

DEFICITS ET SOLUTIONS

50

Débit de dilution

Ga

Retenue existante

MONT
150
1.55
1.90

Débit objectif (l/s)

Déficit 1/5 (Mm3)

Déficit 1/10 (Mm3)

Solution de stockage
identifiée avec
volume min-max (Mm3)

0.5-1.2

Scénario: Surface irriguée actuelle - quota 2000³/he

échelle: 1/150 000

MONT
150
1.55
1.90

TARN-ET-GARONNE



TARN

Ga

Th 0.3-0.9

TNET
75
0.90
1.05

Tescounet 0.5-1.2

SNAU
150
1.60
1.90

Si 1-3

Tescou 50

BEAU
75
0.75
0.90

Hi 0.3-0.9

HAUTE-GARONNE

Tam

Tableau II.3 - Sites de stockage – Données disponibles au 1/07/2001

Type	Rivière	Site	Données disponibles			Faisabilité	APS - APD
			Topographie	Géologie Géotechnique	Foncier		
Amont	Tescounet	T3 + T2 Enjandouillé	1/2500 ^e (1990) Levé régulier	36 SPM 7 Penetro 35 Identif 5 Proc	(1990) Plan cadastral	Pré faisabilité 1991	-
	Tescou	Sivens	Levé régulier 1/2500 DDAF 81 (1995/96)	34 SPM 43 Identif (30) 7 Proctor (4)	Plan parcellaire 1/2500 89-90 Actualisation en cours	2001 En cours	-
Aval	Tescounet	Thérondel	1/5000 photogramétrique	1 SC 14 SPM 5 Penetro 4 Identif 1 Proct.	Identification propriétaire	Janv. 2000 + Pré-étude d'Environnement	APD en cours
	Tescou	Hirondelle	1/5000 photogramétrique	1 SC 10 SPM 3 Penetro 4 Identif 1 Proct.	Identification propriétaire	Janv. 2000 + Pré-étude d'environnement	APD en attente de notification

SPM sondage à la pelle mécanique
SC sondage carotté
Penetro Pénétromètre
Identif Identification en laboratoire
Proc Essai Proctor
() Nombre d'essais disponibles aujourd'hui

Les essais géotechniques sur les matériaux récoltés sont en cours à l'heure de la rédaction de ce rapport et seulement une partie de leurs résultats s'avère disponible.

1.2 – Les sites aval

1.2.1 – Site de Montdurausse

Ce site est situé au lieu-dit « les Bouygues » sur un affluent du Tescou, le ruisseau de Nadalou (communes de Montdurausse (81) et de Verlhac-Tescou (82)). Le confluent de ce ruisseau avec le Tescou se situe environ 3,5 km à l'aval de la limite entre les départements du Tarn et du Tarn-et-Garonne et 5,5 km à l'aval de Beauvais-sur-Tescou.

Ce site a fait l'objet de reconnaissances géotechniques en 1991 (CACG), à un niveau de précision homogène avec celles entreprises sur le site d'Enjandouillé, qui ont conduit aux dimensions suivantes :

Tableau II.4					
Site	BV (ha)	Apports potentiels (m ³)	Ve (m ³)	Ve/Vt	Emprise (ha)
Montdurausse	565	760 000 (1/2)	600 000	10.9	14
		350 000 (1/5)			

Il a été déclaré faisable moyennant toutefois une purge complète des matériaux de fondation impropres à supporter le poids de remblai.

Cependant, une partie de la cuvette, située sur le territoire de la commune de Montdurausse, ayant été remembrée sans réserves foncières en vue du projet de retenue, les études n'ont pas été poursuivies.

1.2.2 – Sites de l'Hirondelle, du Théronnel et des Marios

Devant le blocage des études sur le site de la Forêt de Sivals, et confrontés à une grave pénurie d'eau durant les étiages exceptionnels des années 1990, un certain nombre d'agriculteurs de 6 communes du Tarn-et-Garonne fondent en 1993, avec l'aide de la Chambre d'Agriculture et de la DDAF 47, l'A.S.L. du Tescou et du Tescounet. L'objectif de cet A.S.L. est de faire aboutir les projets de stockage, en conservant une priorité aux projets communs Tarn / Tarn-et-Garonne, mais en étudiant parallèlement, à défaut de signes d'évolution les concernant, la faisabilité de projets situés en Tarn-et-Garonne, le plus en amont possible des deux rivières concernées.

Trois sites principaux, identifiés dans un APS réalisé par la DDAF en 1991, sont alors envisagés :

- le site de l'Hirondelle (commune de Varennes), situé sur l'affluent du Tescou du même nom,
- le site du Théronnel (communes de Monclar et de Verlhac-Tescou), sur un affluent du Tescounet du même nom,
- le site des Marios, situé très en aval, à la limite des communes de St-Nauphary et de Montauban.

Les deux premiers sites sont d'abord envisagés pour un dimensionnement de 500 000 m³ chacun, celui des Marios pour un volume plus limité (200 000 m³). Une première reconnaissance foncière ne révèle pas d'oppositions flagrantes à ces projets.

En 2000, une faisabilité comparée des trois sites est réalisée par le bureau d'études ISL.

Les études engagées (cf. tableau II.3) incluent notamment :

- une topographie au 1/5000^e (restitution photogramétrique),
- une étude géologique/géotechnique,
- une pré-étude d'environnement avec analyse foncière,
- une analyse de la conception et du dimensionnement des ouvrages,
- une estimation des coûts des barrages distinguant en particulier les coûts de pompage pour remplissage complémentaire.

Ces études concluent à la faisabilité des trois projets, en dépit de difficultés géotechniques certaines. Les dimensionnements proposés sont :

Tableau II.5			
	Hirondelle	Théronnel	Les Marios
Solution basse (m³)	500 000	500 000	300 000
Solution haute (m³)	900 000	900 000	-

Sur la base de ces résultats, le Conseil Général du Tarn-et-Garonne a lancé courant 2001, une étude d'avant-projet détaillé sur les sites de l'Hirondelle et du Théronnel en solution haute, le site des Marios, situé très en aval et de trop faible volume étant abandonné.

Cette étude est actuellement en cours de réalisation sur le Théronnel, et devrait débiter prochainement sur l'Hirondelle.

Même si certains éléments sont dorénavant et déjà disponibles sur le site en cours d'étude, il a été décidé, dans la mesure où ceux-ci confirment pour l'essentiel les résultats de la faisabilité, d'effectuer la comparaison entre les 4 projets principaux (2 sites amont, 2 sites aval) sur la base des études de faisabilité, qui, malgré des différences de détail, apportent à peu près le même niveau de connaissances sur les 4 sites.

2 – LES DEFICITS DE RESSOURCE ET LA SOLUTION DE RENFORCEMENT IDEALE

Le chapitre IV.4.5 de la première partie de cette étude a résumé quels seraient les volumes de ressource à créer pour assurer neuf années sur dix, à la fois le niveau actuel des prélèvements agricoles et des objectifs de débit aptes à permettre une dilution suffisante des rejets et la restauration d'une vie biologique correcte dans les deux rivières.

Tableau II.6 – Rappel des déficits absolus

Point de bilan	Débit-Objectif (l/s)	Déficit décennal ou volume à créer (Mm ³)
Beauvais-sur-Tescou (BEAU)	75	1.0
Tescounet au confluent avec le Tescou (TNET)	75	1.1
Tescou à St-Nauphary (SNAU) et à Montauban (MONT)	150	2.1

Dans ces conditions, et avant toute prise en compte des contraintes de dimensionnement des différents sites, il est clair que la solution idéale serait de réaliser les deux retenues amont, susceptibles de couvrir à elles seules la totalité du déficit, au prix d'une gestion tactique assez simple, commandée à partir de deux stations aval, dont une existante (St-Nauphary).

Afin de créer une certaine sécurité, et compte tenu des apports de remplissage excédentaires du site de la Forêt de Sivals, la capacité de celui-ci pourrait être portée à **1,2 Mm³** (voire 1,5 Mm³ si l'éventualité de réservation d'une tranche de 300 000 m³ pour l'AEP devait être confirmée).

Par contre, le site d'Enjandouillé aux apports naturels plus réduits serait limité à **1 Mm³**, ce qui compte tenu des effets attendus de la mise en service du réservoir de Gagnol (cf. ci-après chapitre III) devrait s'avérer suffisant, tout en impliquant probablement la nécessité d'une gestion interrannuelle pour une tranche réduite de 0.1 à 0.2 Mm³.

3 – ANALYSE COMPARATIVE DES SITES

3.1 – Les solutions prises en compte

La recherche du meilleur « rendement » possible des sites, c'est-à-dire de la meilleure adéquation entre les apports garantis, la géométrie des sites, leurs contraintes géologiques a conduit à privilégier les sites et les dimensionnements suivants :

- pour le Tescounet amont, le site T3 (Enjandouillé) pour un volume objectif de 1 Mm^3 (solution haute) ou de $0,5 \text{ Mm}^3$ (solution basse) ; le site amont T2 reste envisageable en variante pour la solution basse, avec des caractéristiques comparables,
- pour le Tescou amont, le site de la Forêt de Sivens pour un volume objectif de 1 Mm^3 (solution haute) ou de $0,5 \text{ Mm}^3$ (solution basse) ; le site du ruisseau de Grate reste a priori envisageable en variante pour l'option basse, mais on n'y dispose d'aucune reconnaissance géologique ni lever topographique détaillé,
- pour le Tescounet aval, le site de Théronnel pour un volume objectif de $0,9 \text{ Mm}^3$ (solution haute) ou de $0,5 \text{ Mm}^3$ (solution basse),
- pour le Tescou aval, le site de l'Hirondelle pour les mêmes dimensionnements de $0,9 \text{ Mm}^3$ et $0,5 \text{ Mm}^3$.

3.2 – Les apports de remplissage

3.2.1 – Apports pris en compte dans les différentes études

Les premières estimations d'apports garantis sur le bassin du Tescou ont été effectuées par la CACG en 1989 sur la base de la chronique des 14 années de mesures alors disponibles (1974/75 à 1987/88). Cette chronique, bien qu'incluant l'année sèche de 1976, était marquée par l'occurrence d'une série d'années particulièrement excédentaires de 1977 à 1985. Elle conduisait aux apports nets, c'est-à-dire après déduction du débit réservé fixé par la « Loi-Pêche » suivants :

- Année médiane : $1450 \text{ m}^3/\text{ha}$,
- Année quinquennale sèche : $920 \text{ m}^3/\text{ha}$,
- Année décennale sèche : $650 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Par ailleurs, ces valeurs calculées à l'aval du bassin étaient supposées pessimistes pour les parties amont des bassins, notamment dans le cas du Tescounet dont la meilleure hydraulicité par rapport au Tescou était fréquemment citée par les riverains.

Une campagne de mesures réalisée par la DDAF du Tarn en Mars 1990 a en effet permis de mettre en évidence que les apports spécifiques de l'amont du Tescounet, pour des sous-bassins variant de 160 à 2 300 ha, dépassaient ceux mesurés à St-Nauphary d'un coefficient allant de 3 à 1.12 (coefficient 2 au niveau du site T3).

Les valeurs fréquentielles fournies ci-dessus ont alors été majorées pour le site du Tescounet d'un coefficient 1,25, considéré comme relativement modeste par rapport aux valeurs citées ci-dessus. On a donc tablé pour ce site sur un apport net garanti quatre années sur cinq de $920 \times 1,25 = 1150 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Pour l'étude de faisabilité des sites aval, ISL disposait cette fois d'une chronique plus étendue à St-Nauphary (26 années), incluant les années sèches exceptionnelles de 1990 et 1991, ce qui a conduit à revoir à la baisse les apports à St-Nauphary.

Les chiffres fournis dans son rapport sont des chiffres arrondis, calculés apparemment sans prise en compte des débits réservés, qui correspondent aux apports moyens suivants :

- Année médiane : $1350 \text{ m}^3/\text{ha}$,
- Année quinquennale sèche : $610 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Ces différentes sources ont conduit aux estimations d'apports garantis suivantes :

Tableau II.7 – Apports garantis – Valeurs d'origine						
		Apports garantis (m^3)				
Site	BV (ha)	1/2	1/5	1/10	Source	Date
Enjandouillé	960	1 700 000	1 100 000	780 000	CACG	1990
Sivens	2900	4 200 000	2 600 000	1 900 000	CACG	1989
Thérondel	350	480 000	210 000	-	ISL	Janv. 2000
Hirondelle	390	530 000	240 000	-	ISL	Janv. 2000

3.2.2 – Apports actualisés

La meilleure base de calcul reste la chronique de 26 années à St-Nauphary. Cependant, au lieu de prendre en compte les débits mesurés (qui sont affectés par les prélèvements), on préférera les débits naturels reconstitués, puisque les prélèvements à l'amont des sites considérés sont supposés nuls (sauf dans le cas où il y existe des retenues collinaires, ce qui est le cas en particulier du site d'Enjandouillé). Les différences entre les deux types de données restent cependant faibles, puisque l'essentiel des apports se produit hors période de prélèvements.

On déduit d'autre part comme précédemment les débits réservés. La nouvelle chronique « apports nets garantis à St-Nauphary » est fournie sur le tableau ...

Dans un deuxième temps, afin de tenir compte de l'augmentation de l'hydraulicité dans les parties amont du bassin (qui résulte à la fois du gradient pluviométrique décrit au chapitre 2.2.1, 1^{ère} partie, et de l'augmentation des pentes favorisant le ruissellement en amont) les coefficients majorateurs suivants peuvent être introduits par rapport à St-Nauphary :

- Enjandouillé : 1,20 (cf. jaugeages DDAF Mars 1990),
 - Sivens : 1,10,
- (aucune majoration n'est introduite pour les sites aval).

On obtient ainsi les apports nets suivants (en m³/ha/an) :

Tableau II.8 – Apports nets de remplissage après actualisation (m³/ha/an)				
	St-Nauphary (valeurs brutes)	Enjandouillé	Sivens	Sites aval
Année médiane	1270	1525	1400	1270
Année 1/5 sèche	685	820	750	685
Année 1/10 sèche	380	455	420	380

D'où les volumes d'apports suivants (en m³) :

Tableau II.9 - Apports nets de remplissage après actualisation (m³)				
	Enjandouillé	Sivens	Thérondel	Hirondelle
BV (ha)	960	2 900	350	390
Apports nets garantis (m³) :				
Année médiane	1 460 000	4 000 000	445 000	495 000
Année 1/5 sèche	790 000	2 170 000	240 000	265 000
Année 1/10 sèche	437 000	1 200 000	135 000	150 000

Ces apports actualisés sont en baisse importante par rapport à ceux qui avaient été considérés dans les années 1990 pour les sites de l'amont. Pour les sites de l'aval, ils sont en légère régression par rapport à ceux de la faisabilité ISL pour les valeurs médianes, mais marquent par contre une légère progression pour les valeurs quinquennales.

D'autre part, tous les bassins considérés incluent des retenues collinaires. Leur impact sur les apports peut être négligé pour le site de Sivens (bassin versant total intercepté environ 130 ha, volume total stocké environ 120 000 m³). Par contre, les données suivantes doivent être prises en compte pour les trois autres sites :

Tableau II.10 – Retenues collinaires existant à l'amont des sites étudiés

Nombre	Surface	Bassin interceptée (ha)	Volume total stocké (m ³)
Enjandouillé	1	580	65000
Thérondel	2	220	50 000
Hirondelle	2	60	70 000

En conséquence, l'existence de ces plans d'eau individuels à l'amont des retenues projetées est susceptible de réduire les volumes d'apport ci-dessus de 5 à 10% pour le site d'Enjandouillé, de 10 à 20% pour les deux sites aval. Par contre, cet inconvénient tomberait au cas où des réseaux locaux de distribution seraient mis en place pour alimenter directement à partir des retenues les irrigations des exploitants riverains (en compensation des préjudices subis).

3.3 – Occupation des sols, submersions et contexte foncier

Dans l'ensemble, les deux sites amont s'inscrivent dans un contexte de sites relativement peu marqués par l'agriculture, avec une proportion de bois notable pour le Tescounet, importante pour le Tescou, et un milieu aquatique présentant, malgré le manque d'entretien, un réel potentiel (en matière de flore, faunes terrestres et aquatique). Les sites de l'aval, au contraire, sont caractérisés par la dominance de la grande culture et ses effets induits (boisements réduits, haies rares, forte exportation probable de matières en suspension et de micropolluants associés). Compte tenu du caractère non pérenne des écoulements d'étiage (au moins sur le Thérondel), la végétation strictement aquatique et la faune aquatique sont très peu développées à absentes. Il subsiste cependant une ripisylve relativement variée, notamment sur le Thérondel.

Par rapport à cette description d'ensemble, un certain nombre de précisions peuvent être apportées :

3.3.1 – Site d'Enjandouillé

La cuvette envisagée est occupée par des prairies et des céréales d'hiver, avec également des plantations récentes de peupliers. Deux faits marquants sont à souligner :

- a) L'existence de la retenue actuelle des Maureaux, construite sur le Tescounet proprement-dit immédiatement en tête de la retenue envisagée (cote des PEN = 190,20 m NGF, crête de digue 191,50 m NGF, fond du ruisseau à 184.61 m NGF). Ses caractéristiques, déduites du plan au 1/2500^e sont :
- côte des PEN = 190.20 m NGF,
 - crête de digue = 191.50 m NGF,
 - fond du ruisseau = 184.61 m NGF,
 - surface = 2,6 ha,
 - volume estimé = 65 000 m³.

Le pied de la digue se situerait 500 m en amont des plus hautes eaux de la retenue d'Enjandouillé (en solution haute).

La présence de cette retenue, dont le rôle éventuel en matière de réduction des apports a déjà été évoqué ci-dessus, est importante en ce qu'elle affecte certainement, dans une proportion que l'éventuelle future étude d'impact devra préciser, le caractère « naturel du site », notamment en ce qui concerne la faune et la flore aquatique.

b) La présence en fond de digue de voirie communale :

- le chemin rural n°5 qui court en rive gauche entre les cotes 182 m NGF et 175.50 m NGF et serait donc submergé sur environ 750 m (PEN en solution haute = 183 m NGF),
- le chemin d'exploitation n°46, issu du précédent et traversant la vallée avec des cotes inférieures aux PEN (point bas au pont à 180.44 m NGF) sur environ 250 m

Ces voiries, ou tout du moins le chemin n°46 devront être restituées de façon à préserver les conditions d'accès à l'exploitation située plus en amont.

En ce qui concerne les acquisitions foncières, les contacts pris en 1990 avec la dizaine de propriétaires concernés n'avaient pas révélé à l'époque d'oppositions flagrantes.

3.3.2 – Site de Sivens

Ce site s'inscrit au cœur de la forêt de Sivens, qui constitue indéniablement un milieu écologiquement riche, en particulier en matière de flore et faune terrestres.

Au niveau de la cuvette proprement dite, l'occupation des sols est marquée par des prés, bois, taillis, friches et plantations. Ces plantations incluent des pins et des peupliers. Les plantations de résineux, propriété de l'Etat (Ministère de l'Agriculture, gestion ONF), représentent plus de 12 ha sur les 34 ha d'emprise en solution haute ⁽¹⁾. Au total, la proportion de parcelles boisées est de l'ordre de 70%.

Deux éléments importants sont à souligner :

- a) la présence en amont du site d'au moins deux élevages, dont l'un est localisé au lieu-dit Barat, c'est-à-dire immédiatement en amont (environ 800 m) de la queue de retenue ; les impacts actuels et futurs de ces établissements (qu'il conviendrait de minimiser au mieux par des aménagements conséquents dans la perspective de réalisation d'une retenue) devront être pris en compte dans les études d'impact éventuelles ;
- b) le CD 132, qui emprunte le fond de cuvette en rive droite du Tescou, serait submergé sur une longueur de 850 m (en solution haute) ; sa restitution serait à envisager au-dessus des PHE sur une distance approximative de 1 000 m.

⁽¹⁾ Une partie importante de ces plantations sont des pins Laricio porte-graines.

D'autre part, il faut rappeler que ce site a suscité des oppositions de la part de trois propriétaires sur les 15 concernés. En fait, compte tenu de la réduction de volume et donc d'emprise envisagée par rapport aux hypothèses d'origine (2 à 3 Mm³), seuls deux propriétaires seraient encore concernés, et pour des superficies faibles (moins de 1 ha au total) par la solution haute à 1 Mm³.

3.3.3 - Site de Thérondel

Comme le suivant, ce site a fait l'objet en Janvier 2000 d'une étude préalable d'environnement (AQUASCOP-ISL).

Selon cette étude, sur une surface totale d'emprise de 17,1 ha, les terres labourables et les prairies représentent 79% et les bois et friches 18%. Huit propriétaires seulement sont concernés et aucune opposition particulière au projet n'a été évoquée. D'autre part, aucun élevage n'est mentionné sur le bassin-versant.

Au niveau des infrastructures, seul le rétablissement d'un chemin d'exploitation est prévu.

3.3.4 – Site de l'Hirondelle

Sur une surface totale d'emprise de la cuvette de 21,3 ha, 74% sont occupés par des terres labourables et des prairies, 17% par des bois, 74% par des friches. Le nombre de propriétaires concernés s'élève à 16, et aucune opposition particulière au projet n'a été évoquée.

Aucun élevage n'est mentionné sur le bassin-versant.

Le projet n'a aucune incidence notable sur les voiries existantes.

Comme pour le site précédent, la pré-étude d'environnement analyse sommairement les effets prévisibles sur le milieu naturel (flore, faune) et le paysage, ainsi que les mesures compensatoires qui devront être prises.

3.4 – Conditions géologiques

3.4.1 – Site d'Enjandouillé

3.4.1.1 – Reconnaissances en fondations

Les sondages à la pelle mécanique et au pénétromètre ont mis en évidence :

- une couche assez épaisse (3 à 5 m) d'argile bleue saturée et inconsistante, sous un recouvrement sableux de faible épaisseur (0,5 à 1 m),
- en dessous, une couche de sable et graviers perméables, de 2 à 4 m d'épaisseur,
- le substratum molassique à une profondeur pouvant atteindre 8-9 m dans l'axe de la vallée.

Les conséquences en matière de perspectives de construction sont :

- la nécessité d'un décapage total des argiles bleues incapables d'assurer la portance de la digue,
- la nécessité de recouper le niveau perméable par un dispositif d'étanchement jusqu'au substratum (clé d'étanchéité ou paroi moulée).

Ces deux conséquences ne remettent pas en cause la faisabilité de l'ouvrage, mais en augmentant notablement le coût, avec un volume de déblai à évacuer du même ordre de grandeur que le volume du remblai hors sol à mettre en œuvre.

3.4.1.2 – Reconnaissances en emprunts

Tous les sondages effectués en fond de vallée recoupent les argiles bleues saturées impropres à toute utilisation en remblai. Seuls les limons sableux superficiels seraient exploitables mais sur une faible épaisseur, donc avec un coût important de mise en œuvre.

Seul le versant rive droite a révélé l'existence de matériaux exploitables, sur une surface de 7,6 ha et avec une épaisseur moyenne de 2 m, soit environ 150 000 m³ disponible. Compte tenu d'un volume théorique de matériaux à mettre en œuvre de 110 000 pour le dimensionnement à 1 Mm³ (solution haute), le volume reconnu comme exploitable reste insuffisant puisque l'on considère que en cas d'emprunts très hétérogènes, le volume reconnu doit atteindre 150 à 200% du volume nécessaire.

En conclusion, ce site présente des difficultés importantes qui auront des répercussions sensibles sur le coût de l'ouvrage.

Il reste néanmoins techniquement réalisable sous réserve qu'un volume additionnel de matériaux d'emprunt exploitables puisse être reconnu, probablement hors cuvette.

Le rapport de 1991 concluait sur la nécessité de prévoir, dans le cadre des éventuelles phases ultérieures d'étude, une campagne de reconnaissances complémentaires pour préciser le volume d'emprunts réellement disponible, en particulier hors cuvette.

3.4.2 – Site de Sivens

A ce jour, ont été réalisés :

- la totalité des sondages à la pelle mécanique prévus (34), permettant une description visuelle des matériaux rencontrés,
- 30 essais d'identification sur les 43 essais prévus, et 4 essais proctor sur les 7 prévus.

Sur la base des résultats disponibles à ce jour, le diagnostic suivant peut être formulé.

3.4.2.1 – Reconnaissances en fondation

Les terrains rencontrés en fond de vallée sont :

- des limons plus ou moins argileux (1,5 – 3 m d'épaisseur),
- des graves perméables (1,5 - > 5 m d'épaisseur),
- des sables molassiques.

En rive gauche, la molasse affleure directement sous forme de sables molassiques de 4 m d'épaisseur, surmontant une marne compacte.

En rive droite, la molasse sableuse est surmontée de 3 à 4 m de limon argileux.

Les terrains sont perméables jusqu'à des profondeurs dépassant 5-6 m, surtout en fond de vallée. Par conséquent, une paroi d'étanchéité devra être réalisée. A ce stade de reconnaissance, la profondeur de cette paroi sera comprise entre 6 et 10 m par rapport au terrain naturel.

3.4.2.2 – Reconnaissances en emprunts

Les matériaux de fond de vallée sont humides à très humides ($W_n - W_{opt} = 5\%$ au sondage E22). Leur mise en œuvre en remblai compacté n'est pas envisageable.

En bas des pentes de la rive gauche, les matériaux sont également, au moins par endroits, humides à très humides. Les résultats disponibles à ce jour ne permettent pas d'envisager leur utilisation.

En bas des pentes de la rive droite, 200 m à 500 m en amont de l'axe de la digue (sondages E4 à E10), les analyses et essais en laboratoire confirment la description visuelle, à savoir l'existence de matériaux utilisables en remblai :

- E5 (3-4 m) $W_n - W_{opt} = + 3,3\%$
- E6 (1,5 – 2 m) $W_n - W_{opt} = + 3,2\%$

A ce stade de l'étude, le volume maximum de matériaux reconnus utilisables est d'environ 50 000 m³, dans une zone d'environ 2,5 ha qui pourrait être exploitée sur une épaisseur moyenne de 2 m après décapage d'une couche de terre végétale d'environ 0,5 m. Ces matériaux sont situés à 75% hors-cuvette dans le cadre de l'option haute (1 Mm³) et à près de 100% hors-cuvette dans le cadre de l'option basse (0,5 Mm³).

En conclusion sur ce site, et sous réserve de confirmation par la série d'essais encore en cours de réalisation :

- le site peut être déclaré comme **non faisable** pour le **dimensionnement prévu à l'origine de 2 à 3 Mm³** par suite du manque de matériaux utilisables en remblai compacté, ainsi d'ailleurs que de matériaux durs susceptibles d'être exploités en carrière pour une variante en enrochements,

- les matériaux reconnus à ce jour permettent d'envisager, au prix de surcoûts liés à leur position hors-cuvette à leur hétérogénéité et donc à leur difficulté d'exploitation, de réaliser **au maximum le projet dans sa variante basse (0,5 Mm³)** ; encore cette possibilité reste-t-elle à confirmer par des reconnaissances complémentaires puisque le volume reconnu représente à peine 50% du volume nécessaire,
- la possibilité d'envisager **l'option haute à 1 Mm³, improbable au stade actuel, reste dépendante des résultats de reconnaissances complémentaires**. Celles-ci devraient comporter :
 - **en fondation**, des sondages carottés avec essais d'eau (trois d'une quinzaine de mètres chacun) de façon à préciser la géométrie du substratum, la perméabilité et la compressibilité des terrains de fondation,
 - **en emprunt**, des sondages à la pelle mécanique dans et hors cuvette en remontant en rive droite au-delà de 1 000 m de l'axe de la digue, sur une largeur moyenne d'environ 100 m.

Les objectifs recherchés seraient, en cas de résultats raisonnablement favorables :

- de minimiser le volume de terrain à substituer en fondation, tout en assurant l'étanchéité par une paroi moulée ; ce dispositif ne nécessite pas, au contraire d'une clé d'étanchéité classique, de matériaux à compacter,
- de trouver, probablement hors-cuvette et en gisements dispersés, des matériaux additionnels de qualité acceptable,
- d'envisager l'utilisation, après séchage sur le site, de certains matériaux de fond de vallée, en tenant compte notamment que les reconnaissances de Juin 2001 s'inscrivent dans un contexte de pluviométrie d'hiver/printemps excédentaire,
- enfin, d'envisager éventuellement la réalisation d'une digue zonée, permettant d'utiliser pour sa partie aval certains des matériaux sableux ou marneux reconnus sur site.

3.4.3 – Site du Théronnel

3.4.3.1 - Reconnaissances en fondation

Les matériaux rencontrés sur l'axe sont :

- une couche d'argile très molle de 3 à 4 m de profondeur,
- une couche de sable limoneux perméable de 2 à 3 m d'épaisseur,
- une couche de limon argileux de 2 à 3 m d'épaisseur,
- une couche de sable limoneux perméable reposant à 9,50 m sous le terrain naturel au niveau du profil SC1.

La profondeur du substratum marneux molassique peut atteindre 10 m sous le terrain naturel dans l'axe du ruisseau (surcreusement).

Comme sur les deux sites qui viennent d'être décrits, le décapage des matériaux de couverture s'avère nécessaire sur une épaisseur importante (au moins 4 m). En dessous, la présence de l'horizon perméable impose de réaliser un dispositif d'étanchéité allant jusqu'au substratum (le dispositif envisagé par ISL étant une clé d'étanchéité).

3.4.3.1 - Reconnaissances en emprunts

Les matériaux du fond de cuvette sont trop humides et donc inutilisables. Seuls sont utilisables en emprunts les flancs de vallées de la cuvette où ont été reconnus des colluvions moins humides, mais hétérogènes.

En conclusion, les conditions géotechniques de ce site sont qualifiées de mauvaises par ISL, mais sa faisabilité reste acquise aux prix de surcoûts notables.

Les résultats nouveaux acquis dans le cadre de l'étude d'Avant-Projet Détaillé en cours, que le bureau d'études Sols-et-Eaux a bien voulu nous communiquer confirment, en les précisant, les informations sur les fondations. Au niveau des emprunts, le volume reconnu (dont environ 50% hors-cuvette) devrait s'avérer tout juste suffisant pour l'hypothèse haute, en tablant cependant sur des extensions probables dans des secteurs non encore reconnus.

3.4.4 – Site de l'Hirondelle

3.4.4.1 - Reconnaissances en fondation

On rencontre successivement :

- du limon argileux ou de l'argile molle sur 2 à 3 m de profondeur,
- du sable perméable avec circulation d'eau entre 1 et 4,70 m de profondeur,
- le substratum marneux à 7 m de profondeur.

Le décapage de la couche supérieure compressible s'avère nécessaire comme sur les autres sites, mais elle devrait être un peu moins profond que sur le Thérondel.

Par ailleurs, le dispositif d'étanchéité à réaliser en fondation s'avère également moins profond.

3.4.4.2 - Reconnaissances en emprunts

Comme sur les autres sites, les matériaux de fond de cuvette, trop humides, sont inutilisables. Il faudra donc ici encore rechercher des colluvions utilisables sur les pentes. Le rapport de faisabilité ne fournit, pas plus que pour le Thérondel, d'indications sur les gisements de ces colluvions et leur situation en ou hors-cuvette. Les 5 sondages à la pelle réalisés en dehors de l'axe de digue sur ce site sont d'ailleurs tous localisés en fond de cuvette, ce qui laisse un doute sur la réelle disponibilité des emprunts.

En conclusion, ce site qui s'inscrit dans un contexte général identique au précédent se présente un peu mieux que celui-ci au niveau de sa fondation.

Il est qualifié de faisable avec des conditions géotechniques médiocres.

Les reconnaissances complémentaires prévues dans le cadre de l'APD (25 sondages) n'ayant pas débuté, aucune information nouvelle n'est disponible à ce jour.

3.4.5 – Conclusion d'ensemble

Les 4 sites présentent des conditions finalement assez semblables, avec au niveau des digues :

- une couche superficielle d'argile ou de limons argileux saturée et à trop faible portance nécessitant un décapage (purge) assez profond,
- en-dessous, un niveau sablo-limoneux à graveleux perméable nécessitant une étanchéité profonde (par clé ou paroi moulée),
- un substratum molassique généralement marneux (étanche) en profondeur, mais souvent sableux et altéré sur les flancs,

et au niveau des emprunts, la présence généralisée des argiles et limons en fond de vallées, saturées et impropres à toute mise en œuvre. Les seuls matériaux utilisables sont alors des colluvions de pente, peu développés dans leur gisement et leur épaisseurs, souvent situés au-dessus des plans d'eau projetés. Il sera peut-être également possible de leur adjoindre une mince couche de limons superficiels en fond de cuvette (recouvrant les terrains compressibles) à condition que ces matériaux puissent être séchés sur le site avant leur mise en place.

Les matériaux actuellement reconnus sur les différents sites permettent d'envisager des volumes d'eau stockée suivants :

- **0,7 à 1 Mm³ pour le site d'Enjandouillé** (à confirmer par nouveaux sondages dans le cadre de l'APD),
- **0,5 Mm³ au maximum pour le site d'Enjandouillé**, l'extension à **1 Mm³** nécessitant obligatoirement un complément de reconnaissances (cadre faisabilité ou APD),
- **0,9 Mm³ au maximum pour le site du Thérondel**,
- **0,9 Mm³ pour le site de l'Hirondelle**, à **confirmer par l'APD** dont le démarrage est prévu prochainement.

3.5 – Analyse technique comparative des différents aménagements

3.5.1 – Méthode utilisée

La conception des 4 ouvrages projetés est la même : digue en remblai compacté, a priori homogène, avec évacuateur en béton armé sur le parement aval des barrages et conduite de vidange sous la digue. Selon les bureaux d'études et les sites, des petites variations ont été introduites au niveau des épaisseurs de terrain à purger, des largeurs en crête et des pentes de talus amont-aval.

Le principe retenu ici est d'appliquer un logiciel de calcul mis au point par la CACG (TPC) aux conditions topographiques et géologiques de chaque site, mais sur des bases communes.

Le logiciel TPC est un outil qui permet, à partir de la topographie (axe projeté et cuvette) et d'un certain nombre de dispositions constructives concernant la digue elle-même (largeur en crête, pentes, profondeur de décapage et de purge éventuelle, clé d'étanchéité), ses organes annexes (filtres, drains), et les emprunts (pourcentage d'emprunts noyés, épaisseur de décapage et épaisseur utile), de calculer les caractéristiques de digue correspondant à différents dimensionnements.

3.5.2- Principales hypothèses techniques retenues

Les données techniques introduites dans le logiciel TPC pour chacun des 4 sites sont les suivantes :

- largeur de la crête de digue = 6,00 m,
- revanche totale sur le Plan d'Eau Normal = 2,00 m,
- fruit du talus amont = 3,5,
- fruit du talus aval = 2,5,
- épaisseur de décapage de la digue = 4,00 m,
- section de la clé d'étanchéité $\approx 45 \text{ m}^2$.
On obtient alors le volume de la clé
par la formule :
 $V_{\text{clé}} = \text{longueur de la crête} \times 45$,
- taux d'emprunts noyés :
(pour chaque site) 2 simulations ont été réalisées, avec :
 - . 0% d'emprunts noyés,
 - . 50% d'emprunts noyés,
- profondeur de décapage des emprunts = 0,50 m,
- profondeur des emprunts = 2,50 m,
- épaisseur du filtre vertical = 1,00 m,
- écartement des drains = 20 m.

Ces données moyennes peuvent être considérées comme sécurisantes notamment au niveau des fondations.

3.5.3 – Résultats comparés

Les tableaux n°s II.11 et II.12 présentent les principaux résultats obtenus dans les deux hypothèses de pourcentage d'emprunts noyés. Par ailleurs, l'ensemble des résultats obtenus est fourni en annexe 2.

Tableau II.11 – Comparaison des caractéristiques de dimensionnement des ouvrages sur une base commune (TPC) – Emprunts noyés 50%							
	Hirondelle	Thérondel	Enjandouillé		Sivens		
			500 000	1 000 000	500 000	1 000 000	
Volume d'eau stockée (m ³)	864 000	912 000	500 000	1 000 000	500 000	1 000 000	
Digue : Longueur (m)	234.91 m	220.29 m	177.56 m	190.30 m	264.11 m	283.09 m	
Hauteur (m)	14.00 m	13.20 m	9.48 m	11.98 m	8.19 m	10.50 m	
Volume (m ³)	64 500 m ³	69 500 m ³	33 500 m ³	57 000 m ³	43 500 m ³	74 000 m ³	
Volumes de terre : Remblai total (m ³)	123 000 m ³	129 500 m ³	74 000 m ³	110 000 m ³	100 500 m ³	148 000 m ³	
Débais (décapage) (m ³)	72 500 m ³	76 000 m ³	47 000 m ³	66 000 m ³	65 500 m ³	90 500 m ³	
Ve/Vt	7.0	7.0	6.8	9.1	5.0	6.8	
Submersions : Surf. Noy. au PEN (PEN)	18.44 ha (136.00 m)	19.50 ha (148.20 m)	14.64 ha (180.28 m)	25.4 ha (182.78 m)	17.04 ha (188.94 m)	26.04 ha (191.25 m)	
Surf. Noy. au PEN + 1	20.85 ha	21.79 ha	18.64 ha	30.3 ha	20.14 ha	29.37 ha	
Ve/Sn	4.7	4.7	3.4	3.9	2.9	3.8	

Tableau II.12 – Comparaison des caractéristiques de dimensionnement des ouvrages sur une base commune (TPC) – Emprunts noyés 0%						
	Hirondelle	Thérondel	Enjandouillé		Sivens	
			500 000	1 000 000	500 000	1 000 000
Volume d'eau stockée (Ve)	864 000	912 000	500 000	1 000 000	500 000	1 000 000
Digue : Longueur (m)	235.67 m	220.88 m	179.18 m	190.57 m	266.85 m	285.99 m
Hauteur (m)	14.39 m	13.60 m	9.78 m	12.24 m	8.54 m	10.84 m
Volume (m ³)	69 500 m ³	74 500 m ³	36 000 m ³	60 000 m ³	47 500 m ³	79 000 m ³
Volumes de terre : Remblai total (Vt)	131 000 m ³	136 500 m ³	77 500 m ³	114 000 m ³	107 000 m ³	155 500 m ³
Débais (totaux)	61 500 m ³	62 000 m ³	41 500 m ³	54 000 m ³	59 500 m ³	76 500 m ³
Ve/Vt	6.6	6.7	6.4	8.8	4.7	6.4
Submersions : Surf. Noy. au PEN (Sn)	19.56 ha (136.39 m NGF)	20.40 ha (148.60 m)	15.88 ha (180.58 m)	26.62 ha (183.04 m)	18.22 ha (189.29 m)	27.18 ha (191.59 m)
Surf. Noy. au PEN + 1	22.40 ha	22.70 ha	20.07 ha	30.34 ha	21.62 ha	30.50 ha
Ve/Sn	4.4	4.5	3.1	3.8	2.7	3.7

Nous rappellerons qu'il est normal de voir figurer ici des résultats qui peuvent s'avérer notablement différents de ceux qui figurent dans les différentes faisabilités, puisque les hypothèses de départ peuvent être différentes.

C'est ainsi que le tableau ci-dessous fait apparaître que les hypothèses que nous avons introduites dans le programme de calcul conduisent, pour les deux sites aval, à des volumes de digue hors sol légèrement inférieur, mais par contre à des volumes de fouille très supérieurs (x 2.5 pour l'Hirondelle, x 1.33 pour le Thérondel). D'où la diminution sensible constatée des rapports Ve/Vt ⁽¹⁾.

Tableau II.13 – Différences entre les deux approches								
	Faisabilité				Analyse comparative (TPC 50% emprunts noyés)			
	Volume de terre			Ve/Vt	Volume de terre			Ve/Vt
	Digue	Fouille	Total		Digue	Fouille	Total	
Hirondelle 864 000	70 100	23 300	93 400	9.25	64 500	58 471	123 000	7.0
Thérondel 916 000	74 900	45 100	120 000	7.6	69 300	60 100	129 400	7.0
Enjandouillé 1 Mm³	50 000	55 000	105 000	9.5	57 200	51 800	110 000	9.1
Sivens 1 Mm³	-	-	-	-	74 000	74 000	148 000	6.8

L'examen des tableaux II.11 et II.12 permet d'autre part les observations suivantes :

- les résultats sont peu tranchés et médiocres dans l'ensemble ; le site d'Enjandouillé apparaît cependant, à dimensionnement comparable autour de 1 Mm³, de meilleure qualité que les sites de l'aval, tandis que le site de Sivens leur est légèrement inférieur,
- ces différences sont essentiellement dues à la forme des verrous au niveau des axes qui est plutôt en U au niveau des sites amont et en V à celui des sites aval : ceci explique pourquoi malgré une hauteur de digue assez nettement plus basse et une longueur seulement un peu supérieure, le volume de digue hors-sol du site de Sivens soit supérieur à ceux des sites aval,
- au niveau des submersions, les sites de l'amont sont plus « noyants » que ceux de l'aval (car moins profonds) ; les rapports Ve/Sn qui expriment le volume d'eau stockable par unité de surface sont ainsi plus défavorables pour Enjandouillé et Sivens.

⁽¹⁾ Le rapport Ve/Vt , volume d'eau stockée / volume de terre à mettre en œuvre, parfois appelé « rendement topographique », est en excellent indicateur de la valeur d'un site. On considère généralement qu'un site est médiocre pour $6 < Ve/Vt < 9$, moyen pour $9 < Ve/Vt < 12$, bon au-delà.

3.6 – Les coûts

3.6.1 – L'approche site par site

L'étude de faisabilité ISL comporte une estimation financière des coûts d'investissement sur les projets de l'Hirondelle et du Théronnel. Les montants correspondants sont résumés sur le tableau ci-dessous.

Tableau II.14 - Estimation financière en KF HT (faisabilité ISL)		
	Hirondelle (864 000 m³)	Théronnel (912 000 m³)
Barrages	5 180	6 210
Mesures compensatoires et études	820	840
Foncier	275	215
Pompage (investissement + exploitations)	900	900
Divers	170	645
Total	7 345	8 810
Prix au m ³ stocké	8.50	9.70

Ces montants peuvent être considérés comme relativement incomplets, sauf en ce qui concerne les coûts du pompage pour remplissage complémentaire. Ils omettent en effet un certain nombre de postes, tels que les travaux préliminaires et spécialisés (accès, déboisement, débroussaillage, etc, ...), les ouvrages de commande et de restitution à l'aval, les organes de télégestion. En ce qui concerne le foncier d'autre part, les prix unitaires pris en compte semblent bas, et ne tiennent pas compte des pertes de revenu (préjudice agricole) et des autres préjudices.

3.6.2 – L'approche comparée

Une approche comparée des 4 sites est fournie ci-après, sur des bases qui nous semblent plus réalistes, mais nécessiteront bien entendu des vérifications au niveau des différents APD. Les éléments suivants ont été pris en compte.

3.6.2.1 – Travaux

Un estimatif comparé des travaux relatifs aux digues est fourni par le programme TPC sur la base d'un bordereau de prix commun. Les prix unitaires utilisés pour les principaux postes sont :

- décapage : 20 F/m³,
- remblai compacté : 25 F/m³,
- béton armé : 5 000 F/m³.

Pour le dimensionnement des évacuateurs de crue, les hypothèses suivantes ont été prises :

Tableau II.15a			
Site	BV (km ²)	Débit de pointe de la crue 1/1000	
		m ³ /s/km ²	m ³
Hirondelle – Théronnelle	4	6	24 ⁽¹⁾
Enjandouillé	9.6	4	38
Sivens	29	3	85

3.6.2.2 – Foncier

Les hypothèses retenues, à la lumière des coûts réalisés réels appliqués sur un certain nombre de projets réalisés, dont celui de la Vère en 1998, sont les suivantes :

- Prix de base : A
- Indemnité de réemploi : A x 15%
- Perte de revenu (préjudice agricole) : 12 000 F/ha
- Autres préjudices (dépréciation, clôtures, etc, ...) : 10% sur le total

Ceci conduit aux prix suivants à payer aux vendeurs (toutes indemnités comprises) :

- Terres labourables et prairies : 40 000 F/ha
- Bois divers : 25 000 F/ha
- Peupliers : 30 000 F/ha
- Taillis, friches : 15 000 F/ha

A noter qu'en attente d'un prix pour les pins porte-graines (Sivens) on a appliqué en première analyse un prix de 40 000 F/ha.

Les superficies prises en compte sont celles fournies par le programme TPC dans l'hypothèse 0% d'emprunts noyés et à la cote PEN + 1 (chiffres sécurisants).

Les frais d'intervention (négociations, géomètres, notaires) ont été calculés sur la base de 20% des prix payés aux vendeurs.

3.6.2.3 – Travaux annexes et restitutions (routes, réseaux)

Ce poste a été très grossièrement évalué. Une provision de 100 000 F a été prise pour les sites de l'aval où aucune véritable restitution routière n'est prévue. Par contre, pour les sites amont, une provision de 700 000 F a été prise pour le site d'Enjandouillé et une de 1 300 000 F pour celui de Sivens.

⁽¹⁾ L'étude ISL prévoit 30 m³/s, valeur que nous jugeons en première analyse un peu forte.

3.6.2.4 – Comparaison globale

Celle-ci fait l'objet du tableau II.15.

Les prix obtenus varient de 10.5 à 12 MF HT (2001) en première estimation pour l'option haute (864 000 à 1 Mm³), ce qui équivaut à des coûts au m³ stocké de 10.8 à 13.5 F/m³. En option basse (500 000 m³) ces coûts passeraient à 15.4 Mm³ (Enjandouillé) et 19.5 (Sivens).

L'écart de coût entre le projet le moins cher (Enjandouillé) et le plus cher (Sivens) est de 25%.

Ces coûts sont dans l'ensemble élevés par rapport à un certain nombre de projets réalisés ces dernières années pour des coûts unitaires variant entre 8 et 12.5 F/m³. Il faut souligner qu'ils reflètent la prise d'un certain nombre de sécurités, notamment en matière de volumes de déblai (et particulièrement pour le site de Sivens).

3.7 - Récapitulation – Avantages et inconvénients comparés des différents sites

Cette comparaison fait l'objet du tableau II.16 ; avantages et inconvénients sont notés en « + » s'ils sont considérés comme partiels ou pas encore assurés, en « ++ » s'ils sont flagrants et décisifs.

Tableau II.15b – Estimation financière comparative (en KF HT)

	Hirondelle	Thérondel	Enjandouillé		Sivens	
	864 000	912 000	500 000	1 Mm3	500 000	1 Mm ³
<u>A – Travaux</u>						
Travaux spécialisés préalables Travaux préliminaires et devis	600	600	450	650	550	700
Digue en terre et ouv. filtrants	5 485	5 714	3369	4 819	4 688	6 630
Evacuation des cuves	500	470	520	600	620	700
Conduites de vidange	467	453	372	421	344	393
Poste de commande et restitution	200	200	220	250	260	300
Dispositif de télégestion	600	600	600	600	600	600
Remplissage complémentaire	900	900	-	-	-	-
Travaux annexes → routes (hors éven. remembrement)	100	100	700	1 000	1 000	1 300
Mission coordination Sécurité (2 %)	177	180	120	160	155	212
Total travaux (A)	9 029	9 217	6 352	8 500	8 217	10 835
<u>B – Foncier</u>						
Prix payés aux vendeurs et indemnités	798	818	666	1 050	790	1 110
Frais d'intervention (20 %)	160	164	133	210	158	222
Total Foncier (B)	958	98	799	1 260	48	1 332
Total A + B	9 987	10 199	7 151	9 760	8801	12 167
<u>C – MOE –MOA (10,5 % de A+B)</u>	1 049	1 071	751	1 025	924	1 277
TOTAL	11 036	11 270	7 902	10 785	9 725	13 445
Prix au m ³	12.8	12.4	15.8	10.8	19.5	13.5

Tableau II.16 – Récapitulation des avantages et inconvénients des sites étudiés

	Enjandouillé	Sivens	Hirondelle	Thérondel
A - <u>AVANTAGES</u>				
A1 – Localisation tête de bassin	+	++		
A2 – Remplissage naturel	+	++		
A3 – Sites à faible valeur écologique			++	++
A4 – Pas d'opposition actuelle déclarée	++		+	++
B - <u>INCONVENIENTS</u>				
B1 – Localisation aval			++	++
B2 – Remplissage complémentaire par pompage			+	+
B3 – Sites à valeur écologique moyenne	+	+		
B4 – Difficultés d'ordre géologique				
BAa – Nécessité de décapage profond	++	+	++	++
B4b – Matériaux d'emprunts limités	+	++	++	+
B5 – Relative opposition locale		+		
B6 – Restitution de voirie	+	++		