



SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE



Société Anonyme d'Economie Mixte au Capital de 24 682 700 F
057 813 131 R.C.S MARSEILLE - FR10 057 813 131

Décembre 2000

Monographie des solutions

ETUDE DES SCENARIOS DE DERIVATION DES REJETS EDF A SAINT CHAMAS

BP 100 - 13603 AIX EN PROVENCE CEDEX 1 - FRANCE
TELEPHONE : 04 42 66 70 00 - TELECOPIEUR : 04 42 66 70 80

SCP
INGENIERIE - DEVELOPPEMENT

SOMMAIRE

SOLUTIONS TOTALES

1. SOLUTIONS AVEC REJET AU RHONE A MAS THIBERT.....	4
1.1. PRÉSENTATION.....	4
1.2. NATURE DES OUVRAGES.....	6
1.3. IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	9
1.4. IMPACT SUR LES MILIEUX TRAVERSÉS.....	10
1.5. COÛT.....	12
2. SOLUTION AVEC REJET A L'EMBOUCHURE DU RHONE.....	12
2.1. PRÉSENTATION.....	12
2.2. NATURE DES OUVRAGES.....	12
2.3. IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	13
2.4. COÛT.....	14
3. SOLUTIONS AVEC REJET DANS LE GOLFE DE FOS.....	15
3.1. PRÉSENTATION.....	15
3.2. NATURE DES OUVRAGES.....	19
3.3. IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	22
3.4. IMPACT SUR LES MILIEUX TRAVERSÉS.....	23
3.5. COÛT.....	24
4. SOLUTIONS AVEC REJET DANS LA RADE DE MARSEILLE OU DANS LE CHENAL DE CARONTE.....	25
4.1. PRÉSENTATION.....	25
4.2. NATURE DES OUVRAGES.....	27
4.3. IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	28
4.4. IMPACT SUR LES MILIEUX TRAVERSÉS.....	28
4.5. COÛT.....	30
5. SOLUTION K : REJET EN HIVER DANS LE CHENAL DE CARONTE ET EN ÉTÉ DANS LE RHONE PAR CANAL.....	31
5.1. PRÉSENTATION.....	31
5.2. NATURES DES OUVRAGES.....	33
5.3. IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	34
5.4. IMPACT SUR LES MILIEUX TRAVERSÉS.....	35
5.5. ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES.....	37
5.6. COÛT.....	38
6. SOLUTION AVEC REJET EN DURANCE.....	39
6.1. PRÉSENTATION.....	39
6.2. NATURE DES OUVRAGES.....	40
6.3. IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	41
6.4. COÛT.....	42

7.	SOLUTIONS AVEC REJET AU RHONE A BARBENTANE	43
7.1.	PRÉSENTATION	43
7.2.	NATURES DES OUVRAGES	43
7.3.	IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR	45
7.4.	IMPACT SUR LES MILIEUX TRAVERSÉS	46
7.5.	COÛT	48

SOLUTIONS PARTIELLES

8.	REJET DANS L'ETANG DE BERRE APRES SALINISATION DES REJETS	50
8.1.	PRÉSENTATION	50
8.2.	IMPACT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR	50
8.3.	ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES	51
8.4.	COÛT	51
9.	EXPORTATION DES LIMONS PAR TANKERS	52
9.1.	PRÉSENTATION	52
9.2.	ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES	53
9.3.	COÛT	53
10.	ALIMENTATION DE BARCELONE PAR CONDUITE A PARTIR DES REJETS	54
10.1.	PRÉSENTATION	54
10.2.	NATURE DES OUVRAGES	55
10.3.	COÛT	55
11.	CRÉATION D'UN PARC EOLIEN	56
11.1.	PRÉSENTATION	56
11.2.	NATURE DES OUVRAGES	56
11.3.	COÛT	57

La monographie des solutions est présentée par famille de solutions pour en faciliter la lecture. Les solutions partielles étant examinées l'une après l'autre.

Pour chaque famille les solutions sont tout d'abord présentées, puis analysés suivant des considérations techniques, environnementales et économiques.

Famille	Solutions	Point de rejet
1	A et B	Rhône à Mas Thibert
2	C	Embouchure du Rhône
3	D, E, F, G et H	Golfe de Fos
4	I et J	Chenal de Caronte ou rade de Marseille
5	K	Chenal de Caronte en hiver et Rhône en été
6	L	Durance et canaux d'irrigation
7	Q et R	Rhône à Barbentane

Pour les besoins de l'analyse multicritères, qui fait l'objet de la deuxième partie de ce rapport, les solutions ont été réparties dans deux groupes : les solutions dites « totales », qui satisfont le principe de zéro rejet dans l'étang de Berre et les solutions dites « partielles », qui sont les autres solutions (Salinisation des rejets, Exportation des limons par tankers, Alimentation de Barcelone par conduites, Parc Eolien).

Les solutions totales ont été regroupées par point de rejet ou par similitudes. Sept familles ont ainsi été définies :

INTRODUCTION

SOLUTIONS TOTALES

1. SOLUTIONS AVEC REJET AU RHONE A MAS THIBERT

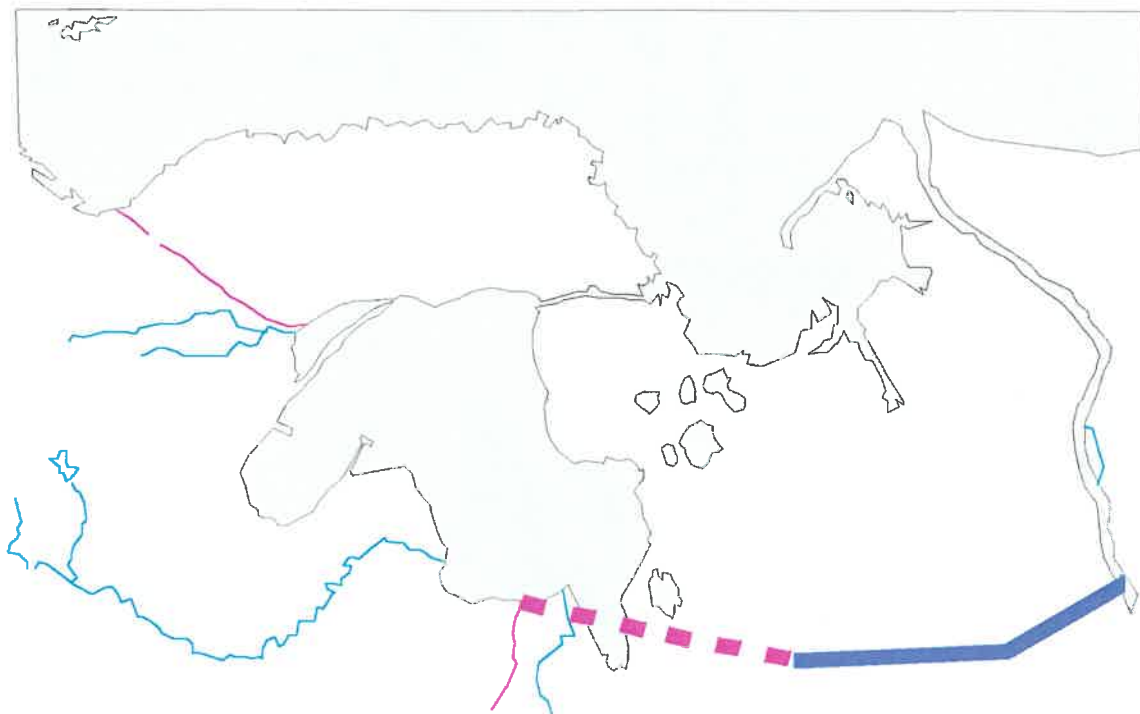
1.1. Présentation

SOLUTION A : REJET AU RHONE PAR GALERIE ET CANAL

Cette solution consiste à restituer les rejets EDF dans le Rhône par le biais d'une galerie de 14,8 km depuis la centrale de Saint-Chamas puis par un canal de 14,9 km à travers la plaine de Crau.

Le point de rejet est situé à environ 13 km au Sud d'Arles au lieu dit "Mas Thibert".

La galerie a 10 m de diamètre intérieur et est située à son amont à une profondeur de 30 m . Le canal est sur la quasi totalité de sa longueur en déblai, son emprise est comprise entre 40 et 100 m.

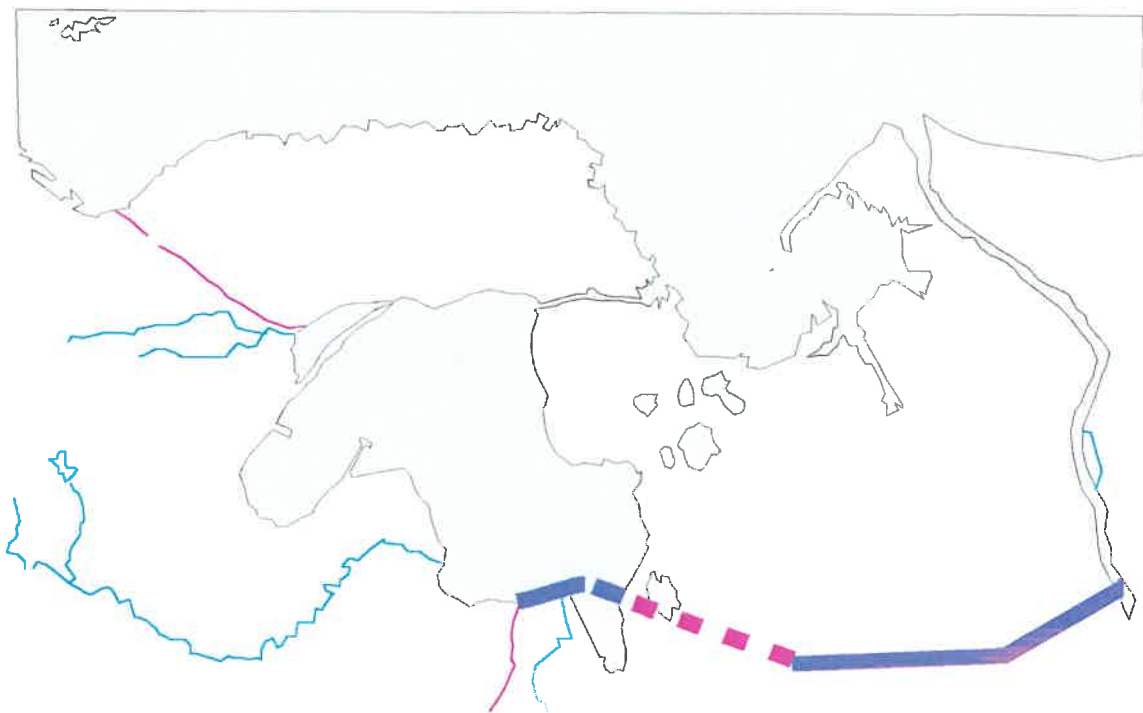


SOLUTION B : REJET AU RHONE PAR CANAL, GALERIE ET CANAL

Cette solution est une variante de la solution précédente qui diffère principalement sur la traversée de la baie de Saint-Chamas qui se fait cette fois par un canal dans l'étang de Berre interrompu par un (ou deux) siphon permettant les circulations maritimes. Le canal est constitué de deux digues arasées 7 m au dessus du niveau de l'étang représentant une emprise visible de l'ordre de 150 m au niveau de l'étang et largement supérieure à la base.

La galerie suit un tracé sensiblement différent de la solution précédente, depuis la rive Ouest de l'étang, au Sud de la pointe de Monteau, jusqu'au début du canal de La Crau, au Nord de l'aérodrome d'Istres. Le canal terrestre est identique à celui de la solution

A.



1.2. Nature des ouvrages CANAL DANS LA CRAU

Il existe une nappe dans La Crau. Cette nappe fluctue et est relativement proche du terrain naturel (TN).

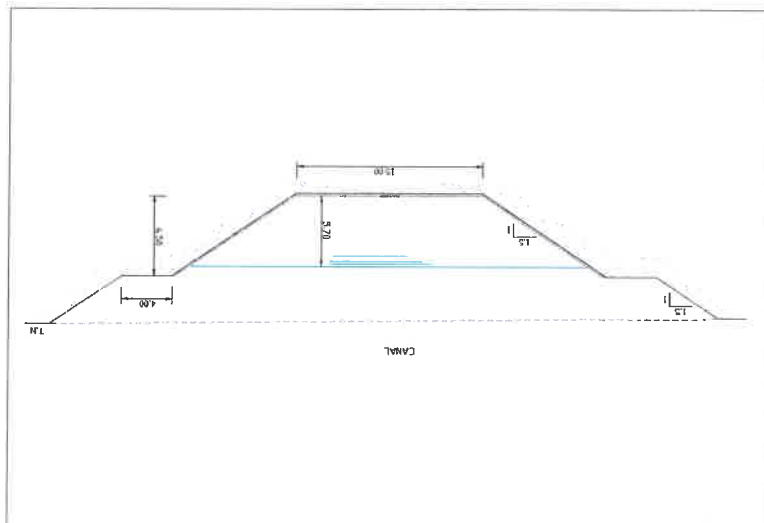
Le calage du canal conduit essentiellement, tout au moins dans sa partie amont, à une réalisation en déblais avec des niveaux qui peuvent être largement au-dessous du TN.

Dès lors :

- dans sa section mouillée le canal étant revêtu (0,20 m prévu en béton), il existera des risques de sous pression sous le revêtement pouvant conduire à des désordres. Il faudra donc nécessairement revoir la conception du revêtement pour garantir sa stabilité, ce qui augmentera les coûts.

- les niveaux d'eau relatifs canal/nappe vont entraîner des échanges importants. Le canal, tout au moins dans sa partie amont, risque de drainer la nappe de Crau vers le Rhône, ce qui va entraîner un rabattement local de cette nappe et conduire à des modifications importantes dans le milieu environnant.

- en phase de travaux, la présence de cette nappe qu'il faudra rabattre et le volume important des déblais pour lesquels il faudra trouver des zones de dépôts vont engendrer des coûts importants.



Ci-dessus on trouve une coupe type du canal en déblai dans La Crau et ci-après, à titre de comparaison et à la même échelle un tracé de route 2x2 voies en déblai.

Les terrains concernés sont principalement les formations calcaires de l'Urgonien ainsi que les calcaires marneux et marnes miocènes ainsi que les formations plus détritiques d'âge tertiaire ou liées à la nappe de Crau.

Les calcaires sont karstifiés et le risque de venues d'eau est important car des niveaux de karsts anciens peuvent exister sous le niveau de l'étang.

D'autre part, les formations argilo-calcaires peuvent être le siège d'instabilités et de gonflements gênants pour la galerie.

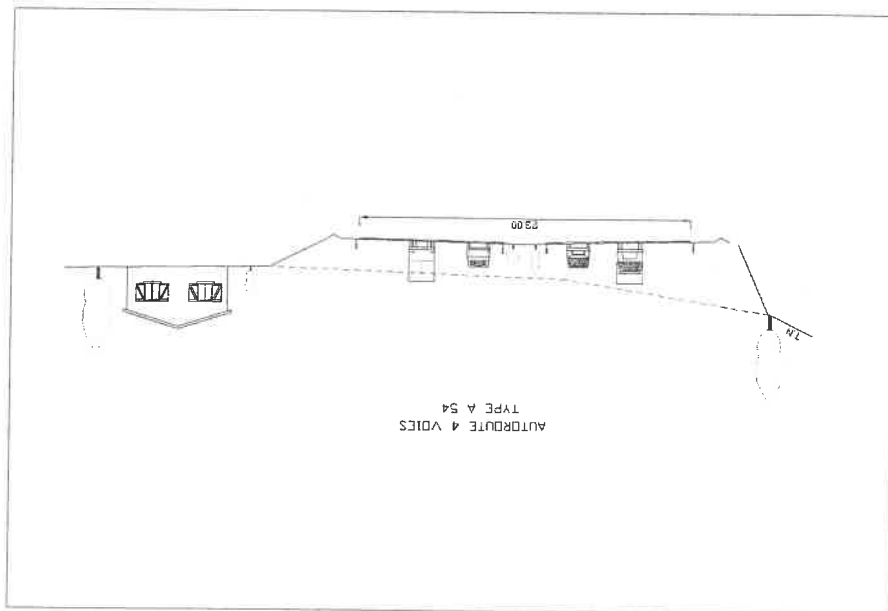
Elles seront obligatoirement revêtues de béton pour conforter l'ouvrage et le rendre étanche vis à vis des venues d'eau extérieures car on se trouve dans des milieux aquifères (La Crau, Etang de Berre).

Le terrain autour des galeries devra être injecté pour imperméabiliser et consolider les ouvrages ce qui demandera des travaux d'injection important.

Elles seront vraisemblablement réalisées à l'explosif car il n'existe pas couramment de tunnelier pour ces diamètres.

Cependant ces ouvrages, bien qu'ils soient de dimension importante et malgré quelques passages qui pourraient s'avérer délicats, restent réalisables sans difficulté excessive.

GALERIES



A noter également que les dépôts limoneux se formeront dans les ouvrages de transport et que des dispositifs particuliers seront à prévoir pour permettre à des engins de travaux publics de pénétrer dans les ouvrages pour leur nettoyage.

CANAL DANS L'ETANG DE BERRER

Ce canal est constitué de deux digues arasées 7 mètres au-dessus du niveau de l'étang représentant une emprise visible de l'ordre de 150 m au niveau de l'étang et largement supérieure à la base.

Ces digues sont en effet importantes, de 8 à 12m de hauteur au dessus du fond de l'étang.

Les volumes de remblais seront donc probablement supérieurs à ceux annoncés par l'auteur de l'étude car il va se produire de plus un poinçonnement conséquent des vases et alluvions de surface sous la charge du remblai.

Selon la méthode de réalisation adoptée on peut craindre un fluage des matériaux meubles de fondation. Des risques de tassements importants existent également dans les remblais par suite de leur mise en œuvre (remblais hydrauliques).

Ces tassements et fluages, qui peuvent constituer une cause d'instabilité, se produiront pour l'essentiel en phase travaux, mais également en exploitation et rendront nécessaire un rechargement des digues à intervalles, à moins que la mise en œuvre soit réalisée par phases avec une préconsolidation des remblais. Ceci conduira à un renchérissement des coûts annoncés.

Ces digues ne sont pas étanches. Les matériaux qui les constituent sont relativement perméables. Un gradient de charge élevé va s'établir et des fuites vont se produire (probablement importante sur la longueur considérée).

Se posent également le problème des conduites existantes ensouillées dans la couche meuble supérieure qui devront sans doute être déplacées avant travaux pour ne pas subir des déformations inacceptables.

Les besoins en remblais sont énormes et les distances de transport seront certainement importantes entraînant des coûts élevés.

Par ailleurs reste le problème technique important à résoudre de réaliser des digues compactées et le revêtement béton dans un milieu aqueux pouvant nécessiter le travail en caisson ou la réalisation de rideaux de palplanches avec surcoût notable.

Dans cette solution aux problèmes d'entretien similaires à ceux évoqués précédemment, s'ajoute celui du nettoyage du siphon point bas de l'adduction où s'accumuleront les dépôts qui entraîneront une baisse progressive de la capacité de transport hydraulique de l'adduction.

Il n'existe pas à notre connaissance d'ouvrage de cette importance en France.

1.3. Impact sur le milieu récepteur

REJET DANS LE RHONE

Les problèmes liés aux rejets dans le Rhône consistent essentiellement en une augmentation de débit, un apport de sels nutritifs et une augmentation de la charge solide (MES).

En terme de débit, la perturbation ne devrait pas être trop importante étant donné la proportion que représente le débit maximal de turbinage et la centrale de Saint-Chamas ($250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) par rapport au débit du Rhône en régime moyen et de crue. Le module interannuel du Rhône est de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ et les crues peuvent atteindre jusqu'à $6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Le Rhône est considéré en crue au-dessus de $3500 \text{ m}^3/\text{s}$. Le module bisannuel de crue est de $4500 \text{ m}^3/\text{s}$. Par contre, ce débit turbiné reste susceptible d'entraîner des modifications du profil du fleuve en régime d'étiage, son débit estival pouvant être de l'ordre de $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Bien qu'il puisse représenter la moitié du débit du Rhône à cette période, la gestion actuelle d'EDF montre que les rejets à ce débit se font rarement en été.

En terme de charge nutritive, la perturbation ne devrait également pas être trop importante étant donné la disproportion entre les apports des eaux turbines (apport annuel en azote du canal de la Durançe quantifiés à $1\,068$ tonnes N en 1997) et les apports du Rhône (apport annuel en azote quantifiés à $70\,522$ tonnes N en 1997). Même si ces derniers subissaient des augmentations notables (de 4 à 5 fois), ils restent très inférieurs à ceux du Rhône.

Par contre, en terme de charge solide (MES), les perturbations risquent d'être plus fortes aussi bien le long du cours du fleuve (modification du profil du lit, colmatage, alimentation des canaux de Camargue, etc...) qu'à son embouchure (modification du trait de côte le long du Têt de la Gracieuse) sans oublier le risque d'augmentation de la turbidité dans l'anse de Carreau susceptible de conduire à un envasement accéléré de cette zone conchylicole, compte tenu du caractère giratoire des courants. On notera que le débit solide moyen interannuel du Rhône est d'environ 5 millions de tonnes à comparer avec l'apport des rejets en limons estimé dans cette étude à $800\,000 \text{ t/an}$.

Pour estimer au mieux le risque au niveau du They de la Gracieuse, il convient de rappeler que cet écosystème très sensible est l'objet de phénomènes évolutifs. Toute évolution des charges solides du Rhône se traduira donc vraisemblablement par une modification de l'impact à l'embouchure. Il reste malgré tout difficile de dire, sans études complémentaires, si ces impacts seront positifs (avec par exemple une atténuation de l'érosion du They de la Gracieuse) ou négatifs.

D'une façon générale, l'impact des rejets au niveau de l'écosystème Rhône-Delta, ne devrait pas conduire à un déséquilibre écologique majeur, compte tenu de l'adaptation de l'ensemble de cet écosystème aux variations naturelles, rapides et importantes, de ses caractéristiques physiques et chimiques.

- coupure du secteur de marais constituant la ZNIEFF 09 Z 00, car, à côté des étendues sèches, La Crau comporte aussi des étangs et marais intéressants. C'est ici que l'effet de coupure hydraulique risque d'entraîner des conséquences assez négatives sur le plan de l'environnement. On notera cependant que le tracé franchit la ZNIEFF de La Crau sèche à l'endroit où elle est la plus étroite. L'avifaune, par ailleurs, ne souffrira évidemment pas de l'effet de coupure,
 - suppression d'une certaine surface de sol (de l'ordre de 90 ha) et de végétation, coupure de haies,
 - perturbations hydrauliques concernant la nappe phréatique : risque d'engorgement à l'amont, d'assèchement à l'aval. Il s'agit du premier aspect de l'effet de coupure provoqué par ce canal,
 - Les solutions A et B comportent un canal en Crau. L'impact de ces solutions peut être évalué de la manière suivante :
- Cependant, ce biotope est relativement menacé. En effet, il faut signaler que, depuis de longues années, les techniques modernes ont permis de tirer parti des potentialités agricoles de La Crau ; à condition de casser la croûte de poudingue, proche de la surface et d'installer l'irrigation, il est possible de développer des vergers extrêmement productifs. Ailleurs, les cultures fourragères irriguées ont donné au "foin de Crau" une réputation flatteuse.
- Son avifaune particulière présente un immense intérêt. Elle a d'ailleurs été identifiée comme une ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique, ainsi que comme une Zone d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux (ZICO) et une Zone de Protection Spéciale (ZPS). Pendant les travaux, l'impact sur l'avifaune serait notable.
- Cette étendue présente en effet un intérêt exceptionnel sur le plan environnemental ; il s'agit d'une zone de 15 000 hectares, constituée d'un épandage de cailloux grossiers, recouverts d'une végétation xérique. Le pâturage a provoqué la formation d'une association végétale spécifique : le "coussou". La Crau sèche constitue ainsi un biotope steppique, unique en France.
- Son avifaune particulière présente un immense intérêt. Elle a d'ailleurs été identifiée comme une ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique, ainsi que comme une Zone d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux (ZICO) et une Zone de Protection Spéciale (ZPS). Pendant les travaux, l'impact sur l'avifaune serait notable.
- la présence de l'étang de l'Olivier,
 - la présence de la base aérienne d'Istres,
 - les noyaux urbains de Miramas et d'Istres,
 - enfin le caractère particulier de la plaine.
- Le tracé par La Crau, sous forme d'un canal, doit tenir compte d'un certain nombre d'impératifs :

LA CRAU

1.4. Impact sur les milieux traversés

L'impact d'un ouvrage fermant la baie apparaît donc potentiellement grave, même pour la seule période de travaux.

Rappelons, par ailleurs, que ce secteur est d'un grand intérêt pour l'avifaune et constitue une ZNIEFF.

- entraîner un relargage de substances toxiques actuellement "piégées" dans les sédiments. Ce sont le mercure et le PCB, qui apparaissent, les plus préoccupants.
- remettre en suspension de la matière organique, provoquant une importante demande en oxygène,
- accroître momentanément la turbidité,

Les travaux pourraient en outre :

décantation.
situation de bassin anoxique d'accumulation de matière organique et de site de Saint-Chamas, qui se verrait confinée, la conduisant à une rapide évolution vers une provoquerait à très court terme une altération majeure de l'écosystème de l'anse de partitionnement de l'étang et à une modification profonde de son régime de circulation, La traversée de la baie de Saint-Chamas par canal, conduisant de fait à un avec des teneurs relativement élevées.

produits de la famille du DDT, de métaux lourds (plomb, chrome, arsenic), de PCB d'explosifs lors de la dernière guerre....). On a pu observer également la présence de d'installations du CEA, résidus de fabrication de TNT par la poudrière, immersion les eaux. De même, des déversements importants ont eu lieu par le passé (mercure des traces de pollution : algues vertes et poussées phytoplanctoniques qui décoloraient rejets : Touloubre, polluée et station d'épuration notamment. On a déjà pu observer temps (Cabinet A. Ramade - Gérin notamment). Elle reçoit un certain nombre de La baie de Saint-Chamas a fait l'objet de plusieurs études et analyses étalées dans le

LA BAIE DE SAINT CHAMAS

des investigations plus précises.
En conclusion, les perturbations apportées à l'environnement et aux activités pratiquées sont à considérer comme sérieuses et sur le plan hydraulique, nécessitent

- enfin, si l'habitat humain est très dispersé sur le tracé de cet éventuel canal, les perturbations apportées à l'activité agricole sont notables : coupures de parcelles, de chemins d'exploitation, de canaux et de haies, ainsi que les perturbations hydrauliques évoquées ci-avant.
- modifications paysagères et perception de l'ouvrage. Celles-ci resteront limitées dans la mesure où le secteur est particulièrement plat et coupé par des haies d'arbres assez élevés,

1.5. Coût

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) des solutions A et B est respectivement de 5250 MF HT et 5070 MF HT. La décomposition de ces coûts se trouve en Annexe 1.

2. SOLUTION AVEC REJET A L'EMBOUCHURE DU RHONE

2.1. Présentation

SOLUTION C : REJET AU RHONE PAR POMPAGE, GALERIE ET CANAL

Cette solution consiste en la réalisation d'un bassin de compensation d'environ 300 ha situé à la restitution de l'usine de Saint-Chamas, d'une station de pompage permettant de relever les eaux de quelques mètres dans une galerie en charge de diamètre 12 m et de 25 km de longueur totale et d'une portion de canal d'environ 1 km aboutissant près de l'embouchure du Rhône au Sud Est de Port Saint-Louis du Rhône.

Le principe de fonctionnement du bassin de compensation est de turbiner en heures pleines et de pomper en heures creuses dans la galerie.

2.2. Nature des ouvrages

GALERIES

Les terrains concernés sont principalement les formations calcaires de l'Urgonien ainsi que les calcaires marneux et marnes micocènes ainsi que les formations plus détritiques d'âge tertiaire ou liées à la nappe de Crau.

Les calcaires sont karstifiés et le risque de venues d'eau est important car des niveaux de karsts anciens peuvent exister sous le niveau de l'étang.

D'autre part, les formations argilo-calcaires peuvent être le siège d'instabilités et de gonflements gênants pour la galerie.

Il faut noter que cette galerie a un diamètre assez rare et a une longueur (25 km) qui rend cet ouvrage hors du commun.

Cette galerie se fera certainement à partir de plusieurs attaques, par le biais de puits de diamètre 10 m.

Elle sera obligatoirement revêtue de béton pour conforter l'ouvrage et le rendre étanche vis à vis des venues d'eau extérieures car on se trouve dans un milieu aquifère.

Le terrain autour des galeries devra être injecté pour imperméabiliser et consolider les ouvrages ce qui demandera des travaux d'injection important.

Elles seront vraisemblablement réalisées à l'explosif car il n'existe pas couramment de tunnelier pour ce diamètre.

A noter également que les dépôts limoneux se formeront dans l'ouvrage de transport et que des dispositifs particuliers (rampes d'accès, portes étanches) seront à prévoir pour permettre à des engins de travaux publics de pénétrer dans l'ouvrage pour leur nettoyage.

BASSIN AUTOUR DE LA RESTITUTION DES REJETS A ST CHAMAS

Ce bassin est constitué par une digue posée sur le fond de l'étang. La réalisation de cette digue pose des problèmes identiques à ceux énoncés ci-dessus pour la réalisation du canal dans l'étang.

Une étanchéité par membrane est prévue pour la seule digue. Lors du pompage dans le bassin et compte tenu de la différence de niveau fluctuante entre le bassin et l'étang on peut craindre sinon des risques d'instabilité, du moins des fuites importantes et une augmentation des volumes d'eau pompés en provenance de l'étang.

Par ailleurs, ce bassin présente un risque d'accumulation de sédiments et donc des curages fréquents à réaliser.

2.3. Impact sur le milieu récepteur

REJET DANS LE RHONE

Les problèmes liés aux rejets dans le Rhône consistent essentiellement en une augmentation de débit, un apport de sels nutritifs et une augmentation de la charge solide (MES).

En terme de débit, la perturbation ne devrait pas être trop importante étant donné la faible proportion que représente le débit maximal de turbinage et la centrale de Saint-Chamas ($250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) par rapport au débit du Rhône en régime moyen et de crue. Le module interannuel du Rhône est de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ et les crues peuvent atteindre jusqu'à $6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Le Rhône est considéré en crue au-dessus de $3500 \text{ m}^3/\text{s}$. Le module bisannuel de crue est de $4500 \text{ m}^3/\text{s}$. Par contre, ce débit turbiné reste susceptible d'entraîner des modifications du profil du fleuve en régime d'étiage, son débit estival pouvant être de l'ordre de $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Bien qu'il puisse représenter la moitié du débit du Rhône à cette période, la gestion actuelle d'EDF montre que les rejets à ce débit se font rarement en été.

En terme de charge nutritive, la perturbation ne devrait également pas être trop importante étant donné la disproportion entre les apports des eaux turbines (apport annuel en azote du canal de la Durançe quantifiés à $1\,068$ tonnes N en 1997) et les apports du Rhône (apport annuel en azote quantifiés à $70\,522$ tonnes N en 1997). Même si ces derniers subissaient des augmentations notables (de 4 à 5 fois), ils restent très inférieurs à ceux du Rhône.

Par contre, en terme de charge solide (MES), les perturbations risquent d'être plus fortes aussi bien le long du cours du fleuve (modification du profil du lit, colmatage, alimentation des canaux de Camargue, etc...) qu'à son embouchure (modification du trait de côte le long du Têt de la Gracieuse) sans oublier le risque d'augmentation de la turbidité dans l'anse de Carteau susceptible de conduire à un envasement accéléré de cette zone conchylicole, compte tenu du caractère giratoire des courants. On notera

que le débit solide moyen interannuel du Rhône est d'environ 5 millions de tonnes à comparer avec l'apport des rejets en limons estimé dans cette étude à 800 000 t/an. Pour estimer au mieux le risque au niveau du They de la Gracieuse, il convient de rappeler que cet écosystème très sensible est l'objet de phénomènes évolutifs. Toute évolution des charges solides du Rhône se traduiront donc vraisemblablement par une modification de l'impact à l'embouchure. Il reste malgré tout difficile de dire, sans études complémentaires, si ces impacts seront positifs (avec par exemple une atténuation de l'érosion du They de la Gracieuse) ou négatifs.

D'une façon générale, l'impact des rejets au niveau de l'écosystème Rhône-Delta, ne devrait pas conduire à un déséquilibre écologique majeur, compte tenu de l'adaptation de l'ensemble de cet écosystème aux variations naturelles, rapides et importantes, de ses caractéristiques physiques et chimiques.

2.4. Coût

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) de la solutions C est de 9090 MF HT. La décomposition de ce coût se trouve en Annexe 1.

3. SOLUTIONS AVEC REJET DANS LE GOLFE DE FOS

3.1. Présentation

SOLUTION D : REJET DANS LE GOLFE DE FOS PAR GALERIE

Cette solution consiste à percer depuis l'usine de Saint-Chamas, une galerie qui débouche dans le golfe de Fos à la cote - 20 m NGF au Sud de la pointe de Port-de-Bouc, sur une longueur totale de 18 km.

La galerie est d'un diamètre intérieur de 10 m.



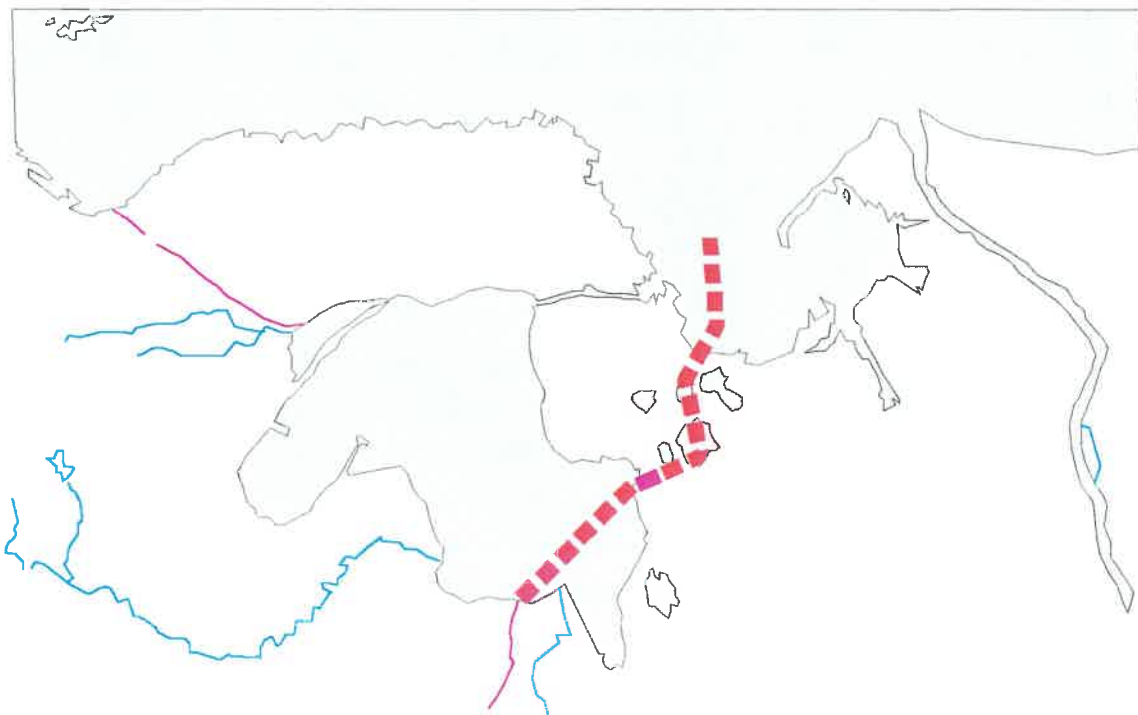
SOLUTION E : REJET DANS LE GOLFE DE FOS PAR CONDUITE

Cette solution consiste à rejeter les volumes turbinés dans le golfe de Fos par un ouvrage en charge constitué d'une conduite enterrée ou ensouillée. Le tracé est constitué d'amont en aval :

- d'une conduite de 7,7 km permettant de traverser l'étang de Berre jusqu'à l'anse de Ranquet,
- d'un second tronçon en galerie de 2,4 km reliant l'anse de Ranquet à l'extrémité Nord de l'étang de Lavalduc,
- d'une conduite de 4,2 km posée dans les étangs de Lavalduc et d'Engrenier,
- d'une conduite de 1,2 km assurant la liaison entre l'étang d'Engrenier et la mer,
- d'une conduite de 5 km posée en mer jusqu'à la cote - 20 m NGF.

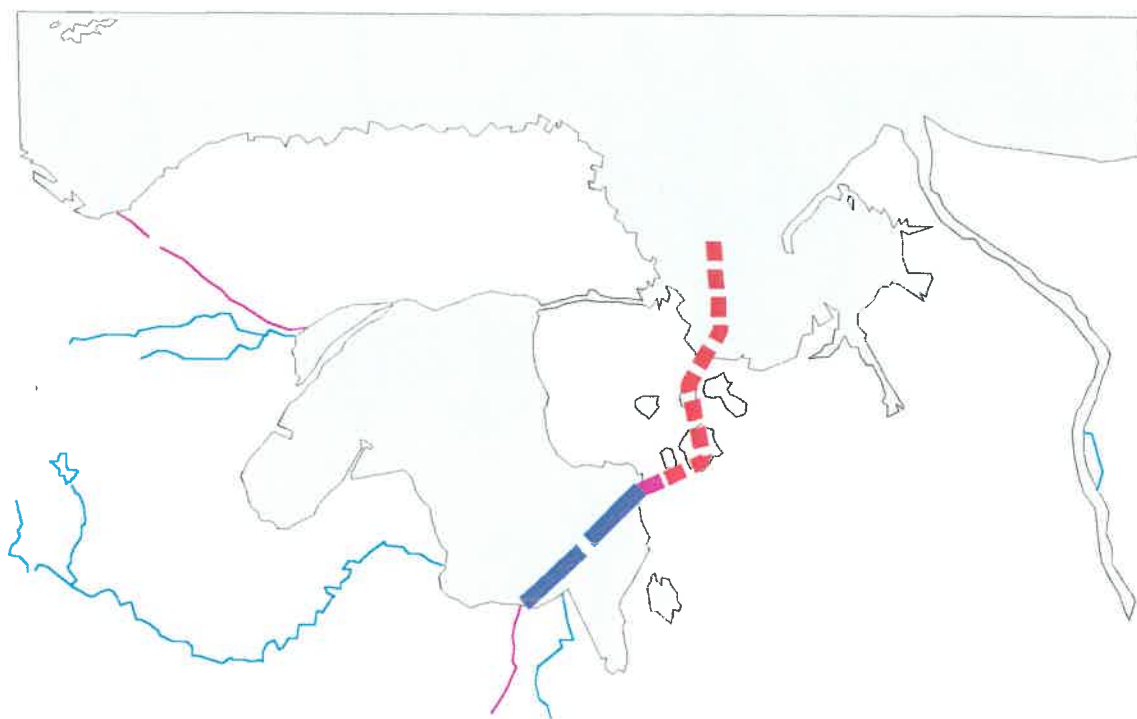
La longueur totale de l'ouvrage est de 20,5 km.

La conduite est en béton de diamètre intérieur 10 m et de diamètre extérieur 11,7 m.



SOLUTION F : REJET DANS LE GOLFE DE FOS PAR CANAL ET CONDUITE

C'est une variante de la solution E où la traversée de l'anse de l'étang de Berre se fait par un canal au lieu d'une conduite ensouillée.
Le canal est du même type que pour la solution B. Il est constitué de deux digues arasées à 6,5 m au dessus du plan d'eau de l'étang et d'une hauteur moyenne de 11,5 m. L'emprise visible est d'environ 150 m au niveau de l'étang.



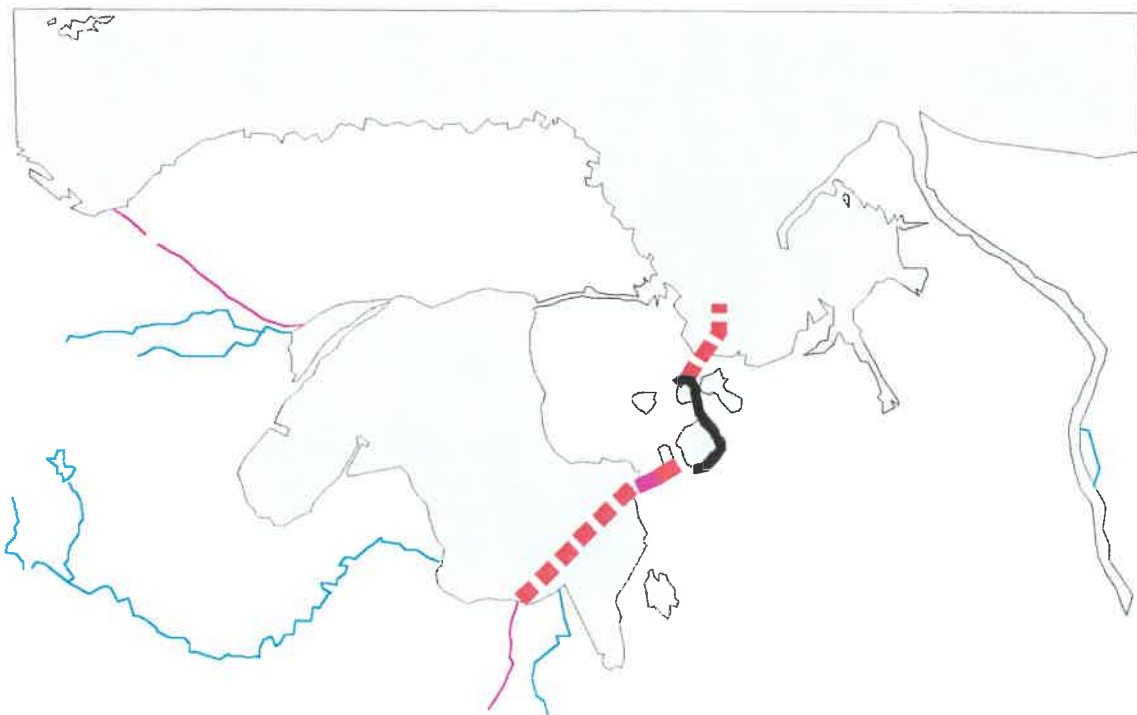
SOLUTION G : REJET EN MER PAR CONDUITE/ETANG DE LAVALDUC ET D'ENGRENIER PUIS CONDUITE

C'est une variante de la solution E dans laquelle les étangs de Lavalduc et d'Engrenier seraient utilisés comme bassin de transfert et de décanation.

Les étangs de Lavalduc et d'Engrenier de superficies respectives 280 ha et 100 ha seraient entourés de digues de protection rendues nécessaires par le niveau du plan d'eau futur.

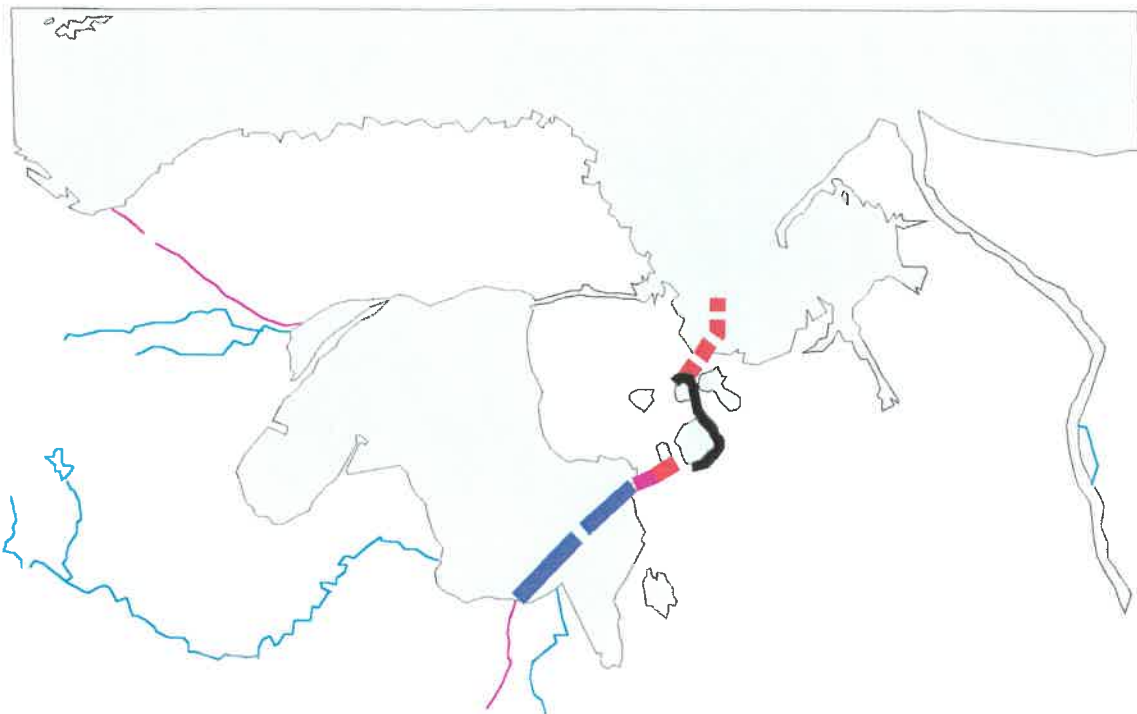
Les digues en terre seraient de l'ordre de 1,6 km au Nord des étangs et de 0,8 km au Sud. Sur la rive Ouest des deux étangs, des digues de confortement et de protection de la voie ferrée seraient mises en oeuvre.

On notera que le rejet en mer s'effectuerait cette fois plus près de la rive à une profondeur de - 10 m, l'auteur justifiant ce choix par la décanation partielle ayant été faite préalablement dans les étangs.



SOLUTION H : REJET DANS LE GOLFE DE FOS PAR CANAL, ETANGS ET CONDUITE

C'est une variante de la solution précédente dans laquelle le premier tronçon est constitué d'un canal au lieu d'une conduite ensouillée.
La traversée dans l'étang par canal est similaire à celle de la solution F, à ceci près que les pertes de charge étant inférieures pour la solution H, les digues seraient moins importantes.



3.2. Nature des ouvrages

CANAL DANS L'ETANG DE BERRER

Ce canal est constitué de deux digues arasées 7 mètres au-dessus du niveau de l'étang représentant une emprise visible de l'ordre de 150 m au niveau de l'étang et largement supérieure à la base.
Ces digues sont en effet importantes, de 8 à 12m de hauteur au dessus du fond de l'étang.
Les volumes de remblais seront donc probablement supérieurs à ceux annoncés par l'auteur de l'étude car il va se produire de plus un poinçonnement conséquent des vases et alluvions de surface sous la charge du remblai.

Les matériaux excédentaires seront nécessairement extraits de l'étang.

Des quantités énormes de matériaux seront extraites. Se posera le problème du dépôt des matériaux réutilisés en remblais et des matériaux excédentaires extraits de l'étang.

Il s'ensuit que l'ensouillage va nécessiter théoriquement un terrassement rocheux de 3 à 6 m de profondeur dans le substratum à une profondeur moyenne de 15 à 18 m sous le niveau de l'étang ! La réalisation des travaux de terrassement sera particulièrement délicate.

- substratum au-dessous.

- alluvions meubles : 5 à 7 m,

- vases : 1 à 2 m,

La coupe type des fonds dans l'étang est la suivante :

CONDUITES ENSOUILLEES DANS L'ETANG

Il n'existe pas à notre connaissance d'ouvrage de cette importance en France.

Dans cette solution aux problèmes d'entretien similaires à ceux évoqués précédemment, s'ajoute celui du nettoyage du siphon point bas de l'adduction où s'accumuleront les dépôts qui entraîneront une baisse progressive de la capacité de transport hydraulique de l'ensemble de l'adduction.

Par ailleurs reste le problème technique important à résoudre de réaliser des digues compactées et le revêtement béton dans un milieu aqueux pouvant nécessiter le travail en caisson ou la réalisation de rideaux de palplanches avec surcoût notable.

Les besoins en remblais sont énormes et les distances de transport seront certainement importantes entraînant des coûts élevés.

Se posent également le problème des conduites existantes ensouillées dans la couche meuble supérieure qui devront sans doute être déplacées avant travaux pour ne pas subir des déformations inacceptables.

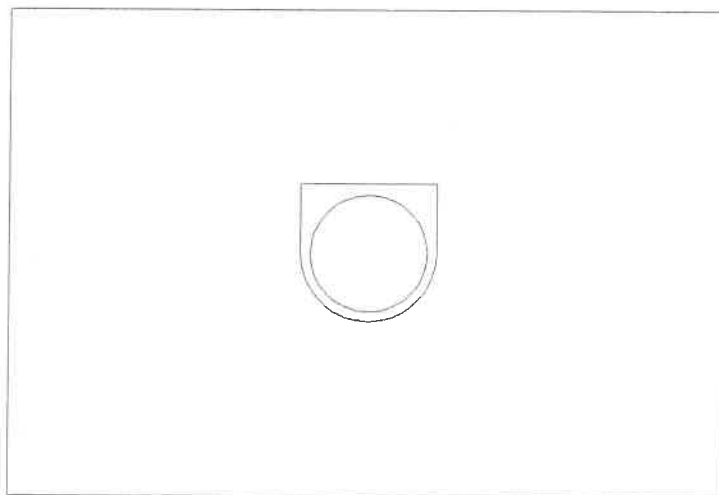
Ces digues ne sont pas étanches. Les matériaux qui les constituent sont relativement perméables. Un gradient de charge élevé va s'établir et des fuites vont se produire (probablement importante sur la longueur considérée).

Ces tassements et fluages, qui peuvent constituer une cause d'instabilité, se produiront pour l'essentiel en phase travaux, mais également en exploitation et rendront nécessaire un rechargement des digues à intervalles, à moins que la mise en œuvre soit réalisée par phases avec une préconsolidation des remblais. Ceci conduira à un renchérissement des coûts annoncés.

Selon la méthode de réalisation adoptée on peut craindre un fluage des matériaux meubles de fondation. Des risques de tassements importants existent également dans les remblais par suite de leur mise en œuvre (remblais hydrauliques).

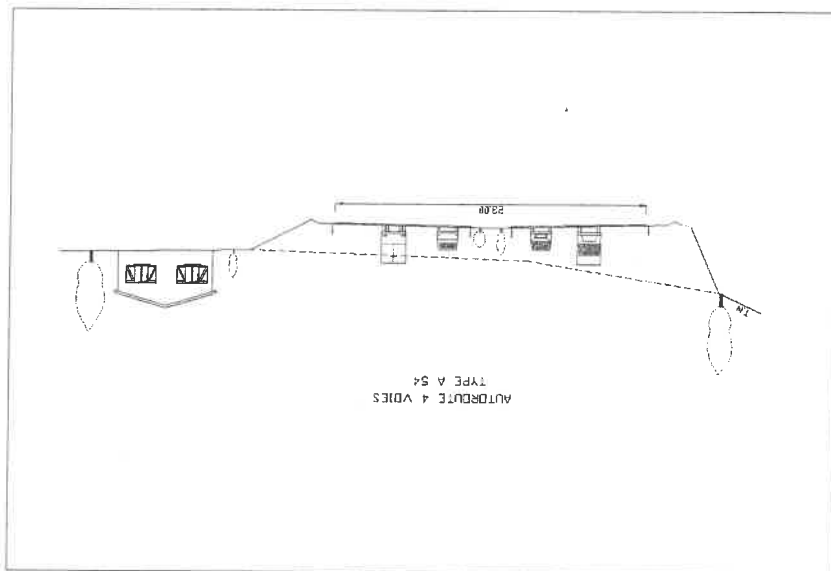
La conduite avec son enrobage constitue un ouvrage rigide. Les rayons de courbure seront très importants pour rester dans des déformations admissibles. Ceci rendra la pose très délicate quelle que soit la méthode adoptée (par flottaison, par tirage, par tronçons, etc.).

Ce chantier nécessitera un atelier et des installations de montage sur berge de très



grande superficie (plusieurs dizaines d'hectares probablement).

Ci-dessus la coupe type de la conduite de 10 m et à titre de comparaison, ci-après une coupe type d'une route 2x2 voies à la même échelle.



Se pose alors la question de savoir à quelle distance il paraît raisonnable de pouvoir concevoir ce rejet. Plus les rejets seront reportés vers le sud et moins ils risqueront d'être reconduits vers les rives du golfe par la courantologie induite par le vent. De plus les apports actuels du Rhône à partir d'une certaine distance peuvent s'avérer

Enfin, le chenal central de navigation dragué à 24 m qui traverse le golfe de Fos risque d'être plus fortement comblé par l'apport en matière solide du rejet.

Il faut également noter qu'un rejet dans le golfe de Fos, risque de remonter le chenal de Caronte sous certaines conditions de forçage (vents du Sud Est, marée barométrique, etc.).

Le problème du rejet dans le golfe de Fos ne peut donc pas être réduit à celui d'un rejet ponctuel à effet local, comme ce serait le cas en mer ouverte. Il ne peut non plus être résolu par une simple définition de profondeur d'immersion. En effet, les rapides inversions de courants ainsi que les successions à haute fréquence d'épisodes de stratification-déstabilisation de la colonne d'eau et l'évolution rapide du système giratoire de l'anse de Carreau, font qu'un rejet d'eau douce dans le golfe de Fos, à quelle profondeur et où qu'il soit, rejoindra assez rapidement la surface et risquera d'avoir un impact reporté sur l'ensemble du golfe. De plus, la charge nutritive ajoutée sera susceptible d'être utilisée localement pour la production de matière organique par les algues phytoplanctoniques, pouvant conduire à des eaux colorées (risques d'hypoxie et de toxicité susceptibles d'affecter les activités halieutiques).

différentes régions du golfe.

Avant toute chose, il semble important de rappeler que le golfe de Fos ne peut pas être considéré comme une zone de mer ouverte, mais qu'il constitue un système de type lagunaire ouvert dont le fonctionnement se caractérise par une très forte variabilité temporelle des processus physiques ainsi qu'une forte dépendance spatiale des

REJET DANS LE GOLFE DE FOS

3.3. Impact sur le milieu récepteur

En ce qui concerne les digues en terre situées au Nord des étangs, au Sud et sur la rive Ouest des deux étangs, elles ne semblent pas poser de problèmes techniques du fait qu'il s'agit d'une réalisation hors d'eau avec des techniques classiques.

DIGUES DES ETANGS DE LAVALDUC ET D'ENGRENIER

- des difficultés liées aux travaux en mer.
 - de la nature des matériaux,
 - de la profondeur (jusqu'à 20 m),
 - de la topographie du fond de mer,
- Cet ensauillage en mer (sur 5 km) est encore plus délicat que dans l'étang par suite :

CONDUITES ENSAUILLÉES EN MER

Les étangs de Lavalduc et d'Engrenier sont des vestiges d'un très ancien réseau hydrographique.

Ils sont isolés des zones urbanisées voisines par une série de collines qui culminent entre 40 et 66 m. Ces collines étant très boisées, le site est agréable et non perçu de l'extérieur. La fréquentation humaine paraît quasi-nulle ; ils sont en effet utilisés pour la décantation des eaux saumâtres issues du creusement de cavités dans des couches de sel gemme à Manosque. Ils sont d'ailleurs entourés d'une couche de sel blanc et la couleur des eaux est parfois rose-orangé.

LES ETANGS DE LAVALDUC ET D'ENGRENIER

L'impact d'un ouvrage fermant la baie apparaît donc potentiellement grave, même pour la seule période de travaux.

Rappelons, par ailleurs, que ce secteur est d'un grand intérêt pour l'avifaune et constitue une ZNIEFF.

- entraîner un relargage de substances toxiques actuellement "piégées" dans les sédiments. Ce sont le mercure et le PCB, qui apparaissent, les plus préoccupants.
- remettre en suspension de la matière organique, provoquant une importante demande en oxygène,
- accroître momentanément la turbidité,

Les travaux pourraient en outre :

situation de bassin anoxique d'accumulation de matière organique et de site de décantation.

La traversée de la baie de Saint-Chamas par canal, conduisant de fait à un partitionnement de l'étang et à une modification profonde de son régime de circulation, provoquerait à très court terme une altération majeure de l'écosystème de l'anse de Saint-Chamas, qui se verrait confinée, la conduisant à une rapide évolution vers une situation de bassin anoxique d'accumulation de matière organique et de site de

avec des teneurs relativement élevées.

produits de la famille du DDT, de métaux lourds (plomb, chrome, arsenic), de PCB d'explosifs lors de la dernière guerre....). On a pu observer également la présence de installations du CEA, résidus de fabrication de TNT par la poudrerie, immersion les eaux. De même, des déversements importants ont eu lieu par le passé (mercure des traces de pollution : algues vertes et poussées phytoplanctoniques qui décoloraient rejets : Touloubre, polluée et station d'épuration notamment). Elle reçoit un certain nombre de temps (Cabinet A. Ramade - Gérin notamment). Elle reçoit un certain nombre de La baie de Saint-Chamas a fait l'objet de plusieurs études et analyses étalées dans le

LA BAIE DE SAINT CHAMAS

3.4. Impact sur les milieux traversés

prédominants par rapport aux rejets. Reste que la distance critique ne peut être estimée facilement. Seuls des tests par simulation numérique permettraient de répondre à cette question.

La décomposition de ces coûts se trouve en Annexe 1.

Solution G 4840 MF HT

Solution F 6070 MF HT

Solution E 7360 MF HT

Solution D 5140 MF HT

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) de chaque solution est le suivant :

3.5. Coût

La construction éventuelle de digues entraînerait un certain impact visuel, qui pourra être réduit par une bonne végétalisation.

On notera que l'utilisation des étangs comme bassin de décantation viendrait en contradiction avec l'utilisation actuelle et impliquerait leur comblement à terme.

- Utilisation en tant que bassin de décantation

A condition de ne pas perturber leur fonctionnement actuel, le passage d'une conduite ne paraît pas de nature à provoquer d'impact grave, sauf en période de travaux.

- Ensauvagement d'une conduite

Ils font également partie de l'inventaire ZNIEFF et ZICO et donc à ce titre d'un grand intérêt pour l'avifaune.

4. SOLUTIONS AVEC REJET DANS LA RADE DE MARSEILLE OU DANS LE CHENAL DE CARONTE

4.1. Présentation

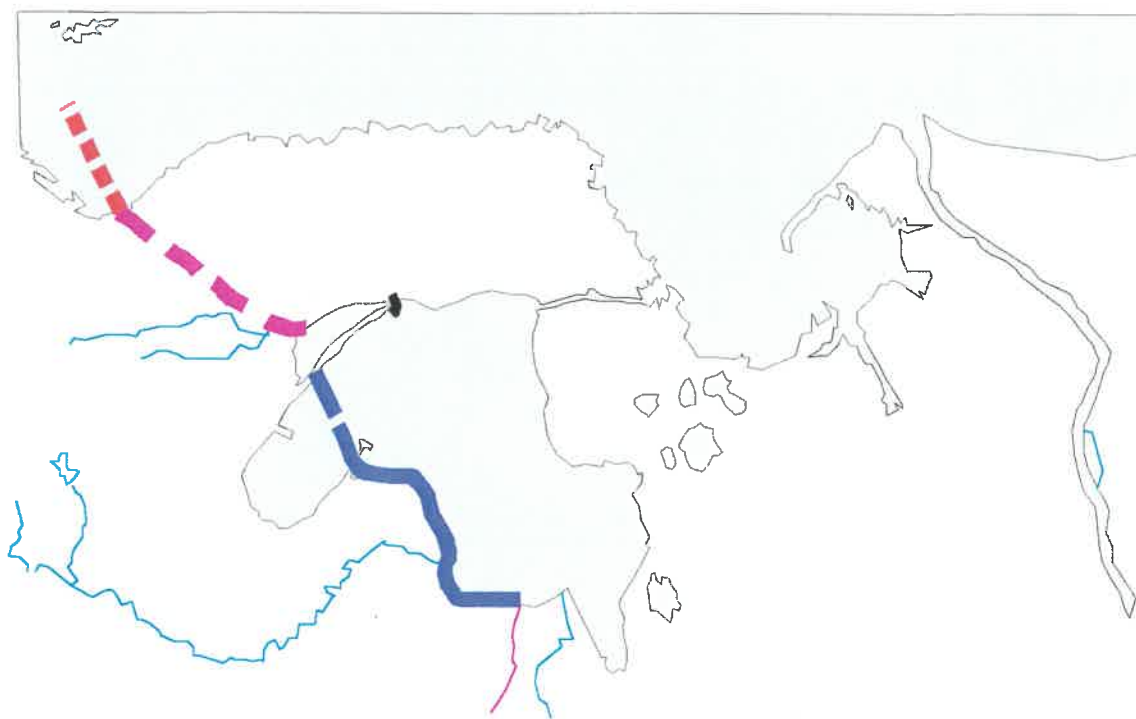
SOLUTION I : REJET EN MER PAR CANAL, ETANG DE BOLMON PUIS TUNNEL DU ROVE

Cette solution serait constituée, d'amont en aval :

- d'un petit bassin de reprise alimentant un canal de 16,1 km qui longe la rive Nord Est de l'étang de Berre, traverse la presqu'île de la pointe par les salins de Berre, laissant libre l'accès au port pétrolier, traverse l'étang de Vaine en laissant deux passages en siphon pour permettre la navigation, et ce jusqu'à l'étang de Bolmon,
- l'étang de Bolmon serait transformé en bassin de délimonage et verrait son plan d'eau être surélevé de 0,5 à 1,0 m,

- l'eau transite ensuite par le tunnel du Rove qui serait recouvert pour la circonstance et est rejeté dans l'Estaque par l'intermédiaire d'une conduite dont la longueur dépendrait des capacités de décantation de l'étang de Bolmon.

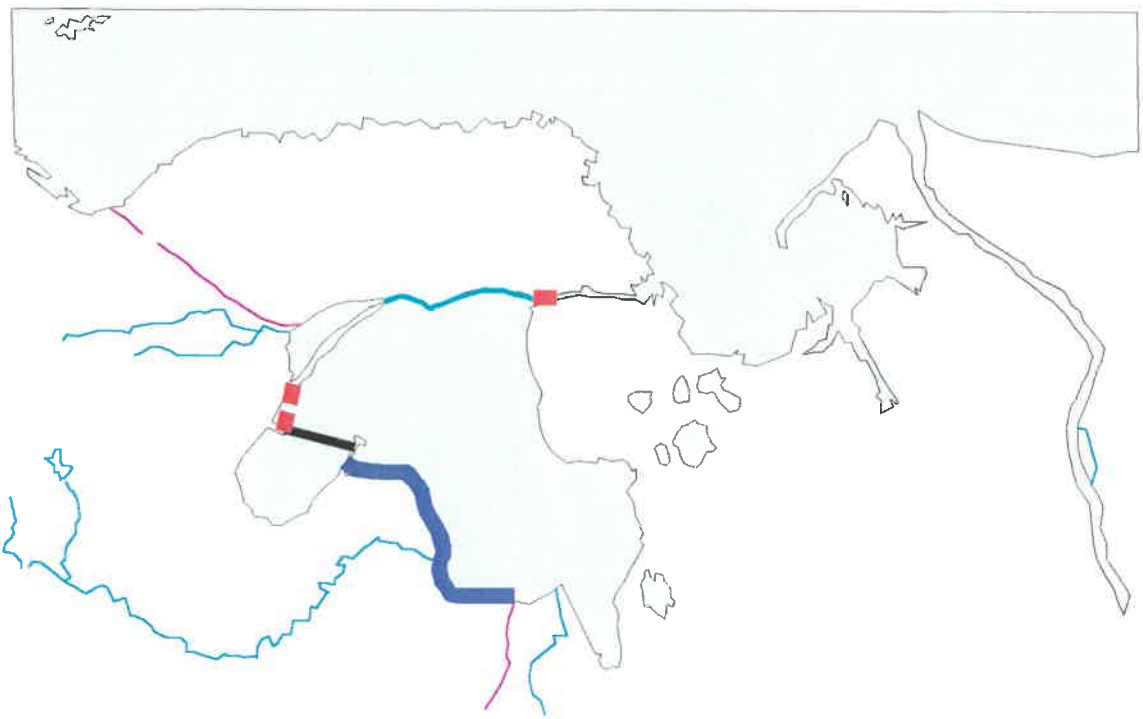
Celui-ci est du même type que ceux évoqués dans les solutions comprenant un canal dans l'étang c'est-à-dire deux digues en terre. Compte tenu des pertes de charge sur l'ensemble du tracé l'arase maximale de ces digues serait à 3,2 m au-dessus du niveau de l'étang, représentant une reprise visible de l'ordre de 100m.



SOLUTION J : REJET DANS LE CHENAL DE CARONTE PAR CANAL, ETANGS DE VAINES ET BOLMON, CANAL DE MARSEILLE AU RHONE

Elle peut être décrite d'amont en aval de la manière suivante :

- de l'usine de Saint-Chamas à la presqu'île de la pointe le tronçon est identique à celui défini dans la solution précédente,
- l'étang de Vaine serait fermé pour servir de bassin de décantation et de transfert des eaux,
- une (ou plusieurs) conduite ensouillée de 1,9 km passerait sous l'extension de l'aéroport pour rejoindre l'étang de Bolmon,
- l'étang de Bolmon serait utilisé comme bassin de transfert, son niveau d'eau étant rehaussé de 0,7 m,
- les eaux emprunteraient ensuite le canal de Marseille au Rhône sur une longueur de 7 km avant d'être rejetées dans le chenal de Caronte au-delà de l'île de Martigues.



Ce sont les digues venant fermer les étangs de Vaine et de Bolmon. L'étang de Vaine va voir son niveau remonter d'environ 1 m. Il faudrait vérifier si les protections de berges sont suffisantes. Il va se produire une remontée de la nappe en bordure de l'étang qui peut avoir des conséquences sur les cultures, les habitations...

• Dignes de fermeture

Il n'existe pas à notre connaissance d'ouvrage de cette importance en France.

Dans cette solution aux problèmes d'entretien similaires à ceux évoqués précédemment, s'ajoute celui du nettoyage du siphon point bas de l'adduction où s'accumuleront les dépôts qui entraîneront une baisse progressive de la capacité de transport hydraulique de l'ensemble de l'adduction.

Par ailleurs reste le problème technique important à résoudre de réaliser des digues compactées et le revêtement béton dans un milieu aqueux pouvant nécessiter le travail en caisson ou la réalisation de rideaux de palplanches avec surcoût notable.

Les besoins en remblais sont énormes et les distances de transport seront certainement importantes entraînant des coûts élevés.

Se posent également le problème des conduites existantes ensouillées dans la couche meuble supérieure qui devront sans doute être déplacées avant travaux pour ne pas subir des déformations inacceptables.

Ces digues ne sont pas étanches. Les matériaux qui les constituent sont relativement perméables. Un gradient de charge élevé va s'établir et des fuites vont se produire (probablement importante sur la longueur considérée).

Ces tassements et fluages, qui peuvent constituer une cause d'instabilité, se produiront pour l'essentiel en phase travaux, mais également en exploitation et rendront nécessaire un rechargement des digues à intervalles, à moins que la mise en œuvre soit réalisée par phases avec une préconsolidation des remblais. Ceci conduira à un renchérissement des coûts annoncés.

Selon la méthode de réalisation adoptée on peut craindre un fluage des matériaux meubles de fondation. Des risques de tassements importants existent également dans les remblais par suite de leur mise en œuvre (remblais hydrauliques).

Les volumes de remblais seront donc probablement supérieurs à ceux annoncés par l'auteur de l'étude car il va se produire de plus un poinçonnement conséquent des vases et alluvions de surface sous la charge du remblai.

Ce canal est constitué de deux digues arasées 3 mètres au-dessus du niveau de l'étang représentant une emprise visible de l'ordre de 100 m au niveau de l'étang et largement supérieure à la base.

CANAL DANS L'ETANG DE BERRE

4.2. Nature des ouvrages

Pendant les travaux, l'impact sur l'aviation serait notable. En effet, tout ce littoral figure à l'inventaire ZNIEFF, les salins de Berre, en outre, se trouvent à la fois en ZICO et en ZPS.

Enfin, l'impact visuel ne serait pas négligeable.

Il serait également nécessaire de prévoir un ouvrage de franchissement pour les crues de l'Arc.

Le passage d'un canal le long du rivage constituerait un impact majeur pour l'ensemble de ces activités de loisirs, qui devraient soit disparaître, soit être reconstituées "devant le canal", mais selon quelles modalités ?

En arrière, la zone est occupée par l'activité agricole : vigne, vergers, céréales, avec quelques fermes. La zone se termine par le site des salins de Berre et le "port de la Pointe", avec des dépôts d'hydrocarbures.

- Cette portion de littoral est cependant exploitée sur le plan des loisirs. On y dénombre en effet de nombreuses activités (plaisance, camping, villas, pêche, restaurants, école de voile, huttes de chasse, plages...).

Plus au Sud, on se trouve devant des terres plus plates, parfois marécageuses (marais des Sagnas), fermées par un cordon littoral.

Il s'agit tout d'abord d'anciennes terres agricoles (vergers d'oliviers) qui descendent en pente douce vers la mer et se terminent par une sorte de petit talus. Jusqu'au secteur dit du Canet, il n'y a pratiquement pas de plage.

LE LITTORAL DE L'USINE DE SAINT-CHAMAS A BERRE

4.4. Impact sur les milieux traversés

La localisation des rejets dans la partie orientale du chenal de Caronte ne nous semble pas propice à leur évacuation compte tenu du risque de retour immédiat dans l'étang.

REJET DANS LE CHENAL DE CARONTE

En effet, une forte augmentation de la production de matière organique non seulement déstabiliserait cet écosystème mais pourrait être rapidement exportée vers la rade Sud de Marseille, ou bien vers les sites touristiques de la Côte Bleue, voir jusqu'au golfe de Fos, sous l'effet des différents régimes de circulation des masses d'eau dans la rade Nord de Marseille.

Il nous semble que la zone du golfe de l'Estaque, au Nord de la rade de Marseille, constitue une zone confinée particulièrement sensible en terme d'augmentation des apports nutritifs en provenance du tunnel du Rove.

REJET DANS LA RADE DE MARSEILLE

4.3. Impact sur le milieu récepteur

Déjà, l'étang de Vaine est séparé du grand étang par une zone de hauts fonds, et les pistes de Marignane : de ce fait, il participe peu au mouvement général des eaux de l'étang, ce qui accentue les effets de la pollution.

- Mais le principal impact consiste à notre avis dans le risque de confinement, déjà souligné lors de la traversée en canal de la baie de Saint-Chamas.
- Son utilisation pour la décantation des limons ne peut que le condamner à terme,

Dans les deux cas, il faut souligner l'intérêt pour les loisirs de cet étang, appendice de l'étang de Berre. Y porter atteinte ne pourrait que susciter de nombreuses protestations.

Il a été, par ailleurs, imaginé d'associer cette fermeture au projet d'allongement des pistes de Marignane, projet qui a fait l'objet d'études récentes.

- soit de le fermer en partie par un canal, une ouverture étant maintenue par un siphon.
- soit de fermer l'étang, pour le transformer en bassin de délimonage, ce qui revient à le combler à terme,

Certaines solutions envisagées auraient pour effet :

- accès difficile (falaises) et difficultés de parking,
- parfum d'hydrocarbures, surtout lors de certaines conditions météorologiques.
- étroitesse des "plages",

malgré les conditions naturelles assez méditerranéennes :
On peut donc considérer qu'entre le secteur de la station d'épuration de Rognac et les salins du Lion, au pied de l'aérogare, le littoral est nettement utilisé pour les loisirs.

Plus au Sud, sur la commune de Vitrolles, le littoral est également exploité pour les loisirs, notamment la mince bande de sable qui s'étend le long de l'étang, au pied de la petite falaise. La faible profondeur permet d'ailleurs d'avoir pied assez longtemps.

A Rognac, le littoral est, au contraire, urbanisé et équipé. On note une petite plage avec embarcadère et bâtiments constituant la base nautique de Rognac, et précédant un petit jardin public boisé. Un camping est à proximité, toujours sur le littoral.

Ensuite jusqu'à Rognac (secteur de la station d'épuration) le littoral ne comprend aucune habitation ni équipement de loisirs.

A partir du secteur portuaire de Berre (ports de pêche et de plaisance) s'étend vers l'Est, en bordure de l'étang, un secteur urbanisé de façon dense. On y trouve un complexe sportif et culturel avec un stade, une caserne des pompiers, une école, et les services techniques municipaux. Le camping a disparu.

L'ETANG DE VAINÉ

L'impact visuel serait également notable.

L'ETANG DE BOLMON

D'une surface d'environ 600 ha, cet étang est séparé de l'étang de Berre par un cordon littoral, le "Jat", mais celui-ci est coupé de trois passes ou "Bourdiques" qui permettent une certaine communication hydraulique entre les deux étangs. L'étang de Bolmon reçoit les eaux de la rivière la Cadère qui sont extrêmement polluées.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, l'étang de Bolmon constitue l'exemple même d'un étang confiné. Les traces de forte pollution y sont évidentes. L'eutrophisation y est très forte, notamment en été.

L'utilisation du cordon littoral, le "Jat" est ainsi particulièrement dissymétrique :

- le *rivage extérieur*, qui donne sur l'étang de Berre, fait l'objet d'une exploitation intensive pour les loisirs ;

- Le *rivage intérieur* au contraire est laissé à l'état totalement naturel : végétation herbacée et roseaux. La forte pollution apparaît du fait de la présence de mouses verdâtres. La pêche y est interdite par les arrêtés préfectoraux du 28 avril et du 10 mai 2000.

Par contre, l'avifaune y est variée, nombreuse et l'on peut observer hérons et canards. Contrairement à l'étang de Vaine, l'étang de Bolmon figure ainsi à l'inventaire des ZNIEFF.

Il a été racheté par le Conservatoire du littoral qui projette sa réhabilitation.

Le passage d'un courant d'eau non polluée dans l'étang ne pourrait qu'améliorer la situation. Mais la décantation de limons entraînerait son comblement, et donc sa suppression à terme.

Toute période de travaux provoquerait une perturbation évidente pour l'avifaune.

4.5. Coût

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) des solutions 1 et 2 est respectivement de 5400 MF HT et 4800 MF HT. La décomposition de ces coûts se trouve en Annexe 1.

5. SOLUTION K : REJET EN HIVER DANS LE CHENAL DE CARONTE ET EN ETE DANS LE RHONE PAR CANAL

5.1. Présentation

Le principe de la solution est le suivant :

De novembre à mars les volumes turbinés seraient rejetés dans le chenal de Caronte, les ouvrages empruntés étant, d'amont en aval :

- un bassin situé autour de la restitution actuelle de l'usine de Saint-Chamas,
- un canal suivant un tracé comparable à celui des deux solutions précédentes jusqu'à l'étang de Vaine,

- l'étang de Vaine, fermé par une digue,

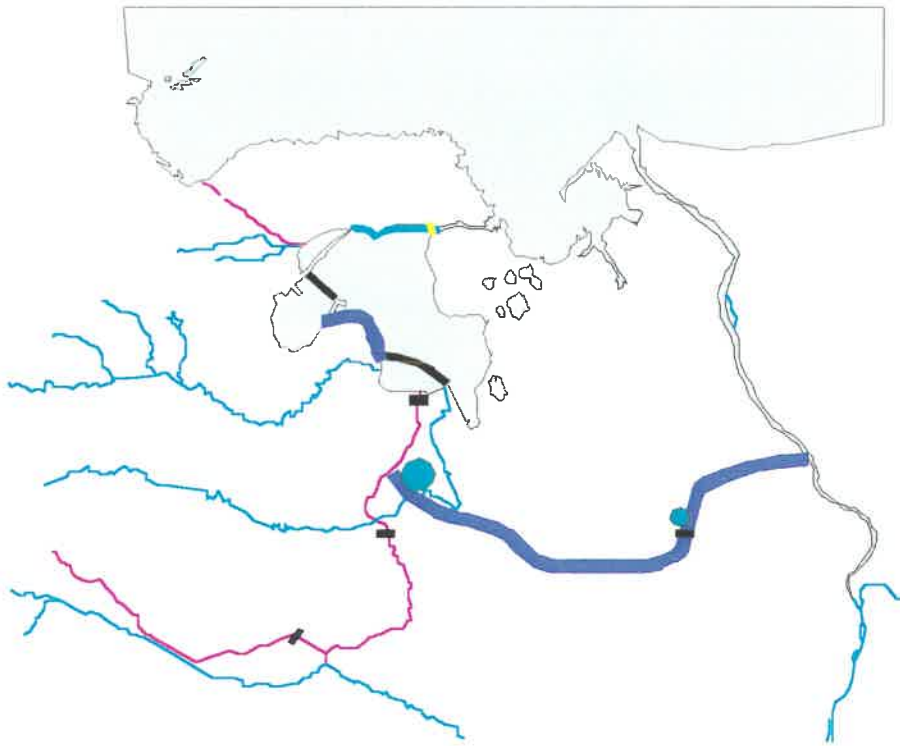
- un ouvrage de transfert de l'étang de Vaine à l'étang de Bolmon,

- l'étang de Bolmon sert de transfert vers le canal de Marseille au Rhône que l'eau emprunterait avant d'être rejetée dans le chenal de Caronte,

- une écluse, située à Martigues empêche pendant cette période l'eau douce de rentrer dans l'étang.

Les bassins créés récupérerait les eaux de la Touloubre, de l'Arc et de la Cadière.

Le tunnel du Rove serait remis en service avec une section éventuellement réduite pour éviter de novembre à mars la stagnation des eaux et d'avril à octobre renvoyer en mer les eaux de la Touloubre, de l'Arc et de la Cadière voire éventuellement des rejets exceptionnels d'EDF.



D'avril à octobre le site EDF de Saint-Chamas serait isolé des autres usines et ne turbinerait plus. L'écluse serait alors ouverte et l'étang de Berre de nouveau en liaison avec la mer.

L'eau serait alors turbinée par EDF jusqu'à la centrale de Salon compris et rejeté en continu au Rhône par un canal à créer, en partie sur le tracé de canaux existants. Sur la base des ressources en eau dont dispose EDF dans cette période et de son obligation de fournir en permanence 30 m³/s à Lamanon, le canal devrait, selon son auteur, pouvoir disposer d'un débit continu minimum de 50 m³/s, débit que l'on retient pour cette solution.

L'eau transitant par ce canal desservirait au passage des besoins agricoles.

Les ouvrages à créer seraient les suivants :

- un bassin de démodulation de 2 millions de m³ situé entre Langon et Cornillon,
- un premier tronçon de canal de capacité en tête 50 m³/s sur environ 16 km rejoignant le tracé du canal de Crapone à 5 km à l'ouest d'Eyguières,
- un tronçon de canal se substituant sur la majeure partie au canal de Crapone sur environ 13 km,
- un tronçon de canal empruntant le tracé du canal de Capelette sur 14 km pour se rejeter dans le Rhône à environ 8 km au SSE d'Arles.

Ce sont les digues venant fermer les étangs de Vaine et de Bolmon. L'étang de Vaine va voir son niveau remonter d'environ 1 m. Il faudrait vérifier si les protections de

DIGUES DE FERMETURE

Il n'existe pas à notre connaissance d'ouvrage de cette importance en France.

Dans cette solution aux problèmes d'entretien similaires à ceux évoqués précédemment, s'ajoute celui du nettoyage du siphon point bas de l'adduction où s'accumuleront les dépôts qui entraîneront une baisse progressive de la capacité de transport hydraulique de l'ensemble de l'adduction.

Par ailleurs reste le problème technique important à résoudre de réaliser des digues compactées et le revêtement béton dans un milieu aqueux pouvant nécessiter le travail en caisson ou la réalisation de rideaux de palplanches avec surcoût notable.

Les besoins en remblais sont énormes et les distances de transport seront certainement importantes entraînant des coûts élevés.

Se posent également le problème des conduites existantes ensouillées dans la couche meuble supérieure qui devront sans doute être déplacées avant travaux pour ne pas subir des déformations inacceptables.

Ces digues ne sont pas étanches. Les matériaux qui les constituent sont relativement perméables. Un gradient de charge élevé va s'établir et des fuites vont se produire (probablement importante sur la longueur considérée).

Ces tassements et fluages, qui peuvent constituer une cause d'instabilité, se produiront pour l'essentiel en phase travaux, mais également en exploitation et rendront nécessaire un rechargement des digues à intervalles, à moins que la mise en œuvre soit réalisée par phases avec une préconsolidation des remblais. Ceci conduira à un renchérissement des coûts annoncés.

Selon la méthode de réalisation adoptée on peut craindre un fluage des matériaux meubles de fondation. Des risques de tassements importants existent également dans les remblais par suite de leur mise en œuvre (remblais hydrauliques).

Les volumes de remblais seront probablement supérieurs à ceux annoncés par l'auteur de l'étude car il va se produire de plus un poinçonnement conséquent des vases et alluvions de surface sous la charge du remblai.

Ce canal est constitué de deux digues arasées 3 mètres au-dessus du niveau de l'étang représentant une emprise visible de l'ordre de 100 m au niveau de l'étang et largement supérieure à la base.

CANAL DANS L'ETANG DE BERRE

5.2. Natures des ouvrages

Une centrale hydroélectrique pourrait être réalisée au nord de Saint-Martin de Crau en profitant d'un dénivelé d'une trentaine de mètres. Cette centrale serait associée à un bassin de modulation pour pouvoir optimiser son exploitation.

berges sont suffisantes. Il va se produire une remontée de la nappe en bordure de l'étang qui peut avoir des conséquences sur les cultures, les habitations...

5.3. Impact sur le milieu récepteur

REJET DANS LE CHENAL DE CARONTE

La localisation des rejets dans la partie orientale du chenal de Caronte ne nous semble pas propice à leur évacuation compte tenu du risque de retour immédiat dans l'étang.

REJET DANS LE RHONE

Les problèmes liés aux rejets dans le Rhône consistent essentiellement en une augmentation de débit, un apport de sels nutritifs et une augmentation de la charge solide (MES).

En terme de débit, la perturbation ne devrait pas être trop importante étant donné la faible proportion que représente le débit maximal de turbinage et la centrale de Saint-Chamas ($250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) par rapport au débit du Rhône en régime moyen et de crue. Le module interannuel du Rhône est de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ et les crues peuvent atteindre jusqu'à $6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Le Rhône est considéré en crue au-dessus de $3500 \text{ m}^3/\text{s}$. Le module bisannuel de crue est de $4500 \text{ m}^3/\text{s}$. Par contre, ce débit turbiné reste susceptible d'entraîner des modifications du profil du fleuve en régime d'étiage, son débit estival pouvant être de l'ordre de $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Bien qu'il puisse représenter la moitié du débit du Rhône à cette période, la gestion actuelle d'EDF montre que les rejets à ce débit se font rarement en été.

En terme de charge nutritive, la perturbation ne devrait également pas être trop importante étant donné la disproportion entre les apports des eaux turbines (apport annuel en azote du canal de la Durançe quantifiés à $1\,068$ tonnes N en 1997) et les apports du Rhône (apport annuel en azote quantifiés à $70\,522$ tonnes N en 1997). Même si ces derniers subissaient des augmentations notables (de 4 à 5 fois), ils restent très inférieurs à ceux du Rhône.

Par contre, en terme de charge solide (MES), les perturbations risquent d'être plus fortes aussi bien le long du cours du fleuve (modification du profil du lit, colmatage, alimentation des canaux de Camargue, etc...) qu'à son embouchure (modification du trait de côte le long du Têt de la Gracieuse) sans oublier le risque d'augmentation de la turbidité dans l'anse de Carteau susceptible de conduire à un envasement accéléré de cette zone conchylicole, compte tenu du caractère giratoire des courants. On notera que le débit solide moyen interannuel du Rhône est d'environ 5 millions de tonnes à comparer avec l'apport des rejets en limons estimé dans cette étude à $800\,000$ t/an.

A partir du secteur portuaire de Berre (ports de pêche et de plaisance) s'étend vers l'Est, en bordure de l'étang, un secteur urbanisé de façon dense. On y trouve un complexe sportif et culturel avec un stade, une caserne des pompiers, une école, et les services techniques municipaux. Le camping a disparu.

L'ETANG DE VAINÉ

Pendant les travaux, l'impact sur l'avifaune serait notable. En effet, tout ce littoral figure à l'inventaire ZNIEFF, les salins de Berre, en outre, se trouvent à la fois en ZICO et en ZPS.

Enfin, l'impact visuel ne serait pas négligeable.

Il serait également nécessaire de prévoir un ouvrage de franchissement pour les crues de l'Arc.

Le passage d'un canal le long du rivage constituerait un impact majeur pour l'ensemble de ces activités de loisirs, qui devraient soit disparaître, soit être reconstituées "devant le canal", mais selon quelles modalités ?

En arrière, la zone est occupée par l'activité agricole : vigne, vergers, céréales, avec quelques fermes. La zone se termine par le site des salins de Berre et le "port de la Pointe", avec des dépôts d'hydrocarbures.

- Cette portion de littoral est cependant exploitée sur le plan des loisirs. On y dénombre en effet de nombreuses activités (plaisance, camping, villas, pêche, restaurants, école de voile, huttes de chasse, plages...).

Plus au Sud, on se trouve devant des terres plus plates, parfois marécageuses (marais des Sagnas), fermé par un cordon littoral.

Il s'agit tout d'abord d'anciennes terres agricoles (vergers d'oliviers) qui descendent en pente douce vers la mer et se terminent par une sorte de petit talus. Jusqu'au secteur dit du Canet, il n'y a pratiquement pas de plage.

LE LITTORAL DE L'USINE DE SAINT-CHAMAS A BERRE

5.4. Impact sur les milieux traversés

D'une façon générale, l'impact des rejets au niveau de l'écosystème Rhône-Delta, ne devrait pas conduire à un déséquilibre écologique majeur, compte tenu de l'adaptation de l'ensemble de cet écosystème aux variations naturelles, rapides et importantes, de ses caractéristiques physiques et chimiques.

Pour estimer au mieux le risque au niveau du They de la Gracieuse, il convient de rappeler que cet écosystème très sensible est l'objet de phénomènes évolutifs. Toute évolution des charges solides du Rhône se traduira donc vraisemblablement par une modification de l'impact à l'embouchure. Il reste malgré tout difficile de dire, sans études complémentaires, si ces impacts seront positifs (avec par exemple une atténuation de l'érosion du They de la Gracieuse) ou négatifs.

D'une surface d'environ 600 ha, cet étang est séparé de l'étang de Berre par un cordon littoral, le "Jat", mais celui-ci est coupé de trois passes ou "Bourdiques" qui permettent

L'ETANG DE BOLMON

L'impact visuel serait également notable.

Déjà, l'étang de Vaine est séparé du grand étang par une zone de hauts fonds, et les pistes de Marignane : de ce fait, il participe peu au mouvement général des eaux de l'étang, ce qui accentue les effets de la pollution.

- Mais le principal impact consiste à notre avis dans le risque de confinement, déjà souligné lors de la traversée en canal de la baie de Saint-Chamas.

- Son utilisation pour la décantation des limons ne peut que le condamner à terme,

protestations.

Dans les deux cas, il faut souligner l'intérêt pour les loisirs de cet étang, appendice de l'étang de Berre. Y porter atteinte ne pourrait que susciter de nombreuses

Il a été, par ailleurs, imaginé d'associer cette fermeture au projet d'allongement des pistes de Marignane, projet qui a fait l'objet d'études récentes.

- soit de le fermer en partie par un canal, une ouverture étant maintenue par un siphon.

- soit de fermer l'étang, pour le transformer en bassin de délimonage, ce qui revient à le combler à terme,

Certaines solutions envisagées auraient pour effet :

- parfum d'hydrocarbures, surtout lors de certaines conditions météorologiques.

- accès difficile (falaises) et difficultés de parking,

- étroitesse des "plages",

malgré les conditions naturelles assez médiocres :

On peut donc considérer qu'entre le secteur de la station d'épuration de Rognac et les salins du Lion, au pied de l'aérogare, le littoral est nettement utilisé pour les loisirs,

Plus au Sud, sur la commune de Vitrolles, le littoral est également exploité pour les loisirs, notamment la mince bande de sable qui s'étend le long de l'étang, au pied de la petite falaise. La faible profondeur permet d'avoir pied assez longtemps.

A Rognac, le littoral est, au contraire, urbanisé et équipé. On note une petite plage avec embarcadère et bâtiments constituant la base nautique de Rognac, et précédant un petit jardin public boisé. Un camping est à proximité, toujours sur le littoral.

Ensuite jusqu'à Rognac (secteur de la station d'épuration) le littoral ne comprend aucune habitation ni équipement de loisirs.

¹ en marge d'une étude menée en 200 par la SCP : "inventaire des pratiques d'irrigation en Crau"

Par ailleurs, une étude récente de l'Agence de Bassin RMC conclue son état des lieux des connaissances en matière de Crau par "il ressort de ce bilan quantitatif que les rapidement les volumes nécessaires à leur culture, sans en modifier les quantités. supplémentaires dans le but de raccourcir la période d'irrigation en délivrant plus propos, que les producteurs de foin souhaiteraient bénéficier de débits la nappe de Crau) et de vergers (pêchers alimentés par la nappe). Il semble, à ce Crau irriguées de mai à septembre), de serres (alimentées en eau par pompage dans Crau, dont les cultures se composent pour l'essentiel de foin (12 000 ha de prairies de d'étudier plus précisément les besoins, non actuellement satisfaits, des agriculteurs de On peut aisément évaluer le volume d'eau disponible pour l'irrigation, mais il serait utile Le projet permet a priori la réutilisation de la ressource en eau pour l'irrigation.

POTENTIEL DE VALORISATION DES REJETS AQUEUX

5.5. Aspects socio-économiques

Toute période de travaux provoquerait une perturbation évidente pour l'avifaune. suppression à terme. Le passage d'un courant d'eau non polluée dans l'étang ne pourrait qu'améliorer la situation. Mais la décantation de limons entraînerait son comblement, et donc sa Il a été racheté par le Conservatoire du littoral qui projette sa réhabilitation. l'inventaire des ZNIEFF. Par contre, l'avifaune y est variée, nombreuse et l'on peut observer hérons et canards. Contrairement à l'étang de Vaine, l'étang de Bolmon figure ainsi à mai 2000. - Le rivage intérieur au contraire est laissé à l'état totalement naturel : végétation herbacée et roseaux. La forte pollution apparaît du fait de la présence de moussses verdâtres. La pêche y est interdite par les arrêtés préfectoraux du 28 avril et du 10 - le rivage extérieur, qui donne sur l'étang de Berre, fait l'objet d'une exploitation intensive pour les loisirs ; L'utilisation du cordon littoral, le "Jar" est ainsi particulièrement dissymétrique : - le rivage extérieur, qui donne sur l'étang de Berre, fait l'objet d'une exploitation intensive pour les loisirs ; En ce qui concerne la qualité de l'eau, l'étang de Bolmon constitue l'exemple même d'un étang confiné. Les traces de forte pollution y sont évidentes. L'eutrophisation y est très forte, notamment en été. une certaine communication hydraulique entre les deux étangs. L'étang de Bolmon reçoit les eaux de la rivière la Cadière qui sont extrêmement polluées.

⁴ ARDEPI, Guide départemental des aménagements hydrauliques des Bouches-du-Rhône, édition 1995.

Mettre 20 m³/s supplémentaire à disposition de l'irrigation agricole revient donc à doubler le volume actuellement alloué à cet usage.

³ Le débit maximal de prélèvement autorisé à Lamanon pour l'irrigation de la Crau s'élève à 30,7 m³/s en plein été, une fraction de ce débit seulement au printemps et à l'automne. Environ 35% des volumes correspondant à ce débit est consommé par les végétaux (cultures et ripisylve), 30% alimente la nappe souterraine de la Crau, 35% rejoint les exutoires.

² Gestion de la ressource en eau et préservation du milieu naturel en Crau, étude ASCA pour l'Agence de l'Eau RMC, 1999?

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) de la solution K est de 5600 MF HT. La décomposition de ce coût se trouve en Annexe 1.

5.6. Coût

Si l'opportunité en terme de satisfaction des besoins et de rendement culturel, de doubler, voire tripler³, les apports en eau dans la plaine de la Crau reste à étudier, la ressource que constituent les rejets EDF pourrait participer à la résolution de l'un des principaux enjeux hydrologiques du département des Bouches-du-Rhône, à savoir "l'alimentation des nappes par les réseaux d'irrigation gravitaire, pour maintenir à une profondeur suffisante le biseau salé sous la nappe de Crau".

Ce double constat laisse supposer que la problématique de la gestion de l'eau en plaine de Crau relève d'avantage de la gestion hydraulique de la ressource que de l'importance des volumes disponibles pour l'irrigation.

prélèvements sont nettement inférieurs aux apports, ce qui explique le maintien global du niveau de la nappe que l'on observe sur une longue période...².

6. SOLUTION AVEC REJET EN DURANCE

6.1. Présentation

SOLUTION L : REDUCTION DES REJETS ET TRANSFERT VERS LA DURANCE ET LE RHONE

Cette solution est présentée en deux phases.

La première phase consiste en la réduction immédiate de 2/3 des rejets EDF dans l'étang de Berre en répartissant les volumes turbinés en aval de la centrale de Mallemort

- un tiers des volumes resteraient turbinés par les centrales de Salon et de Saint-Chamas,

- un tiers serait restitué vers les canaux d'irrigation des Bouches du Rhône et du Vaucluse,

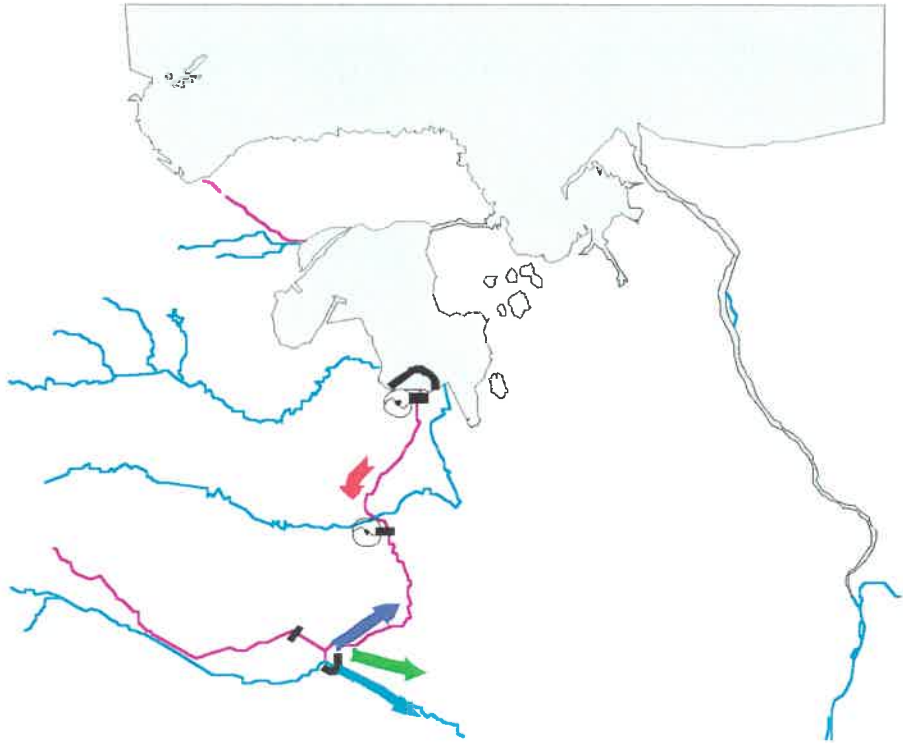
- un tiers serait rejeté dans la Durance.

Pour rendre les restitutions graduelles, tout en gardant à la chaîne hydroélectrique sa capacité de mobilisation rapide, un volume tampon serait ménagé en abaissant le niveau de l'eau dans le bief Mallemort-Salon et en utilisant la retenue de Mallemort sur la Durance.

Un seuil serait d'autre part créé sur toute la largeur du lit mineur de la rivière pour étaler les restitutions.

En deuxième phase et à terme il est proposé d'éliminer tout rejet dans l'étang de Berre en remontant par pompage en heures creuses, l'eau turbinée à Salon et Saint-Chamas en heures de pointe depuis l'étang de Berre jusqu'à Mallemort. Pour ce faire, un bassin de rétention serait réalisé autour de la restitution des eaux à Saint-Chamas et les centrales de Saint-Chamas et de Salon seraient équipées de pompes ou de turbines réversibles.

Les volumes pompés en heures creuses seraient alors restitués à la Durance.



6.2. Nature des ouvrages

TURBINAGE/POMPAGE SUR SALON ET ST CHAMAS

D'après les contraintes de fonctionnement de l'usine, pour faire face aux pointes de la demande de l'EDF, il s'avèrera nécessaire pendant quelques jours d'affiliée de turbiner dans la journée des débits atteignant 200 m³/s pendant environ 16h par jour. Le remontage des eaux se ferait pendant la nuit soit 8 heures. Par ailleurs les caractéristiques géométriques du canal EDF ne permettent pas de fonctionner avec le même débit à la descente qu'à la remontée. Il sera donc impossible de remonter la nuit les débits turbinés pendant la journée et le bassin, situé autour de la restitution des eaux dans l'étang de Berre, devra être calculé pour récupérer les excédents de plusieurs journées, ce qui lui donnera une taille très importante (plusieurs dizaines de millions de m³ soit plusieurs centaines d'hectares).

Le remontage des eaux se fera avec perte d'énergie globale : A cause du rendement des machines électriques, il faudra plus d'énergie pour remonter les débits par pompage qu'ils n'en fourniront par turbinage. Il faut aussi noter l'importance des modifications de l'usine pour installer des turbines réversibles pouvant remonter de tels débits sur les deux usines.

Le fonctionnement entre Mallemort et Saint Chamas se ferait donc à volume constant, les volumes turbinés étant pompés pour être de nouveau turbinés et ainsi de suite.

Se pose alors le problème du devenir des volumes turbinés à Mallemort qui sont en partie rejetés dans la Durance (cf impact des rejets en Durance) et pour l'autre partie dans les canaux d'irrigation existants. Ces derniers (Canal de Carpentras et de Craponne) ont des capacités en tête qui devraient leur permettre d'accepter un débit voisin de 60 m³/s. Il faudrait ensuite s'assurer que ces canaux, dont le fonctionnement est complexe, ont les capacités en hiver, alors que les consommations sont minimales voir nulles, de rejeter ces débits au milieu naturel sans problèmes.

6.3. Impact sur le milieu récepteur

REJET DANS LA DURANCE

En l'état actuel des connaissances, les études d'impact des restitutions en Durance de 1994 à 1999, ont montré que :

- En moyenne sur la période 1994-99, il y a eu 232 jours de restitutions par an, dont 130 jours à des débits inférieurs à 50 m³/s et 32 jours à des débits supérieurs à 150 m³/s. 1360 Mm³ et un débit moyen journalier de 45 m³/s ont été restitués à la Durance sur cette période.

- L'étude des impacts de ces restitutions distingue plusieurs types d'impact :

- des impacts immédiats au moment des lâchers,
 - des impacts retardés, plus ou moins visibles actuellement et dus à des effets cumulatifs, liés aux modifications du régime sédimentaire (graviers, limons) et relatifs aux populations piscicoles.
- Si la première catégorie d'impacts peut être considérée comme réversible, les derniers sont liés aux restitutions réalisées en période estivale (de mai à septembre) et à la variabilité des débits restitués, restitutions imposées par les quotas de protection de l'étang de Berre. Seuls les impacts dus aux modifications du régime sédimentaire sont corrélés avec l'hydraulicité annuelle.

L'impact sur la végétation alluviale est essentiellement lié aux apports accrus de limons et se traduit par une déconnexion progressive des milieux, une banalisation des espèces présentes et un perte de leurs fonctionnalités écologiques. Cela est d'autant plus préoccupant que le contexte actuel est favorable à l'accroissement des apports du fait du comblement des retenues amont.

L'impact sur les poissons concerne surtout la période de reproduction (mai à juillet) mais n'a pas pu être observé. Sur les oiseaux, c'est la baisse brutale des niveaux d'eau à la fin des restitutions début juillet qui est le facteur le plus important. L'impact sur les invertébrés benthiques est très net et se traduit par un dépeuplement brutal du chenal. Les bras secondaires et les rives jouent alors un rôle essentiel pour la recolonisation de chenal en 4 à 6 semaines, mais cette fonction n'est pleinement efficace qu'avec une baisse lente des débits (sur plusieurs jours). Seuls les débits supérieurs à 100 m³/s ont un impact important.

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) de la solution L est de 2900 MF HT. La décomposition de ce coût se trouve en Annexe 1.

6.4. Coût

En conclusion, il est possible de dire que les conditions du milieu récepteur Durance sont perturbées quand les débits de restitution sont supérieurs à 100 m³/s et que les impacts sont plus forts en période estivale (mai à septembre), période au cours de laquelle les restitutions sont rares. La tendance actuelle semble de vouloir définir des conditions de gestion précises de la rivière en relation avec le futur schéma d'aménagement et de gestion de la Basse et Moyenne Durance, de manière à optimiser les effets positifs et à atténuer les impacts négatifs de ces restitutions.

Il faut noter par ailleurs qu'EDF a l'obligation de ne pas rejeter dans la Durance lorsqu'il existe un risque d'inondation de la Camargue par le Rhône.

- Les restitutions n'ont pas d'impact significatif sur la ressource en eau au niveau de la nappe. Elles ont par contre des effets nets sur le niveau piézométrique en bordure de Durance (augmentation du niveau de nappe), notamment au-delà de 100 m³/s, mais ces effets de courte durée, n'ont pas d'intérêt écologique.
- Il faut noter par ailleurs qu'EDF a l'obligation de ne pas rejeter dans la Durance lorsqu'il existe un risque d'inondation de la Camargue par le Rhône.
- Les restitutions d'eaux non chargées en graviers auront un impact morphologique important entre Mallemort et Orgon, avec un risque d'incision et de pavage du bras vif ayant des conséquences multiples sur la nappe, la ripisylve, les habitats piscicoles. L'augmentation significative de la capacité de charriage pourrait être bénéfique s'il était assorti de mesures d'accompagnement adaptées (recharge sédimentaire, définition d'un espace de mobilité).
- Les restitutions n'ont pas d'impact significatif sur la ressource en eau au niveau de la nappe. Elles ont par contre des effets nets sur le niveau piézométrique en bordure de Durance (augmentation du niveau de nappe), notamment au-delà de 100 m³/s, mais ces effets de courte durée, n'ont pas d'intérêt écologique.
- Des impacts sont également visibles sur quelques ouvrages (épis et digues), bien qu'il soit difficile d'en déterminer la cause (débits de crues ou de restitution), mais ils mettent en évidence la fragilité d'un certain nombre d'ouvrages aujourd'hui fortement affaiblis.
- Les restitutions accentuent les érosions de berge dans les secteurs les plus actifs, accentuées par les marnages journaliers parfois importants. Cet impact peut être considéré comme positif car il participe à la réhabilitation d'un espace de mobilité plus important, lui-même favorable à l'écoulement des crues comme à la diversité des milieux. Mais il nécessite une gestion particulière de la rivière.

7. SOLUTIONS AVEC REJET AU RHONE A BARBENTANE

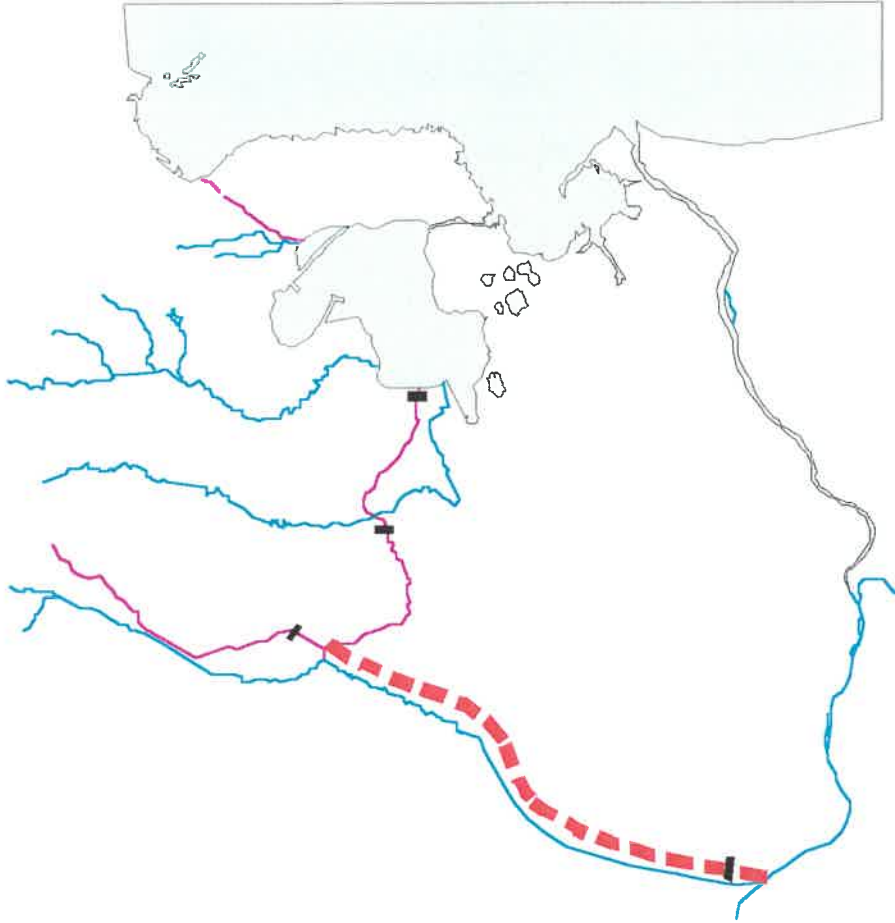
7.1. Présentation

SOLUTION Q : REJET A BARBENTANE PAR CONDUITES

La solution consiste à arrêter les centrales hydroélectriques de Salon et de St Chamas et de substituer ces unités de production par un aménagement qui restituerait les eaux dans le Rhône à Barbentane à proximité de son confluent avec la Durance .

Elle est constituée de deux conduites en charge en béton en forme de fer à cheval posés en parallèle représentant une section totale de 100 m². Nous avons considéré que ces conduites seraient enterrées.

Une usine hydroélectrique serait implantée à Barbentane pour retrouver une puissance égale à celle de St Chamas.



SOLUTION R : REJET A BARBENTANE PAR CANAL ET GALERIE

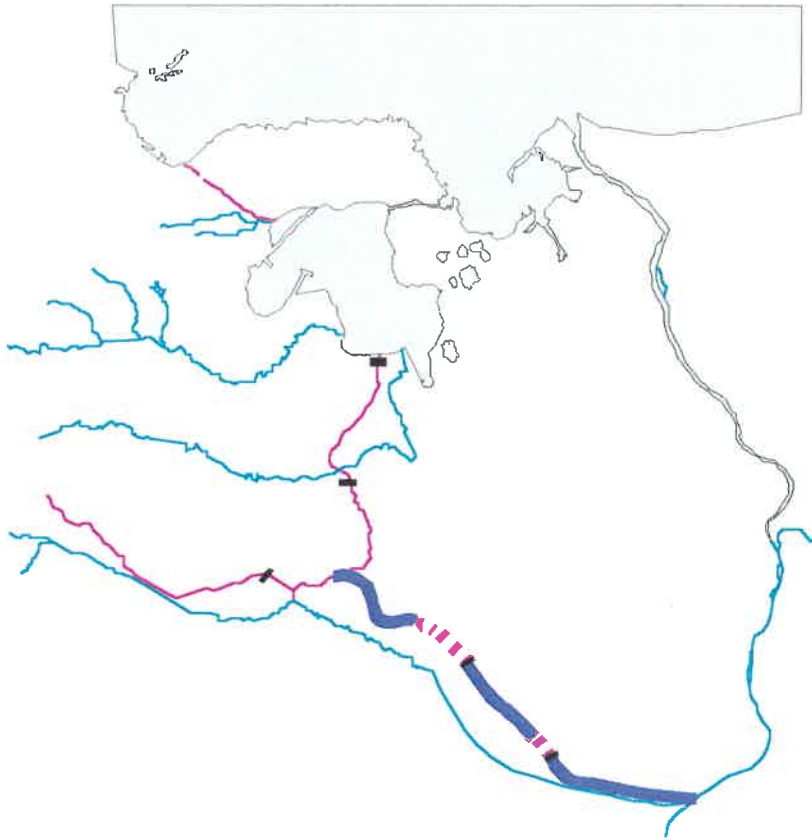
La solution consiste, comme la précédente, à arrêter les centrales hydroélectriques de Salon et de St Chamas et de substituer ces unités de production par un aménagement qui restituerait les eaux dans le Rhône à Barbentane à proximité de son confluent avec la Durance .

Elle diffère principalement de la solution précédente par les ouvrages de transport qui sont ici des canaux et galeries et le nombre d'usine hydroélectriques proposées, à savoir deux dans cette solution.

Le tracé présente une longueur totale de 42 km et serait constitué d'amont en aval des tronçons suivants :

- le premier tronçon de 9,5 km, depuis son origine à la cote 117 m NGF, situé sur le canal existant à l'est de la commune de Mallemort, serait un canal trapézoïdal à ciel ouvert principalement en remblai et de dimension équivalente à celui de Salon,
- le deuxième tronçon serait une galerie de diamètre 10m qui traverse sur 5,6 km la chaîne des Alpes,
- une usine hydroélectrique de puissance 78 MW pour une hauteur de chute brute de 41m,

- le troisième tronçon serait de nouveau un canal à surface libre de près de 11 km



CANAUX ET GALERIES JUSQU'A BARBENTANE

Ce paragraphe concerne la solution R.

Les portions de canaux seront, pour l'essentiel de leur linéaire, en remblais jusqu'à une hauteur maximale de 20 m. Cet ouvrage constituerait un obstacle très important (un canal en remblais de 15 m nécessite une emprise au sol de l'ordre de 100 m).

Les besoins en remblais seraient énormes. On peut en première approximation les chiffrer autour de 25 à 30 millions de m³. D'où proviendraient-ils ? Les instances de transport seraient nécessairement très importantes, avec une forte incidence sur les coûts.

Un ouvrage de cette importance, essentiellement en superstructure dans une zone semi urbaine largement équipée en voies de communication diverses, engendrerait des travaux de rétablissement particulièrement conséquents.

7.3. Impact sur le milieu récepteur

REJET DANS LE RHONE

Les problèmes liés aux rejets dans le Rhône consistent essentiellement en une augmentation de débit, un apport de sels nutritifs et une augmentation de la charge solide (MES).

En terme de débit, la perturbation ne devrait pas être trop importante étant donné la faible proportion que représente le débit maximal de turbinage et la centrale de Saint-Chamas ($250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) par rapport au débit du Rhône en régime moyen et de crue. Le module interannuel du Rhône est de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$ et les crues peuvent atteindre jusqu'à $6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Le Rhône est considéré en crue au-dessus de $3500 \text{ m}^3/\text{s}$. Le module bisanual de crue est de $4500 \text{ m}^3/\text{s}$. Par contre, Ce débit turbiné reste susceptible d'entraîner des modifications du profil du fleuve en régime d'étiage, son débit estival pouvant être de l'ordre de $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Bien qu'il puisse représenter la moitié du débit du Rhône à cette période, la gestion actuelle d'EDF montre que les rejets à ce débit se font rarement en été.

En terme de charge nutritive, la perturbation ne devrait également pas être trop importante étant donné la disproportion entre les apports des eaux turbines (apport annuel en azote du canal de la Durance quantifiés à 1 068 tonnes N en 1997) et les apports du Rhône (apport annuel en azote quantifiés à 70 522 tonnes N en 1997). Même si ces derniers subissaient des augmentations notables (de 4 à 5 fois), ils restent très inférieurs à ceux du Rhône.

Par contre, en terme de charge solide (MES), les perturbations risquent d'être plus fortes aussi bien le long du cours du fleuve (modification du profil du lit, colmatage, alimentation des canaux de Camargue, etc...) qu'à son embouchure (modification du trait de côte le long du Têt de la Gracieuse) sans oublier le risque d'augmentation de la turbidité dans l'anse de Carteau susceptible de conduire à un envasement accéléré de cette zone conchylicole, compte tenu du caractère giratoire des courants. On notera que le débit solide moyen interannuel du Rhône est d'environ 5 millions de tonnes à comparer avec l'apport des rejets en limons estimé dans cette étude à 800 000 t/an.

Pour estimer au mieux le risque au niveau du They de la Gracieuse, il convient de rappeler que cet écosystème très sensible est l'objet de phénomènes évolutifs. Toute évolution des charges solides du Rhône se traduira donc vraisemblablement par une modification de l'impact à l'embouchure. Il reste malgré tout difficile de dire, sans études complémentaires, si ces impacts seront positifs (avec par exemple une atténuation de l'érosion du They de la Gracieuse) ou négatifs.

D'une façon générale, l'impact des rejets au niveau de l'écosystème Rhône-Delta, ne devrait pas conduire à un déséquilibre écologique majeur, compte tenu de l'adaptation de l'ensemble de cet écosystème aux variations naturelles, rapides et importantes, de ses caractéristiques physiques et chimiques.

7.4. Impact sur les milieux traversés

PROJET REJET A BARBENTANE (SOLUTION R)

Sur le plan environnemental, l'ouvrage ne traverse pas de zone protégée, znic, zico ou zps. C'est à peine s'il écorne la Z.N.I.E.F.F. 15 Z 00, (collines du Contraste et du Vallon) qui est un morceau détaché de la Z.N.I.E.F.F. des Alpes. Cette dernière est notamment d'une grande richesse faunistique (rapaces: Aigle, Vautour, Faucon, Hibou...). De ce point de vue l'impact de l'ouvrage se manifestera surtout en période de travaux; ensuite, les incidences sur l'avifaune paraissent négligeables. La Z.N.I.E.F.F. des Alpes proprement dite est franchie en souterrain : Là aussi, l'impact sera limité à la période des travaux.

Il faut signaler, par contre, que le tracé de ce canal traverse, presque continuellement, une région très productive et très dense sur le plan agricole (vergers, serres...) avec un niveau d'équipement élevé (irrigation) et de nombreuses fermes. le passage d'un ouvrage de plusieurs dizaines de mètres de largeur est de nature à entraîner de profonds bouleversements dans un tel secteur: suppression de parcelles, coupures de parcelles et d'exploitations, coupure de chemins d'exploitation qui ne pourront être rétablis que de loin en loin, désorganisation de tous les petits réseaux, canaux et ouvrages secondaires, etc...

L'ouvrage aurait à traverser des voies de communication nombreuses et importantes : l'autoroute, une voie ferrée de première importance, le canal des Alpes septentrionales, deux fois, des routes nationales et départementales, de nombreux petits canaux... Ainsi que la zone industrielle de Chateaurenard.

Sur le plan paysager enfin, l'impact de l'ouvrage risque d'être désastreux.

- De Mallemort à Sénas, le canal passerait en remblai (jusqu'à une hauteur de 20 mètres).
- De Plan d'Orgon à Chateaurenard, les nécessités techniques imposent, dans la plaine de St. Andiol, un remblai qui monterait jusqu'à 25 mètres de haut, sans compter d'autres ouvrages: Trois chemins d'équilibre vers le Mas de Font de Maite, d'autres vers "le Rocher Martin", à l'Est de Chateaurenard.
- Le dernier secteur, de Chateaurenard à Barbentane, présente moins de difficultés sur le plan paysager.

En conclusion, ce scénario risque d'entraîner de graves impacts, non sur le plan strictement écologique, mais sur le plan économique et paysager.

7.5. Coût

Le coût total (investissement, exploitation et maintenance) des solutions Q et R est respectivement de 12900 MF HT et 8600 MF HT. La décomposition de ces coûts se trouve en Annexe 1.

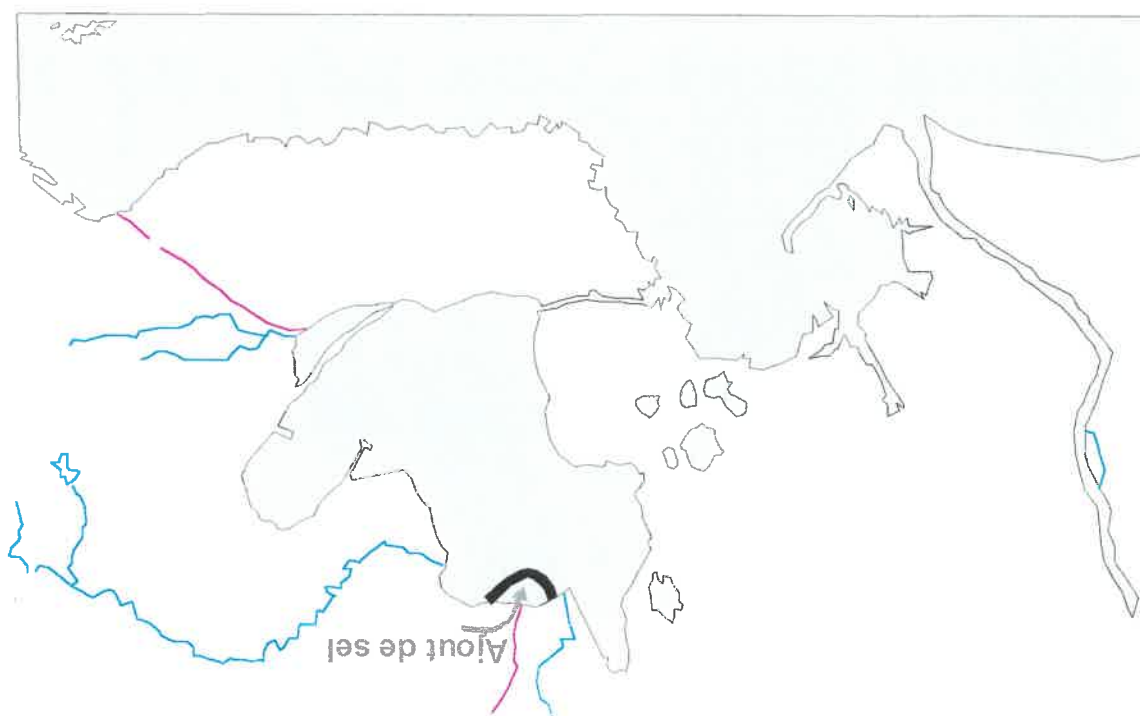
SOLUTIONS PARTIELLES

8. REJET DANS L'ETANG DE BERRE APRÈS SALINISATION DES REJETS

8.1. Présentation

SOLUTION M : SALINISATION DES REJETS DANS UN BASSIN

Cette solution consiste en la réalisation d'un bassin autour de la restitution des eaux à Saint-Chamas et de saliniser par apport de sel de mer grossier les eaux qui viendraient ainsi être rejetées dans l'étang de Berre.



8.2. Impact sur le milieu récepteur

SALINISATION DES REJETS

Ce projet, qui représente un apport de 9 tonnes de sel par seconde (de façon à restituer une eau à 35 pour mille pour un débit de $250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), se heurte à une impossibilité d'ajuster une salinité artificielle qui soit représentative de celles des différentes zones de l'étang à un instant donné. Ces décalages ne feraient que déplacer spatialement le problème de stratification des masses d'eau sans le supprimer.

L'étang fonctionnerait alors probablement comme un piège à sel dans la partie nord avec inversion du coin salé actuel, plongée d'eaux salées denses dans le bassin nord avec renforcement de la stratification et isolement d'une zone anoxique et azotique au contact du fond.

8.3. Aspects socio-économiques

LE PROJET DE SALINISATION DES REJETS

Ce projet, qui permettrait le développement d'une activité plus pérenne que ne le dispensent les projets précédents, se heurte aux capacités de production de la filière sel en France, et dans le monde. En effet, les 3,6 milliards de m³ d'eau rejetés chaque année dans l'étang de Berre à Saint Chamas requerrait plus de 100 millions de tonnes de sel, à raison de 30 Kg de sel par m³.

Or la production de sel dans le monde est de l'ordre de 180 millions de tonnes (sel cristallisé et en dissolution); dans l'union européenne, elle représente quelques 37 millions de tonnes, dont 21 millions de tonnes de sel cristallisé ; et en France, 7,6 millions de tonnes, dont 3,6 millions de tonnes de sel cristallisé⁵. De telles quantités donnent à réfléchir. En fait, la demande de sel cristallisé qui serait induite par la salinisation des rejets correspond à peu près à l'offre cumulée des 10 premiers producteurs sur le marché mondial.

L'ampleur de l'impact de ce projet sur la filière sel au niveau mondial semble dès lors remettre en cause sa faisabilité.

8.4. Coût

La solution M n'a pas fait l'objet d'une estimation.

⁵Source : Comité des Salines de France

9. EXPORTATION DES LIMONS PAR TANKERS

9.1. Présentation

SOLUTION N : EXPORTATION DES EAUX LIMONEUSES PAR TANKERS

Cette solution consiste à apporter environ 300 Mm³ d'eau chargée en limons (soit moins de 10% du volume considérée dans cette étude) et rejetée par EDF vers des agricultures pauvres en eau, le transport se faisant par tankers.

La solution comporte les ouvrages suivants :

De la chute de Saint-Chamas au golfe de Fos :

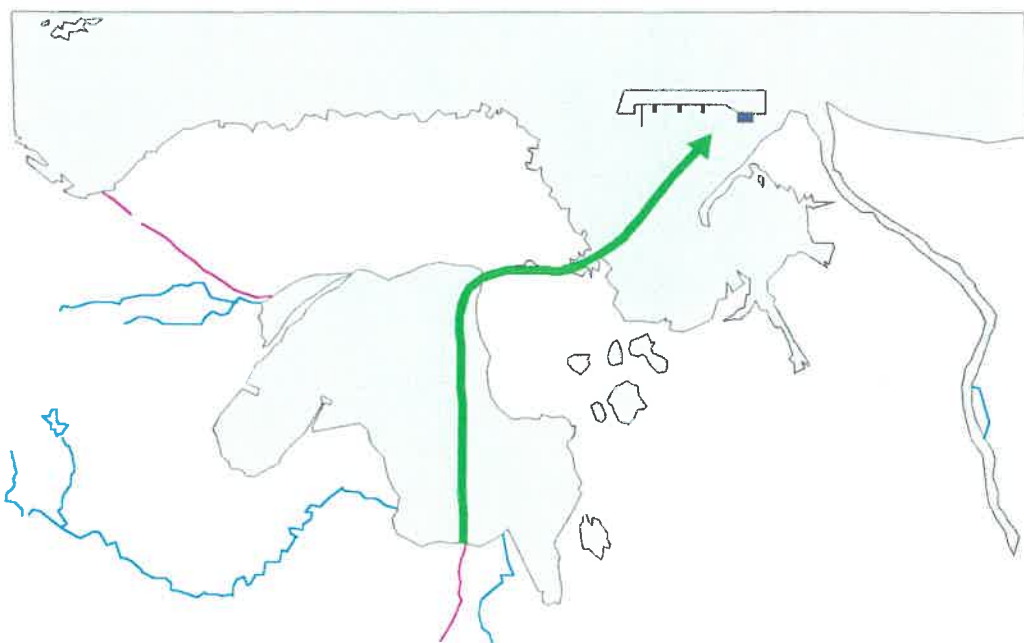
- un bassin de décantation,

- une station de pompage,

- une ou plusieurs conduites de liaison.

Le chargement – le transport – le déchargement :

- quatre bouées sur pieux situées au large du golfe de Fos permettant de charger simultanément quatre tankers, chaque tanker étant rempli à un débit de 5 000 m³/h,*
- trente tankers de 250 000 tonnes assurant le transport,
- des postes de déchargement et pipeline de liaison avec la côte dans les pays destinataires.



9.2. Aspects socio-économiques

Cette solution prévoit la création de 1 500 emplois directs.

Elle pose le problème du débouché que rencontre actuellement l'offre d'eau transportée par voie maritime. Le transport maritime, outre l'investissement initial nécessaire à l'armement d'une flotille de tankers, est coûteuse en termes de frais de ports au départ et à l'arrivée des bateaux. L'auteur de la solution estime le coût de revient d'une telle solution à 4 F/m³, ce qui nous paraît un prix un peu faible, le coût de transport étant souvent plus proche de la dizaine de francs par mètre cube. Ceci dit, ce coût semble malgré tout prohibitif pour de l'eau destinée à des usages agricoles, même avec des propriétés fertilisantes.

9.3. Coût

La solution N est une solution que les auteurs jugent économiquement viable. Le coût pour notre projet peut donc être considéré comme nul.

10. ALIMENTATION DE BARCELONE PAR CONDUITE A PARTIR DES REJETS

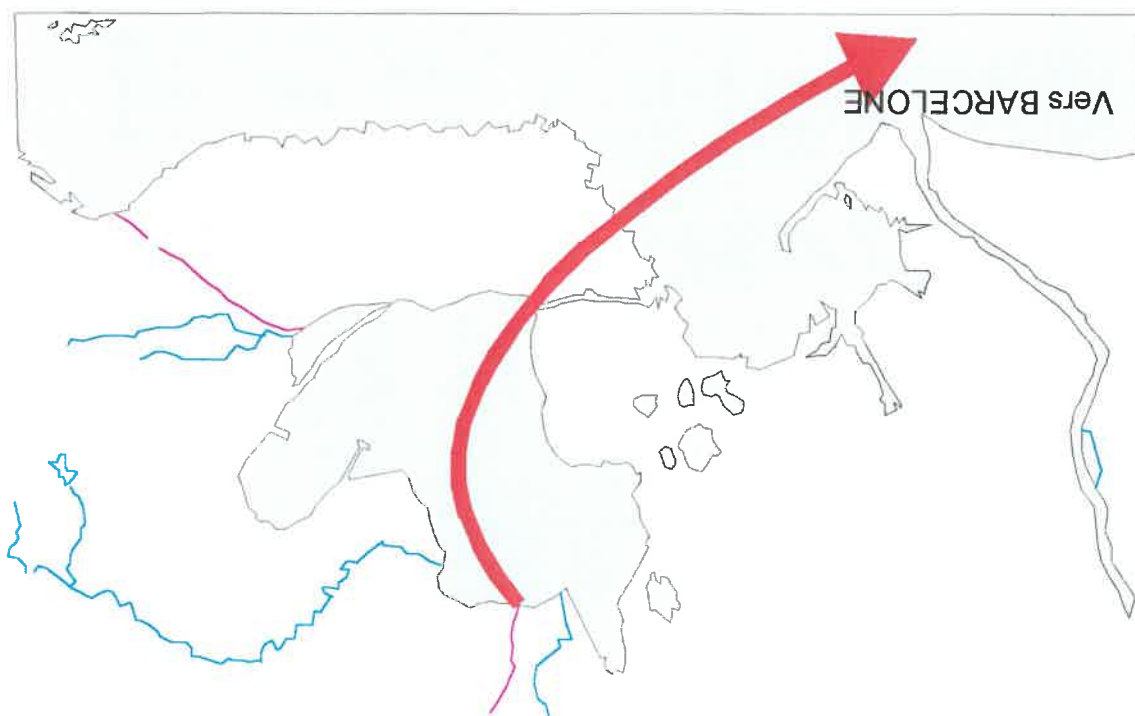
10.1. Présentation

SOLUTION 0 : ALIMENTATION DE BARCELONE PAR CONDUITE

La solution consiste à pomper, à partir de Saint-Chamas, 15 m³/s dans des conduites pour satisfaire les besoins actuels et futurs de l'agglomération de Barcelone.

Les ouvrages proposés comprennent :

- un bassin de compensation situé autour de la restitution des eaux à Saint-Chamas,
- une station de pompage de 150 000 kW,
- quatre conduites off-shore de diamètre intérieur 1,4 m posées en mer sur le plateau continental à une profondeur comprise entre 100 m et 200 mm. La longueur totale est de l'ordre de 400 km.



10.2. Nature des ouvrages

Ce projet prévoit à moyen terme d'alimenter Barcelone par un débit moyen de 15 m³/s, soit un volume annuel de l'ordre de 500 Mm³ à comparer aux 3600 Mm³ rejetés annuellement.

Ce projet de conduite immergée dans la mer entre Berre et l'Espagne nous semble quasi infaisable. Même largement réduit par rapport aux débits d'équipements de St Chamas (250 m³/s), les débits à transporter sont encore importants, nécessitent des conduites de gros diamètres sur des longueurs à notre connaissance jamais réalisé en mer pour des adductions d'eau.

10.3. Coût

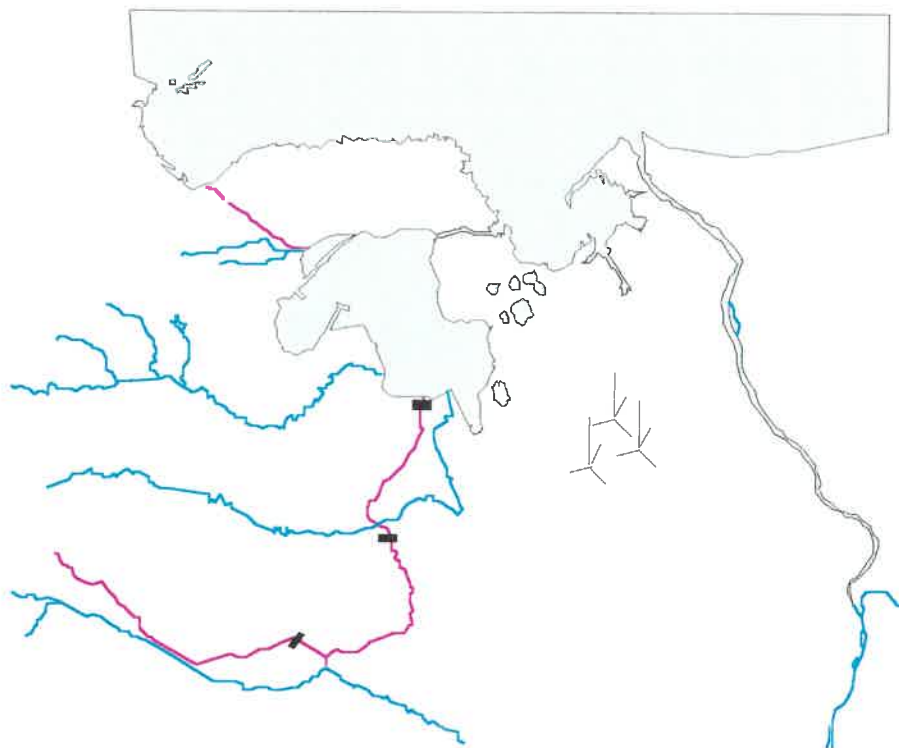
La solution O est une solution que les auteurs jugent économiquement viable. Le coût pour notre projet peut donc être considéré comme nul.

11. CREATION D'UN PARC EOLIEN

11.1. Présentation

SOLUTION P : CREATION D'UN PARC EOLIEN

La solution consiste à créer un parc éolien en région PACA qui serait un complément à une solution de dérivation des rejets EDF.



Le nombre, la nature et la localisation des éoliennes ne sont pas précisés.

11.2. Nature des ouvrages

Un parc éolien est un équipement imposant comprenant en moyenne 8 éoliennes⁶ éloignées l'une de l'autre d'une centaine de mètres. A titre d'exemple une éolienne de 600 kW à des pales balayant un diamètre de 43 m culminant à une hauteur comprise entre 40 et 65 m.

⁶ Pour les projets de parcs EOLE 2005 hors DOM TOM – Source « Guide du porteur de projet de parc éolien » - ADEME

Une cartographie du potentiel éolien des Bouches du Rhône a été réalisée par le Conseil Général⁷. Cette cartographie a permis de sélectionner 23 sites parmi lesquels 6 sites potentiels ont été identifiés pour lesquels une analyse multicritères a été réalisée afin de retenir les plus intéressants. Quatre sites apparaissent intéressants qui représentent une puissance installable totale de 17,4 MW.

11.3. Coût

La solution P est une solution que les auteurs jugent économiquement viable. C'est une solution partielle dont le coût pour notre projet peut donc être considéré comme nul.

⁷ Etude pour l'implantation d'éoliennes dans le Bouches du Rhône – GERES - EED

