

POULARD, J.-P. et TISSERAND, C., Office d'Équipement Hydraulique de la Corse, France

**LE RESERVOIR SOUPLE IMMERGE: UN PROJET AUX APPLICATIONS NOMBREUSES**  
**THE FLEXIBLE IMMERSSED RESERVOIR: A PROJECT WITH INNUMERABLE APPLICATIONS**  
**FLEXIBLER TAUCHBEHÄLTER: EIN PROJEKT MIT UNZÄHLIGEN ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN**

*Le Réservoir Souple Immergé (R.S.I.) ne diffère pas notablement des autres réservoirs souples mais son immersion dans l'eau (lac, barrage, mer) permet de supprimer presque totalement ces contraintes et donc d'augmenter considérablement sa capacité : le projet actuel porte sur un module de base dont la capacité sera de 10.000 m<sup>3</sup> (réalisation du 1er module en 1986).*

*Ce R.S.I. doit permettre de stocker à peu de frais des liquides et en particulier de l'eau potable.*

*Les études en cours, basées sur une maquette de 25 m<sup>3</sup>, portent à la fois sur la technologie de réalisation d'un module de 10.000 m<sup>3</sup> et sur l'aspect qualitatif des eaux potables conservées longtemps dans un tel réservoir.*

#### 1 - PREAMBULE

L'Office d'Équipement Hydraulique de la Corse (O.E.H.C.) est une Société d'Aménagement Régional spécialisée dans le domaine de l'alimentation en eau à usage soit agricole pour l'irrigation, soit humain pour l'alimentation en eau potable des agglomérations.

De ce fait, cette Société est constamment confrontée aux problèmes de stockage de l'eau en grande quantité, dans un domaine pouvant aller du barrage de plusieurs millions de m<sup>3</sup> au château d'eau de quelques dizaines de m<sup>3</sup>.

Dans cette vaste fourchette de volume, il existe une zone plus réduite se situant au-delà de quelques milliers de m<sup>3</sup>, jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de m<sup>3</sup> (disons de 2.000 m<sup>3</sup> à 50.000 m<sup>3</sup>) qui pourrait être très utile dans un système hydraulique - par exemple pour la sécurité de l'alimentation, la compensation inter-journalière, ou même le stockage saisonnier - et qui est rarement retenue dans les projets, car de tels réservoirs réalisés en ouvrages traditionnels imposent des contraintes techniques, foncières, et bien entendu, financières, bien souvent incompatibles avec l'économie du projet.

D'où notre recherche de solutions nouvelles pour le stockage de capacité de l'ordre de plusieurs milliers de m<sup>3</sup> à coût réduit.

L'Office d'Équipement Hydraulique de la Corse a acquis au cours des dix dernières années une très grande expérience en matière d'étanchéité de grands ouvrages par membrane mince.

Citons pour mémoire :

*The flexible Immersed Reservoir (F.I.R.) does not differ very much from others flexible reservoirs but its immersion in water (lake, Dam reservoir, see) enables one to almost totally suppress the stresses and therefore to considerably augment its capacity.*

*The present project concerns a basic module the capacity of which will be 10.000 m<sup>3</sup> (Fabrication of the first module in 1986).*

*This F.I.R. should permit the storage at low cost of liquids, in particular drinking water.*

*Present studies, based on model of 25 m<sup>3</sup> are directed toward both the fabrication technology of a module of 10.000 m<sup>3</sup> and the quantitative aspects of drinking water stored long term in such a reservoir.*

Le Barrage de l'OSEPDALE : Premier barrage d'une hauteur supérieure à 20 m ayant une membrane mince pour étanchéité principale. Membrane bitumineuse. Hauteur : 25 m - volume : 3 hm<sup>3</sup>.

Le Barrage de CODOLE : Hauteur 28 m - volume 6,5 hm<sup>3</sup> - même procédé d'étanchéité en membrane PVC.

Le Réservoir de GUAZZA : Volume : 370.000 m<sup>3</sup> - cuvette entièrement revêtue en membrane bitumineuse : 7 ha.

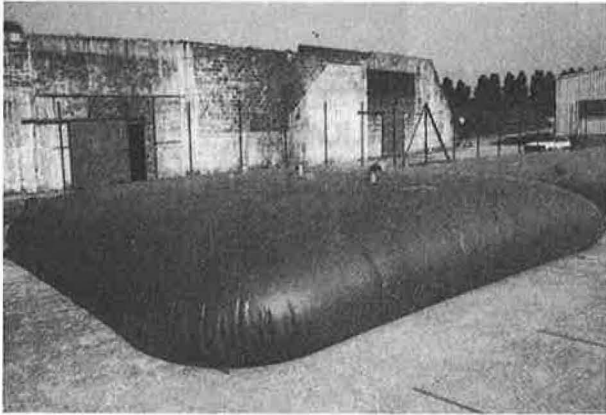
Le Réservoir de SALVI : Stockage d'eau potable de 40.000 m<sup>3</sup> - réservoir en déblais-remblais couvert avec étanchéité en membrane PVC.

Les Ingénieurs de la Société ont donc tout naturellement songé à exploiter les propriétés de ces matériaux pour résoudre le problème des réservoirs de stockage et notamment dans le domaine de l'emploi des réservoirs souples.

#### II - PRINCIPE

Les réservoirs souples existent depuis longtemps et sont utilisés pour le stockage ou le transport de liquides divers : eau, hydrocarbures, etc... Ils ont en général une forme de coussin plus ou moins aplati et leur capacité est très variable : de quelques dizaines de litres à plusieurs centaines de m<sup>3</sup> (il semble que 500 m<sup>3</sup> soit un maximum très rarement atteint).

Cette capacité limitée est due aux contraintes très élevées qui s'exercent sur l'enveloppe, contraintes proportionnelles à la hauteur du réservoir. Ces contraintes imposent des enveloppes très résistantes donc très lourdes et coûteuses. C'est pourquoi les plus gros réservoirs sont en fait très aplatis, ce qui augmente encore leur prix et leur emprise au sol.



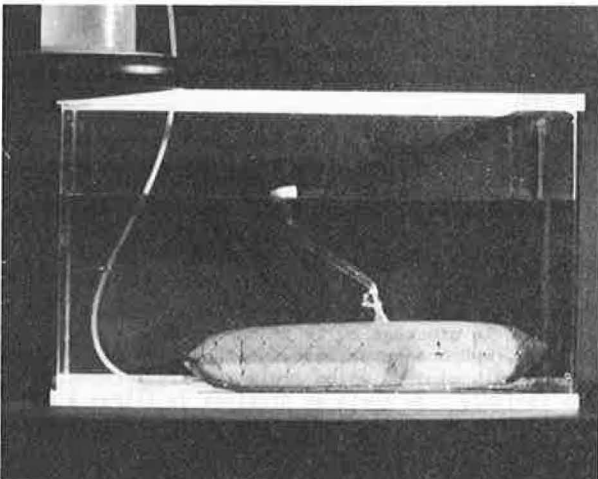
Un réservoir souple classique

De ce fait, l'utilisation de ce type de réservoir est limitée à des usages très particuliers au niveau individuel ou de l'armée.

Par sa forme et son mode de réalisation, le réservoir souple immergé (R.S.I.) ne diffère pas notablement des autres réservoirs souples. Mais l'idée nouvelle est d'immerger celui-ci dans un liquide avant d'être rempli par un autre liquide de densité comparable. Dans la pratique, cette immersion ne peut se faire que dans de l'eau, et en conséquence, il devra contenir également de l'eau, ou à la rigueur des hydrocarbures lourds.

Pourquoi vouloir stocker de l'eau dans de l'eau ? Ceci peut présenter un grand intérêt si par exemple il s'agit de stocker de l'eau douce dans de l'eau de mer, ou de l'eau potable dans de l'eau non potable (eau d'un bassin, lac, barrage ou mer).

Cette immersion du réservoir dans un liquide de densité comparable permet de supprimer presque totalement les contraintes de traction sur l'enveloppe, à condition de maintenir un équilibre hydrostatique entre l'extérieur et l'intérieur du réservoir : en effet, et aux différences de densité près, ce réservoir, s'il n'est pas mis en pression, est en permanence en équilibre hydrostatique.



Maquette au 1/200e du R.S.I.

Tant qu'il n'est pas complètement rempli, son enveloppe reste molle et sa forme est indéfinie. Ce n'est qu'au voisinage du remplissage maximum que l'enveloppe commence

à se tendre et que la pression à l'intérieur commence à dépasser la pression à l'extérieur du réservoir.

Théoriquement, à condition de garder l'équilibre des pressions, un tel réservoir pourrait se satisfaire d'une enveloppe excessivement mince. Pratiquement, une enveloppe de caractéristiques moyennes devra être utilisée, compte tenu des contraintes extérieures prévisibles ou imprévisibles qui pourraient s'exercer sur celle-ci.

Parmi les sources prévisibles des contraintes sur l'enveloppe, on peut citer notamment :

- la différence de densité entre les liquides à l'intérieur et à l'extérieur de l'enveloppe : par exemple un réservoir rempli d'une eau douce à 20° ( $d = 0,9982$ ) immergé dans une eau douce à 10° ( $d = 0,9997$ ) subit une poussée d'Archimède de  $0,9997 - 0,9982 = 0,0015$  kg/l, soit  $1,5$  g/l =  $1,5$  kg/m<sup>3</sup>.

Dans le cas d'une eau douce à 20° ( $d = 0,9982$ ) immergée dans de l'eau de mer (type Méditerranée) à la même température ( $d = 1,02$ ), la poussée d'Archimède sur le réservoir est alors de :  $1,02 - 0,9982 = 0,022$  kg/l =  $22$  g/l =  $22$  kg/m<sup>3</sup>.

Cette poussée d'Archimède tend à soulever le réservoir, ce qui impose de réaliser un ancrage au sol.

On peut évidemment imaginer un cas de figure inverse, qui se traduirait par une très faible charge sur le sol du réservoir.

- Des courants au sein du liquide environnant peuvent exercer des poussées hydrodynamiques sur le réservoir. Il conviendra donc, si de tels courants sont envisageables, de réaliser un ancrage approprié du réservoir et de dimensionner l'enveloppe en conséquence.
- Lorsque le réservoir atteint son remplissage maximum, il monte inévitablement en pression. Or, il suffit d'une pression interne très faible pour exercer une contrainte très élevée sur l'enveloppe. En conséquence des dispositifs limitant la pression intérieure devront obligatoirement être prévus, mais l'enveloppe devra être calculée pour résister à une légère surpression interne.

### III - REALISATION PRATIQUE

L'Office d'Équipement Hydraulique de la Corse désire réaliser rapidement une capacité de stockage de 50.000 m<sup>3</sup> d'eau potable. Pour cela, il est envisagé de réaliser 5 R.S.I. de 10.000 m<sup>3</sup> unitaire.

Les réservoirs seront immergés dans le barrage de CODOLE en Corse (capacité 6,5 h m<sup>3</sup>) qui constitue la ressource en eau brute de la région.

L'unité de 10.000 m<sup>3</sup> aura une dimension à plat de 75m x 22m. Elle sera constituée d'une enveloppe en P.V.C. souple ou caoutchouc butyl de 1,5 mm d'épaisseur, préfabriquée en usine en grands panneaux qui seront déroulés et soudés sur place.

La plateforme de pose sera réalisée avec le sable du fond de la cuvette du barrage.

Le dispositif d'ancrage comprendra un filet à larges mailles, lui-même relié par des cordes à 2 longrines en béton situées de chaque côté du réservoir et servant de lest.

Ce filet permet d'éviter toute concentration d'efforts sur l'enveloppe à la façon du filet des aérostats. Sur le dessus du réservoir on disposera 7 micro-ventouses qui sont des dispositifs destinés à laisser s'échapper les gaz qui

pourraient être contenus initialement dans le réservoir ou qui pourraient se dégager du liquide.

Les dispositifs de contrôle de la pression interne seront multipliés au niveau de ce prototype afin, d'une part d'assurer une sécurité absolue, d'autre part de tester le dispositif le plus fiable :

a/ Contrôle du volume par compteurs différentiels entrée-sortie. Le volume de remplissage devra toujours être inférieur au volume théorique maximum de l'enveloppe.

b/ Contrôle de la forme par capsules de mesure de pression situées en différents points de la membrane.

Le R.S.I. à volume maximum aura la forme d'un tube de 14 m de diamètre.

c/ Tube de mise à l'air libre relié à la surface et muni d'un dispositif de contrôle de débordement.

Enfin une soupape de sécurité est prévue, tarée à 0,01 bar de pression, ce qui est largement suffisant pour assurer le remplissage complet du réservoir sans entraîner le risque d'éclatement de celui-ci.

Destiné à recevoir de l'eau potable, ce réservoir devra pouvoir être visité et nettoyé.

Il est prévu pour cela lors des vidanges du barrage et lorsque le R.S.I. sera à sec de le remplir à l'air à l'aide d'un compresseur et d'y accéder par un sas comme dans les structures gonflables actuelles.

Outre les qualités de ce type de réservoir pour résoudre le problème posé de stockage d'eau potable, notamment comme nous le verrons plus loin au niveau de la conservation de la qualité de l'eau, l'énorme avantage du R.S.I. est son coût. L'estimation du prix de l'ouvrage, tel que décrit ci-dessus, se situe entre 1.000.000 à 1.200.000 F 1985 pour un stockage de 10.000 m<sup>3</sup>, ce qui correspond au prix d'un ouvrage traditionnel en béton armé de 1.000 m<sup>3</sup> de capacité, soit sensiblement pour ce cas précis un rapport de l'ordre de 1 à 10. De même, la construction récente du réservoir de SALVI : 40.000 m<sup>3</sup> d'eau potable, nécessitant cependant une station de traitement à l'ozone à l'aval, a coûté en francs 1985 : 14 millions de francs, à comparer aux 4 millions de francs que coûteraient 4 modules de 10.000 m<sup>3</sup>, soit un coût divisé par 3,5.

#### IV - ESSAIS SUR MAQUETTES

Outre les problèmes de réalisation et de résistance des enveloppes dans le temps, ce genre de réservoir, destiné à contenir de l'eau potable, mérite une étude approfondie sur le plan de la conservation de la qualité des eaux qu'il contient.



R.S.I. de 25 m<sup>3</sup> immergé au barrage de CODOLE

Cette étude est entreprise depuis juin 1985 sur un R.S.I. de 25 m<sup>3</sup> immergé dans le barrage de CODOLE.

Dans le cas présent d'un réservoir d'eau potable, le R.S.I. présente l'avantage de stocker un liquide dans un milieu entièrement clos, sans contact avec l'air, sans lumière, et pratiquement à température constante. Il était donc indispensable de vérifier les possibilités éventuelles de développement bactérien dans de telles conditions, ainsi que l'évolution de la qualité de l'eau au contact d'une membrane (dans ce cas membrane PVC), le tout dans un milieu polluant (eau brute de fond de barrage).

Un protocole de suivi expérimental a été fixé par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Les analyses portent essentiellement sur trois problèmes :

- Contrôle bactériologique ;
- Perméabilité de la membrane et tout particulièrement aux molécules organo-leptiques ;
- Migrations des solvants de la membrane.

Après rinçage et stérilisation au chlore, le réservoir a été rempli d'eau potable. L'analyse physico-chimique de base a été faite dans un prélèvement du 11 juillet 1985 et depuis lors, un prélèvement mensuel est effectué.

Jusqu'à ce jour, les résultats paraissent satisfaisants car exempts de germes bactériens. Les conclusions de l'étude seront tirées à l'issue d'un cycle de 6 mois d'observations (donc fin janvier 1986).

Sur le plan mécanique, la maquette ne semble poser aucun problème. Elle sera extraite du barrage courant 1986 pour être ensuite immergée en milieu marin.

#### V - AUTRES APPLICATIONS

La première application du R.S.I. consistera donc à stocker de l'eau potable dans une réserve d'eau brute. Il est possible d'imaginer ce même stockage dans la mer près des centres touristiques à forte consommation de pointe estivale, dans des zones où les ressources estivales sont inexistantes.

Toujours dans le domaine de l'eau potable, ce type de réservoir peut être associé aux usines de traitement d'eau de mer. Celles-ci devant fonctionner en continu, pour des problèmes de corrosion, de grands bassins de compensation seraient particulièrement utiles.

D'autre part, les grosses stations de traitement des eaux à l'aval de réserves naturelles ou barrages nécessitant de forts stockages d'eau potable pour le lavage des filtres. Le R.S.I. pourrait là encore être très utile.

Enfin, l'application la plus utile semble être le stockage d'eau douce en mer. Alimentation de zones côtières désertiques ou semi-désertiques - stockage d'eau douce dans les ports ou pour des industries installées en bordure de mer ou d'étang - alimentation de plateformes, off-shore, etc...

De la réussite de ce premier module, qui sera mis en oeuvre en 1986, dépendra l'ouverture de tout un domaine de réalisations jusqu'alors inexploré apportant des solutions économiques, tant dans le domaine industriel que pour le développement des pays du tiers monde.