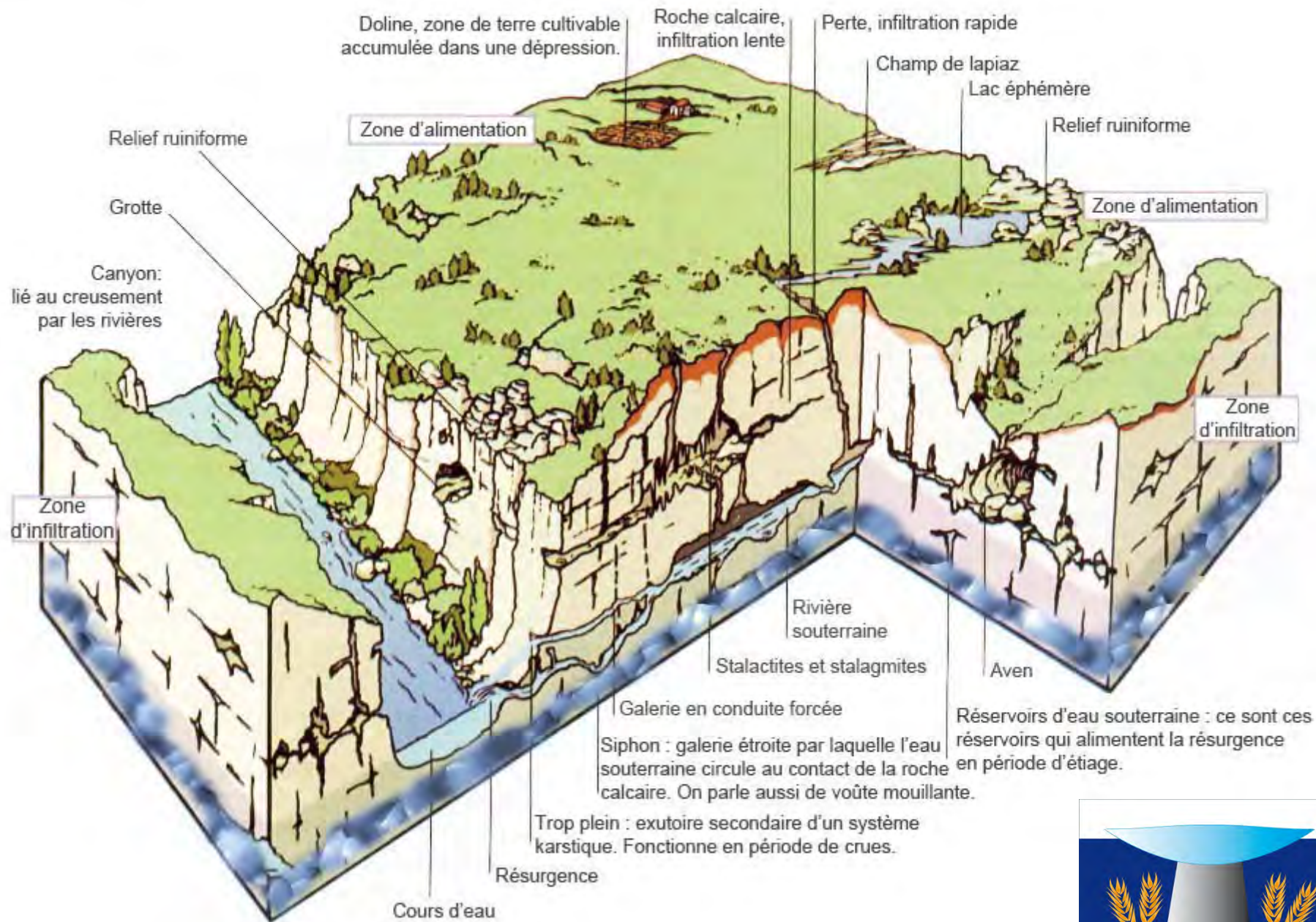


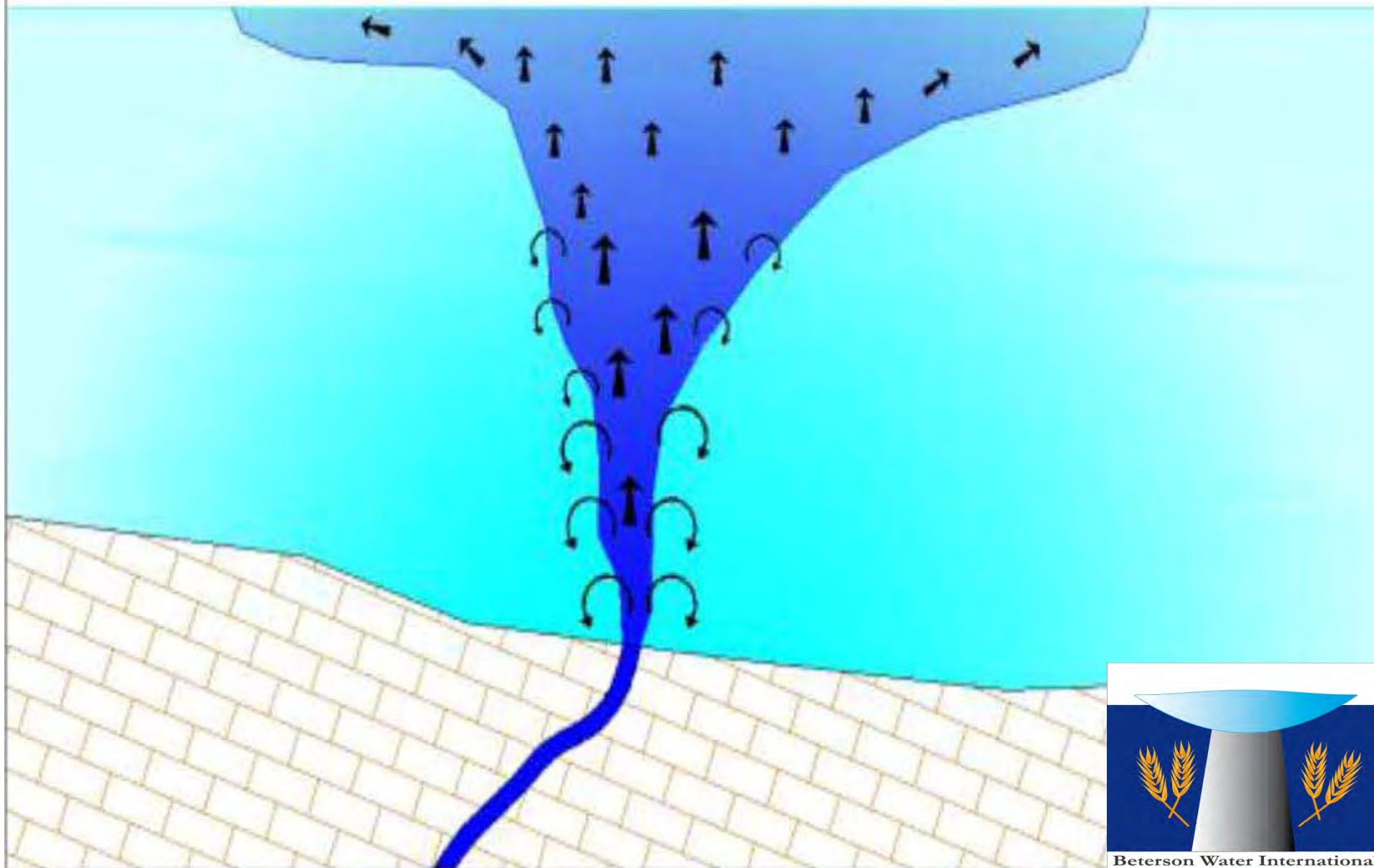
STOUPA Sud



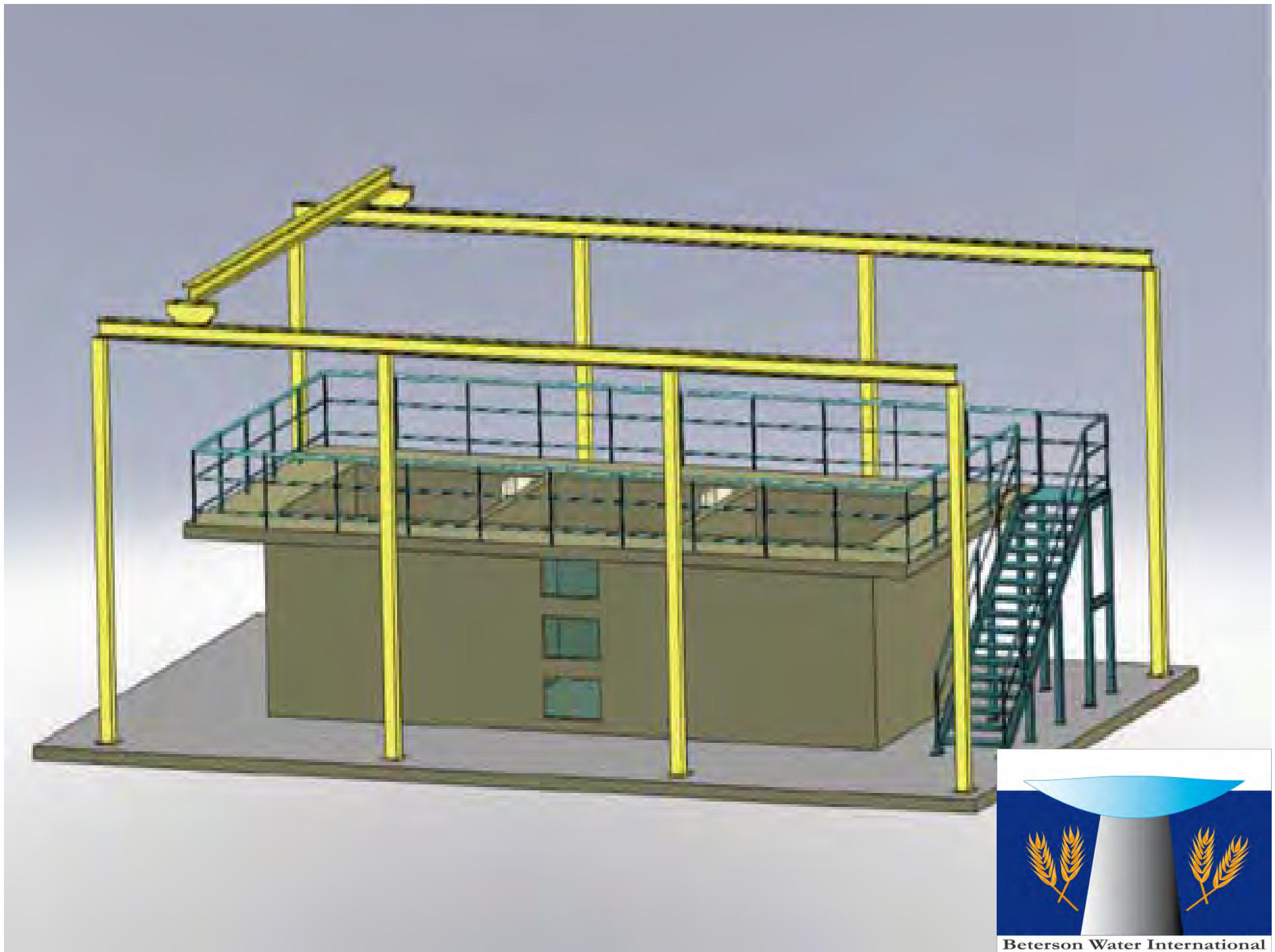






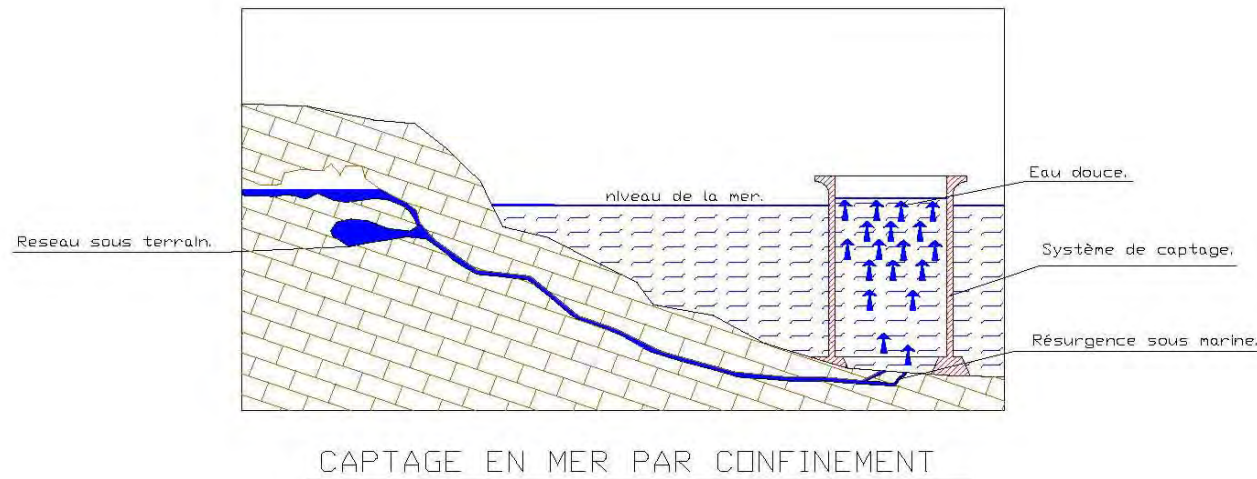








Principe de la methode de captage



1. Nécessité d'une barrière physique entre l'eau douce et l'eau de mer
2. Contrainte impérative de ne pas rompre l'équilibre naturel de l'écoulement

- ➡ Mise en œuvre d'une enceinte étanche avec contrôle des sorties
- ➡ Contrôle du niveau d'eau douce pour reproduire la charge hydraulique naturelle
- ➡ Enceinte suffisamment large pour laisser s'épanouir le jet en sortie



Locations for exploiting freshwater from the sea

Limestone coasts where Karst channels are flowing into the sea

Coasts with diffuse groundwater outflow

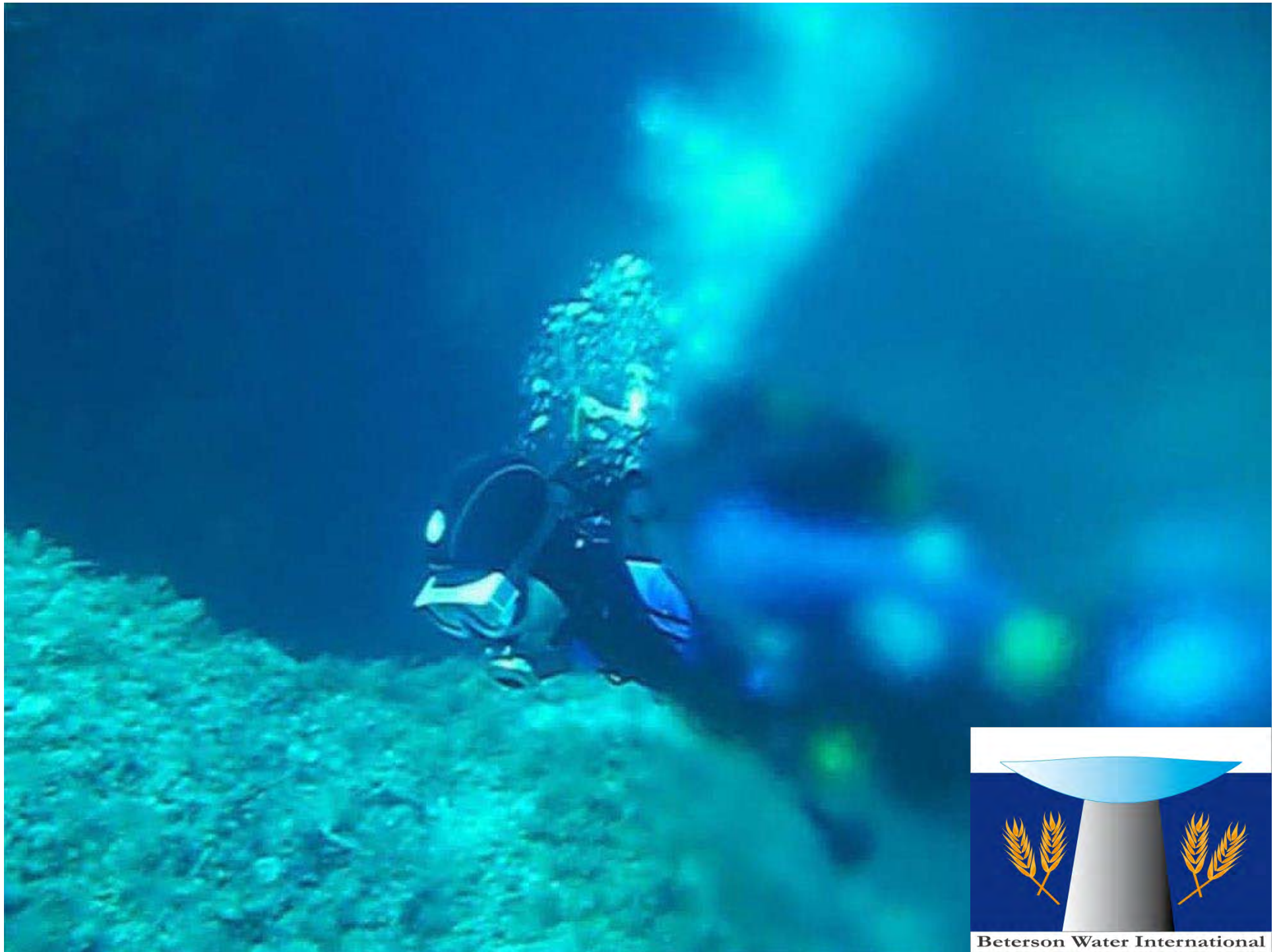
Coasts with fractured rocks

Volcanic Coasts with lava tubes

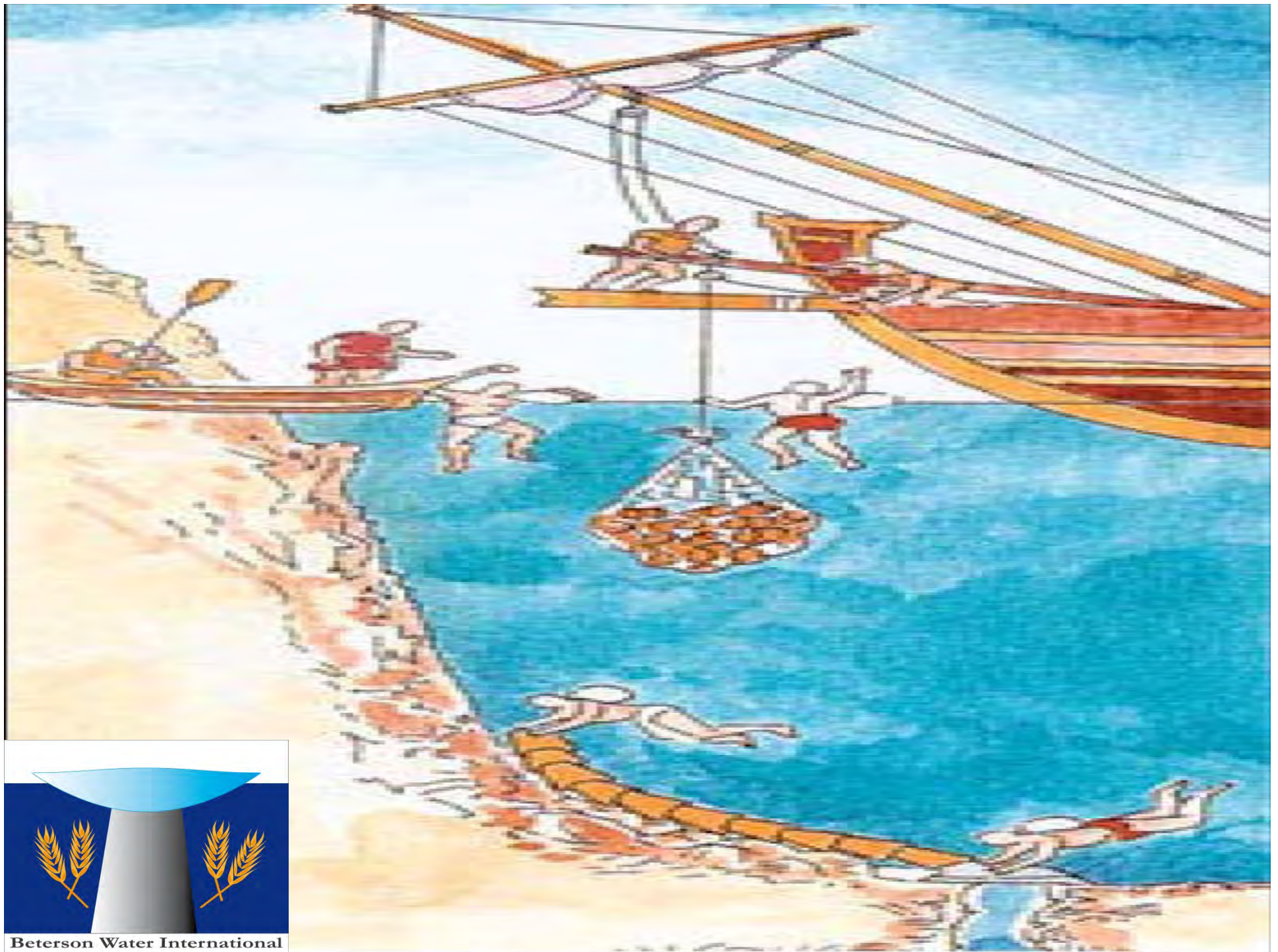


Beterson Water International









BETERSON WATER^{Technologie}



L'EAU



Beterson Water International

BETERSON WATER^{Technologie}



UNE RESSOURCE RARE



Beterson Water International

Quelle quantité d'eau sur terre?

Approximativement 1385 millions de kilomètres cubes d'eau sont disponibles sur Terre.

97,5% de l'eau est de l'eau salée et se trouve dans les océans.

Seul 2.5% est de l'eau douce qui peut être utilisée par les plantes, les animaux, les êtres humains.

Cependant, presque 90% de cette eau douce n'est pas directement disponible car elle se trouve dans les calottes glacières de l'antarctique.

Seul 0.26% de l'eau sur terre est disponible pour l'homme et les autres organismes vivants, ce qui représente à peu près 93000 kilomètres cube.

Seul 0.014% de cette eau peut être utilisé pour la production d'eau potable, car elle est principalement stockée sous forme de nuage ou dans le sol.





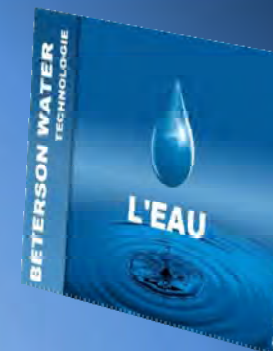
et ... pour les hommes?

L'augmentation de la population mondiale implique une augmentation de l'utilisation de l'eau et donc moins d'eau disponible par personne. En 1989 il y avait environ 9000 mètres cube d'eau douce disponibles par personne. En 2000 ce chiffre était descendu à 7800 mètres cube et il est prévu qu'il tombe à 5100 mètres cube par personne en 2025, quand la population mondiale devrait atteindre 8 milliards d'habitants.



On utilise déjà plus de la moitié de l'eau douce accessible, et on devrait en utiliser presque les 3/4 d'ici 2025. Au cours du 20ème siècle, l'utilisation d'eau annuelle mondiale est passée de 300 km³ à à peu près 2 100 km³

La raréfaction de la ressource impose la recherche de nouveaux gisements



**Nécessité de trouver
des
approvisionnements**



**Des
approvisionnements
raisonnés**



**En termes financiers
autant qu'écologiques**



Beterson Water International

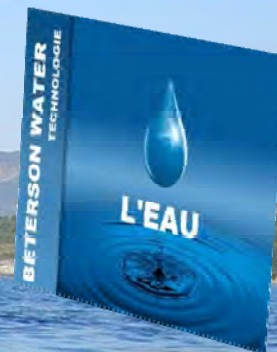


QUELLES SOLUTIONS EN MILIEU LITTORAL ?





Beterson Water International



LES RÉSURGENCES MARINES : LE CAPTAGE D'EAU DOUCE EN MER

LE CAPTAGE D'EAU DOUCE EN MER : UNE ALTERNATIVE DURABLE

Les sources sous-marines sont pour la plupart connues depuis longtemps des pêcheurs et marins. La mer change d'aspect dans leur voisinage, à cause des différences de densité entre eau douce et eau de mer, et aussi à cause des variations de leur débit.

Les ressources en eau douce souterraine représentent d'importantes réserves potentielles mais technologiquement limitées dans leur exploitation par forages.



Si les forages sont inefficaces, comment récupérer cette eau ?



Les systèmes karstiques sont composés de gigantesques cavités, dont le creusement résulte de l'action des eaux de pluies qui dissolvent, sur des périodes de millions d'années, le calcaire et forment ainsi des cavités liées les une aux autres pour former un réseau réparti de manière aléatoire, non modélisable.



Dans un système karstique donné, dès lors que le niveau de la cavité submergée d'eau douce se situe suffisamment au-dessus du niveau de la mer, les conduits du réseau sont remplis d'eau douce et, c'est la pression même de cette eau qui permet de repousser l'eau de mer et de faire jaillir l'eau douce sous le niveau marin, sous forme de résurgences.

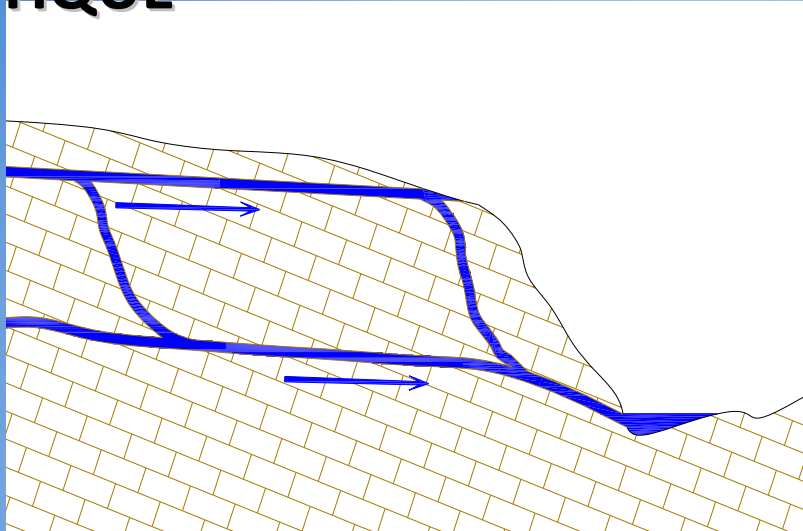
Il existe toutefois des configurations favorisant l'intrusion saline dans le réseau, qu'il convient de qualifier et maîtriser.

Une étude de la FAO datant de 1962 estime que de l'eau d'origine karstique se déverse selon un débit de 1 000 m³/s dans la Méditerranée, soit une quantité journalière d'eau douce se perdant en mer de plus de **90 millions de m³**.

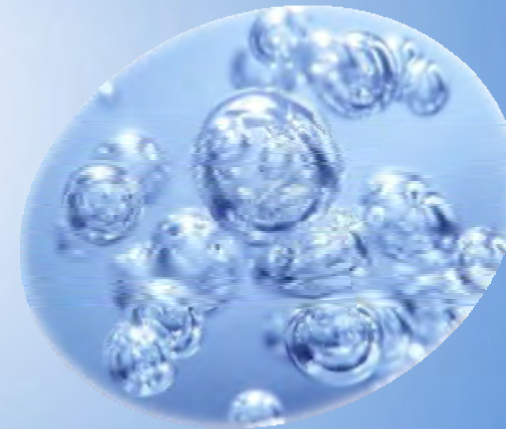


Beterson Water International

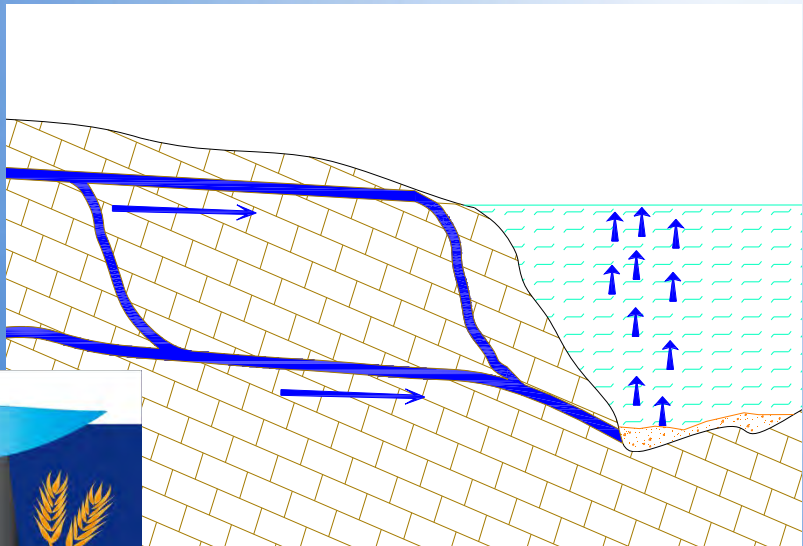
D'OÙ VIENT CETTE EAU ? : LA FORMATION D'UN RÉSEAU KARSTIQUE



Ruissellement des eaux de pluie à une époque où le niveau de la mer était beaucoup plus bas qu'aujourd'hui



Remontée du niveau d'eau
Apparition de résurgences d'eau douce



QUEL EST LE PRINCIPE DU CAPTAGE ?



Les résurgences naturelles d'eau douce au fond de la mer se comportent physiquement de façon similaire aux rejets d'eaux usées en sortie d'émissaire de station d'épuration.

Dans les deux cas, il s'agit d'un rejet d'eau de densité sensiblement plus faible que celle de l'eau de mer qui pénètre le milieu marin. L'interaction entre les deux liquides,

qui a fait l'objet de nombreuses études de dispersion de panaches de rejet en mer, est aujourd'hui un phénomène bien maîtrisé.

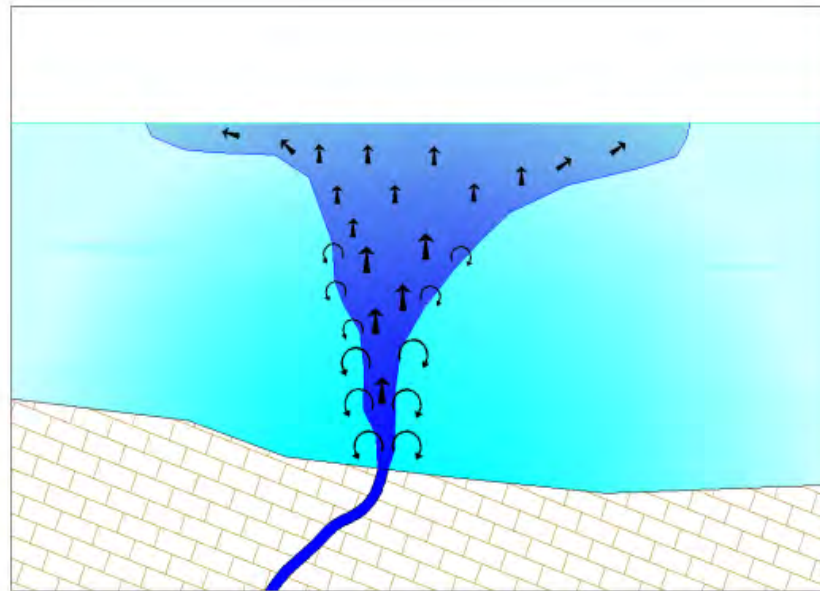


Schéma de principe d'une remontée de panache d'eau douce



QUEL EST LE PRINCIPE DU CAPTAGE ?

A quelques dizaines de mètres de profondeur, un rejet d'eau douce comme ceux classiquement contrôlés en sortie d'émissaire marin en Méditerranée, sera dilué environ 1000 fois lorsqu'il atteint la surface.



Dans certaines configurations particulières de résurgence naturelle, il est possible de rencontrer de l'eau pratiquement douce en surface. Pour cela, plusieurs conditions doivent être réunies :

1. un débit d'eau douce conséquent (plusieurs m³/s) ;
2. une faible profondeur d'eau limitant le mélange avec le milieu alentour à la remontée ;
3. de faibles courants, c'est-à-dire un emplacement naturellement abrité ;
4. un faible mélange turbulent en sortie au fond (sortie massive sur une large section avec une vitesse modérée).

Même dans ces conditions, une bonne partie de l'eau douce en bordure du panache se charge en sel.

Pour éviter ce mélange qui s'opère naturellement, il est nécessaire de séparer physiquement les deux liquides. Pour séparer l'eau douce pénétrant dans l'eau de mer, il suffit d'effectuer les opérations suivantes :

1. Monter une enceinte étanche autour de la sortie du rejet d'eau douce.
2. Récupérer via une sortie contrôlée tout ce qui pénètre dans l'enceinte.

Au début, on puiserait de l'eau saumâtre issue du mélange avec l'eau de mer initialement confinée dans l'enceinte, puis l'eau douce finirait par envahir entièrement l'enceinte étanche pour s'évacuer vers la sortie contrôlée.

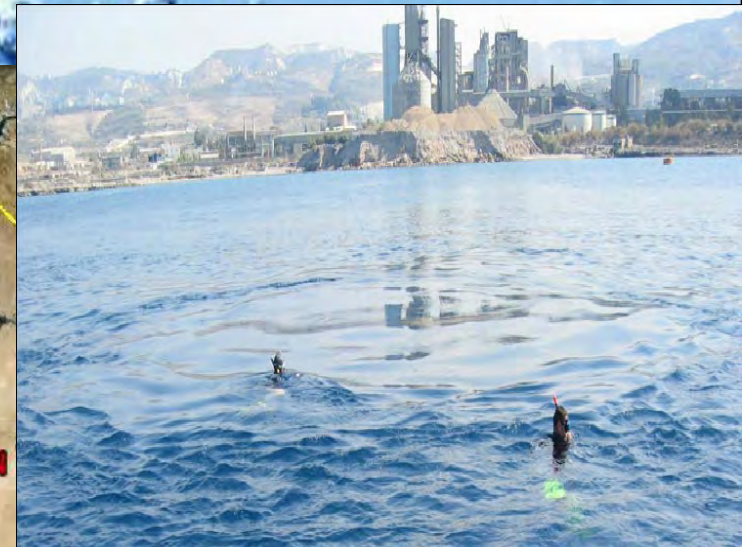
LA RESSOURCE EST DISPONIBLE, MAIS PEUT-ELLE ÊTRE EXPLOITABLE ?

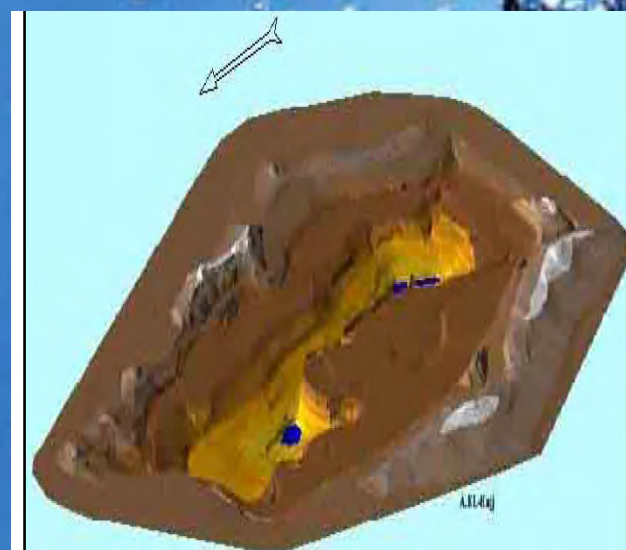
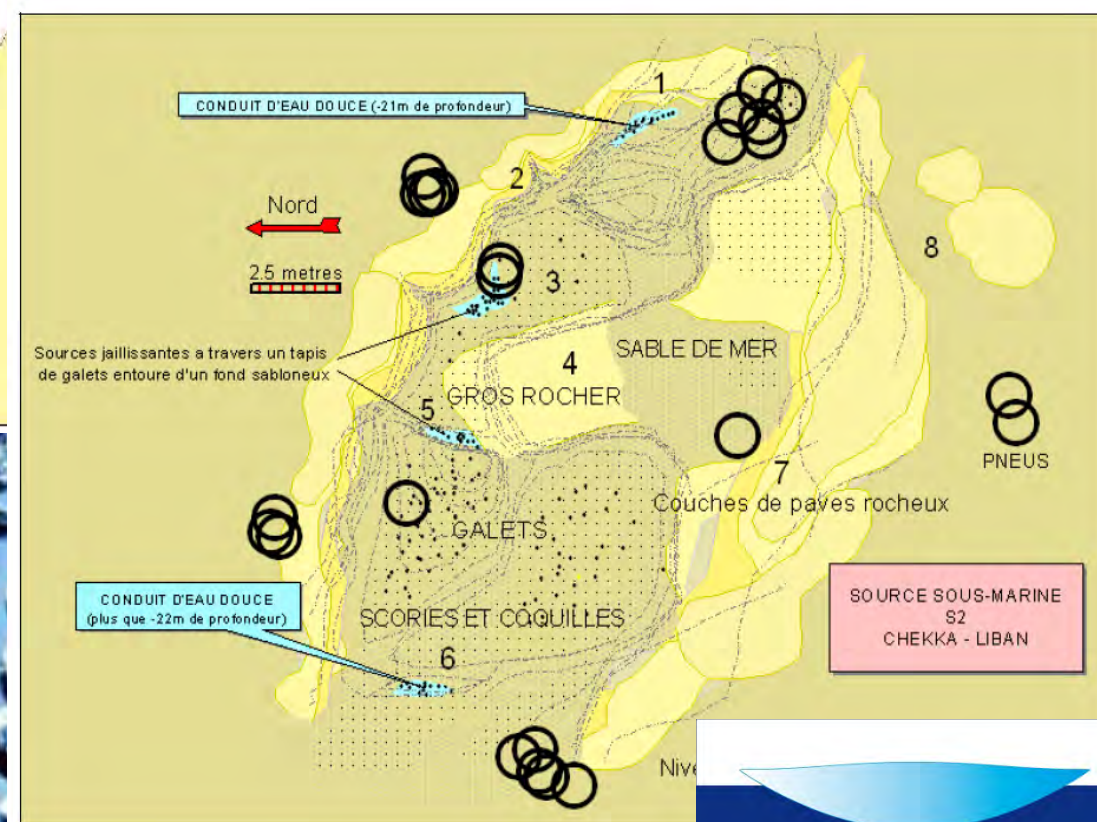
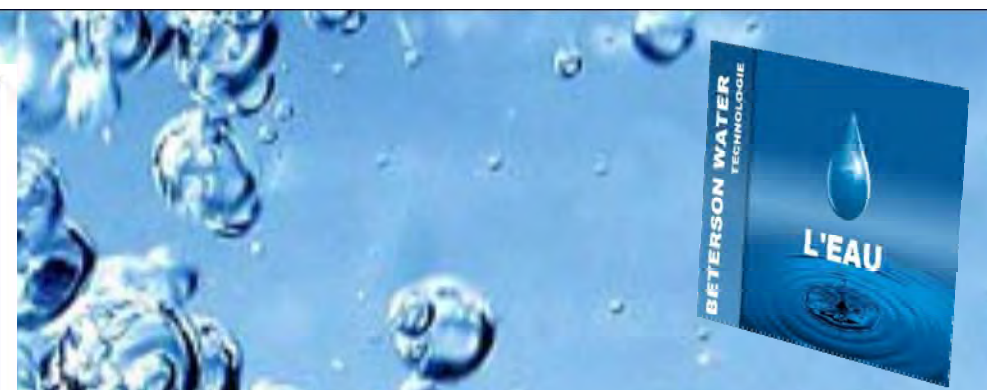
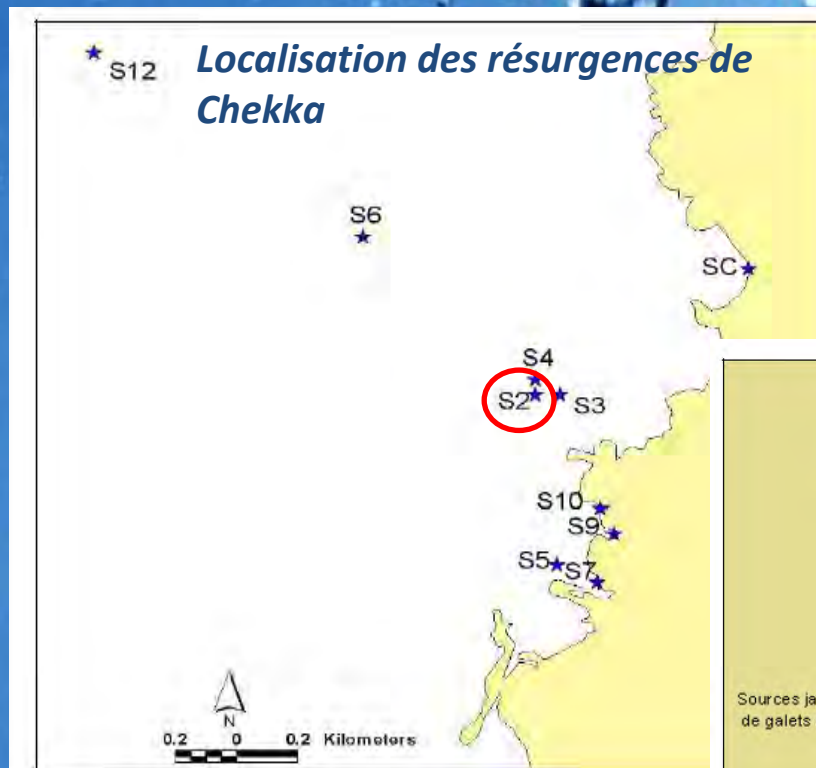


L'exploitation des résurgences marines est possible, l'exemple le plus emblématique se situe en Grèce, sur le site d'ANAVALOS, où la production s'élève à 900 000 m³ par jour , soit



Mais un autre site, CHEKKA, situé au Liban, peut s'avérer stratégique dans l'avenir, tant par son potentiel de production que par la pénurie chronique de ressource dans cette région





Environnement de la résurgence S2



Nous l'avons vu, la simple identification d'une résurgence ne suffit pas à déterminer son exploitabilité. Pour caractériser la fiabilité d'une résurgence, il faut, de manière préliminaire, poser 4 questions essentielles :



1. LA RÉSURGENCE OBSERVÉE EST-ELLE UNE RÉSURGENCE D'EAU DOUCE,
2. OU UN MÉLANGE EAU DOUCE / EAU SALÉE INEXPLOITABLE ?
LA RESSOURCE A-T'ELLE UN DÉBIT STABLE OU SOUMIS À DES VARIATIONS SAISONNIÈRES?
3. QUEL EST LE DÉBIT ANNUEL DE LA RÉSURGENCE ?
4. L'INSTALLATION D'UN CAPTAGE EST-IL SUSCEPTIBLE DE PERTURBER LE RÉSEAU KARSTIQUE ?



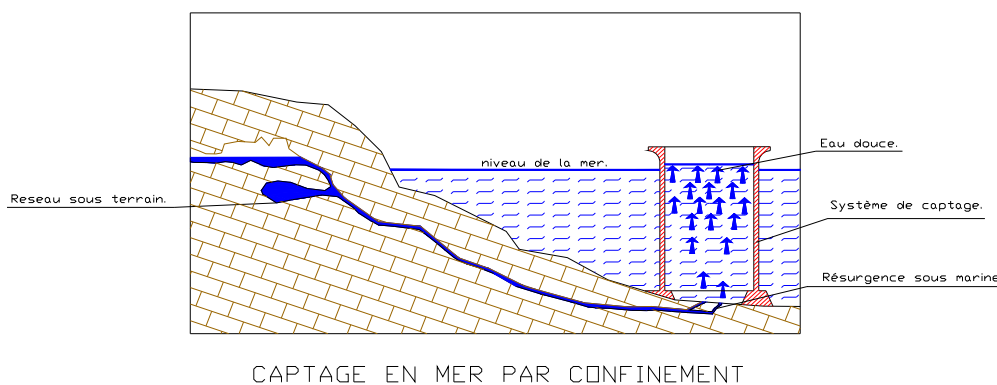
Pourquoi la question de la perturbation du réseau karstique est-elle si importante



Au-delà de la simple volonté de trouver une technique de production d'eau douce alternative, n'ayant pas les effets écologiques préjudiciables du dessalement, l'exploitation d'une résurgence marine ne peut s'entendre que comme une **collaboration** avec le milieu.

IL EST IMPÉRATIF DE NE PAS ROMPRE L'ÉQUILIBRE HYDRAULIQUE NATUREL DU RÉSEAU KARSTIQUE

En effet les phénomènes hydrauliques régulant les résurgences ne permettent pas d'interaction extérieure, au risque de perturber le schéma hydraulique du système (intrusion saline, fuite de l'eau douce vers d'autres sorties, etc.). La conception des solutions de captage doit donc être neutre en terme de fonctionnement hydraulique.



Principe du système de confinement sans perturbation de l'équilibre hydraulique naturel

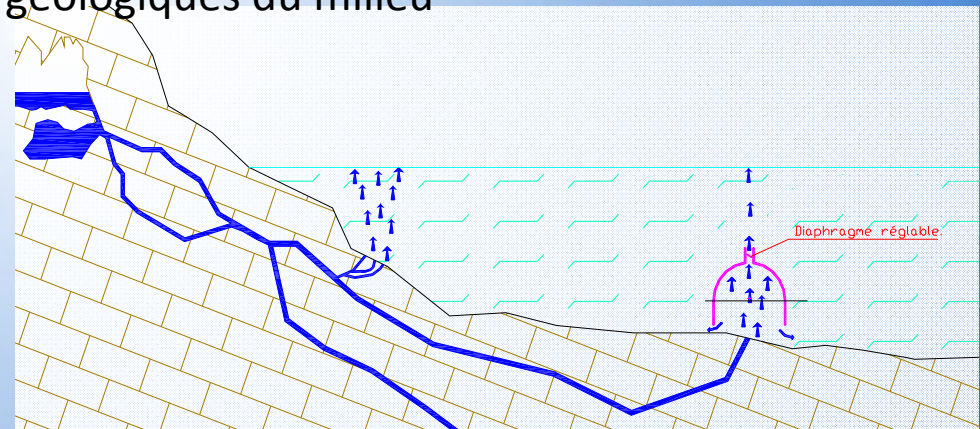


Chekka, un investissement pour le futur

La 1^{ère} étape pour s'assurer de la fiabilité de la résurgence de Chekka et de son potentiel réel en termes de production d'eau douce est de mener des **études préliminaires de caractérisation**. Ce site a déjà fait l'objet d'études, notamment du BRGM, ce qui permet d'avoir déjà certaines données comme le **débit annuel moyen : 2 m³ / s soit plus de 63 millions de m³/an**).

En quoi consistent les études préliminaires de caractérisation ?

1. analyse des données environnementales (houles, vents, courants, bathymétrie, nature des fonds, biologie marine), ainsi que l'analyse des caractéristiques géologiques du milieu karstique.
2. Des campagnes ciblées de mesures IN SITU du débit et de la salinité de la résurgence, au moyen d'une enceinte provisoire de confinement instrumentée, grâce à laquelle on peut recueillir des échantillons d'eau non mélangés en place d'origine.
3. Des campagnes de mesures de débits de mesures sur plusieurs mois pour vérifier les modifications saisonnières de débit et quantifier le débit annuel.



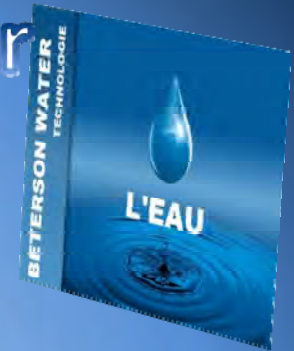
Beterston Water International

Chekka, un investissement pour le futur

Une fois assuré de la fiabilité de la ressource et du potentiel de production, il s'agit, dans une **2^{ème} étape**, de concevoir le dispositif de captage en réalisant des études de conception. C'est lors de cette étape décisive que l'infrastructure et les équipements seront dimensionnés en termes de :

- géométrie,
- structure,
- interaction houle- structure,
- génie civil
- Fonctionnement hydraulique

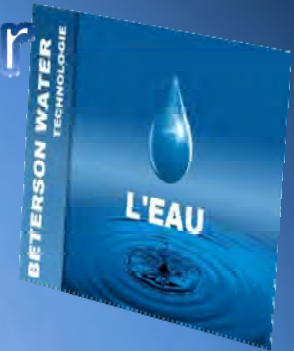
La **3^{ème} étape**, est la construction de l'unité de production et, enfin, la mise en exploitation dans un **4^{ème} temps**.



Beterson Water International

Chekka, un investissement pour le futur

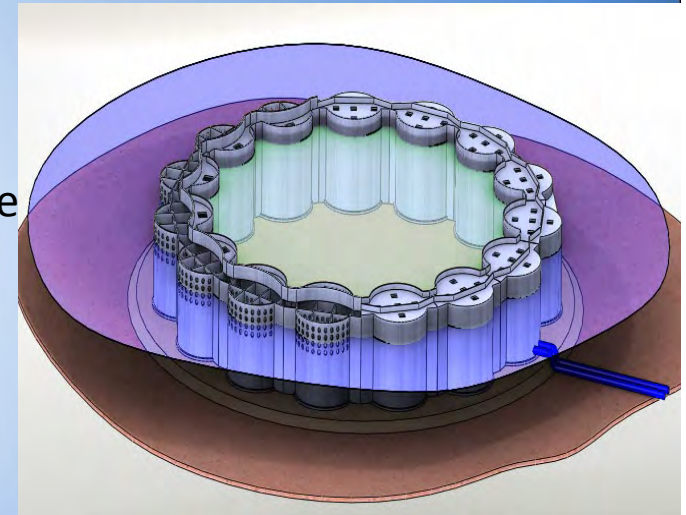
L'avantage de BETERSON WATER est d'avoir déjà développé un concept technique d'unité de captage, issue de la combinaison d'études hydrauliques, hydrodynamiques et de techniques de génie maritime.



L'enceinte est constituée de caissons circulaires modulaires indépendants, autostables dans la houle, juxtaposés et reliés entre eux sur site. Cette installation reprend toutes les fonctions nécessaires à l'exploitation de n'importe quel type de résurgence exploitable tout en s'adaptant aux différentes contraintes.

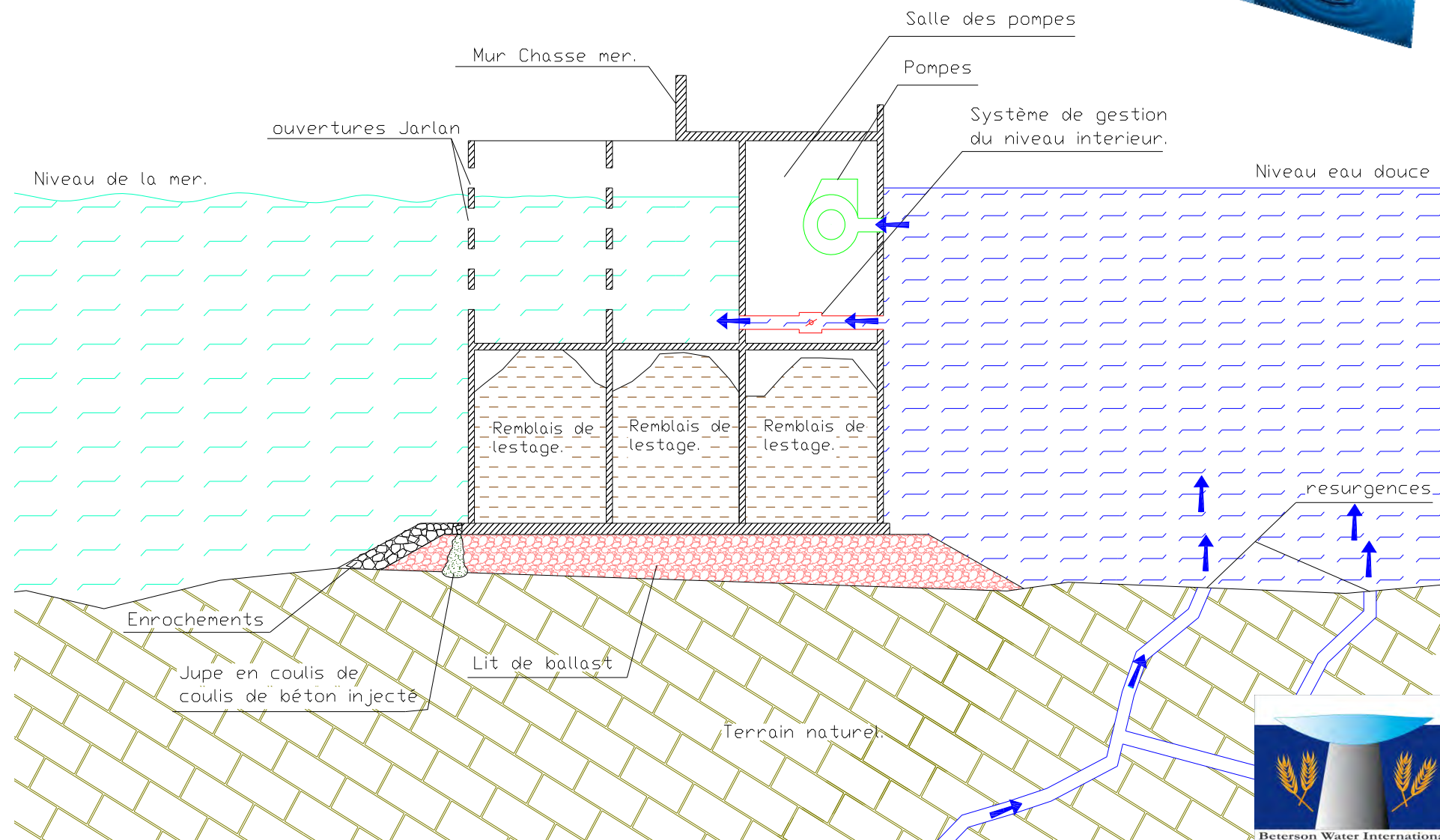
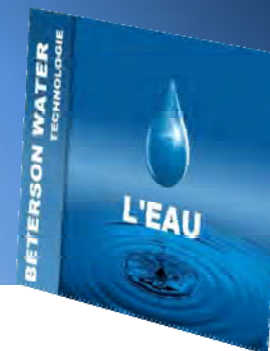
Les fonctions principales de l'ouvrage :

- création d'un bassin tranquillisé dont la forme est adaptée à celle de la résurgence,
- captage de la résurgence,
- accueil des installations techniques, gestion des niveaux d'eau intérieurs, et pompage de l'eau douce,
- protection du bassin contre la houle (stabilité de l'ouvrage et franchissement),
- circulation sur l'ensemble de l'enceinte,
- accueil des bateaux de service.



Chekka, un investissement pour le futur

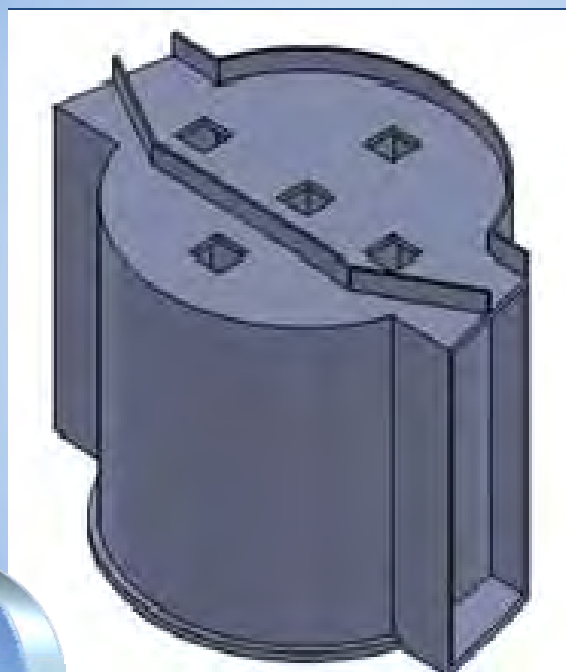
Coupe de principe au niveau d'un caisson



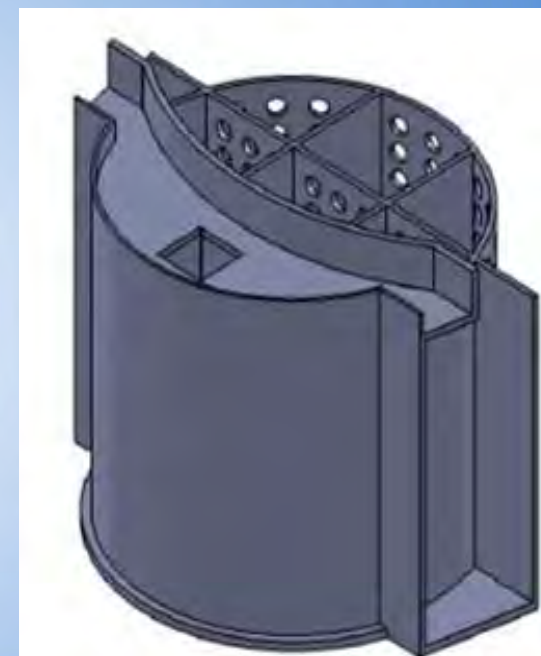
Shekka, un investissement pour le futur



Plan de principe des caissons



Caisson arrière



Caisson jarlan de protection
contre la houle

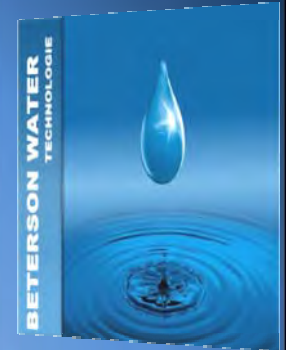
Pour résumer :

1. Les Enjeux du captage d'eau douce en mer



2. La méthodologie pour initier l'exploitation d'un résurgence marine

- Identification d'un site,
- Etudes préliminaires de caractérisation,
- Etudes de Maîtrise d'œuvre (conception et suivi des travaux),
- Construction de l'unité d'exploitation,
- Mise en production.



Beterson Water International



Beterson Water International