

n° 006557-01

mars 2009

# Captage d'eaux douces en milieu marin

Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**







**Conseil général de l'environnement  
et du développement durable**

Rapport n° 006557-01

**Captage d'eaux douces  
en milieu marin**

**Rapport**

**21 janvier 2009**

**Jean-Jacques  
LAFITTE**

**Hervé  
LAINE**

**Patrick  
MARCHANDISE**

**Membres permanents**

**Présent  
pour  
l'avenir**

---



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Conseil général de l'environnement  
et du développement durable

Paris, le 9 mars 2009

Le Vice-Président

**Le Vice-Président  
du Conseil général de l'environnement  
et du développement durable**

à l'attention de

Madame la Directrice de l'eau  
et de la biodiversité

Affaire suivie par : Patrick MARCHANDISE  
[patrick.marchandise@developpement-durable.gouv.fr](mailto:patrick.marchandise@developpement-durable.gouv.fr)

Tél. 01 40 81 30 64

Objet : Rapport n° 006557-01 : Mission d'étude sur le captage d'eaux douces en milieu marin.

La directrice de l'eau et de la biodiversité a confié au Conseil général de l'environnement et du développement durable une mission d'étude sur le captage d'eaux douces en milieu marin.

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint le rapport établi par MM. Jean-Jacques Lafitte, Hervé Lainé et Patrick Marchandise, membres permanents du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD), à qui j'ai confié cette mission. Le rapport donne l'inventaire des potentialités d'exploitation en Méditerranée, puis mentionne les raisons des succès et des échecs des réalisations avant de conclure en proposant un cahier des charges pour des expertises complémentaires ainsi que des pistes de réflexion en vue d'identifier la faisabilité d'un projet.

L'identification de projets d'utilisation de nouvelles ressources en eau sur le littoral méditerranéen qu'il serait possible de promouvoir implique de s'appuyer sur des études de faisabilité préalables permettant de s'assurer de la qualité et de la pérennité de la ressource hydrique, ainsi que sur une approche technico-économique comparant les différentes possibilités de valorisation de la ressource, si elle a été reconnue exploitable. Ces conditions amont étant réalisées, une expérimentation en vraie grandeur de captage en mer pourrait être réalisée. Dans tous les cas, l'utilisation durable de toute nouvelle ressource en eau ne peut se passer de la mise en place de politiques de gestion de la demande.

La publication de ce rapport par voie électronique sur le site du ministère interviendra, sauf objection de votre part, dans un délai de deux mois à compter de la présente diffusion.

SIGNE

Claude MARTINAND



Diffusion du rapport n° 006557-01

- le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire	1 ex
- le directeur du Cabinet	2 ex
- le secrétaire général (SG-MEEDDAT)	1 ex
- le directeur des affaires européennes et internationales (DAEI)	1 ex
- M. Antoine-Tristan MOCILNICKAR – Mission UPM	1 ex
- M. Gilles PENNEQUIN – Mission UMP	1 ex
- le vice-président du CGEDD	1 ex
- la présidente et les présidents de section du CGEDD	7 ex
- la secrétaire de la 2ème section du CGEDD	2 ex
- le président de la commission permanente des ressources naturelles (CPRN)	1 ex
- M. Jean-Jacques LAFITTE	1 ex
-M. Hervé LAINE	1 ex
- M. Patrick MARCHANDISE	1 ex
- archives CGEDD	1 ex



## Table des matières

Résumé.....	5
Préambule.....	6
1 Historique et enjeux.....	6
2 Potentialités existantes.....	7
3 Programmes de recherche.....	8
3.1 Projets RITEAU.....	8
3.2 Projet MEDITATE.....	11
4 Potentialités d'exploitation.....	12
4.1 Inventaire des risques.....	12
4.1.1 Au niveau de la zone karstique.....	13
4.1.2 Au niveau de la résurgence de l'“eau douce”.....	13
4.2 Techniques développées.....	13
4.2.1 Pour la localisation de la ressource.....	13
4.2.2 Pour la caractérisation de la ressource.....	14
4.2.3 Pour le captage en mer.....	14
5 Identification des réalisations existantes et des projets étudiés.....	24
5.1 Captage et exploitation d'Anavalos (Grèce).....	25
5.2 Port-Miou.....	26
5.3 Chekka au Liban.....	27
5.4 Banyas et Tartous en Syrie.....	28
6 Identifications des raisons des succès et des échecs.....	29
6.1 Éléments de succès et perspectives.....	29
6.1.1 Démarche d'identification de la résurgence.....	29
6.1.2 Perspectives de développement.....	29
6.2 Problèmes observés.....	30
6.2.1 Qualité de la ressource.....	30
6.2.2 Technique de captage.....	30
6.2.3 Aspect économique.....	30
6.3 Inventaire des points critiques en vue de l'exploitation de la résurgence.....	31
6.3.1 Identification de la ressource.....	31
6.3.2 Captage de la ressource.....	33
6.4 Éléments non techniques.....	33
7 Conclusions et proposition d'un cahier des charges afin d'engager les expertises externes d'un projet.....	34
8 Proposition de poursuite de la réflexion.....	36
9 Personnes contactées.....	36
10 Personnes ressources.....	37
11 Bibliographie.....	37
12 Lettre de mission.....	37



## Résumé

La directrice de l'eau et de la biodiversité a confié au Conseil Général de l'environnement et du développement durable une mission d'étude sur le captage d'eaux douces en milieu marin.

Le rapport rappelle le mécanisme de formation de ces résurgences, puis donne l'inventaire des potentialités d'exploitation en Méditerranée, et mentionne les raisons des succès et des échecs des réalisations avant de conclure en proposant un cahier des charges pour des expertises complémentaires ainsi que des pistes de réflexion en vue d'identifier la faisabilité d'un projet.

L'identification de projets d'utilisation de nouvelles ressources en eau sur le littoral méditerranéen qu'il serait possible de promouvoir implique de s'appuyer sur des études de faisabilité préalables permettant de s'assurer de la qualité et de la pérennité de la ressource hydrique, ainsi que sur une approche économique comparant les différentes possibilités de valorisation de la ressource, si elle a été reconnue exploitable. Ces conditions amont étant réalisées, une expérimentation en vraie grandeur de captage en mer pourrait être réalisée. Dans tous les cas, l'utilisation durable de toute nouvelle ressource en eau ne peut se passer de la mise en place de politiques de gestion de la demande.

## Préambule

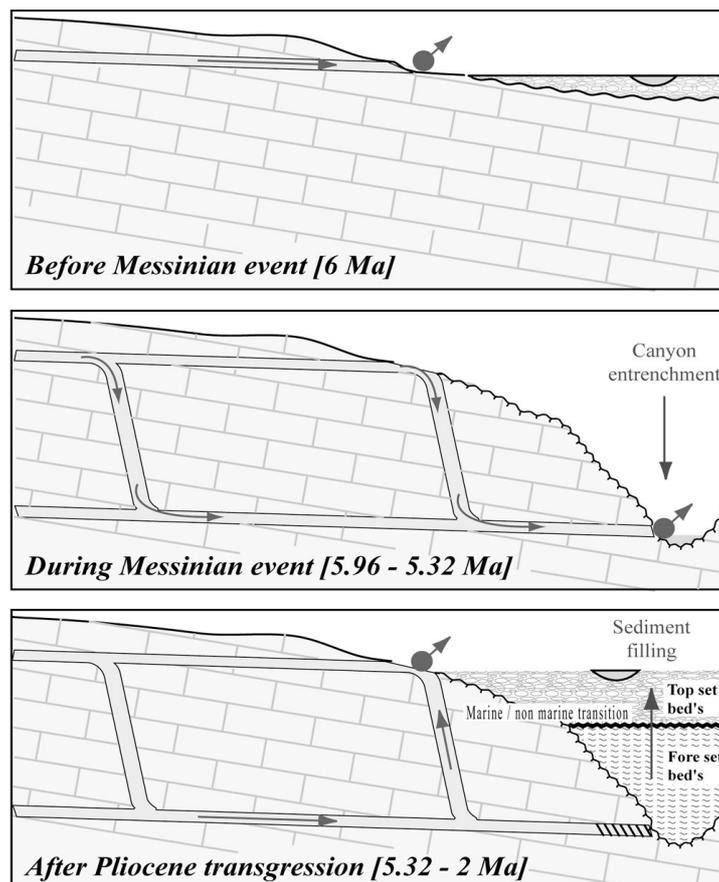
La Direction de l'eau et de la biodiversité a sollicité le Conseil général de l'environnement et du développement durable afin d'établir un état des lieux du développement potentiel du captage d'eau douce en milieu marin dans la zone méditerranéenne.

Cette ressource pourrait apparaître potentiellement intéressante du fait des nombreuses résurgences d'eau douce en mer en Méditerranée ; néanmoins, à ce jour, seules quelques applications concrètes existent réellement.

Il était donc judicieux de réaliser un état des lieux à ce sujet permettant de disposer de premiers éléments d'appréciation des possibilités de développement de cette pratique dans cette région.

## 1 Historique et enjeux

Les glaciations du Quaternaire (dernière épisode Würm, 17 000 ans avant le présent) ont provoqué des abaissments de l'ordre de 100 à 150 m du niveau marin et des réseaux karstiques ont pu se développer dans les régions où le climat n'était pas trop froid et permettait l'écoulement des eaux (régions méditerranéennes chaudes et régions tropicales).



En Méditerranée, il s'est de plus produit un phénomène extraordinaire, au Messinien (6 à 5 Ma, cf figure précédente) : le détroit de Gibraltar, sous la poussée de l'Afrique, s'est refermé. Comme, en Méditerranée, l'évaporation l'emporte largement sur les apports d'eau douce par les fleuves, le niveau de la mer, ne recevant plus l'eau de l'Atlantique, s'est abaissé très vite de plus de 1 000 m,

pour ne remonter que 500 000 ans plus tard environ. Les conduits du karst s'étaient développés jusqu'au niveau les plus bas des calcaires. Une fois l'eau remontée, les galeries se sont retrouvées sous le niveau marin, certaines ont été bouchées par les sédiments, d'autres sont restées béantes.

Ces sources d'eau douce en mer ne peuvent exister que si la charge d'eau douce dans l'aquifère est suffisamment élevée pour pousser la colonne d'eau de mer, plus dense. Par conséquent, pour qu'existent des charges suffisantes pour vaincre la masse d'eau de mer, la source doit être alimentée par des écoulements dans des reliefs assez marqués dominant la côte.

Leur présence est relativement facile à déterminer, car elles sont situées assez près des côtes, à faible profondeur (entre 0 et 50 m). Elles sont associées à des massifs carbonatés qui dominent les côtes. L'eau d'infiltration chargée en dioxyde de carbone dissout la roche calcaire, et cet écoulement aboutit à la formation d'un réseau souterrain de conduits (réseau karstique). Ce réseau souterrain s'est mis en place en se basant sur le niveau le plus bas des calcaires dans le paysage : c'est le niveau de base où apparaissait la source. L'eau douce circule donc aujourd'hui dans l'aquifère karstique littoral, emprunte des conduits anciens situés sous le niveau de la mer et ressort en profondeur.

Les sources karstiques et leurs rivières souterraines peuvent être constituées à la fois d'aquifères saturés qui constitueront des réservoirs assurant la pérennité de la résurgence et de simples réseaux de conduits laissant passer rapidement des eaux venues de la surface.

Dans un système karstique, quand il existe une zone noyée en permanence et que la limite supérieure d'eau libre est supérieure au niveau de la mer, les conduits du système, en charge, sont remplis d'eau douce dont la pression repousse l'eau salée : le mécanisme de résurgence d'eau douce existe.

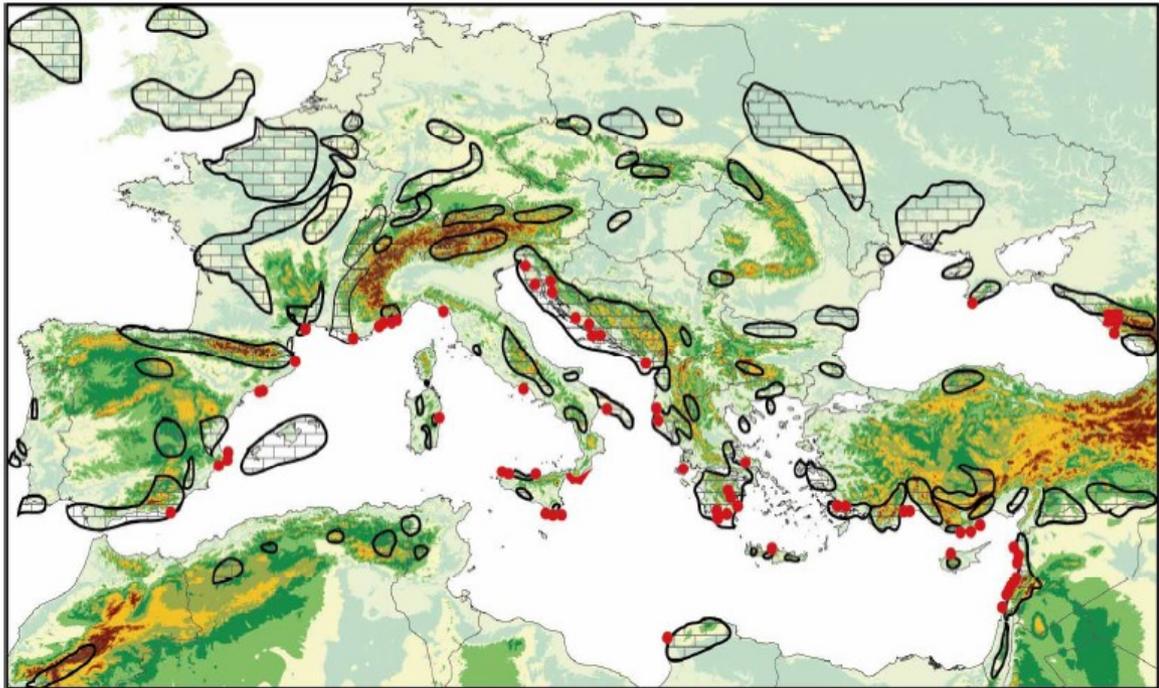
L'eau douce et l'eau de mer, liquides de densité, de viscosité et de pression osmotique différentes, ne se mélangent pas tant que l'écoulement des deux liquides reste laminaire et non pas turbulent.

**La disponibilité de quantités d'eaux douces de plus en plus importantes est, dans certaines régions pauvres en eau, un enjeu fondamental face à un besoin croissant. Afin de pallier les graves problèmes d'alimentation en eau potable ou d'irrigation que connaîtront inévitablement les pays du pourtour méditerranéen, la capture de résurgences sous marines est une des mesures envisageables.**

## **2 Potentialités existantes**

Les principales résurgences d'eau douce en milieu marin autour de la Méditerranée ont été identifiées.

# Karst areas and coastal and submarine springs in the Mediterranean



Les flux d'eaux douces issues de résurgences en mer sur le pourtour méditerranéen ont été évalués, dans un rapport de la FAO de 1962, à 1 000 m<sup>3</sup>/s.

## 3 Programmes de recherche

Diverses recherches ont été engagées en France puis en Europe sur ces sujets.

### 3.1 Projets RITEAU

En 2000, le réseau RITEAU (*Réseau de recherche et d'innovation technologique "Eau & technologies de l'environnement"*) a été mis en place par trois ministères :

- le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (actuel Ministère de l'économie de l'industrie et de l'emploi) - Secrétariat d'Etat à l'Industrie
- le Ministère de la Recherche (actuel Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche) - Direction de la Technologie
- le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (actuel Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire) - Service de la recherche et de la prospective.

Il a financé au moins les deux projets suivants relatifs aux résurgences d'eaux en mer. Le site RITEAU donne les descriptions de projets mais non les rapports réalisés.

**ACRONYME** : PANACHE

**TITRE** : *Conception et industrialisation d'une chaîne d'instrumentation pour l'identification et l'évaluation des panaches d'émergences karstiques sous-marines.*

**DATE DE LABELLISATION** : 31/01/02

**DUREE DU PROJET** : 24 mois

**BUDGET GLOBAL (HT)** : 4209 K€uro

**THEMES DU PROJET** :

<b>Thème(s)</b>	<b>Sous thème(s) :</b>
(1)Instrumentation, capteurs et mesures	(13)Développement de mesures en ligne
(1)Instrumentation, capteurs et mesures	(14)Couplage entre capteurs et traitement de données
(2)Exploitation de la ressource et gestion du cycle de l'eau	(22)Outils d'aide à la décision et logiciels

**RESUME** :

L'accroissement des besoins en eau, qui conduit à rechercher des ressources nouvelles ou à augmenter les prélèvements actuels, est particulièrement sensible sur le littoral, notamment autour de la Méditerranée et dans les Grandes Antilles. Il porte surtout sur des aquifères karstiques, dont les émergences sous-marines, quand elles sont connues, présenteraient des débits considérables, d'après des études sans fondement objectif. Ces aquifères karstiques des massifs calcaires sont parcourus par un réseau de conduits drainant des réserves noyées vers des sources parfois importantes. En pays méditerranéens, ce sont souvent les seules ressources en eau intéressantes à exploiter. Mais en régions littorales, des conduits karstiques peuvent évacuer une partie de ces eaux sous le niveau marin. Les techniques pour identifier ces émergences sous-marines sont rudimentaires et peu fiables. Aucune ne permet d'évaluer le flux émergeant, pour le prendre en compte dans des bilans hydrologiques ou dans des plans d'exploitation ou de gestion des eaux. Le but du présent projet est de développer un procédé fiable de détection et d'estimation des débits de sources sous-marines, basé d'une part sur une instrumentation appropriée d'investigation des zones de résurgences sous-marines et d'autre part sur des outils de modélisation pour l'évaluation des débits. La société Hytec qui conduirait le projet, réaliserait l'industrialisation de l'instrumentation et des outils de modélisation, le marché visé par Hytec serait étendu à l'étude des panaches de rivières ou de fleuves en mer éventuellement susceptibles d'être pollués.

**PARTENAIRES DU PROJET** :

<b>Organisme</b>	<b>Rôle</b>	<b>Unité / service</b>
HYTEC	Coordonnateur	Recherche Developpement
BRGM EAU / Montpellier	Partenaire	Service EAU

CNRS Montpellier	Partenaire	Hydrosciences UMR 5569
CNRS Montpellier	Partenaire	LIRM Montpellier
GRADIENT	Partenaire	DHATT /SERGENT

**ACRONYME** : *SYREINES*

**TITRE** : *SYstèmes de REgulation INtelligent des Eaux de Sources d'eau douce sous-marine adapté à une unité de captage industriel en pleine mer.*

**DATE DE LABELLISATION** : 30/05/03

**DUREE DU PROJET** : 24 mois

**BUDGET GLOBAL (HT)** : 583 K€uro

**THEMES DU PROJET** :

Thème(s)	Sous thème(s) :
(1)Instrumentation, capteurs et mesures	(14)Couplage entre capteurs et traitement de données
(2)Exploitation de la ressource et gestion du cycle de l'eau	(20)Autre dans Exploitation de la ressource ...de l'eau

**RESUME** :

Le captage des sources d'eau douce sous-marines peut constituer dans certains cas et dans un certain nombre de pays, une ressource en eau non négligeable pour les usages domestiques ou agricoles sur les zones littorales. La technique de captage consistant à isoler l'eau douce dès sa sortie sous la mer, pour l'acheminer ensuite vers la côte a été développée par la Société Nymphéa Water filiale de Géocean, entreprise de travaux maritimes, après avoir réalisé sur site et avec succès une première expérience en 1999. Il s'avère que la grande majorité de ces sources sous-marines sont issues de massifs calcaires karstifiés, dans lesquels les débits des écoulements ont des valeurs très variables selon la saison et les épisodes pluvieux. C'est pourquoi l'unité de captage doit impérativement être complétée par un système de régulation des débits, lui-même conçu et dimensionné en tenant compte des caractéristiques de la source. Ces caractéristiques seront déterminées grâce à l'instrumentation. Il est important en effet que l'unité de captage ne perturbe pas l'équilibre hydrologique des sources, notamment en évitant une montée en pression à l'exutoire. En outre ces capteurs permettront l'acquisition des données nécessaires aux études de faisabilité économique et technique de captage des sources. Le projet consiste donc à concevoir, tester en laboratoire, réaliser et installer sur le site de la Mortola en Italie ces systèmes de régulation et d'instrumentation. La maîtrise de cette technique de captage en pleine mer ouvre un marché dans une quarantaine de pays régulièrement confrontés à la pénurie en eau et où la demande la plus forte correspond le plus souvent aux régions littorales les plus peuplées.

## PARTENAIRES DU PROJET :

<b>Organisme</b>	<b>Rôle</b>	<b>Unité / service</b>
NYMPHEA WATER	Coordonnateur	Direction commerciale
HYDROSCIENCES	Partenaire	recherche
ISITV	Partenaire	Marine et mathématiques

### 3.2 Projet MEDITATE

Le projet MEDITATE (Mediterranean Development of Innovative Technologies for integrated wATER managEment), a été financé dans le cadre des projets STREP<sup>1</sup> du sixième PCRD (2002-2006). Il avait pour objectif en particulier d'intégrer l'utilisation de ressources en eau alternatives telles que celle des résurgences d'eaux karstiques sous-marines. Il était prévu dans ce cadre de développer des technologies innovantes pour la surveillance des résurgences sous-marines ainsi que pour leur captage. Des études des résurgences sous-marines sont développées pour déterminer le potentiel de réelles ressources en eau des terres karstiques littorales sur trois sites méditerranéens Turquie, Syrie et Liban. L'objectif était de quantifier l'importance des résurgences sous-marines en tant que ressource en eau alternative, mentionnées depuis 30 ans comme importantes. Les potentialités des résurgences marines seraient selon Michel Bakalowicz (communication orale) bien moins importantes que ce à quoi on les avait estimées au départ. Le BRGM était coordonnateur de ce programme. Le Royaume-Uni, l'Espagne, la Turquie, la Jordanie, le Liban, la Syrie y participaient.

Le rapport final du BRGM de décembre 2007 est accessible :

[http://www.observatoire-arclatin.org/arclatin/consulter\\_doc2.jsp?id\\_theme=03&ordre=03#](http://www.observatoire-arclatin.org/arclatin/consulter_doc2.jsp?id_theme=03&ordre=03#)

Poster : [http://wwc2008.msem.univ-montp2.fr/index.php?page=proceedings&abstract\\_id=929](http://wwc2008.msem.univ-montp2.fr/index.php?page=proceedings&abstract_id=929)

N DÖRFLINGER du BRGM tire les enseignements suivants de ce projet :

- Typologie des aquifères karstiques côtiers : 3 configurations et différents types de captage possibles (cf page 30)
- Importance d'une démarche intégrée :
  1. Évaluation des besoins, des scénarios et des solutions
  2. Caractérisation hydrogéologique du bassin d'alimentation
  3. Géologie

---

<sup>1</sup> Les projets STREP du 6ème PCRD sont soit des projets R&D destinés à accroître les connaissances ou à améliorer des produits, des procédés ou des services existants, soit des projets de démonstration visant à prouver la viabilité de nouvelles technologies. Un projet STREP peut également se caractériser par la réalisation de ces deux types d'activités (R&D + démonstration). Cet instrument correspond aux projets collaboratifs de petite ou moyenne échelle du 7ème PCRD.

4. Recharge et débits, fonctionnement, évaluation des ressources

5. Variabilité de la salinité

6. Type de captage : préféré à terre pour 2 cas sur 3 globalement (*cf page 30*)

- Importance dans tous les cas de suivre les paramètres physico-chimiques des sources sous marines

- Nécessite un équipement technique spécifique par des équipes expérimentées pour suivi des débits, concentrations et températures au niveau des sources sous-marines

Les sources sous-marines informent sur les conditions de recharge et sur le fonctionnement de l'aquifère.

La connaissance du fonctionnement des sources sous marines est nécessaire pour l'exploitation et la gestion des aquifères karstiques côtiers (*et pas uniquement pour un captage en mer*).

Le succès d'une exploitation d'une source sous-marine est fonction du degré de connaissance de l'aquifère (caractéristiques et fonctionnement).

Le suivi des sources sous-marines est un point clef pour le contrôle des intrusions salines d'origine naturelle et/ou anthropique.

Le débit total annuel mesuré est 10 fois inférieur aux estimations antérieures.

Les sources sous-marines ne constituent pas de manière générale, de nouvelles ressources alternatives.

Les méthodes utilisées auparavant pour déterminer le débit ne sont pas appropriées et doivent être abandonnées au profit d'investigations hydrogéologiques détaillées et d'un système de suivi à la source même.

Dans les études préliminaires, le suivi de la source sous marine est indispensable pour déterminer si oui ou non une source peut être captée et exploitée, avec ou sans système de désalinisation.

**Ces programmes ont permis de développer un méthodologie pour l'évaluation des résurgences sous marines et des ressources des systèmes karstiques dont elle sont l'exutoire.**

## **4 Potentialités d'exploitation**

### **4.1 Inventaire des risques**

Dans un pays comme la France, où les ressources en eau abondent, l'intérêt de ces captages est faible. Dans les régions arides, ils ne seront jamais la solution miracle aux problèmes de sécheresse. Par exemple, à Gaza, en Palestine, l'aquifère a été surexploité. Au point d'être infiltré d'eau de mer. Or récupérer l'eau d'une source sous-marine, c'est comme récupérer l'eau d'un robinet. L'eau du robinet vient d'un château d'eau qui l'envoie avec une pression suffisante pour parcourir les canalisations. L'aquifère est le château d'eau de la source : la masse d'eau en amont est si importante que la résurgence en aval a assez de force pour vaincre la colonne d'eau de mer. A Gaza, l'aquifère ne contient plus assez d'eau. Un système de captage placé au-dessus d'une source sous-marine recueillerait, au mieux, aussi de l'eau salée, au pire, rien du tout !

### **4.1.1 Au niveau de la zone karstique**

Des phénomènes hydrauliques d'intrusion d'eau de mer peuvent apparaître. Ils seraient créés soit par des réductions périodiques des charges hydrauliques d'eaux douces, soit par des dépressions dans des conduits de section réduite en contact avec de l'eau de mer. L'eau douce provenant du karst peut donc avoir été contaminée par une eau salée lors de son écoulement karstique, et par conséquent avoir déjà une certaine salinité bien avant sa résurgence en mer.

Par ailleurs, les réseaux de fissures situées au dessous du niveau des exutoires jouent le rôle de réservoir, réservoir qui peut très bien être occupé en partie, en fonction de la charge d'eau douce, de l'alimentation de l'aquifère (la recharge) et de la perméabilité, par de l'eau de mer. Toute modification importante, par des prélèvements massifs ou mal répartis, rompt l'équilibre et provoque une intrusion saline.

La recommandation de l'Organisation mondiale de la santé pour la teneur en chlorures dans l'eau potable est de 250 mg/litre.

**Les eaux douces des zones karstiques amont risquent fortement de se charger en sel au cours de leur cheminement dans les karsts. Ce phénomène est susceptible de s'aggraver en période d'étiage.**

### **4.1.2 Au niveau de la résurgence de l'«eau douce»**

L'écoulement de l'eau douce dans l'eau salée répond à un équilibre hydrodynamique qui peut être rompu et conduire à l'introduction d'eau salée dans la zone karstique. Des mélanges d'eaux douces avec de l'eau salée peuvent être observés lors du passage d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent.

**Il y a donc de fortes probabilités pour qu'au niveau des résurgences, des nombreux flux d'eaux douces soient saumâtres. Ce point doit cependant être validé au cas par cas. Les débits d'eau des aquifères karstiques sont par ailleurs souvent liés aux variations climatiques saisonnières.**

Même en l'absence de contamination de la ressource pendant son écoulement souterrain, l'exploitation des ressources d' « eaux douces » dans tous les aquifères littoraux doit par conséquent se faire impérativement sans perturber le système afin d'éviter d'augmenter leur salinité.

## **4.2 Techniques développées**

### **4.2.1 Pour la localisation de la ressource**

Comme l'eau des sources terrestres, l'eau des sources d'eau douce sous-marines suit un trajet complexe. Elle tire son origine d'un aquifère situé dans le sous-sol des terres émergées. Puis, selon un jeu savant de forces et de pressions dans lequel domine la gravité, elle s'écoule le long d'un

réseau de canaux souterrains. Parfois, l'un de ces boyaux l'achemine à travers le plateau continental sous le plancher marin ; lorsqu'elle jaillit, elle est à une distance très variable de la côte. Cette résurgence se situe à une profondeur comprise entre quelques mètres et près de 200 mètres sous la surface de la mer.

La détection des sources sous-marines est assez aisée. En été, l'"eau douce" est plus froide que l'eau de mer. C'est le contraire en hiver. L'identification des résurgences se fait souvent par observations aériennes au moyen des techniques de thermographie infrarouge qui permettent de mettre en évidence les contrastes de température dus aux apports d'eaux des résurgences.

Dans certains cas, la localisation peut être faite visuellement car, au niveau de l'orifice de l'émergence et du flux ascendant, l'eau se trouble au niveau de l'interface entre l'"eau douce" et l'eau de mer.

**La mise en évidence relativement facile des résurgences d'« eaux douces » est intéressante car elle permet d'identifier la présence d'écoulements karstiques dans le massif géologique côtier et d'envisager leur exploitation, en mer ou à terre.**

#### ***4.2.2 Pour la caractérisation de la ressource***

Puisque c'est la quantité de sel qui différencie l'eau de mer et l'"eau douce", on peut aussi remorquer une sonde de salinité à l'arrière d'un bateau. Mais cette méthode est moins prisée car elle est peu sensible.

Les évaluations réalisées par des observations rapides des débits des résurgences -ayant fait l'objet de publications- se sont révélées largement sur estimées lors des suivis instrumentés plus récents.

**La caractérisation de la ressource en débit et qualité -salinité en particulier- est nécessaire mais délicate. Elle doit être réalisée sur une période suffisamment longue d'au moins un cycle hydrologique par la mise en place d'une instrumentation adaptée.**

Des capteurs adaptés au milieu marin ont été mis au point permettant un recueil en continu de principaux paramètres sur les exutoires (débit, température, conductivité). Le développement d'un véhicule de reconnaissance permettant de d'explorer le panache de la résurgence a fait partie du projet MEDITATE déjà mentionné plus haut.

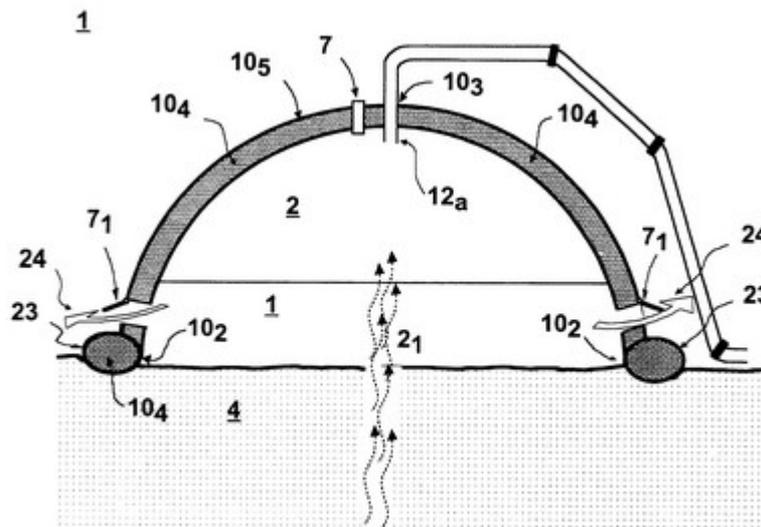
La connaissance du réseau karstique dépend fortement des explorations de spéléologues, avec des techniques de localisation précise en surface des galeries ainsi explorées. Par contre il n'existe pas de « véhicule » d'exploration des galeries ou de technique permettant de localiser à partir du sol les galeries du karst. Les observations et mesures sur les exutoires, confortées par des observations géographiques, géologiques et hydrologiques permettent de formuler des hypothèses sur le fonctionnement du karst et ses communications avec la mer.

#### ***4.2.3 Pour le captage en mer***

Les techniques sont en cours de développement et font l'objet de nombreux brevets brièvement illustrés ci-dessous :

1. Le brevet français n° FR 2 701 974 (Nymphaea, juillet 2003) décrit une construction immergée,

comportant une partie concave dirigée vers le bas et recouvrant la source, l'"eau douce" restant piégée dans la partie haute de la dite cavité grâce à sa densité qui est inférieure à celle de l'eau de mer. Cette construction reste ouverte dans sa partie inférieure de façon à laisser échapper le trop plein et en particulier l'eau de mer, laissant en même temps le système karstique libre et prélevant l'"eau douce" à la partie supérieure de la construction par l'intermédiaire d'un système de pompage à débit variable. Le dispositif de pompage est asservi à des capteurs qui permettent de conserver à temps réel un débit légèrement inférieur au débit de la source.



Ce dispositif permet le prélèvement de l'"eau douce" sans que l'équilibre existant soit dérangé et sans induire des perturbations dans le fonctionnement du système karstique, facilitant l'écoulement laminaire ce qui évite le mélange avec l'eau de mer.

Dans chaque cas de captage de résurgences sous marines, il faut préserver l'équilibre entre les deux liquides, exprimée par la formule  $H_d/H_s = D_s/D_d$

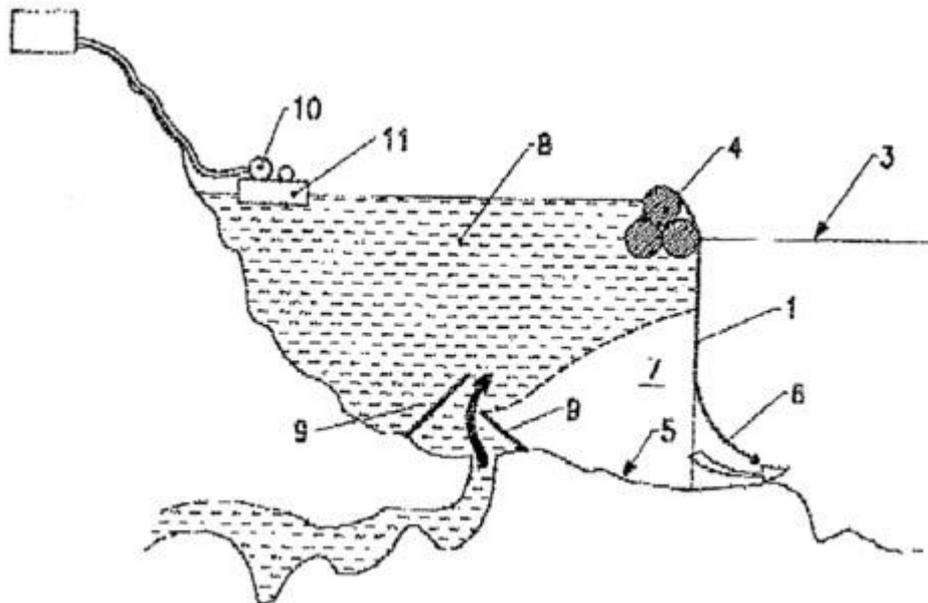
où  $H_d$  est la hauteur de colonne d'eau douce,  $H_s$  la hauteur de la colonne d'eau salée,  $D_s$  la densité de l'eau salée et  $D_d$  la densité de l'eau douce.

Ces quatre paramètres, stables au départ, ne continuent pas à l'être après le commencement du processus de séparation des deux eaux ; le système continuera à être instable après captage du fait des variations de débit du réseau karstique en amont.

Par conséquent, dans le cas de captage par système fermé installé sous le niveau de la mer, le contrôle de cet équilibre est souvent délicat, et induit, entre autres, un coût supplémentaire pour le dispositif.

XXXXXXXXXXXX

2. Le brevet français n° FR 2 785 001 (ARGYRIADIS, février 2007), décrit un dispositif ayant comme objet une amélioration qui permet une simplification importante du système de captage et une compression également importante du coût de réalisation. Ce dispositif consiste en une surface imperméable, de préférence souple, qui isole la résurgence, ancrée au fond de la mer et atteignant la surface où elle est tenue par un barrage flottant, permettant ainsi dans tous les cas la mise à l'air libre du dispositif de captage. Le dispositif comporte aussi un système de vannes à la partie inférieure de la membrane permettant ainsi à l'eau salée de s'échapper ; l'eau douce est prélevée par des pompes installées sur un dispositif flottant (radeau) à la surface.



Dispositif de captage de résurgences sous-marines d'eau douce", permettant la récupération de l'eau douce des sources situées sous le niveau de la mer, caractérisé par la combinaison d'une paroi étanche 1 isolant les résurgences 2, laquelle paroi est ancrée au fond marin 5 et monte jusqu'à la surface 3 de façon à permettre la mise à l'air libre permanente de la partie haute du dispositif de captage, avec des clapets 6 disposés en partie basse de la dite paroi afin de permettre à l'eau salée de s'échapper 7, où la récupération de l'eau douce 8 est réalisée par des pompes 10 installées sur un dispositif flottant 11 sur la surface de l'eau douce", où le dispositif est pourvu d'un système de contrôle du débit des sources en temps réel constitué d'un ou plusieurs courantomètres disposés à la sortie des conduits et transmettent directement au centre de contrôle la vitesse du courant sortant, où le barrage (bassin circulaire ou en arc de cercle) doit avoir, selon les auteurs, un volume interne total (capacité) qui obéit obligatoirement à la formule  $V = Q h/2$  ou  $V > Q h/2$  où  $V$  = volume total du bassin et  $Q h$  = débit horaire moyen des sources. Le barrage (bassin circulaire ou en arc de cercle) doit être pourvu d'un système automatique de contrôle et d'alarme, qui puisse provoquer l'ouverture et la mise hors fonctionnement du système dès que le débit instantané cumulé des

sources captées par le barrage dépasse une valeur fixée d'avance.

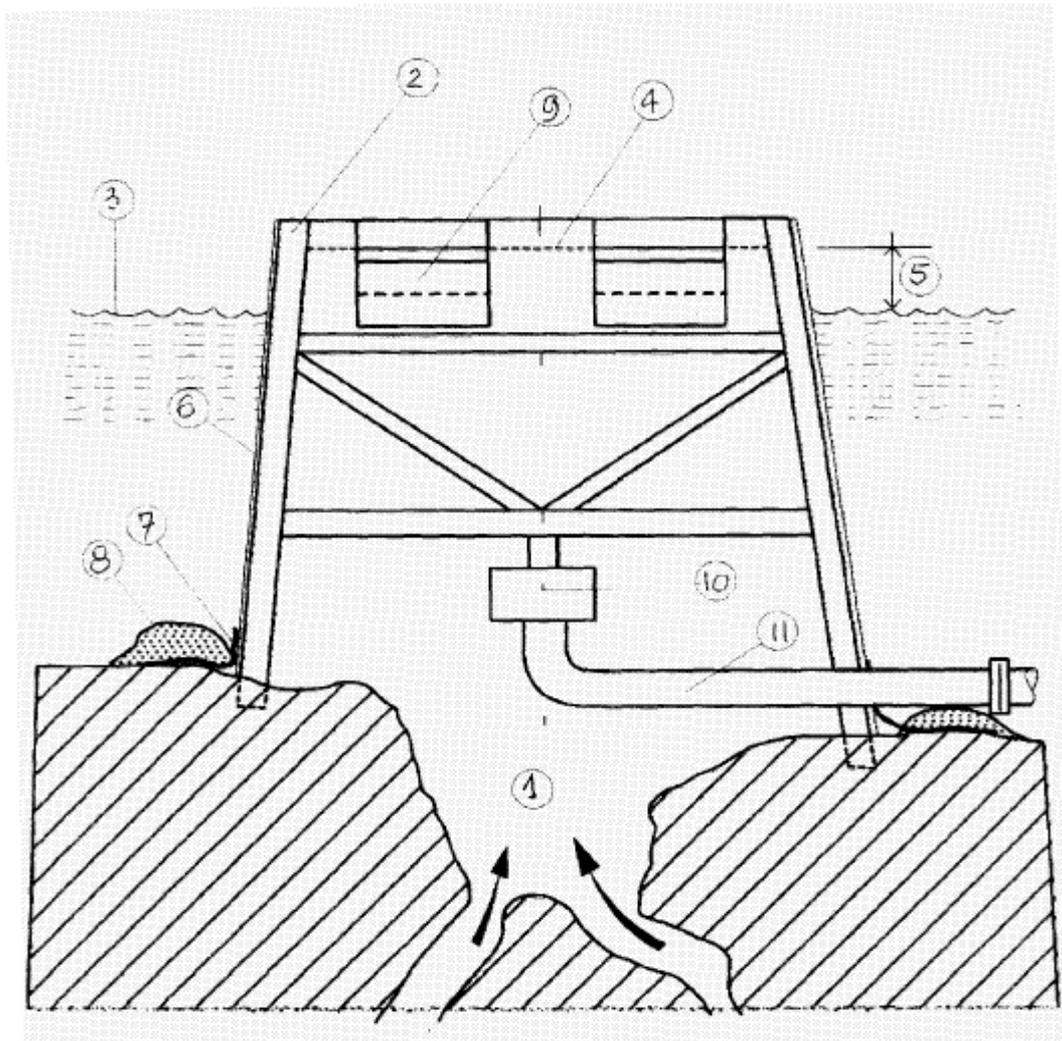
Cependant, les résultats du dispositif sont considérés dans le brevet, jusqu'à un degré, aléatoires ; de nouvelles données et mesures (comme par exemple aux installations d'Anavalos en Grèce) ont mis en évidence des problèmes.

Pour répondre aux problèmes de fonctionnement et de rendement de ces dispositifs, les installations de type « barrages souples » doivent être munies d'un système de contrôle du débit des sources en temps réel. En effet, dans un système karstique actif, le débit peut varier du simple au centuple entre étiage et crue exceptionnelle.

XXXXXXXXXXXX

### 3. Autre brevet

Système de captage de sources sous-marines d'"eau douce" (1) au niveau d'un fond marin comprenant une enceinte de captage (2) reposant sur le fond marin.



L'enceinte de captage comprend une structure rigide entourant la source captée et un ou plusieurs panneaux étanches (6) enveloppant la structure rigide. L'enceinte de captage dépasse au-dessus du niveau de la mer (3) d'une hauteur supérieure à une hauteur de débordement (5), l'enceinte permettant le débordement en continu d'une fraction du débit de la source captée. Le système de captage comprend des moyens mécaniques de réglage de la hauteur de débordement en fonction de conditions d'exploitation de la source, une ou plusieurs crépines (10) d'aspiration pour prélever l'"eau douce" de la source captée dans l'enceinte de captage et un ou plusieurs tuyaux (11) posés sur le fond marin reliant l'une ou plusieurs crépines d'aspiration jusqu'à une installation de pompage comprenant une ou plusieurs pompes.

XXXXXXXXXXXX

#### 4. Autre brevet

L'invention a pour objet un procédé de captage de source d'"eau douce" en mer.

- on dispose à proximité, de préférence au plus proche, d'un point de résurgence d'"eau douce" localisé sur le fond de la mer, un premier lest à partir duquel on positionne à des distances données, d'autres lests secondaires formant une ligne fermée autour du premier lest et dudit point de résurgence d'"eau douce" ;
- on descend à la verticale du premier lest un réservoir souple constitué d'une enveloppe apte à prendre une forme de cloche, le réservoir étant descendu plié, de préférence ferlé au moyen de liens, et lesté à sa partie basse ;
- on déploie ladite enveloppe, en dépliant, de préférence en déferlant celle-ci, jusqu'à ce que la circonférence de son extrémité inférieure soit positionnée à une distance donnée desdits lests secondaires pour que ladite enveloppe adopte ladite forme de cloche, une forme de calotte sphérique, et,
- on recueille sous le réservoir souple ainsi installé l'"eau douce".

La dite enveloppe adopte ladite forme cloche sous la pression de l'eau qui la remplit.

On recueille l'"eau douce", avec ou sans pompe, à l'aide d'une conduite débouchant à une première extrémité dans la partie supérieure de l'intérieur du réservoir, et à sa deuxième extrémité dans une zone à terre située sous le niveau de la mer, de préférence dans un conteneur.

Selon un premier mode de réalisation on installe une cheminée à l'intérieur dudit réservoir ouverte à sa partie supérieure et entourant au moins en partie de préférence la totalité de la résurgence d'"eau douce". De préférence, la partie inférieure de ladite cheminée est étanche, au niveau du fond de la mer. Cette étanchéité permet, après une période initiale d'évacuation de l'eau de mer, d'éviter le contact du flux d'"eau douce" avec l'eau de mer pendant la remontée de l'"eau douce" dans la partie supérieure à l'intérieur du réservoir.

Après le déploiement de l'enveloppe jusqu'à ce que sa circonférence inférieure soit positionnée à une distance donnée des dits lests secondaires pour que celle-ci adopte ladite forme de cloche, on réalise une étanchéité de l'extrémité inférieure du réservoir au niveau du fond de la mer. Dans ce mode de réalisation, les lests secondaires permettent une reprise d'effort pour rapprocher l'extrémité inférieure du réservoir le plus près du fond de la mer, de manière à permettre la réalisation de l'étanchéité.

Dans ce mode de réalisation, il n'est pas non plus indispensable d'installer une dite cheminée à l'intérieur du réservoir.

On réalise l'étanchéité dudit réservoir, au niveau du fond de la mer, en faisant épouser le relief au fond de la mer par la circonférence de l'extrémité inférieure de ladite cheminée ou dudit réservoir.

Selon la présente invention, on entend par "étanchéité" le fait qu'on empêche le contact entre l'eau à l'intérieur du réservoir ou de la cheminée avec l'eau à l'extérieur. Il peut s'agir d'une étanchéité totale ou d'une quasi-étanchéité qui permet d'éviter un mélange significatif et d'obtenir une "eau douce" sans mélange significatif avec l'eau de mer à l'extérieur.

Ledit réservoir souple est constitué d'une enveloppe à double paroi, de préférence compartimentée, dans laquelle on injecte un coulis de béton, de densité proche de 1, et ce après ledit déploiement de l'enveloppe, et de préférence après avoir réalisé une étanchéité de la circonférence à l'extrémité

inférieure du réservoir au niveau du fond de la mer, quand le réservoir a pris sa dite forme de cloche sous la pression de l'"eau douce" qui le remplit.

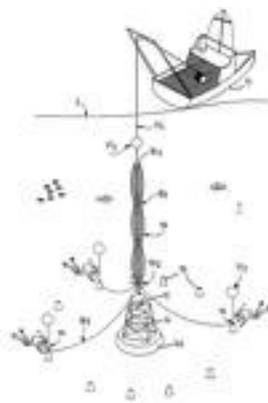
De préférence, lorsqu'on descend le réservoir souple constitué d'une enveloppe apte à prendre une forme de cloche, ladite enveloppe est surmontée dans sa partie haute, qui reste ouverte, par un flotteur et, lorsque ladite enveloppe est déployée pour que l'enveloppe adopte ladite forme de cloche, on ferme la partie haute de la cloche par une soupape d'échappement des gaz pouvant être contenus dans l'"eau douce", et on recueille sous le réservoir souple ainsi installé, l'eau douce.

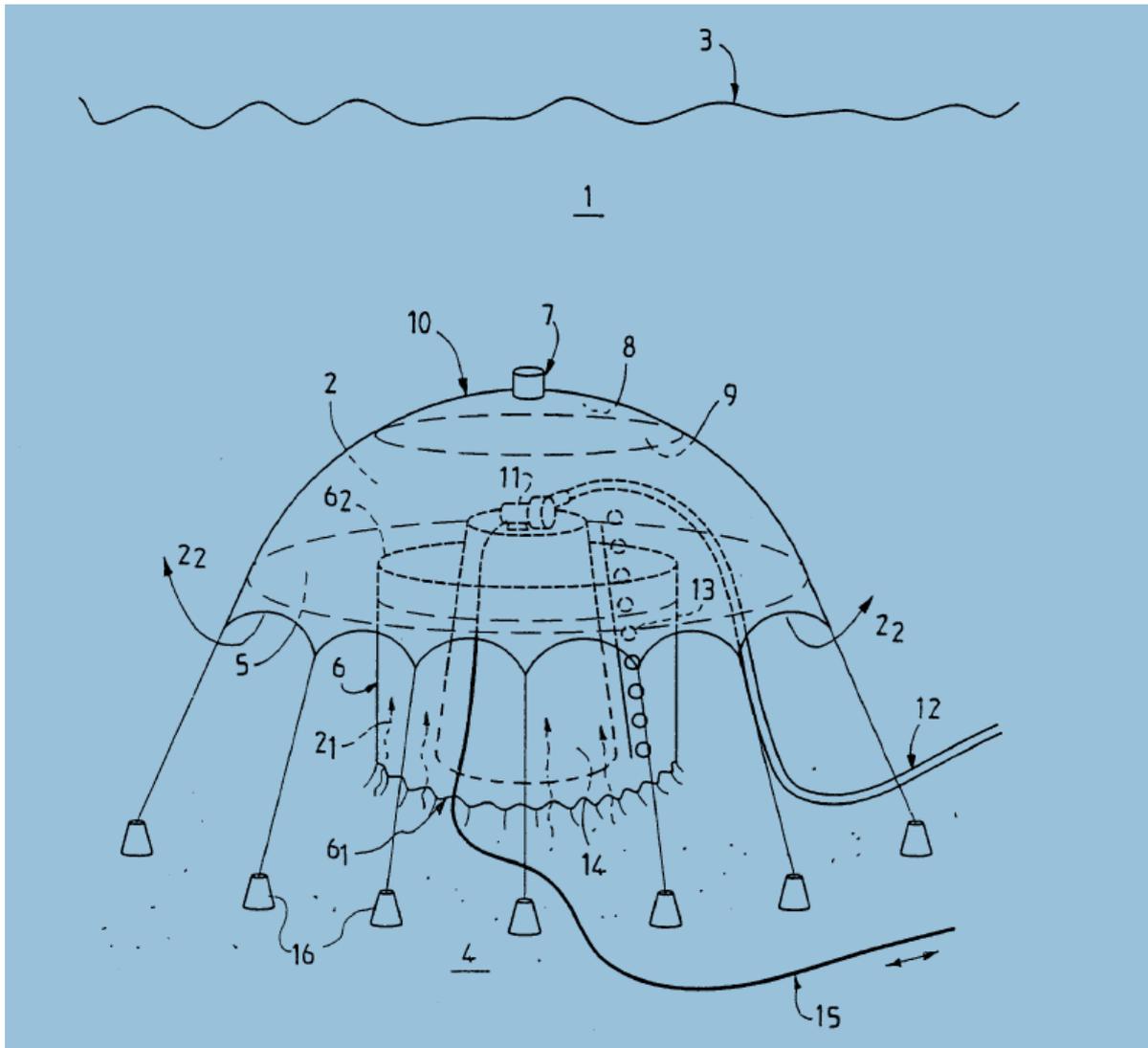
Plus particulièrement, lorsque ledit réservoir souple constitué d'une enveloppe est descendu à la verticale du premier lest, sous forme ferlée, on fixe des élingues entre chaque lest secondaire et la circonférence de l'extrémité inférieure de la cloche, et on déferle celle-ci en tirant sur les élingues jusqu'à ce que ladite circonférence de l'extrémité inférieure soit positionnée à une distance donnée desdits lests secondaires telle que l'enveloppe adopte ladite forme de cloche, de préférence de forme de calotte sphérique, de préférence encore hémisphérique.

Dans le procédé selon la présente invention on utilise une installation de captage d'une résurgence d'"eau douce" en mer, comportant un réservoir immergé en forme de cloche, de préférence de forme de calotte sphérique, de concavité tournée et ouverte vers le bas, et apte à piéger l'"eau douce" dans sa partie haute, et un système apte à prélever ladite "eau douce" caractérisé en ce que la circonférence de l'extrémité inférieure dudit réservoir et/ou la circonférence de l'extrémité inférieure d'une cheminée intérieure audit réservoir ouverte à sa partie supérieure et entourant au moins une partie, de préférence la totalité, de la résurgence d'"eau douce", épouse(nt) le contour du relief du fond de la mer, de façon à assurer l'étanchéité entre le (ou les) dite(s) circonférence(s) et le fond de la mer.

Dans un autre mode de réalisation, l'installation comporte une dite cheminée intérieure au dit réservoir, ouverte à sa partie supérieure et entourant au moins une partie, de préférence la totalité de la résurgence d'"eau douce", la circonférence de l'extrémité inférieure de ladite cheminée épousant le contour du relief au fond de la mer, de manière à assurer une étanchéité au niveau du fond de la mer.

L'installation comporte un réservoir constitué d'une enveloppe à double paroi, de préférence compartimentée, dans laquelle on a injecté un coulis de béton, de densité proche de 1, et dont la circonférence constituant l'extrémité inférieure du réservoir est étanche au niveau du fond de la mer.





L'invention concerne un procédé de détection et de localisation de sources d'"eau douce" en mer essentiellement par des mesures de salinité ainsi que des procédés et installations de captage. Les installations de captage comportent un réservoir immergé (10) en forme de cloche, comprenant et piégeant l'"eau douce" (2) dans sa partie haute, et un système de pompage prélevant ladite "eau douce" (2), et refoulant l'"eau douce" (2) à travers un conduit (12) d'évacuation, caractérisé en ce que la circonférence de l'extrémité inférieure (10<sub>2</sub>?) dudit réservoir (10) et/ou la circonférence de l'extrémité inférieure (6<sub>1</sub>?) d'une cheminée (6) intérieure audit réservoir (10) ouverte à sa partie supérieure et entourant au moins une partie, de préférence la totalité, de la résurgence (2<sub>1</sub>?) d'"eau douce", épouse(nt) le contour du relief du fond (4) de la mer, de façon à assurer l'étanchéité entre le (ou les) dite(s) circonférence(s) et le fond (4) de la mer.

XXXXXXXXXXXX

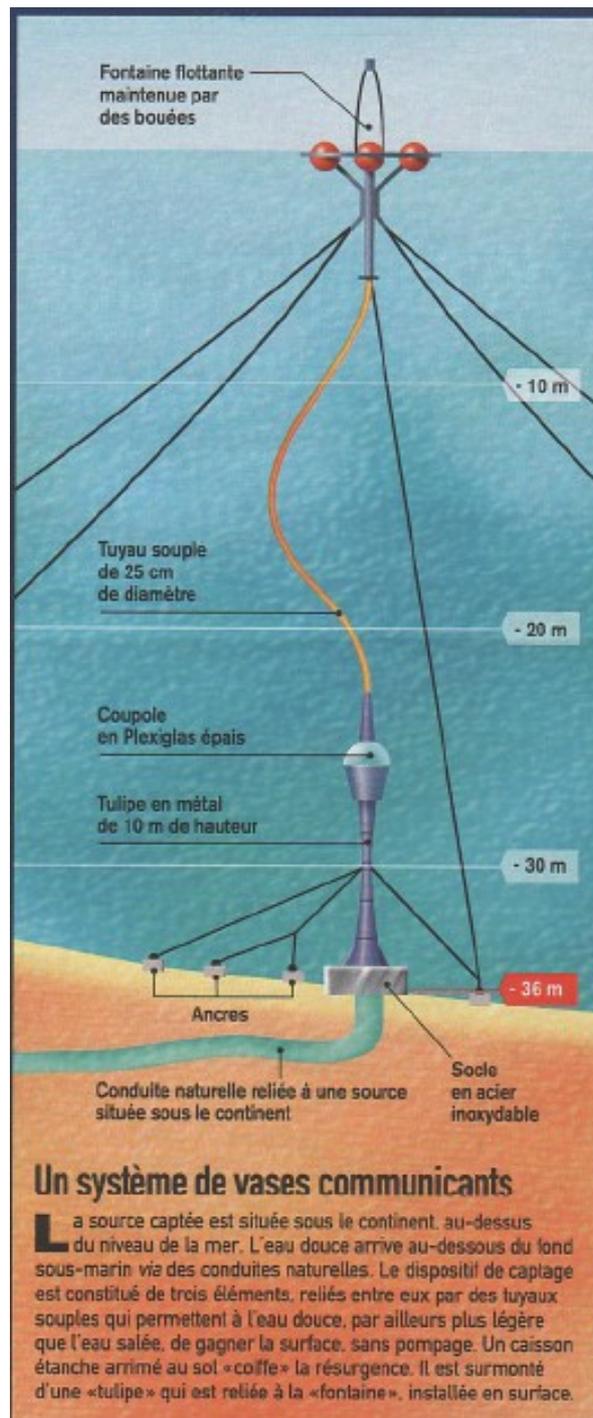
## 5. Autre brevet

Géocéan Solmarine, une entreprise de travaux sous-marins, a développé « Nymphéa », une demi-sphère de plusieurs mètres de diamètre amarrée au fond et gonflée par les remontées d'eau. Un manchon souple fait office de cheminée et guide le précieux liquide depuis sa source jusqu'au sommet de la cloche. En remplissant la demi-sphère, l'"eau douce" chasse l'eau de mer vers le bas. Il suffit d'installer une simple pompe sur le sommet de la cloche pour remplir un réservoir en surface ou acheminer l'eau jusqu'à la côte.



XXXXXXXXXXXX

## 6. Autre schéma de dispositif de captage développé par Nymphéa Water :



XXXXXXXXXXXX

**En conclusion, de nombreuses tentatives ont été faites pour capter l'"eau douce" des résurgences karstiques sous-marines. Les dispositifs technologiques des brevets devraient permettre d'éviter au maximum le mélange avec de l'eau de mer au niveau de la résurgence. Les difficultés liées à la non rupture de l'équilibre hydrodynamique de l'écoulement sont cependant importantes, d'autant plus que les débits des résurgences karstiques sont susceptibles de varier fortement dans le temps.**

## **5 Identification des réalisations existantes et des projets étudiés**

Un recensement partiel des sources sous-marines provenant d'aquifères karstiques, ainsi que des installations existantes dans le bassin Méditerranéen, a été fait, entre autres, par le BRGM (France). De la Turquie à l'Espagne une seule installation de grande capacité fonctionne à ce jour ; située en Argolide (Grèce).

Divers projets ont fait l'objet de début d'investigations depuis plusieurs décennies. Les informations recueillies à ce stade sont uniquement bibliographiques complétées par des entretiens. Nous pouvons mentionner, sans être exhaustif :

- Anavalos en Grèce (Argolide)
- étang de Thau et Port-Miou en France
- Chekka au Liban
- Banyas et Tartous en Syrie
- La Mortola – Menton à la frontière franco-italienne, Tarente en Italie

La plupart des tentatives d'exploitation datent des années 1960-1980 et aucune installation importante n'a été mise en place récemment le long des côtes européennes.

En 1977, des prospections dans l'objectif de capter des résurgences d'eau douce sous-marines ont été réalisées en Libye, Sicile et Grèce.

La tentative de captage la plus récente date de 2003-2004 à La Mortola où une 'Tulipe' a été installée à environ 30 mètres de profondeur afin d'étudier la source dans un but d'exploitation. L'installation n'aurait pas donné les résultats escomptés du fait des débits réels plus faibles que ceux des estimations et de l'intrusion d'eau salée au niveau du captage, et la 'Tulipe' a été retirée.

Plusieurs tentatives de captage ont échoué ou ont été abandonnées, par exemple en Baie de Tarente (Italie) ou à La Mortola (frontière franco-italienne). De petites installations pompant quelques mètres cube/heure existent, ne captant que très partiellement la source et consistant en un tube ou une cloche placé au point de résurgence de la source (exemples : Etang de Thau ou Ville d'Yport, France).

Ces opérations ont très souvent eu lieu en forçant ou en entravant l'hydraulique naturelle. Or, un système karstique est complexe et ouvert, avec une répartition aléatoire des conduits et des cavités. Toute tentative modifiant l'équilibre naturel modifie les paramètres physiques et peut aboutir à une aggravation de l'intrusion d'eau de mer dans le système.

Les installations mises en place qui tentaient de réguler le débit pompé au débit mesuré de la source

ont aussi rencontré des difficultés car ce débit est variable et difficile à mesurer avec précision étant donné l'irrégularité des conduits karstiques (diamètre, rugosité) et l'écoulement turbulent de la source.

Nous donnons ci-dessous les éléments recueillis à l'heure actuelle sur trois de ces réalisations.

## 5.1 Captage et exploitation d'Anavalos (Grèce)<sup>2</sup>

Un barrage en mer avec régulation automatique des flux a été construit à Anavalos (côte est du Péloponèse) entre 1969 et 1972, captant et aménageant des sources d'un débit total moyen de 900 000 m<sup>3</sup>/jour. Ce captage concerne quatre sources principales qui jaillissent près de la côte, à partir de conduits établis dans des calcaires à bancs décimétriques à métriques, d'âge Crétacé supérieur. L'ensemble appartient à la nappe du Pinde sensu stricto et est extrêmement tectonisé. Cette nappe se trouve charriée à grande échelle vers l'Ouest-Sud-Ouest, au-dessus d'une unité constituée de calcaires massifs du Mésozoïque, appelée nappe de Gavrovo - Tripolitza. Ce charriage est un des plus importants des Hellénides. D'autres accidents, essentiellement liés à des phases de tectonique cassante, reprennent le système dans son ensemble pour le morceler et le façonner jusque et y compris à l'époque quaternaire. L'ensemble de sources a un débit cumulé qui varie entre 11 et 13,5 m<sup>3</sup>/s (45 000 m<sup>3</sup>/h en moyenne). L'une des résurgences est côtière, au niveau zéro, les trois autres, respectivement nommées Delta, Kappa et Alpha jaillissent sous la mer à environ 7 mètres de profondeur. Avant aménagement, la teneur en chlorures de ces sources était, en moyenne de 172 à 184 ppm CI pour la résurgence côtière, 180 à 223 pour Delta 400 à 7500 pour Kappa et 1600 à 1500 pour Alpha.

Les installations d'Anavalos, visent à satisfaire aux principes de captage énoncés ci-dessus. Elles sont composées d'un barrage en béton de forme semi-elliptique de 150 m de long sur 8 m de hauteur au-dessus du fond de la mer, percé par 15 buses équipées de vannes (prévues pour s'ouvrir et se refermer automatiquement. Ce mécanisme est asservi aux données fournies par 5 systèmes de capteurs à membrane, fournissant en continu la hauteur de la colonne d'eau tant intérieure (bassin d'"eau douce") qu'extérieure (niveau de la mer).

Une station de pompage, raccordée à l'ensemble, comporte 5 pompes de marque KSB, 4 de travail et 1 de secours, d'une capacité cumulée de 12m<sup>3</sup>/sec. L'eau, destinée à l'irrigation, est transportée à travers une conduite en acier de 2m de diamètre. Etant donné le gigantisme de cette installation, une unité dite "d'urgence" a été prévue, comportant une station de pompage séparée et autonome de 2,9 m<sup>3</sup>/sec et une conduite de 0,8 m de diamètre. L'installation a manifestement atteint son but et, aux essais, elle a fourni une eau à 180 ppm de chlorures, toutes sources confondues. Malgré la dégradation, avec le temps, des systèmes automatiques, la qualité d'eau fournie ne s'est que peu détériorée, restant constamment au-dessous de 500 ppm de chlorures (la norme eau potable est de 250 ppm). Cependant, cette situation posait problème au Maître d'ouvrage, et diverses théories avaient vu le jour, toutes établissant a priori une relation entre cette dégradation et la sécheresse des années 1980 et 1990.

Or, le groupe de scientifiques et ingénieurs chargé de l'optimisation des installations a remarqué, au préalable, que les courbes de pluviométrie pendant les années en question et celles de variation des chlorures pendant le même temps, non seulement ne se superposaient pas mais ne montraient pas de corrélation possible de quelque ordre que ce soit: une autre explication devait donc être recherchée.

<sup>2</sup> Données nouvelles sur l'exploitation des résurgences sous-marines d'eau douce - Ion Argyriadis, Docteur ès Sciences, Beterson Water

Celle-ci a été trouvée, non par des "simulations" miraculeuses mais de façon empirique et presque par hasard : après nettoyage du bassin de rétention envahi au fil des années par les limons des résurgences mais aussi par de la végétation (roseaux, Nénuphars...), le bassin a retrouvé son volume d'origine, et le taux des chlorures a retrouvé ses valeurs initiales. De fait il a été constaté qu'une relation mathématique lie le débit des sources et la capacité du bassin, relation qui détermine le caractère laminaire ou turbulent du mouvement des eaux dans le dit bassin, et par là, le degré de mélange "eau douce" - eau salée et la teneur en chlorures de ce mélange.

L'expérience d'Anavalos, surtout à l'échelle de production qui est la sienne (45 000 m<sup>3</sup>/heure. soit plus de deux fois la consommation de Marseille) est extrêmement intéressante et peut servir de guide pour d'autres réalisations.

Cependant, certains points doivent impérativement être pris en compte et font actuellement l'objet d'études fines :

- \* les systèmes karstiques sont d'une variété extrême et, s'agissant d'un équilibre hydraulique dynamique, chaque cas est un cas particulier qui doit être étudié comme tel ;

- \* le barrage est de technologie relativement ancienne et coûteuse et rien ne justifie de telles spécifications : les pressions internes et externes sont quasiment équilibrées (la différence de niveaux est, en moyenne, de 40cm entre l'"eau douce" et la mer) et l'utilisation de matériaux dérivés, par exemple des barrages antipollution, est une idée qui fait son chemin ;

- \* dans ce dernier cas (matériaux souples) il serait possible d'étudier et de réaliser un dispositif permettant de s'affranchir des coûteux procédés d'asservissement électrique et robotique pour la réalisation de l'équilibre dynamique des niveaux et de se servir des seuls facteurs naturels liés au débit des sources et aux pressions relatives des colonnes d'eau.

Enfin, sur plan d'exploitation effective, on doit tenir compte du fait que, par définition, le niveau de sortie des installations est le niveau 0 (niveau de la mer) et que ceci implique l'utilisation de batteries de pompes pour refouler l'eau et pouvoir ensuite la transporter gravitairement vers son lieu de destination.

## **5.2 Port-Miou**

La résurgence de Port-Miou est une importante résurgence sous-marine (7 m<sup>3</sup>/s) dans la Calanque de Port-Miou, près de Cassis. Cette ressource de plusieurs mètres cubes par seconde est le plus grand fleuve de Provence à l'est du Rhône. Il pourrait permettre l'alimentation en eau d'une grande partie de la Basse Provence à l'est de Marseille.

L'eau circule dans une grotte noyée dont la galerie principale longue de plus de 2 200 mètres a environ 20 mètres de diamètre et descend jusqu'à au moins 170 mètres de profondeur (limite d'exploration).

Des recherches initiées en 2000 ont permis de confirmer l'importance de cette ressource et de montrer que ce fleuve souterrain draine une nappe qui s'étend sur plusieurs centaines de kilomètres-carrés. Elle pourrait être largement utilisée par forage (à l'amont de la zone de mélange avec l'eau de mer) et offrir une alternative à l'utilisation de l'eau de surface.

En 1972-1973, un barrage sous-marin expérimental fut construit à 500 mètres de l'entrée, par le

BRGM et la Société des Eaux de Marseille dans l'espoir de pouvoir capter l'"eau douce" en supprimant l'entrée d'eau de mer dans la partie inférieure de la galerie. Malgré le rehaussement du barrage en 1976, l'eau reste saumâtre (6 g/l) – à rapprocher des concentrations de l'eau de mer 35 g/l, et de l'eau potable 0,25 - et est donc impropre à la consommation.

L'échec des tentatives précédentes est lié à la géométrie particulière de la grotte noyée dans laquelle circule ce fleuve. Certaines galeries sont en effet situées à plus de deux cents mètres sous le niveau marin et se sont probablement mises en place au Messinien il y a près de 6 millions d'années, lorsque la Méditerranée s'est totalement asséchée. Leur existence a été révélée par des plongeurs spéléologues qui, grâce à l'utilisation de mélanges gazeux, ont respectivement atteint dans la grotte les profondeurs de 147 m en 1993 puis 170 m en 2005. La grotte se poursuit au-delà.

Une approche multidisciplinaire comprenant l'analyse bathymétrique du Golfe du Lion et des études paléogéographiques et spéléologiques, a permis de préciser le genèse de ce système.

L'analyse des sédiments et l'étude des variations de débit ont permis de comprendre le mécanisme de la contamination de cette ressource en montrant que de l'eau de mer était aspirée par une galerie profonde qui permet la remontée du sel dans le système jusqu'à environ 2 kilomètres à l'intérieur des terres. Ce phénomène a été révélé grâce à la présence, dans les sédiments de la grotte, de vases marines contaminées par du titane provenant des boues rouges déversées par Péchiney Rio Tinto Alcan à 300 m de profondeur dans le canyon de la Cassidaigne au large des Calanques. Ces boues rouges dont les effets sur le milieu marin sont régulièrement dénoncées par les associations écologistes ont donc aussi un effet sur le milieu continental.

L'exploitation par forage de à l'intérieur des terres à l'amont de la zone de contact avec l'eau de mer paraît envisageable, l'instrumentation de l'exutoire en mer permettant de suivre l'exploitation d'un tel forage.

### **5.3 Chekka au Liban**

Dans cette région plusieurs sources sous-marines, situé entre 20 et 1500 m de la côte libèrent dans l'eau marine d'importantes quantités d'"eau douce". Leur débit varie de 6 m<sup>3</sup>/s en période d'étiage à plus de 60 m<sup>3</sup>/s en période de crue. Le nombre total de source connues est de 17. Seulement 7 sont permanentes. Les autres, dont une de plus de 50 m<sup>3</sup>/s ne se manifestent qu'en hiver.

Leur étude préliminaire, réalisée au début des années 1960, a permis de localiser avec précision, grâce à des plongées sous-marines, les sources visibles en été ; l'inventaire des points d'eau existant sur la côte a également été effectué et a permis de décrire plusieurs forages et des sources intermittentes artésiennes, appelées crevasses. À la suite des résultats obtenus, qui ont montré l'existence d'une nappe typiquement karstique à exutoires sous-marins, il a été choisi la solution de captage sur la côte. Une campagne de géophysique a permis de différencier les zones d'eaux douces de celles où les eaux souterraines subissent l'influence de la mer. Le projet MEDITATE a permis de compléter la caractérisation de ce système karstique.

**On observe donc que, malgré le nombre important de résurgences identifiées, il n'existe qu'une seule réalisation opérationnelle de captage en service.**

## 5.4 Banyas et Tartous en Syrie

Après une première investigation effectuée par des plongeurs en 1996, le GORS (General Organization for Remote Sensor), organisme public Syrien, a réalisé il y a une dizaine d'années un repérage aérien des sources sous marines le long des côtes de la Syrie. Ces sources sont empiriquement mais indubitablement connues depuis l'antiquité. Elles sont nombreuses et abondantes dans les zones –proches- de Tartous et Banyas, et bien localisées.

Dans le prolongement de cet inventaire, une étude devait être réalisée au profit du Ministère de l'Habitat et de la Construction, avec le concours de bureaux d'études français. Cette étude avait bénéficié en 2004 d'un financement FASEP-ETUDES de 500 000 € (sur un montant total de 3 406 000 €, la partie principale devant être financée par un groupe industriel des Emirats). Elle avait entre autres pour objectif la caractérisation des résurgences et l'évaluation précise de leur potentiel, le choix d'un site permettant la réalisation d'un projet pilote de production et de transfert d'eau ainsi que la définition de l'usage qui serait fait de l'eau, enfin, toute l'ingénierie préalable au lancement d'un appel d'offre pour la réalisation d'un projet pilote. Cependant, et malgré l'obtention du financement FASEP, cette étude n'a jamais été réalisée. Les raisons de cet abandon ne nous ont pas été explicitées clairement.

DAWSSA (Damascus water supply and sewerage authority) a aussi fait réaliser une étude à un groupement IBG (Suisse) – DHV (Pays Bas) pour l'alimentation partielle en eau de la ville de Damas à partir des « surplus d'eau » de la zone côtière. En effet l'avenir de l'alimentation en eau de la capitale Syrienne se pose de façon critique, et les eaux en provenance de cette zone (située pourtant à près de 300 km) semblent constituer une solution possible parmi d'autres. Un premier rapport d'études de IBG/DHV a été réalisé en 2000. Les résurgences sous marines n'ont pas été étudiées de façon détaillée de même que, dans la même logique, l'éventualité d'un captage en mer. Le bureau d'études a d'emblée fait le choix d'étudier l'exploitation de la ressource à partir de forages réalisés à terre, « en amont » de la partie sous marine des réseaux karstiques.

Le bassin versant a également fait l'objet d'un rapport de 2007 dans le cadre du programme MEDITATE « Report on the characterization of catchment sites: the Bassieh coastal karst system, Syria » qui conclut que la configuration hydrogéologique est particulièrement favorable à une exploitation sur terre à la condition qu'un suivi permanent de l'eau en différents points permette de se prémunir contre l'intrusion d'eau salée.

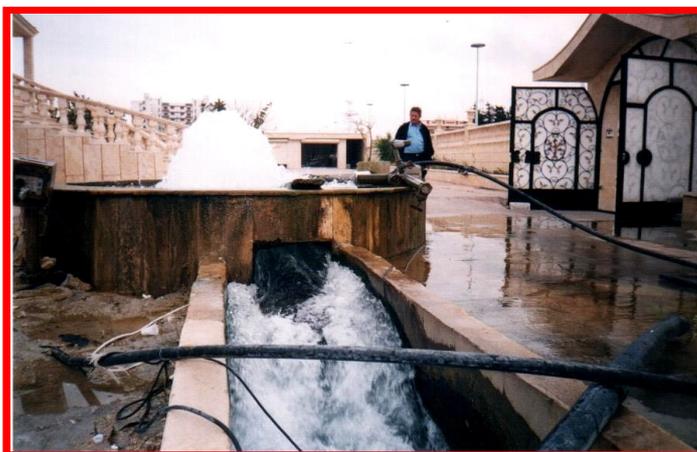
Selon IBG/DHV, des forages tests réalisés et exploités pendant trois mois (seulement) valideraient la possibilité de mobiliser de cette façon une ressource suffisante pour contribuer à l'alimentation en eau de Damas. Les forages pilote (6 en tout) ont permis de pomper régulièrement 1m<sup>3</sup>/s pendant trois mois, sans noter de salinisation de l'eau extraite. Les bureaux d'études concluent par ailleurs qu'il faut créer 64 forages pour assurer la ressource suffisante pour l'alimentation de Damas à horizon 2020 (à noter cependant le coût extrêmement important des projets : plus de 2 milliards de US\$, du fait notamment de la nécessité de transporter l'eau sur 285 km).

Ces études confirment donc la très grande quantité d'eau disponible dans les réseaux karstiques débouchant par des résurgences sous marines ; le bilan hydrologique sur le bassin versant réalisé dans le cadre de l'étude MEDITATE va dans le même sens. Il est cependant permis de s'interroger sur le risque de remontées salines dans le karst qui pourraient être consécutives à une surexploitation de l'aquifère.

Un des rapporteurs qui s'est rendu sur le site considère que si globalement la perspective de captages en mer ne paraît pas prioritaire pour l'exploitation des eaux karstiques, on ne peut toutefois

exclure a priori que cette zone puisse faire l'objet d'une étude, voire d'une réalisation expérimentale, de captage sous marin. Bien entendu, cela suppose qu'une demande locale en ce sens soit clairement exprimée.

Les deux autres rapporteurs considèrent, après avoir pris connaissance de l'existence de résurgences artésiennes terrestres accessibles (photo ci-dessous), d'une part, et des études déjà réalisées par deux consortiums internationaux ayant publié des rapports dès 2000, puis jusqu'en 2005 pour IBG/DHV et en 2007 pour MEDITATE, préconisant un captage des eaux à terre, d'autre part, qu'il n'est pas opportun de donner une priorité à ce site pour le captage en mer de la résurgence d'eau douce.



Résurgence artésienne terrestre sur le bassin versant de Banyias

## **6 Identifications des raisons des succès et des échecs**

### **6.1 Éléments de succès et perspectives**

#### ***6.1.1 Démarche d'identification de la résurgence***

L'eau des sources sous-marines jaillit naturellement, à des débits compris entre zéro et plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde. En plus, comme sa densité est inférieure à celle de l'eau de mer, l'"eau douce" s'élève, en de larges volutes, pour se fondre dans l'eau salée. Nécessitant moins d'énergie pour être pompée, elle paraît s'offrir à qui saura la retenir.

**L'identification d'un apport exogène au milieu marin est facile à mettre en évidence.**

#### ***6.1.2 Perspectives de développement***

Alors que la gestion active de certains aquifères, dont celui de la source du Lez à Montpellier, est proposée en exemple, la situation devient dans certaines régions suffisamment critique pour devoir envisager une gestion « proactive », c'est-à-dire une gestion intégrée d'un système karstique, prenant en compte un terme de recharge complémentaire, artificiel et contrôlé, soit pour reconstituer un stockage à l'échelle saisonnière, soit pour repousser une intrusion marine, soit enfin pour stocker

saisonnement des eaux. Cette voie toute nouvelle impose de bien connaître la structure et le fonctionnement locaux des aquifères karstiques pour déterminer les sites et les modes d'injection et ceux d'exploitation. Un site pilote de ce type de développement est en cours d'investigation au Liban (rivière Damour).

## **6.2 Problèmes observés**

### **6.2.1 Qualité de la ressource**

Nombre de problèmes de qualité des aquifères karstiques découlent de leur fonctionnement spécifique, caractérisé par des cheminements préférentiels et des effets de seuil. Des connaissances hydrogéologiques régionales et locales limitées sont souvent à l'origine de plans d'exploitation inadaptés, provoquant parfois des bouleversements irrémédiables.

Des développements d'investigations (géophysique, diagraphies en forage...), sont nécessaires pour aboutir à une meilleure connaissance du système karstique.

**Un suivi de la pérennité de la ressource sur les plans quantitatif et qualitatif (salinité) sur au moins un cycle hydrologique est indispensable.**

### **6.2.2 Technique de captage**

La plupart des installations mises en place tentaient d'asservir le débit pompé au débit mesuré de la source ; or ce débit est variable et difficile à mesurer avec précision étant donné l'irrégularité des conduits karstiques (diamètre, rugosité) et l'écoulement turbulent de la source.

**Le respect d'un équilibre hydrodynamique variable au captage est un impératif important.**

### **6.2.3 Aspect économique**

Rappelons des ordres de grandeur de l'énergie, et donc du coût nécessité pour différentes valorisations de l'eau : pompage, traitement...

- 1 kWh pour relever 3 600 litres d'eau de 100 mètres
- 0,5 Kwh pour traiter 1m<sup>3</sup> d'eau
- 4 Kwh pour dessaler 1m<sup>3</sup> d'eau,...

Le Liban (communication de Fadi Comair, Directeur des ressources en eau et de l'énergie) ne prévoit pas de s'intéresser aux résurgences sous-marines présentes sur son littoral avant 2020, mais poursuit le développement de la construction de barrages qui présentent l'avantage économique d'avoir des eaux utilisables par écoulement gravitaire.

## **6.3 Inventaire des points critiques en vue de l'exploitation de la résurgence**

### **6.3.1 Identification de la ressource**

Des explorations menées par les spéléologues dans les grottes et conduits souterrains permettent éventuellement d'obtenir des informations partielles.

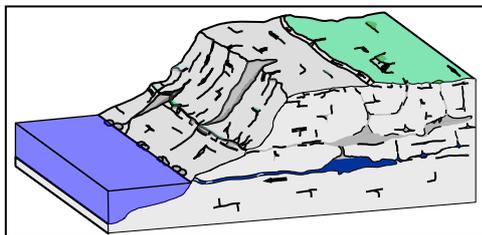
Des suivis, à la résurgence, des variations de la température, du débit ou encore de la composition chimique de l'eau permettent de préciser la dimension du bassin d'alimentation (surface de la zone calcaire), l'importance du flux (son débit moyen), la quantité des réserves stockées et enfin la façon dont l'eau circule dans les réseaux. Le suivi de ces paramètres au niveau des résurgences marines n'est cependant pas simple et doit être réalisé sur plusieurs cycles hydrologiques.

Il convient de souligner que des études approfondies ou des expérimentations ont fréquemment démenti les hypothèses initiales qui avait conduit à envisager une exploitation d'une résurgence soumarine/ On citera comme exemple :

- la Mortola : débits mesurés significativement plus faibles que les estimations initiales, alors que le karst peu développé garantit une non contamination à distance par l'eau de mer, celle-ci s'est produite localement lors de la tentative d'exploitation par inversion de fonctionnement de sources voisines
- Port Miou où le barrage destiné à stopper le flux entrant d'eau de mer dans la galerie principale n'a pas donné les résultats escomptés, les investigations ultérieures ayant conclu à un apport d'eau de mer par une galerie profonde (plus de 100 m sous le niveau de la mer) en communication à la fois avec la mer et la galerie principale (karst fossile très développé)
- source de la Vistre dans l'étang de Thau : débits mesurés significativement plus faibles que les estimations initiales mais restant importants, salinité d'origine thermale profonde et non marine, dans un système karstique développé mais ne communiquant que faiblement avec la mer

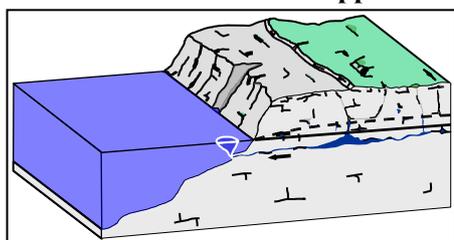
Ces trois cas illustrent une typologie proposée dans la thèse de P FLEURY (aujourd'hui au BRGM) et présentée dans la figure ci après :

## Typologie des aquifères karstiques littoraux



**Type 1 (Mortola)**

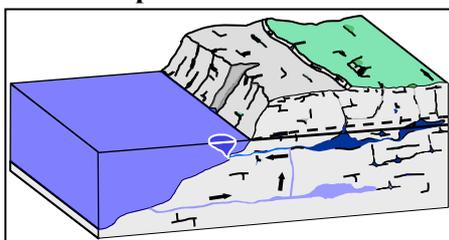
Système à karstification peu ou mal développée en



- faible débit et variabilité atténuée
- charge suffisante pour empêcher les intrusions marines
- eau douce toute l'année
- réserves limitées

**Type 2 (Moraig-Toix)**

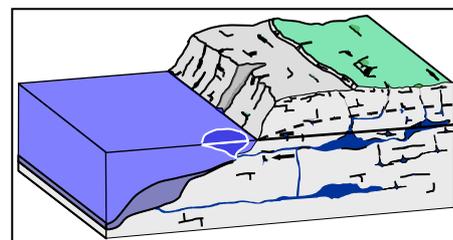
Système bien karstifié en profondeur



- forts débits et forte variabilité
- eau saumâtre au moins à l'étiage
- réserves importantes
- regroupe les Almyros

**Type 3 (Thau)**

Système bien karstifié mais partiellement ou totalement isolé de la mer



- forts débits et forte variabilité
- charge suffisante pour empêcher les intrusions marines
- réserves importantes
- eau douce toute l'année

D'une telle typologie, on peut déduire que la valorisation en mer du type 1 est peu intéressante (réserves de qualité mais limitées), la valorisation du type 3 est envisageable à condition de ne pas abaisser la charge hydraulique lors du captage, celle de type 2 est plutôt à envisager à terre à l'amont des intrusions salines potentielles tout en surveillant les résurgences, sinon on peut tenter d'opérer une mise en charge du conduit pour empêcher les intrusions salines (réussite à Anavalos pour de l'irrigation, avec un barrage adossé au littoral, échec à Port Miou) .

Au-delà d'une source, c'est bien un système karstique que l'on exploite, dont il est souhaitable de connaître les caractéristiques, au risque, sinon, d'un échec lors de tentatives d'exploitation sur un exutoire.

### **6.3.2 Captage de la ressource**

Des tentatives ont été faites pour capter l'"eau douce" des résurgences karstiques sous-marines, basées sur le principe d'un barrage stoppant le flux d'"eau douce" avec accumulation de l'eau salée vers le fond. C'est, par exemple, ce qui a été réalisé à Port-Miou près de Marseille, en Argolide (Grèce) ou encore en Libye.

Ces opérations ont très souvent eu lieu en forçant ou en entravant l'hydraulique naturelle. Or, un système karstique est complexe et ouvert, avec une répartition aléatoire des conduits et des cavités, conduits parfois largement ouverts susceptibles de laisser pénétrer l'eau de mer très facilement. Toute tentative modifiant l'équilibre naturel modifie les paramètres physiques et peut aboutir à une aggravation de l'intrusion d'eau de mer dans le système.

### **6.4 Éléments non techniques**

Depuis plusieurs années, les situations de stress hydrique se tendent dans la plupart des pays du sud et de l'est méditerranéen, et parfois aussi dans les pays du pourtour nord ; par ailleurs les impératifs du développement durable conduisent à s'interroger sur le développement de l'exploitation des ressources en eau conventionnelles (pompages dans les nappes, barrages) ou sur le recours systématique au dessalement. Ce contexte conduit à rechercher pour certains usages de nouvelles ressources considérées précédemment comme non exploitables, ou peu exploitables, ou encore tout simplement négligées car jugées a priori moins intéressantes que les ressources classiques. Le captage d'« eau douce » en mer est de ce point de vue une piste séduisante : il y a là une ressource renouvelable disponible et dont l'exploitation, si elle est raisonnée - interférant le moins possible (sauf dans le cas de la gestion proactive) avec le système karstique en amont de la résurgence elle-même, donc sans « forcer » la nature- n'entraînerait pas d'atteinte aux ressources naturelles en eau.

Cependant, alors que de nombreuses résurgences ont été identifiées, un faible nombre a fait l'objet d'une tentative d'exploitation.

Les incertitudes techniques relevées sont à l'origine de ce peu de réalisations, mais elles n'en sont sans doute pas la seule cause. On doit aussi mentionner :

- des causes d'ordre juridique : le statut des captages d'eau résurgente en mer ne semble pas défini, ce qui peut conduire à certaines hésitations de la part d'éventuels promoteurs de projets ;
- des causes d'ordre économique (au sens large) qui conduisent à choisir des solutions plus classiques et mieux maîtrisées pour développer de nouvelles ressources en eau : barrages sur les cours d'eau, pompages dans les nappes accessibles depuis la terre ferme et, plus récemment, dessalement ;
- des causes d'ordre organisationnel : la mise en place d'une communauté d'intérêts « maîtrise d'ouvrage / ingénierie / réalisation / exploitation » nécessite un effort d'innovation à la fois technique et institutionnelle qui ne va pas de soi ;
- enfin, on ne semble pas avoir une idée claire des usages à satisfaire -irrigation, usage industriel ou eau potable- ce qui évidemment se traduit par des exigences de qualité tout à fait différentes. Les exigences de régularité et de salinité seraient moindres pour certains usages, comme par exemple l'irrigation et l'arrosage d'espaces de loisirs (golfs, etc.) pour

lesquels des eaux alimentant des résurgences sous marines – captées à terre ou en mer - pourraient être utilisées, tout comme des eaux usées épurées.

C'est pourquoi le développement de nouvelles expériences de captage suppose non seulement, mais d'abord, d'apporter des réponses aux questions techniques, mais aussi, les bases techniques une fois acquises, de définir les modalités de la gouvernance des projets : objectifs, maîtrise d'ouvrage, ingénierie, investisseurs, constructeurs, exploitants... en identifiant les partenariats porteurs de projets.

Il est important de noter que les résultats techniques mitigés qui ont pu être enregistrés ne doivent pas, dans un contexte où les techniques éprouvées ne sont pas optimales à l'aune du développement durable, constituer un obstacle définitif à de nouvelles tentatives, mieux appuyées sur des bases d'abord techniques mais aussi ensuite organisationnelles.

## ***7 Conclusions et proposition d'un cahier des charges afin d'engager les expertises externes d'un projet***

Les aquifères karstiques littoraux, du fait de l'accroissement de la demande en eau le long des côtes, risquent d'être de plus en plus sollicités, mais sont souvent menacés par les intrusions marines pour le moment incontrôlables, et par les pollutions provoquées par l'activité économique.

Les résurgences d'"eau douces" sont cependant souvent en relation avec des zones d'alimentation côtières de l'aquifère. L'observation d'une résurgence représente un indicateur fondamental de mise en évidence d'une ressource potentielle en eau.

De plus, les usines de dessalement se tournent maintenant de plus en plus vers le prélèvement d'eaux souterraines saumâtres ou salées et donc vers le karst, en Méditerranée. Pour le moment, il semble que les décharges en mer de certains de ces aquifères ne soient pas directement exploitables. L'exploitation de ces ressources par des forages à terre, solution alternative au captage en mer est aussi aléatoire et présente également des risques de salinisation pour être utilisés systématiquement pour l'eau potable ou l'irrigation. Dans tous les cas une surveillance en continu de la salinité de l'eau prélevée est indispensable pour éviter la salinisation.

Quelle que soit la méthode d'exploitation, ces eaux peuvent néanmoins, dans certaines localisations, représenter une ressource intéressante à exploiter qu'il convient d'évaluer.

Les incertitudes techniques ne doivent pas faire obstacle à la mise en oeuvre de nouvelles expérimentations en vraie grandeur. Il convient en effet compte tenu de l'intérêt que peuvent présenter les résurgences d'"eau douce" en mer – ou plutôt les systèmes karstiques qu'elles révèlent - d'examiner sérieusement les opportunités que semblent présenter certains sites.

L'ébauche de cahier des charges de l'étude d'un projet pourrait donc s'articuler comme suit :

1. Justifier le besoin de développement d'une nouvelle ressource parallèlement à la mise en oeuvre de gestion de la demande en eau et d'économie des ressources en eau
2. Identifier suffisamment en amont les partenaires – services de l'Etat, collectivités territoriales, investisseurs, partenaires techniques...) susceptibles de porter le ou les projets, et susciter, lorsque les bases techniques seront assurées, la mise en place d'une gouvernance.

3. Identifier le ou les points de résurgence d'eau, à terre et en mer, pérennes et temporaires (avec observation du relief sous marin : cours d'eau fossiles)
4. Acquérir la meilleure connaissance hydrogéologique possible régionale et locale, qualitative et quantitative, de la ressource sur une période suffisamment longue et pour ce faire :
  1. Caractériser l'eau émise au(x) point(s) de résurgence sur un cycle hydrologique suffisamment long, en débit et en qualité (température, salinité)
  2. Caractériser le plus précisément possible le fonctionnement du système karstique et les cheminements de cette ressource, et notamment les inversions de circulation entre l'eau douce et l'eau de mer en fonction de la charge hydraulique
5. Caractériser le plus précisément possible le fonctionnement du système karstique et les cheminements de cette ressource, et notamment les inversions de circulation entre l'eau douce et l'eau de mer en fonction de la charge hydraulique
6. Envisager les différentes possibilités techniques de son captage, en comparant, si possible des coûts d'étude et de réalisation des captages à terre ou en mer
7. Dans le cas de perspectives d'exploitation, intégrer l'étude d'une gestion « proactive » de l'aquifère karstique
8. Étudier les aspects juridiques de tels travaux : en France :
  - ✓ droit privé ou domanial (DPM)
  - ✓ droit de l'eau
  - ✓ loi littoral
  - ✓ évaluation environnementale (chantier - équipements à terre nécessaires , exploitation, accidents...)
9. Dans le cas de perspectives d'exploitation, intégrer l'étude d'une gestion « proactive » de l'aquifère karstique (*cf paragraphe 6,2,1,*)
10. Évaluer l'impact du captage de la résurgence sur la perturbation de l'équilibre de l'écosystème local, notamment dans le cadre de l'émergence de l'aquifère dans une zone littorale peu renouvelée (lagune, marais littoral) ; l'impact peut être également socioéconomique lorsque l'écosystème est déjà valorisé (cf étang de Thau)
11. Mettre en place un suivi continu lors de l'exploitation, y compris des résurgences non exploitées (l'arrêt d'un débit de résurgence en mer peut alerter sur une surexploitation et anticiper un risque de salinisation à terre)
12. Estimer l'influence du changement climatique, pluviométrie et température qui auront une incidence à la fois sur la recharge mais aussi sur la résurgence par la variation du niveau de la mer

## **8 Proposition de poursuite de la réflexion**

Au-delà des rencontres de la mission avec les représentants des sociétés Nymphéa Water et

Berteson Water et avec des chercheurs universitaires ayant travaillé sur diverses résurgences d'eaux douces en mer, dans l'objectif d'identifier le(s) projet(s) d'utilisation de nouvelles ressources en eau sur le littoral méditerranéen qu'il serait possible de promouvoir et les partenaires concernés, nous proposons le programme suivant :

- Identification des sites ou projets de captage ayant fait l'objet d'études
- Description des études de faisabilité existantes
- Recensement des expérimentations
- Description des études d'impact environnementales

La méthodologie suivante serait mise en oeuvre :

- Poursuite de la collecte des informations scientifiques et techniques disponibles sur les sites où des résurgences ont été repérées : Grèce (dont la Crète), Croatie, Chypre, Espagne, France, Italie, Liban, Libye, Syrie, Turquie
- Visite des sites déjà identifiés au Liban et en Syrie et identification des acteurs locaux susceptibles de s'engager
- Visite d'autres sites potentiellement intéressants recensés et rencontre avec les acteurs et partenaires concernés
- Si l'opportunité se présente, réalisation d'une expérimentation en vraie grandeur qui permettrait d'évaluer les dispositifs de captage en mer des résurgences

Cette poursuite de ces investigations, qui irait au-delà de la lettre de commande de la DEB, ne relève pas nécessairement du CGEDD seul et nécessite une expertise technique “pointue” à mobiliser dans d'autres organismes.

## **9 Personnes contactées**

Michel Bakalowicz, Séverin Pistre, CNRS Hydrosociences Montpellier

Jean-Claude Guillaneau, Nathalie Doerfliger, Jean Margat, Perrine Fleury, BRGM

Bruno Barnouin, IFREMER

Alain Pialat, Pierre Boissery, Agence de l'eau RMC

Savin et Valencia, Diren PACA

Nicolas Remy-Hurst, Berteson Water

Thierry Carlin, Nymphéa Water

Eric Gilli, Université Jussieu

Sabine GHIKAS, Attachée sectorielle Mission économique d'Athènes

## **10 Personnes ressources**

Michel Bakalowicz, Séverin Pistre, UMR 5569 Hydrosiences, Montpellier

Nathalie Dorfliger, Perrine Fleury, BRGM

Pr. E. Gilli, Université de Jussieu

Jean Margat

## **11 Bibliographie**

Michel Bakalowicz, Le milieu karstique : études et perspectives, identification et caractérisation de la ressource, CFH - Colloque Hydrogéologie et karst au travers des travaux de Michel Lepiller 17 mai 2008

Nice matin, 22 octobre 2003

Ion Argyriadis, Données nouvelles sur l'exploitation des résurgences sous-marines d'eau douce, Beterson Water

Document publicitaire Nymphéa Water

Divers brevets, publications et documents

## **12 Lettre de mission**



(95) 09 DEC 2008

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

**Conseil général de l'environnement  
et du développement durable\***

La Défense, le 9 DEC. 2008

**Le Vice-Président**

**Note**

à

**Monsieur Jean-Jacques LAFITTE,**  
ingénieur général du génie rural, des eaux et  
des forêts

**Monsieur Hervé LAINE,**  
ingénieur général des ponts et chaussées

**Monsieur Patrick MARCHANDISE,**  
ingénieur en chef des travaux publics de l'Etat

Référence CGEDD n° 006557-01

Par lettre du 21 novembre 2008, la directrice de l'eau et de la biodiversité a demandé au Conseil général de l'environnement et du développement durable de diligenter une **mission d'expertise donnant l'état des lieux en matière d'eaux douces captées en milieu marin en Méditerranée.**

Je vous confie cette mission enregistrée sous le n° 006557-01 dans le système de gestion des affaires du CGEDD.

J'attire votre attention sur le souhait de la directrice de disposer du rapport final d'ici la fin du mois de janvier 2009.

Conformément à la procédure en vigueur, je vous demande d'adresser votre rapport de fin de mission au président de la 2ème section et de m'en faire parvenir simultanément un exemplaire, aux fins de transmission à la directrice de l'eau et de la biodiversité.

Claude MARTINAND

**Copies :** M. le Président et Mme la Secrétaire de la 2ème section  
M. le Président de la CPRN

Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

[www.cgedd-sg@developpement-durable.gouv.fr](http://www.cgedd-sg@developpement-durable.gouv.fr)

\* Le CGEDD est issu de la réunion  
du conseil général des Ponts et Chaussées  
et de l'inspection générale de l'Environnement

Tour Pascal B - 92055 La Défense cedex - Tél : 33 (0)1 40 81 21 22 - Fax : 33 (0)1 40 81 23 24

REÇU LE 24 NOV. 2008



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Direction Générale de l'Aménagement, du Logement  
et de la Nature

24 NOV. 2008

Paris, le 21 NOV. 2008

Direction de l'Eau et de la Biodiversité  
La Directrice

M. BADRE	AE
MME DE FLEURIEU	1
M. GRESSIER	2
M. SANTEL	3
M. MAUGARD	4
M. PARENT	5
M. BELOTTE	6
M. CHANTEREAU	7
M. ROUSSEL	CPRN
M. BARBAROUX	
M. JUFFÉ	

Claude MARTINAND

Monsieur le Vice-Président,

L'Union pour la Méditerranée intègre l'eau dans ses thématiques prioritaires. Cette initiative va permettre dans ce secteur l'adoption d'une stratégie régionale à long terme et la mise en œuvre de projets concrets.

De nombreux projets concrets ont d'ores et déjà été recensés et leurs porteurs se mobilisent pour promouvoir leurs savoir-faire.

Parmi ceux-ci, le captage d'eau douce en milieu marin a été mis en évidence, notamment lors d'une réunion récente tenue avec les représentants de la Cellule Union pour la Méditerranée de la Présidence de la République et à laquelle participaient des représentants de notre ministère (direction des affaires européennes et internationales, direction de l'eau et de la biodiversité).

Cette pratique apparaît tout à fait prometteuse du fait des nombreuses résurgences d'eau douce en mer en Méditerranée; néanmoins, à ce jour, seules quelques applications concrètes existent réellement.

Il apparaît donc nécessaire de mener des expertises à ce sujet permettant de disposer de premiers éléments d'appréciation des possibilités de développement de cette pratique dans cette région.

**Monsieur le Vice-Président  
du Conseil Général de l'Environnement  
et du Développement Durable  
Ministère de l'Ecologie, de l'Energie,  
Du Développement Durable  
Et de l'Aménagement du Territoire  
Tour Pascal B/27ème étage  
92055 LA DEFENSE**

Ressources, territoires et climat  
Développement durable  
Énergie et climat  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

20 avenue de Ségur - 75302 PARIS 07 SP - Tél. : 01 42 19 20 21

Je souhaiterais donc que le CGEDD, qui intervient d'ores et déjà en appui à ma direction pour la composante « eau » de l'Union pour la Méditerranée, et notamment par le travail fait par Monsieur Patrick Marchandise, réalise une expertise rapide à ce sujet.

Cette expertise rapide aura pour objectif d'établir un état des lieux de l'utilisation potentielle d'eaux douces captées en milieu marin. Elle abordera les points suivants :

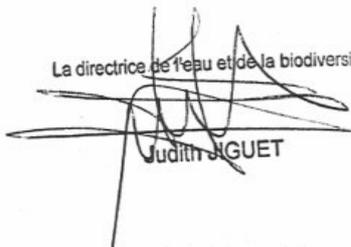
- enjeux,
- potentialités existantes,
- techniques utilisées,
- identification des réalisations existantes et des projets étudiés,
- identification des succès et des échecs en indiquant leurs raisons,
- inventaire des points à approfondir,
- définition d'un cahier des charges afin d'engager d'éventuelles expertises complémentaires,
- recommandations.

Ce travail sera réalisé en étroite coordination avec mes services et ceux de la DAEI, avec qui le présent courrier a été concerté. Il pourra déboucher sur des expertises plus précises qui me paraissent relever, dans leur grande majorité, d'organismes spécialisés externes à notre ministère.

Je souhaite, compte-tenu de la possibilité de la tenue le 18 décembre prochain de la conférence ministérielle « eau » dans le cadre de l'Union pour la Méditerranée, que le CGEDD me remette une première note au plus tard le 9 décembre, le rapport final de l'expertise rapide étant fourni au plus tard à la fin janvier 2009.

Je vous remercie de bien vouloir me donner votre accord sur cette proposition.

La directrice de l'eau et de la biodiversité



Judith JIGUET



Présent  
pour  
l'avenir

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

---

Conseil général de l'Environnement  
et du Développement durable

7<sup>e</sup> section – secrétariat général

bureau Rapports et Documentation  
Tour Pascal B - 92055 La Défense cedex  
Tél. (33)01 40 81 68 12/45