

# REPORT FINALE Azione 2.1 *RAPPORT FINAL Action 2.1*

Progetto transfrontaliero Italia-Francia ALCOTRA  
*Projet transfrontalier Italie-France ALCOTRA*



# RISBA

RISCHIO DEGLI SBARRAMENTI ARTIFICIALI  
*RISQUES DES BARRAGES*



# Rapport de retour d'expérience

Marika BOUTRY

# Sommaire

<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>ENQUÊTE ET BASE DE DONNÉES</b>	<b>7</b>
1 Établissement d'une fiche d'enquête	7
2 Visites de terrain	8
3 Enquêtes documentaires	8
4 Mise en place d'une base de données	9
<b>PARTIE 1 - GÉNÉRALITÉS SUR LES OUVRAGES VISITÉS</b>	<b>11</b>
1 Principal usage des ouvrages	11
2 Étendue géographique et temporelle des ouvrages	11
2.1 Localisation des ouvrages	12
2.2 Altitude des ouvrages	12
2.3 Année d'achèvement des travaux	13
3 Généralités géométriques sur les ouvrages	14
3.1 Capacité de stockage	14
3.2 Surface de la retenue	17
3.3 Hauteur du remblai	17
3.4 Classe des ouvrages	18
<b>PARTIE 2 - SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE</b>	<b>21</b>
1 Éléments de géotechnique	21
1.1 Essais in situ	21
1.2 Essais de laboratoire	21
1.3 Étude de stabilité	21
1.4 Pente des parements	22
1.5 Étanchéité des ouvrages	22
2 Éléments de géologie	23
2.1 Géologie des sites d'implantation	23
2.2 Risques géologiques	23

<b>PARTIE 3 - ANALYSE DES ALÉAS</b>	<b>27</b>
1 Aléas spécifiques à la montagne	27
1.1 Aléa avalanche	27
1.2 Aléa torrentiel	29
2 Autres aléas	30
2.1 Aléa sismique	30
2.2 Risques d'érosion interne liés au développement de végétation sur les ouvrages	31
2.3 Risques d'érosion interne liés à la présence d'animaux fouisseurs	33
<b>PARTIE 4 - RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES REMBLAIS ET LEUR DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANE</b>	<b>34</b>
1 Dispositifs d'étanchéité rencontrés	34
1.1 Structure support	35
1.2 Structure d'étanchéité	35
1.3 Structure de recouvrement	36
2 Raccordements de la géomembrane aux ouvrages annexes	39
3 Désordres mis en évidence	41
3.1 En raison de facteurs environnementaux	41
3.2 En raison de défauts de conception	46
<b>PARTIE 5 - ANALYSE DES OUVRAGES ASSOCIÉS</b>	<b>50</b>
1 Évacuateurs de crue	50
2 Système de bullage	52
3 Sécurité immédiate aux abords des ouvrages	52
<b>PARTIE 6 - AUSCULTATION DES OUVRAGES</b>	<b>55</b>
1 Conception des dispositifs d'auscultation	55
1.1 Recommandations du guide « <i>Retenues d'altitude</i> »	55
1.2 Dispositifs d'auscultation et fréquence des mesures	56
2 Réalisation des dispositifs d'auscultation	58
2.1 Dispositifs d'auscultation	58
2.2 Fréquence des mesures	61
<b>CONCLUSION</b>	<b>63</b>
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>65</b>

## REMERCIEMENTS

---

Nous tenons à remercier les bureaux d'études, les services administratifs en France et en Italie, ainsi que les propriétaires et les exploitants des retenues qui ont contribué à la réalisation de cette enquête de retour d'expérience par leur disponibilité, leurs réponses à nos questions, et la documentation mise à disposition.

## INTRODUCTION

---

En 2013 a débuté le projet Européen RISBA « Risques des Barrages », à l'initiative des régions Piémont et Vallée d'Aoste en Italie, et des centres IRSTEA d'Aix-en-Provence, de Grenoble et d'Antony en France. Ce programme se concentre sur les retenues<sup>1</sup> de stockage d'eau en zones collinaire et d'altitude ayant vocation, pour les premières, à assurer l'irrigation, et pour les secondes, à produire de la neige de culture. Il a pour but de compléter les connaissances existantes vis-à-vis de ces ouvrages, et d'en améliorer la sûreté grâce au développement d'outils d'évaluation de leur vulnérabilité face à différents aléas. En effet, si leur volume reste le plus souvent modeste, les retenues méritent une attention particulière du fait de leur nombre important sur le territoire et de leur position fréquemment dominante vis-à-vis des zones urbanisées.

Pour cela, IRSTEA et ses partenaires Italiens mènent différentes actions, au préalable desquelles un recueil d'informations sous forme d'enquêtes documentaire et de terrain a été réalisé afin d'apporter les données d'entrée nécessaire au travail. Ce rapport constitue ainsi la synthèse des informations obtenues sur un parc de 36 ouvrages réparti entre la France et l'Italie. En cela, il constitue également le livrable de l'action 2.1 « Enquête de retour d'expérience » du projet, conduite par IRSTEA.

Ce document décrivant les problématiques et pathologies rencontrées sur les ouvrages, l'anonymat de ces derniers a été préservé en raison du caractère sensible des données recueillies.

---

<sup>1</sup> Nous retiendrons ce terme plutôt que celui de « barrage » pour l'application qui nous intéresse.

# ENQUÊTE ET BASE DE DONNÉES

Ce chapitre détaille la manière dont les données ont été recueillies et rassemblées sous forme de base de données, dans le cadre d'une démarche collaborative forte entre les équipes italiennes et françaises du projet. L'analyse des données recueillies est détaillée dans le reste du présent rapport de retour d'expérience.

## 1 Établissement d'une fiche d'enquête

Une fiche d'enquête réunissant l'ensemble des thématiques abordées par RISBA a été établie préalablement aux analyses des dossiers des ouvrages et aux visites de terrain (Figure 1). Elle est issue de l'association des trois partenaires du projet dès le démarrage de l'action de retour d'expérience : son contenu, établie par IRSTEA, a en effet été validé par chacun des intervenants des différentes activités de recherche, en France comme en Italie.

**FICHE D'ENQUÊTE RISBA** Marika B. - Mai 2013

1. Généralités      2. Bibliographie      3. Terrain

**NOM DE LA RETENUE / DU BARRAGE :**

.....

Pays :  France    Italie

Département (FR) :  04  05  06  73  74      Région (IT) :  PMT  VAO

Province / Commune / Lieu-dit : .....

Station : .....

.....

**● Généralités sur la visite**

Date de la visite : ...../...../.....

Conditions météorologiques : préciser (beau temps, neige, pluie...) .....

Participants à la visite : préciser les noms, fonctions et coordonnées

Propriétaire : .....

Exploitant : .....

Maître d'oeuvre : .....

Représentant de la collectivité locale : .....

DDT / DREAL : .....

Région Piémont : .....

ARPA Piémont : .....

Région Autonome Vallée d'Aoste : .....

IRSTEA : .....

Autre(s) : .....

Niveau de la retenue lors de la visite : .....

**● Généralités sur l'ouvrage**

Type d'ouvrage :  Retenue    Barrage

Type de retenue : (1)  Remblai    Déblai    Remblai - déblai  
(2)  Étanchéité par géomembrane    Étanchéité naturelle  
 Avec parement béton côté eaux    Autre : .....

Type de barrage : (1)  En remblai    Autre : .....

(2)  Homogène    Zoné    A masque amont    A noyau

Classe de l'ouvrage :  A    B    C    D (France)  
 A1    A2    B    C (Italia - PMT)  
 A    B    C (Italia - VAO)

Alimentation :  Gravitaire    Pompage  
 Autre : .....

Exploitation :  Irrigation    Production d'eau potable  
 Production de neige de culture    Production énergétique  
 Autre : .....

Année de construction : .....

Hauteur maximale du remblai / TN : .....

Capacité (m<sup>3</sup>) : .....

Nom de l'ouvrage : ..... 1 ..... Date de la visite : ...../...../..... Nom de l'expert : .....

Figure 1 – Capture d'écran de la section « Généralités » de la fiche d'enquête

L'enquête se décompose en trois parties :

- une section « Généralités », qui synthétise les principales caractéristiques de l'ouvrage : il s'agit en quelque sorte de la « carte d'identité » de la retenue ;
- une section « Bibliographie », qui rassemble les données présentes dans les dossiers des ouvrages, lorsque ceux-ci sont disponibles ;
- et enfin une section « Terrain », complétée à l'occasion des visites sur site.

## 2 Visites de terrain

Les enquêtes de terrain ont consisté en une visite détaillée de l'ouvrage, de 45min à 3h, en présence du personnel chargé de la gestion de la retenue (chef du service des pistes ou directeur d'exploitation le plus couramment). Cette action de retour d'expérience étant conduite par IRSTEA, les retenues italiennes ont par conséquent été parcourues en présence de deux partenaires minimum : IRSTEA et la région Piémont ou IRSTEA et la Région Vallée d'Aoste. L'ensemble des partenaires se sont rejoints au cours de deux jours de visites, l'une en région Piémont, l'autre en Région Vallée d'Aoste. Enfin, les équipes valdotaines et piémontaises ont respectivement pris part à une et deux visite(s) sur ouvrage(s) français (Tableau 1).

PARTENAIRES PRÉSENTS			Retenues françaises	Retenues Italiennes
IRSTEA	Région Piémont	Région Vallée d'Aoste		
✓			13	0
✓	✓		2	13
✓		✓	1	0
✓	✓	✓	0	7

Tableau 1 – Synthèse des rencontres sur le terrain entre les partenaires du projet

## 3 Enquêtes documentaires

Les enquêtes documentaires correspondent à l'analyse des dossiers disponibles pour chacun des ouvrages. De manière générale, les données recueillies sur les retenues françaises sont plus détaillées, et ce pour plusieurs raisons : (i) la facilité pour le partenaire IRSTEA, en charge de l'enquête de retour d'expérience, de consulter les documents français, (ii) à l'inverse, la difficulté à exploiter les documents italiens depuis la France, puisque principalement sous forme de dossiers papier très volumineux, et (iii)

l'ancienneté de certaines retenues de la province de Cuneo qui entraîne une rareté, voire une absence, de documentation. Pour les raisons précitées, les dossiers des ouvrages Piémontais (provinces de Turin et de Cuneo confondues) ne seront pas commentés.

Ainsi, pour les ouvrages français, c'est majoritairement le contenu des dossiers d'avant-projet et des dossiers loi sur l'eau qui a été examiné : études géotechnique, hydrologique, hydraulique, étude d'impact, études des risques naturels, etc. Le dossier des ouvrages exécutés, le rapport de 1ère mise en eau et le dossier de récolement n'ont pu être consultés que pour un seul ouvrage. Les rapports de présentation au conseil départemental d'hygiène, les arrêtés préfectoraux, ainsi que les rapports de l'appui technique au service de contrôle de la DREAL, rédigés par Irstea, ont également pu être parcourus pour plusieurs retenues.

Quant aux ouvrages valdotains, ce sont les études géotechniques de projet qui ont été consultées de manière quasiment systématique.

## 4 Mise en place d'une base de données

La nécessité de rassembler les informations recueillies, à l'aide d'un outil d'utilisation simple et accessible à tous, a conduit au développement d'une base de données (BDD) en ligne sous Google Forms (Figure 2). De structure identique à la fiche d'enquête papier, elle se décompose selon les sections « Généralités », « Bibliographie » et « Terrain ». L'ensemble des champs qui la compose sont bilingues.

Trois comptes ont été créés, avec des droits d'accès plus ou moins restreints :

- RISBA.ADMIN pour les actions administrateur : ce compte permet aux quelques titulaires des identifiant et mot de passe désignés parmi les partenaires du projet, de modifier la structure de la fiche d'enquête, et ce afin de limiter les erreurs de manipulation de la base ;
- RISBA.EDIT pour les actions d'édition : ce compte permet à plusieurs interlocuteurs clairement identifiés parmi les partenaires du projet d'implémenter des données dans la BDD ;
- RISBA.VIEW pour les actions de consultation : ce compte, accessible à l'ensemble de l'équipe projet, ne permet qu'une visualisation de la base.

The screenshot shows a Google Forms interface in a Firefox browser window. The title of the form is "Identification de l'ouvrage". The form contains several sections with input fields and radio buttons:

- NOM DE LA RETENUE / DU BARRAGE | NOME DELLO SBARRAMENTO / DELLA DIGA \***: A text input field containing "Nouva".
- Pays | Paese \***: Radio buttons for "France | Francia" and "Italie | Italia" (which is selected).
- Département (FR) | Regione (IT)**: Radio buttons for "FR-04", "FR-05", "FR-06", "FR-73", "FR-74", "IT-PMN", and "IT-VAO" (which is selected).
- Province / Commune / Lieu-dit | Provincia / Comune / Località**: A text input field containing "Aosta / Gressan".
- Station | Nome Impianto di Innevamento**: A text input field containing "Pila Spa".

Figure 2 – Capture d'écran d'un extrait de la section « Généralités » de la BDD Google Drive

Parallèlement à cette BDD, un espace de partage a été mis en place avec Google Drive : chaque compte donne ainsi la possibilité de télécharger ou de déposer des fichiers dans un dossier commun.

L'ensemble des données saisies peuvent être extraites sous forme d'un fichier exploitable dans un tableur.

## PARTIE 1 - GÉNÉRALITÉS SUR LES OUVRAGES VISITÉS

---

Cette première partie traite de données générales sur les ouvrages : usage, localisation, altitude, année de construction, capacité de stockage, hauteur du remblai, etc.

### 1 Principal usage des ouvrages

Les ouvrages examinés peuvent être classés en deux catégories. Vingt-deux **retenues d'altitude**, équiréparties entre la France et l'Italie et étanchées par géomembranes, sont dédiées à la production de neige de culture. En plus de cet usage, quelques unes accueillent des concours de pêche en saison estivale, et deux permettent l'irrigation de parcelles de terrain (agricoles dans un cas, de loisirs - terrain de golf - dans l'autre). Quatorze **retenues collinaires** sont pour leur part principalement destinées à l'irrigation, à la production d'énergie hydroélectrique ou à l'alimentation en eau potable ; quelques une autorisent également l'accès au plan d'eau pour la pratique de la pêche de loisir. Ainsi, les ouvrages se répartissent de la manière suivante selon la finalité principale de leurs ressources en eau (Figure 3) :

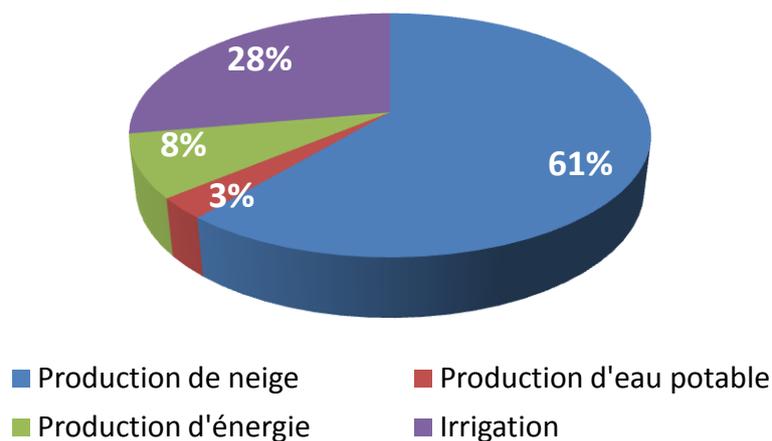


Figure 3 – Répartition des ouvrages selon leur usage

### 2 Étendue géographique et temporelle des ouvrages

## 2.1 Localisation des ouvrages

Le projet RISBA porte sur l'ensemble de la chaîne Alpine française et italienne. À ce titre, sont concernés, en France, les départements des Alpes-Maritimes (06), des Alpes-de-Haute-Provence (04), des Hautes-Alpes (05), de la Savoie (73) et de la Haute-Savoie (74). En Italie, ce sont la région Vallée d'Aoste et les provinces Piémontaises de Turin et de Cuneo que le projet couvre. Ainsi, les effectifs entre les deux pays se répartissent suivant le [Tableau 2](#).

PAYS	Région/Département	Effectif
ITALIE	Piémont - Province de Turin (TO)	7
	Piémont - Province de Cuneo (CN)	9
	Région Vallée d'Aoste (AO)	4
FRANCE	Hautes-Alpes (05)	7
	Savoie (73)	4
	Haute-Savoie (74)	5

Tableau 2 – Répartition géographique des retenues visitées

## 2.2 Altitude des ouvrages

On admet que les ouvrages situés à une altitude supérieure à 1800 m sont soumis à des conditions météorologiques sévères en période hivernale ([1], p.150). L'Italie voit 10 de ses 11 retenues d'altitude dépasser ce seuil : la majorité des ouvrages se répartissent entre 1900 m et 2100 m, un se situe à 3000 m et un dernier est en dessous de 1700 m. Les retenues collinaires dédiées à l'irrigation n'excèdent pas 480 m d'altitude. Pour finir, les trois barrages de production énergétique sont d'altitude variée avec 470 m, 700 m et 1540 m d'altitude.

En France, la répartition des retenues d'altitude est pour sa part plus étalée, de 940 m à 2500 m : 55% d'entre elles sont au dessous de 1800 m. Quant aux retenues collinaires, elles se situent à une altitude moyenne de 1200 m.

La [Figure 4](#) donne la répartition des 36 ouvrages français et italiens selon leur altitude :

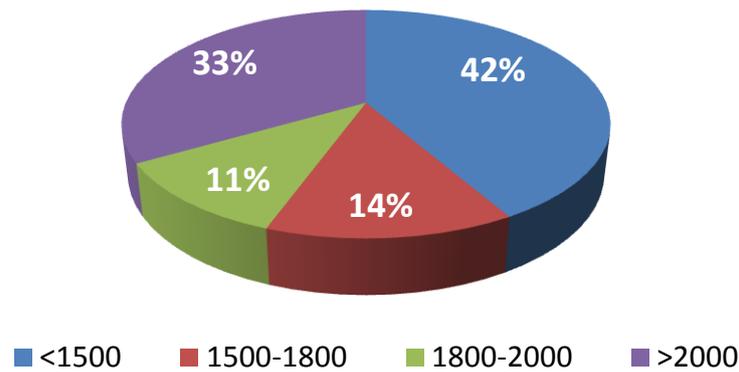


Figure 4 – Répartition des ouvrages selon leur altitude

### 2.3 Année d'achèvement des travaux

Les retenues d'altitude Piémontaises ont toutes été créées pour répondre au besoin de neige occasionné par l'organisation des Jeux Olympiques de Turin en 2006 : leur construction date ainsi de l'année précédente. Celles de la région Vallée d'Aoste sont plus récentes : elles se répartissent entre 2006 et 2010. Enfin, les retenues collinaires de la province de Cuneo ont pour la plupart été construites à l'initiative des exploitants agricoles au cours du XXe siècle, sans déclaration préalable, pour pallier au manque d'eau en saison estivale : on note par conséquent un manque de données précises au sujet de l'âge de certaines d'entre elles.

En France, la majorité des retenues d'altitude visitées sont postérieures à 2009. Ce choix se justifie d'une part par la volonté de comparer nos données à celles recueillies en 2007 lors du projet BARALTISUR [2], et d'autre part par le souhait de vérifier l'application (ou non) des recommandations du guide « Retenues d'altitude » [1], paru en 2009 à l'issue de ce projet. Seul un ouvrage déroge à cette règle avec une fin des travaux en 2008, sa singularité ayant favorisé son maintien dans l'enquête. Le reste des retenues datent ainsi de 2009 à 2013, avec pour certaines la rencontre de problèmes à l'exécution ayant fait s'étaler les travaux jusque sur 3 années consécutives. À noter que l'instruction du dossier des ouvrages étant antérieure à l'année d'achèvement des travaux, cette dernière donnée ne reflète donc pas tout à fait la proportion des retenues ayant pu prendre en compte les préconisations du guide de 2009.

Les cinq retenues collinaires françaises sont pour leur part plus anciennes, de 1963 à 1982.

La Figure 5 donne la répartition des ouvrages français et italiens selon leur année de construction. À noter les intervalles volontairement irréguliers du diagramme en bâton pour illustrer les propos tenus ci-avant.

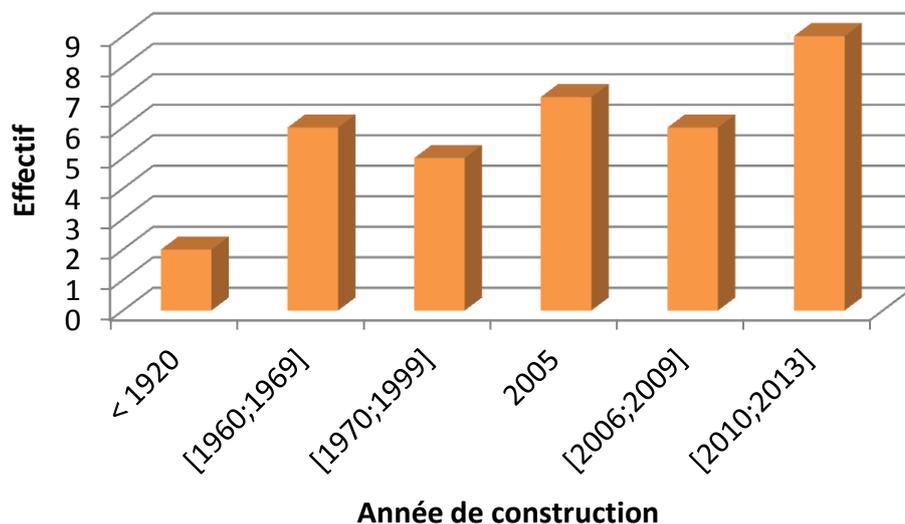


Figure 5 – Répartition des retenues selon leur année de construction

## 3 Généralités géométriques sur les ouvrages

### 3.1 Capacité de stockage

En France, le retour d'expérience du projet BARALTISUR en 2007 [2] faisait état d'une tendance à l'augmentation des volumes de stockage des retenues d'altitude : l'analyse, conduite sur le département de la Savoie, indiquait une capacité moyenne des ouvrages visités de 40 000 m<sup>3</sup>, contre 100 000 m<sup>3</sup> pour les retenues en projet. Cette observation se confirme, avec presque 65% des ouvrages visités en 2013 de capacité supérieure ou égale à 50.000 m<sup>3</sup> (Figure 6).

À l'exception d'un ouvrage de 42.000 m<sup>3</sup>, les retenues collinaires disposent quant à elles de volumes importants, de 80.000 m<sup>3</sup> à 750.000 m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 220.000 m<sup>3</sup>.

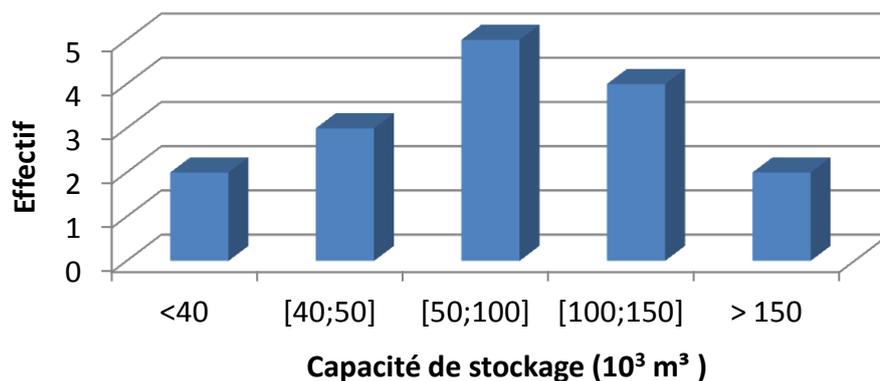


Figure 6 – Répartition des retenues françaises selon leur capacité de stockage

En Italie, les retenues d'altitude piémontaises possèdent en moyenne d'une capacité de stockage d'environ 28 000 m<sup>3</sup> (sans excéder 41 500 m<sup>3</sup> - [Tableau 3](#) & [Figure 7](#)). Cette valeur passe à 45 000 m<sup>3</sup> lorsque les quatre ouvrages valdotains sont intégrés à l'analyse, puisqu'ils possèdent des bassins de volume plus important (jusqu'à 120 000 m<sup>3</sup> - [Tableau 3](#) & [Figure 7](#)). Toutefois, si les premières sont plus anciennes que les seconds, nous ne pouvons conclure à une hausse des volumes de stockage par analogie au cas français : les retenues piémontaises constituent en effet une population bien spécifique, construites pour un besoin précis, la même année, et dans la même zone géographique.

Les six retenues collinaires de la province de Cuneo dédiées à l'irrigation sont du même ordre de grandeur que les retenues d'altitude de la province de Turin : leur volume moyen est de 30 000 m<sup>3</sup> ([Tableau 3](#) & [Figure 7](#)). Les trois ouvrages destinés à la production hydroélectrique sont concernés pour leur part par des capacités bien supérieures, de 70 000 m<sup>3</sup>, 140 000 m<sup>3</sup> et 185 000 m<sup>3</sup>.

Population analysée	Capacité moyenne (m <sup>3</sup> )	Capacité médiane (m <sup>3</sup> )	Min. (m <sup>3</sup> )	Max. (m <sup>3</sup> )
Retenues d'altitude piémontaises et valdotaines	45025	30416	7250	120000
Retenues d'altitude piémontaises	27709	30000	7250	41500
Retenues collinaires pour l'irrigation	31218	30825	20000	41657

Tableau 3 – Analyse des capacités moyennes, médianes, minimales et maximales de trois sous-populations de retenues italiennes

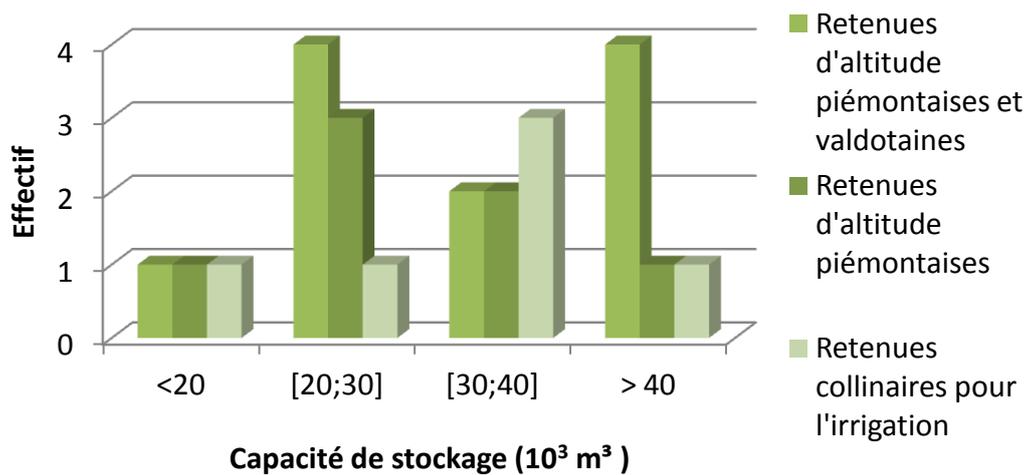


Figure 7 – Répartition des trois sous-populations de retenues italiennes selon leur capacité de stockage

Remarque : en Italie, les ouvrages excédant un volume d'1 000 000  $\text{m}^3$  ne sont plus soumis à l'autorité de la Région mais à celle de l'État.

L'analyse de l'ensemble des 36 ouvrages permet de distinguer deux populations de retenues d'altitude : les ouvrages français de capacité supérieure ou égale à 50.000  $\text{m}^3$  et les trois retenues valdotaines dépassant 70.000  $\text{m}^3$  constituent les valeurs hautes de la distribution statistique ; à l'inverse les volumes plus modestes des retenues piémontaises composent les valeurs basses de l'analyse. La distribution des retenues collinaires reste quant à elle plus étalée (Figure 8).

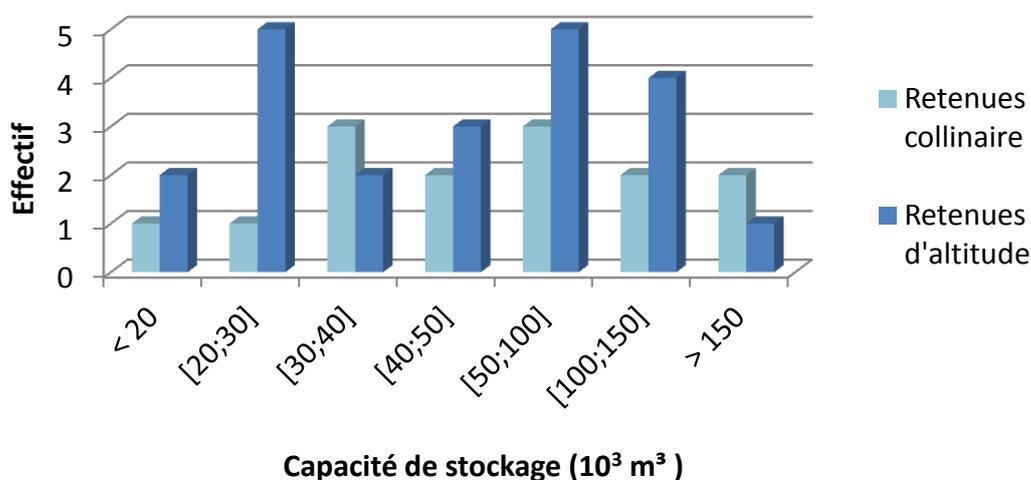


Figure 8 – Répartition des retenues selon leur capacité de stockage

## 3.2 Surface de la retenue

Seules les retenues d'altitude françaises sont commentées dans ce paragraphe. Les retenues étudiées ont des surfaces de plan d'eau limitées : toutes sont inférieures à 2ha et supérieures à 0,4 ha, à l'exception d'un ouvrage de 4,5 ha (Tableau 4). Elles sont à ce titre soumises au régime de déclaration au titre de la loi sur l'eau (rubrique 3.2.3.0 de l'article R214-1 du Code de l'environnement) tandis que la dernière est soumise au régime de l'autorisation.

En comparaison aux données de 2007, bien que la valeur maximale - hors retenue de 4,5 ha - de surface du plan d'eau soit légèrement plus faible, la moyenne est elle aussi réhaussée, s'inscrivant dans la tendance à l'augmentation citée en section « 3.1 Capacité de stockage », page 14.

	Surface (m <sup>2</sup> )
Valeur minimale	4 740
Valeur maximale	45 500
Valeur maximale hors retenue de 4.5ha	19 000
Valeur moyenne	14 398

Tableau 4 – Surfaces des plans d'eau français

## 3.3 Hauteur du remblai

En Italie, la hauteur d'un ouvrage est évaluée comme la différence entre la cote du couronnement et le point le plus bas des parements, amont ou aval. Ainsi, les ouvrages valdotains sont tous compris entre 10 m et 15 m. Les ouvrages piémontais sont de taille plus modeste et de distribution hétérogène : les retenues d'altitude sont par exemple essentiellement construites en déblai ; leur hauteur est par conséquent très faible (Figure 9).

Remarque : en Italie, les ouvrages de hauteur H supérieure à 15 m ne sont plus soumis à l'autorité de la Région mais à celle de l'État.

En France, la hauteur d'un remblai correspond à la différence entre le couronnement et le terrain naturel, idéalement mesurée dans l'axe de la crête. Pour les ouvrages qui nous concernent, les hauteurs se répartissent de 4 m à 19,95 m. La

majorité des ouvrages (38% - Figure 9) ont cependant une hauteur comprise entre 5 et 10 m : cette observation s'inscrit dans la continuité de celles faites en 2007 [2].

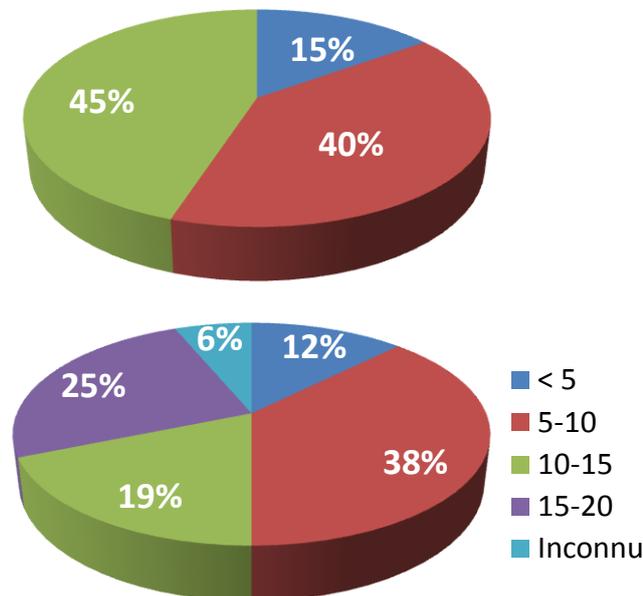


Figure 9 – Répartition des retenues selon leur hauteur de remblai en Italie (en haut) et en France (en bas)

### 3.4 Classe des ouvrages

Les systèmes de classification des ouvrages piémontais, valdotains et français étant différents, une analyse commune ne peut être menée.

En France, le décret du 11 décembre 2007 répartit les barrages en quatre classes en fonction de la hauteur  $H$ , du volume d'eau  $V$  et du critère  $H^2/V^{0.5}$  de l'ouvrage (Tableau 5). On distingue toutefois le classement initial, établi en fonction des caractéristiques géométriques de l'ouvrage, et le surclassement administratif, ajusté par décision préfectorale si des enjeux particuliers en termes de sécurité le justifient.

Classe de l'ouvrage	Critère(s)
A	$H \geq 20\text{m}$
B	$H \geq 10\text{m}$ et $H^2/V^{1/2} \geq 200$
C	$H \geq 5\text{m}$ et $H^2/V^{1/2} \geq 20$
D	$H \geq 2\text{m}$
Non classé au sens du décret	$H < 2\text{m}$

Tableau 5 – Système de classification des ouvrages français

Lors de l'enquête de 2007, la majorité des ouvrages répondaient à un critère  $H^2/V0.5$  inférieur à 10. En 2013, l'augmentation des volumes de stockage permet d'atteindre des valeurs supérieures, avec un maximum de 181 (Figure 10). À titre comparatif, les petits barrages, auxquels les retenues d'altitude peuvent être rattachées, sont considérées comme tels (i.e. comme « petits barrages ») si  $H < 15$  m et  $H^2/V0.5 < 200$  selon le guide CIGB « Small dams : design, surveillance ans rehabilitation » ([3], définition p.15), soit de classe B ou moins. Toute taille de barrage confondue, ce critère peut même dépasser la valeur de 2500 ([3], graphique p.16). Les retenues d'altitude visitées se cantonnent donc à la tranche basse des ouvrages concernés par ce guide.

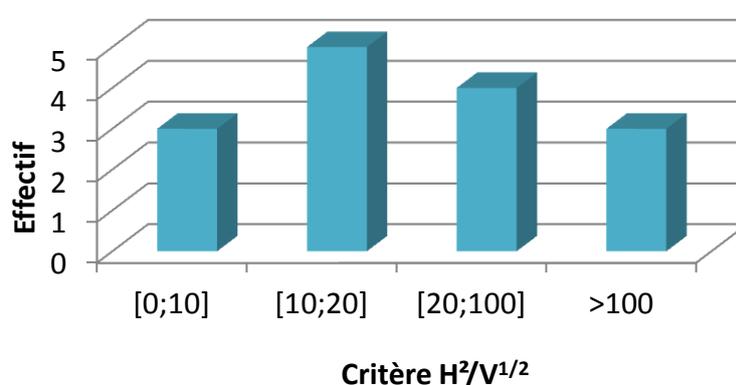


Figure 10 – Répartition des ouvrages français selon leur critère  $H^2/V0.5$

En matière de classement, les ouvrages examinés relèvent des catégories D ou C compte tenu de leurs caractéristiques géométriques. Toutefois, en raison de leur impact potentiel en cas de rupture, six des onze retenues ont été surclassée administrativement : deux en B et quatre en C. Cette dernière catégorie regroupe ainsi la majorité des ouvrages analysés (effectif de 9 – Figure 11).

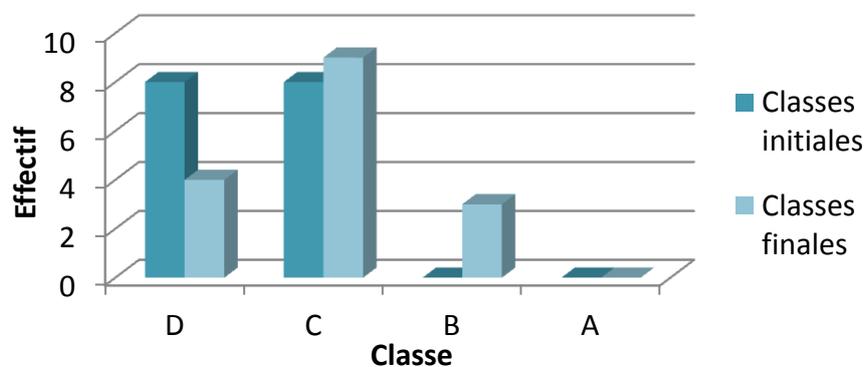


Figure 11 – Classes des ouvrages français

En Région Piémont, le classement des ouvrages de type D (“petits barrages et réservoirs”, par oppositions aux barrages de types L “barrages écrêteurs de crues” et T “barrage mobiles”) se fait également sur la base de critères géométriques (Tableau 6) : ce sont les retenues de classe B et C qui dominant ici (Figure 12).

Classe de l'ouvrage	Critère(s)
A1	$H \leq 5\text{m}$ et $V \leq 10\,000\text{m}^3$
A2	$H \leq 10\text{m}$ et $V \leq 30\,000\text{m}^3$
B	$H \leq 10\text{m}$ et $30\,000\text{m}^3 < V \leq 100\,000\text{m}^3$
C	$10\text{m} < H \leq 15\text{m}$ ou $10^5\text{m}^3 < V \leq 10^6\text{m}^3$
Géré par l'État	$H > 15\text{m}$ ou $V > 10^6\text{m}^3$

Tableau 6 – Système de classification des ouvrages piémontais

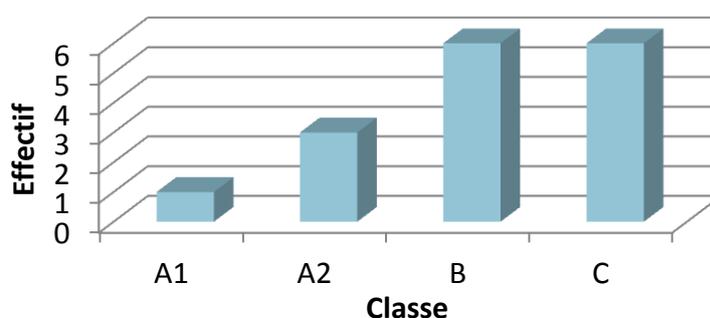


Figure 12 – Classes des ouvrages piémontais

En Région Vallée d'Aoste en revanche, la détermination de la classe de l'ouvrage se base sur l'évaluation des enjeux humains et économiques situés à l'aval de l'ouvrage (Tableau 7). Les quatre retenues valdotaines relèvent de la catégorie A.

Classe de l'ouvrage	Critère(s)
A	Risque ÉLEVÉ pertes humaines et dommages économiques importants
B	Risque MODÉRÉ conséquences environnementales graves ou pertes économiques conséquentes (dommages sur structures commerciales ou industrielles, services publics, ...)
C	Risque FAIBLE pertes économiques et environnementales négligeables
Géré par l'État	$H > 15\text{m}$ ou $V > 10^6\text{m}^3$

Tableau 7 – Système de classification des ouvrages valdotains

## PARTIE 2 - SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

---

Cette partie analyse les données géotechniques et géologiques recueillies : les premières proviennent essentiellement des dossiers des 11 retenues d'altitude françaises, tandis que les secondes se basent sur les observations de terrain faites sur l'ensemble du parc d'ouvrage.

### 1 Éléments de géotechnique

#### 1.1 Essais in situ

En moyenne, 7 à 10 tranchées à la pelle mécanique ont été réalisées en phase d'avant-projet pour chaque ouvrage. Une retenue fait figure d'exception avec 66 sondages. Ces reconnaissances sont complétées pour la majorité des cas par des sondages destructifs, pénétrométriques ou carottés, donnant lieu par la suite à la réalisation d'essais pressiométriques.

Enfin, les reconnaissances géophysiques sont appliquées à 8 ouvrages : il s'agit soit de profils de sismique réfraction (de 3 à 8 profils), soit de profils au panneau électrique (3 profils en moyenne).

#### 1.2 Essais de laboratoire

Les essais de laboratoire sont pour leur part plus variés et davantage laissés à l'appréciation du maître d'œuvre : si les essais d'identification sont systématiques, seules quelques retenues présentent des résultats d'essais Proctor, de cisaillement ou triaxiaux.

#### 1.3 Étude de stabilité

10 ouvrages français présentent une étude de stabilité dans leur dossier d'avant-projet ; 8 d'entre elles sont complétées par une étude de stabilité sous sollicitation sismique et 3 par une justification de la stabilité du DEG sur pente.

Les 4 ouvrages valdotains présentent eux aussi une étude de stabilité, accompagnée pour 2 d'entre elles par une étude sous sollicitation sismique.

## 1.4 Pente des parements

Le guide « Retenues d'Altitude » [1] donne, page 158, les valeurs indicatives suivantes pour la pente maximale des talus d'un barrage en terre et en matériaux grossiers sur fondation non compressible (Tableau 8) :

Hauteur	Critère(s)	Amont	Aval
< 5m	Avec géomembrane recouverte	1/3 - 18.4°	1/2 - 26.6°
	Avec géomembrane non recouverte	1/2.25 - 24°	1/2 - 26.6°
5 à 10m	Avec géomembrane recouverte	1/3 - 18.4°	1/2 - 26.6°
	Avec géomembrane non recouverte	1/2.5 - 21.8°	1/2 - 26.6°
10 à 15m	Avec géomembrane recouverte	1/3 - 18.4°	1/2.25 - 24°
	Avec géomembrane non recouverte	1/2.5 - 21.8°	1/2.25 - 24°

Tableau 8 – Valeurs indicatives de pente maximale des parements avec géomembrane recouverte ou non

La comparaison de ces valeurs avec celles relevées dans les dossiers des ouvrages ou sur le terrain montre que si les pentes des parements aval sont respectées pour 11 des 15 retenues d'altitude étudiées (11 retenues françaises + 4 retenues valdotaines), les pentes des parements amont sont quant à elles bien souvent trop prononcées (11 des 15 retenues). Au total, seules trois retenues françaises respectent les préconisations du Tableau 8 pour les parements amont et aval à la fois.

Quant aux 5 retenues collinaires françaises, le guide « Petits Barrages » [4] recommande en page 73 des pentes maximales de talus de 1V/2H : trois d'entre elles respectent cette préconisation pour le parement amont et 1 seulement pour le parement aval.

## 1.5 Étanchéité des ouvrages

L'ensemble des ouvrages examinés sont en remblai. Leur type étanchéité, qui est corrélée d'une part à la manière dont leurs ressources en eau sont utilisées et d'autre part à leur époque de construction, permet de les classer en deux catégories :

- 22 retenues d'altitude étanchées par géomembrane : de construction récente, elles sont principalement destinées à la production de neige de culture (voir « PARTIE 4 - RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES REMBLAIS ET LEUR DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANE », page 34) ;

- 14 retenues collinaires, étanches dans la masse (Figure 13a), imperméabilisées par un masque amont (argileux ou en béton – Figure 13b) ou à l'aide d'un noyau central : plus anciennes, elles sont dédiées à l'irrigation, à la production d'énergie hydroélectrique ou à l'alimentation en eau potable.

Une retenue piémontaise est à signaler : étanche dans la masse et montrant des problèmes récurrents d'étanchéité, divers travaux de confortement y ont été menés, tels que l'ajout de matériaux sur le parement amont de la retenue pour épaissir le remblai et la mise en place de barbacanes.



Figure 13 – Retenue en remblai étanche (a) dans la masse ;  
(b) par un masque amont en béton

## 2 Éléments de géologie

### 2.1 Géologie des sites d'implantation

La majorité des ouvrages trouvent leur assise dans des formations morainiques, surmontant un substratum de schistes cristallins ou de formations calcaires à niveaux schisteux.

### 2.2 Risques géologiques

#### INSTABILITÉS SOUTERRAINES

La présence de terrains sensibles à la dissolution et au développement de karst concerne 4 retenues françaises :

- deux de manière avérée, où les sondages géotechniques ont mis à nu des masses gypseuses et/ou cargneules ;

- deux de façon supposée, où la présence de dolines a pu être observée aux abords de l'ouvrage (exemple en [Figure 14](#)).



Figure 14 – (a) Dépression aux abords d'une retenue, révélant (b) une doline en eau, alimentée par les ruissellements du versant supérieur

#### GLISSEMENT DE TERRAIN

Outre les glissements du parement amont sous la géomembrane décrits dans la section « **GLISSEMENT DU PAREMENT AMONT DU REMBLAI** » page 44, un glissement en parement aval a pu être observé sur un ouvrage italien : il se caractérise par la présence d'une lentille de glissement créant une cicatrice de plusieurs décimètres en partie haute du remblai ([Figure 15a](#)), d'une pente irrégulière occasionnée par le déplacement de matériaux de l'amont vers l'aval, et d'un bourrelet frontal ([Figure 15b](#)). La pente

prononcée du parement semble être à l'origine de ce désordre. Aucune circulation d'eau ou végétation hygrophile associée n'a été constatée.

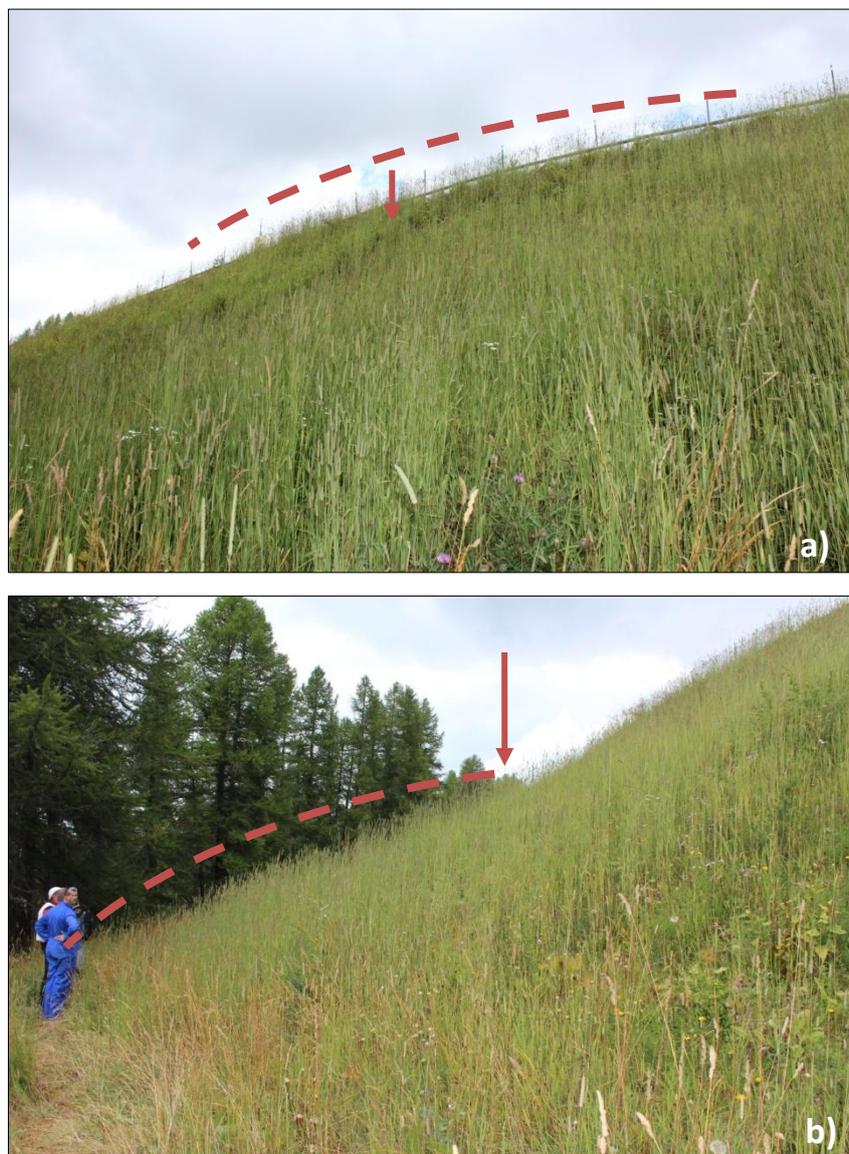


Figure 15 – Glissement de terrain en parement aval : (a) vue sur la lentille de glissement ; (b) vue de profil mettant en évidence une rupture de pente et un bourrelet inférieur

La ruine d'un ouvrage en 2009 et sa réhabilitation 2 ans plus tard nous ont par ailleurs été signalées au cours de la visite d'une retenue piémontaise : une brèche se serait formée suite au glissement du parement aval, de pente trop prononcée.

Par ailleurs, trois retenues italiennes sont implantées sur des sites où des mouvements de versant ont été décelés : ceux-ci font suite à la décompression des terrains après la déglaciation Würmienne. Ils sont cependant peu actifs voire stabilisés. Deux de ces trois sites sont équipés d'inclinomètres.

En France, la VTA (Visite Technique Approfondie) d'une retenue signale un glissement superficiel en pied de parement aval en raison de la mise en œuvre de matériaux trop humides. Cet ouvrage est lui aussi de pente très marquée (jusqu'à 35°). Un second ouvrage montre une instabilité dans le déblai (Figure 16). Deux autres retenues ont été identifiées comme pouvant être potentiellement impactées par le même phénomène, les pentes du déblai bordant l'ouvrage étant prononcées.



Figure 16 – Instabilité dans le déblai

#### CHUTES DE BLOCS

2 retenues italiennes et 4 retenues françaises se situent au proche d'escarpements rocheux au pied desquels des zones d'éboulis peuvent parfois être notées ; une atteinte des ouvrages est donc envisageable en cas de décrochement de grande ampleur. Les études trajectographiques menées sur 2 ouvrages français concluent pour l'une à la faible probabilité de départ de blocs en provenance de la barre sus-jacente, et pour l'autre à la très faible probabilité d'impact de l'ouvrage par un bloc rocheux ; dans ce dernier cas le dossier mentionne toutefois la mise en œuvre partielle d'une digue en remblai entre la retenue et la zone de départ potentielle.

## PARTIE 3 - ANALYSE DES ALÉAS

---

Les retenues d'altitude sont soumises à de nombreux aléas, spécifiques ou non aux territoires montagneux. Cette partie vise à décrire si les ouvrages visités ont subi ou sont susceptibles de subir des risques d'avalanche, torrentiels, sismiques ou d'érosion interne. Notons que nos remarques se basent sur des observations de terrain : elles ne constituent donc pas une analyse d'aléa complète et exhaustive.

### 1 Aléas spécifiques à la montagne

#### 1.1 Aléa avalanche

En France, l'analyse de la vulnérabilité des ouvrages à l'aléa avalanche a systématiquement reposé sur l'étude de la CLPA, Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche. Il s'agit d'une carte descriptive des phénomènes observés ou historiques, ayant pour vocation d'informer et de sensibiliser la population sur l'existence de zones où des avalanches se sont effectivement produites dans le passé en territoire de montagne. Ces zones sont représentées par les limites extrêmes atteintes par les événements (Figure 17). La CLPA est un document informatif, n'ayant pas de valeur réglementaire. Le recoupement avec les PIDA - Plan d'Intervention pour le Déclenchement préventif des Avalanches - est parfois observé.

Aucune des retenues françaises investiguée ne se trouve dans l'emprise d'une avalanche, qu'elle soit avérée ou supposée, cartographiée sur la base de témoignages, de photo-interprétations ou d'analyses de terrain. Néanmoins, trois retenues sont très proches des zones d'extension maximale de certains événements, souvent à moins d'une centaine de mètres. Leur proximité fait qu'elles pourraient dans certains cas être potentiellement impactées. Les observations de terrain confirment cette analyse, où des versants abrupts dominent les ouvrages.

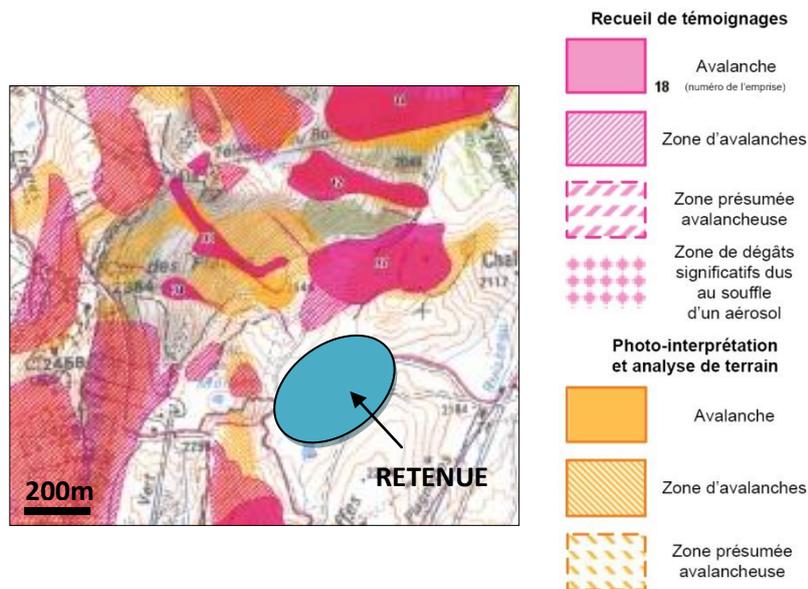


Figure 17 – Exemple d'une CLPA avec localisation d'une retenue

En Italie, un ouvrage valdotain est identifié comme menacé par les avalanches : pour pallier ce risque, un merlon paravalanche de 2,50 m de hauteur a été placé au pied du versant (Figure 18). D'autre part, un système de déclenchement artificiel présent en crête du versant permet d'orienter l'écoulement de neige dans un couloir n'impactant pas la retenue.

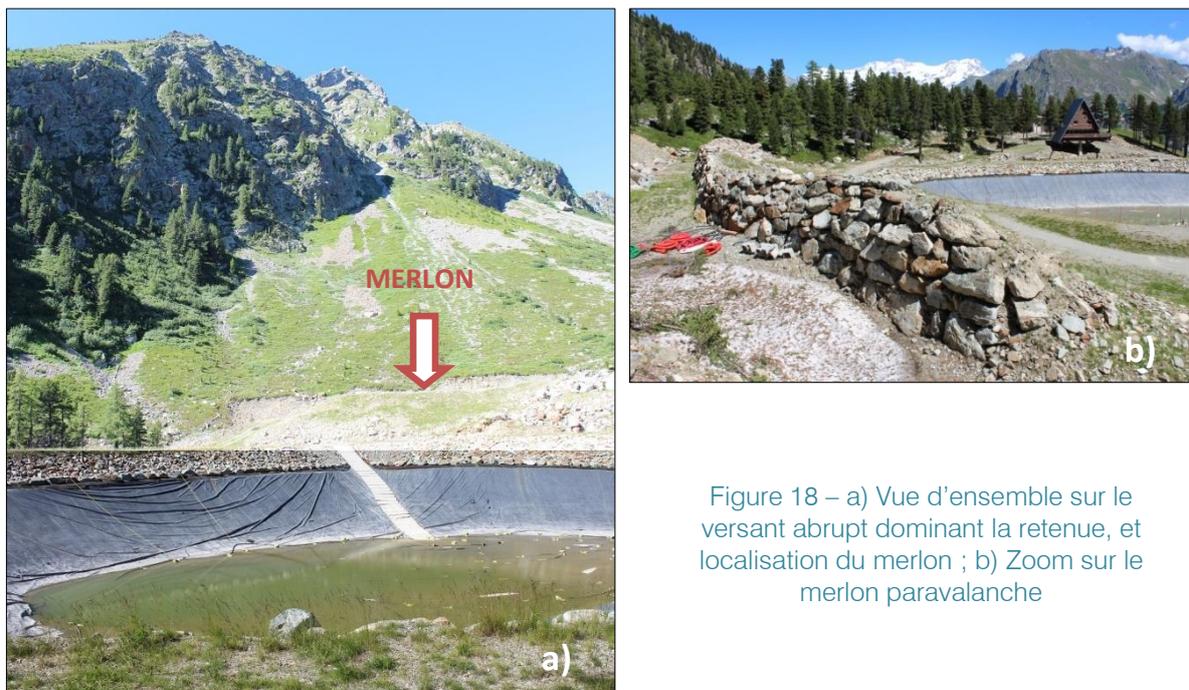


Figure 18 – a) Vue d'ensemble sur le versant abrupt dominant la retenue, et localisation du merlon ; b) Zoom sur le merlon paravalanche

En Région Piémont, les sites d'implantation des retenues ont été confrontés aux cartes d'information géographique avalanche SIVa (Sistema Informativo Valangue), disponibles sur le géoportail de l'ARPA Piémont (GeoPortale ARPA Piemonte). Sur le même principe que les CLPA françaises, ces documents cartographient l'emprise d'événements passés, qu'ils soient délimités sur la base de travaux de terrain, ou sur la base de photo-interprétations et d'archives. Une retenue a ainsi été identifiée comme sensible à l'aléa avalanche, son implantation recoupant ces deux types de cartographie (Figure 19). Sur le terrain, ce risque s'exprime par la présence de râteliers installés en crête des reliefs (Figure 20).

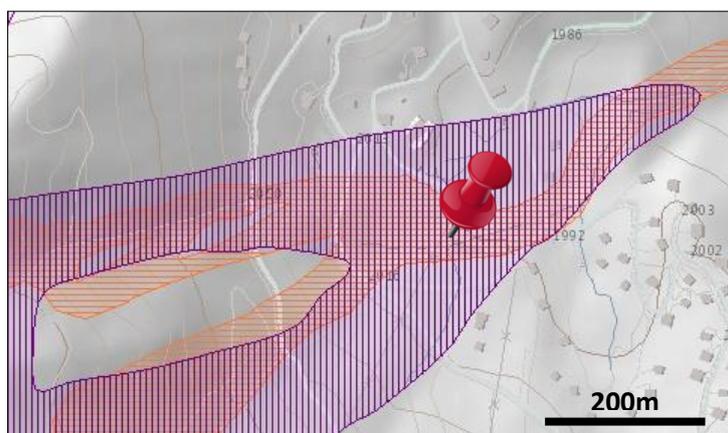


Figure 19 – Extrait d'une carte SIVa : en violet les zones cartographiées sur la base de travaux de terrain ; en orange les zones cartographiées sur la base de photo-interprétation et d'archives



Figure 20 – Râteliers dominant la retenue

## 1.2 Aléa torrentiel

En Italie, une retenue d'altitude se situe au droit d'un ruisseau temporaire. Un dispositif de tranchées creusées sur le pourtour de la retenue permet ainsi aux écoulements de contourner l'ouvrage (Figure 21a). Toutefois, le ruisseau mobilisant une

quantité importante de matériaux solides, ceux-ci comblent les chenaux périphériques d'évacuation mis en place (Figure 21b) : si les dépôts ne semblent pas parvenir jusqu'à la retenue, un curage régulier reste malgré tout nécessaire pour s'en assurer.



Figure 21 – (a) Chenaux périphériques d'évacuation (b) comblés au droit des venues d'eau

Certains ouvrages dédiés à l'irrigation peuvent eux aussi être sensibles aux aléas torrentiels. Si aucune des retenues ne barre directement un cours d'eau, elles sont en revanche alimentées par les ruissellements en provenance des versants supérieurs, susceptibles de les remplir. Néanmoins, à l'inverse de la retenue d'altitude précédemment citée, les apports sédimentaires restent ici faibles (sédiments fins, rares blocs, versants végétalisés).

Enfin, notons le passage de cours d'eau importants dans ou à proximité de quatre retenues, dédiées pour 3 d'entre elles, à la production d'énergie hydroélectrique.

En France, 4 retenues d'altitude sont identifiées comme sensibles à l'aléa torrentiel. Toutes interceptent des bassins versants de taille importante, de 28 à 112 ha. Par ailleurs, deux retenues collinaires barrent directement un cours d'eau : elles peuvent donc être vulnérables en cas de crue.

## 2 Autres aléas

### 2.1 Aléa sismique

En France, la zone frontalière franco-italienne figure parmi les secteurs les plus sismiques du territoire métropolitain français. Suite au décret du 22 octobre 2010, la

nouvelle cartographie de l'aléa sismique en France classe le territoire dans lequel s'insère le projet RISBA en zone d'aléa sismique « modéré » à « moyen » : 6 retenues se trouvent dans la première catégorie (accélération de 1.1 à 1.6 m/s<sup>2</sup> - zone 3) et 10 dans la seconde (accélération de 1.6 à 3.0 m/s<sup>2</sup> - zone 4). 8 retenues françaises ont fait l'objet d'une étude de stabilité sous sollicitation sismique.

À l'inverse, en Italie, l'arc alpin figure parmi les secteurs sismiques les plus faibles du territoire italien (de 0,050 g à 0,150 g – g étant l'accélération maximale du sol).

Aucune retenue en France ou en Italie n'a à ce jour subi de dommage en raison d'un évènement sismique.

## 2.2 Risques d'érosion interne liés au développement de végétation sur les ouvrages

La présence d'une végétation arborée sur la crête ou les parements d'un ouvrage est susceptible de lui porter préjudice : en effet, le développement des racines peut créer des zones de circulation d'eau préférentielle pouvant conduire à la rupture de la retenue par érosion interne, notamment lorsque les racines des individus sont en cours de décomposition. De même, le risque de chablis avec entrainement de matériaux du remblai existe. C'est pourquoi les gestionnaires se doivent d'être sensibilisés à l'entretien de leur ouvrage vis-à-vis de la végétation en procédant à des fauches régulières.

Plusieurs ouvrages ont été identifiés comme sensibles à ce type de sinistre, à différents degrés de développement de la végétation.

- Trois retenues d'altitude et une retenue collinaire italienne, ainsi qu'une retenue collinaire française, voient de jeunes individus se développer en crête et/ou sur les parements aval (mélèzes, frênes, érables, robiniers). Une 6e retenue d'altitude italienne est concernée par la présence de petits mélèzes en partie supérieur du parement amont (Figure 22a) ;
- Pour une question d'intégration paysagère, une haie de résineux, à ce jour mature, a été plantée en limite de parement aval sur la totalité d'une retenue collinaire italienne (Figure 22b). Quelques uns d'entre eux ayant été coupés, des souches en cours de décomposition ont été notées. Le parement aval d'une 2ème retenue collinaire est

pour sa part fortement colonisé par des robiniers et présente lui aussi plusieurs souches. Le parement aval d'une 3ème retenue collinaire française est partiellement végétalisé au contact remblai-fondation. Enfin une 4ème retenue collinaire française voit le développement de plusieurs essences végétales sur son couronnement et son parement aval, individus de tout âge confondus.

- Des ouvrages à première vue dépourvue de végétation, présentent de nombreuses souches soit en parement aval (1 retenue collinaire italienne), soit en crête et parement aval (1 retenue collinaire italienne), soit en limite de parement amont (1 retenues collinaire française - [Figure 22c](#)).





Figure 22 – Exemple de retenues soumise à de la végétation arborée :  
 (a) développement de mélèzes en parement amont ;  
 (b) résineux matures sur le pourtour d'une retenue ;  
 (c) souches en cours de décomposition à la limite crête - parement amont

## 2.3 Risques d'érosion interne liés à la présence d'animaux fouisseurs

Quelques débouchés de terriers de marmottes ont été identifiés en parement aval supérieur d'une retenue d'altitude française. La multiplication des galeries est susceptible, à long terme, de porter de forts préjudices à l'ouvrage par mécanisme d'érosion interne ou de stabilisation du remblai (Figure 23).



Figure 23 – Débouché d'un terrier de marmotte

## PARTIE 4 - RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES REMBLAIS ET LEUR DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANE

Cette partie détaille le retour d'expérience sur les remblais et leur Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane (DEG). Nous passerons en revue, dans un premier temps, les différents géosynthétiques mis en place sur site, puis les dommages qui ont pu être constatés sur ceux-ci.

### 1 Dispositifs d'étanchéité rencontrés

Les DEG se composent de trois couches distinctes : la structure support, la structure d'étanchéité et la structure de recouvrement (Figure 24 – selon [1], p.141). Si les deux premières couches sont indissociables, la mise en place de la dernière reste en revanche à l'appréciation du maître d'œuvre. Chacune a un rôle bien défini :

- la structure support peut associer une couche de forme et une couche support : la première correspond à une épaisseur de matériaux fins destinée à lisser les irrégularités du terrain naturel, tandis que la seconde comporte généralement un ou plusieurs géosynthétique(s) perméable(s) qui peuvent remplir les fonctions de séparation, de filtration, de drainage, de renforcement ou de protection de la géomembrane ;
- la structure d'étanchéité assure l'imperméabilité de la retenue. C'est une géomembrane qui joue ce rôle ;
- la structure de recouvrement, dite aussi de protection, réunit l'ensemble des couches géosynthétiques et granulaires placées au-dessus de la géomembrane pour la protéger des sollicitations extérieures.

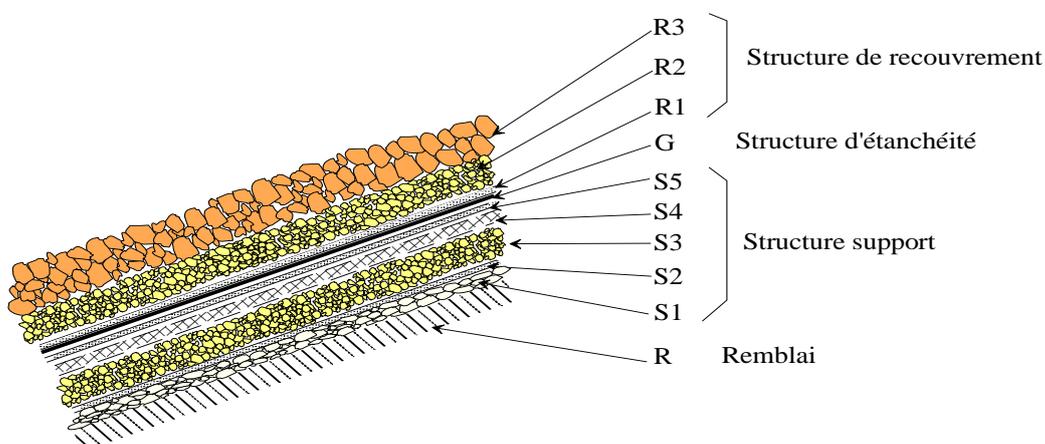


Figure 24 – Structure d'un DEG

Le retour d'expérience a été l'occasion d'étudier chacune de ces trois couches sur 22 ouvrages étanchés par géomembrane (11 en France et 11 en Italie). Nous analysons ici les données qui ont été relevées sur le terrain ainsi que dans les dossiers de ces ouvrages.

## 1.1 Structure support

En France, seuls quelques ouvrages indiquent l'existence d'une couche de forme : dans ce cas, les documents font état de la mise en place d'un matériau de type 0/31,5 mm, accompagné d'éperons ou de masques drainants placés au droit des venues d'eau. Le guide « Retenues d'altitude » évoquait pour sa part un Dmax de 20 mm ([1], p.141), éventuellement stabilisé au ciment ou au bitume en particulier sur talus si la pente est raide.

La couche support présente pour sa part différentes configurations : le plus souvent, la géomembrane repose sur un géocomposite drainant et de protection (ou anti-poinçonnant) de 1000 à 1200 g/m<sup>2</sup>, remplacé par l'association d'un géosynthétique de drainage et d'un géotextile de protection de 900 à 1200 g/m<sup>2</sup> dans certaines retenues. Plus rarement, les ouvrages sont équipés d'un géotextile de protection de 1200 g/m<sup>2</sup> sans géosynthétique dédié au drainage lorsque le terrain naturel sous-jacent est lui-même capable d'assurer cette fonction.

## 1.2 Structure d'étanchéité

L'enquête de terrain conduite avec les partenaires italiens et les gestionnaires d'ouvrage fait apparaître que les géomembranes en PVC sont la solution la plus souvent mise en œuvre dans les retenues valdotaines et piémontaises.

En France, la même tendance se dégage. Au cours de l'enquête réalisée dans le cadre du projet BARALTISUR, la répartition se faisait quasi-équitablement entre les géomembranes PEHD (28%), PVC (24%), PP (24%) et EPDM (19%). L'analyse des dommages selon les types de membrane révélait que la solution PEHD était aussi celle la moins bien adaptée aux retenues d'altitude en raison de sa rigidité.

L'enquête réalisée dans le cadre du projet RISBA révèle l'absence de PEHD et EPDM, au profit des géomembranes en PVC (PolyChlorure de Vinyle Plastifié) : ces dernières équipent 64% des retenues visités, dont 70% sont en PVC-P simple et 30% en PVC-P

armé (Figure 25). Le PP-F (PolyPropylène Flexible) a été rencontré sur un seul des barrages visités. Pour finir, une retenue fait figure d'exception avec sa double étanchéité réunissant VLDPE (Very Low Density PolyEthylene) en partie inférieure et PVC en partie supérieure. Il peut être noté que les épaisseurs des géomembranes sont variables : entre 1,5 mm et 2 mm pour le PVC-P armé, 2 mm pour le PVC-P simple ou encore 1,2 mm pour le VLDPE.

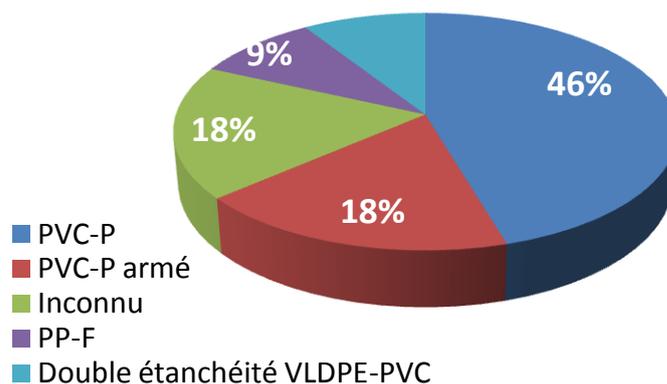


Figure 25 - Répartition des ouvrages français selon la nature de leur géomembrane

### 1.3 Structure de recouvrement

Quatre types de structure de recouvrement (ou structure de protection) ont été rencontrés : l'absence de recouvrement (exemple en Figure 26a), le recouvrement partiel sur risberme (exemple en Figure 26b), le recouvrement sur l'ensemble du parement amont, et le recouvrement total des parements et de la cuvette.

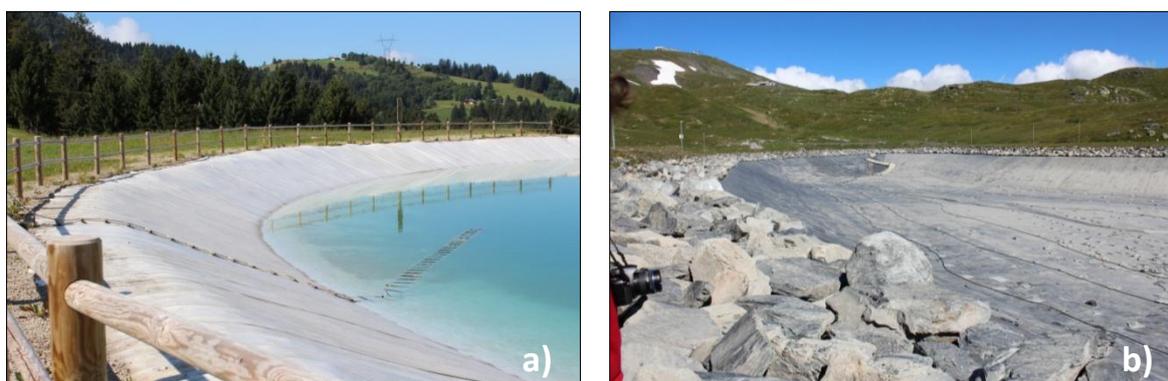


Figure 26 – Exemple a) d'absence de structure de protection  
b) de recouvrement en partie supérieure sur risberme

L'Italie et la France se distinguent cependant quant au choix du recouvrement de leurs retenues d'altitude.

La presque totalité des ouvrages italiens (10 sur 11) se trouve dans la configuration d'un recouvrement partiel en partie supérieure du parement amont, reposant sur une risberme large au minimum d'un mètre. Seule une retenue n'est pas recouverte et ne possède pas de risberme. En Région Vallée d'Aoste, le recouvrement est systématiquement fait d'enrochements de taille métrique qui reposent sur une chaussette de géotextile remplie de matériaux fins afin de ne pas blesser la géomembrane sous-jacente (Figure 27). Une retenue présente la particularité d'être revêtue de végétation rase au dessus de la cote RN afin d'en faciliter l'intégration paysagère. Une autre voit ses enrochements en limite de risberme être maintenus entre eux à l'aide d'un câble (Figure 28).



Figure 27 – Photos illustrant les "chaussettes" de géotextile mises en place sur les retenues Valdôtaines



Figure 28 – Enrochements métriques en bord de risberme reliés par câble

En Région Piémont, la mise en évidence de la nature de la couche de protection de la géomembrane vis-à-vis des blocs supérieurs s'est avérée plus difficile, puisque les visites se sont déroulées à retenue pleine. Seul un ouvrage montre la présence d'un géotextile, doublé localement. Pour ce qui est de la nature des matériaux sus-jacents, trois cas ont été rencontrés :

- couverture avec des blocs au maximum pluri-décimétriques (3 retenues sur 6) ;
- partie supérieure du parement végétalisée, relayée par des rochers décimétriques à pluri-décimétriques sur la risberme (2 retenues sur 6) ;
- partie supérieure du parement végétalisée, relayée par des gabions en partie médiane, puis par des pavés autobloquants sur la risberme (1 retenues sur 6).

En France, les configurations sont plus variées et évoluent là aussi vis-à-vis de la précédente enquête. Lors du projet BARALTISUR, 71% des retenues présentaient un recouvrement partiel, 19% aucune structure de recouvrement, et 10% un recouvrement total ([2], p.67). L'enquête réalisée dans le cadre du projet RISBA met en évidence une nette progression du recouvrement total (55%), suivi par le recouvrement partiel en partie supérieure sur risberme (27%). Les solutions de recouvrement sur l'ensemble du parement amont (9%) ou d'absence totale de protection (9%) ont été plus rarement rencontrées.

Le guide « Retenues d'altitude » préconisait le recouvrement total de la géomembrane pour les grands ouvrages et les petites retenues exposées à des effets de gel importants ([1], p.150). L'application d'une couverture totale pour les ouvrages situés à plus de 1800 m d'altitude (et donc potentiellement exposé à des conditions météorologiques sévères en saison hivernale) est presque toujours respectée : une retenue présente un recouvrement sur l'ensemble du parement amont à une altitude de 2500 m, et une seconde un recouvrement partiel sur risberme à 2200 m. À l'opposé, aucune corrélation entre la taille de l'ouvrage et la présence ou non d'une structure de recouvrement n'a pu être vérifiée : il semblerait que ce choix de conception dépende davantage de l'expérience du maître d'œuvre.

La structure entre la géomembrane et les matériaux de recouvrement est pratiquement toujours la même : elle est généralement constituée d'un géotextile de protection de 700 à 1200 g/m<sup>2</sup>, associé ou non à un système d'accroche des terres (ou géoconteneur alvéolaire). Les matériaux mis en œuvre sont très hétérogènes, de type 300/500mm pour les blocs les plus gros à 0/50mm pour les plus petits.

La Figure 29 donne la répartition de l'ensemble des 36 ouvrages selon leur structure de recouvrement :

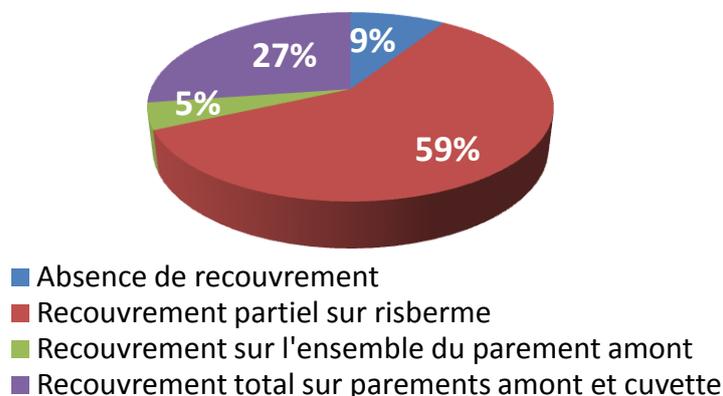


Figure 29 - Répartition des ouvrages selon leur structure de recouvrement

## 2 Raccordements de la géomembrane aux ouvrages annexes

Les raccordements les plus faciles à observer sont ceux à l'évacuateur de crues. En présence d'une structure de recouvrement totale, les raccordements en France ne sont peu ou pas visibles. Deux retenues témoignent néanmoins de difficultés quant à la mise en place de ces zones de transitions importantes pour l'étanchéité de l'ouvrage. Dans les deux cas, le raccordement est fait en limite couronnement-parement amont, sur le béton de l'évacuateur, et est assuré par une barre métallique fixée à intervalles réguliers. On note cependant des cas de déchirures (Figure 30a, cas d'un géotextile), ou d'autres où se pose la question de l'efficacité réelle du raccordement lorsque celui-ci se trouve immergé (Figure 30b).

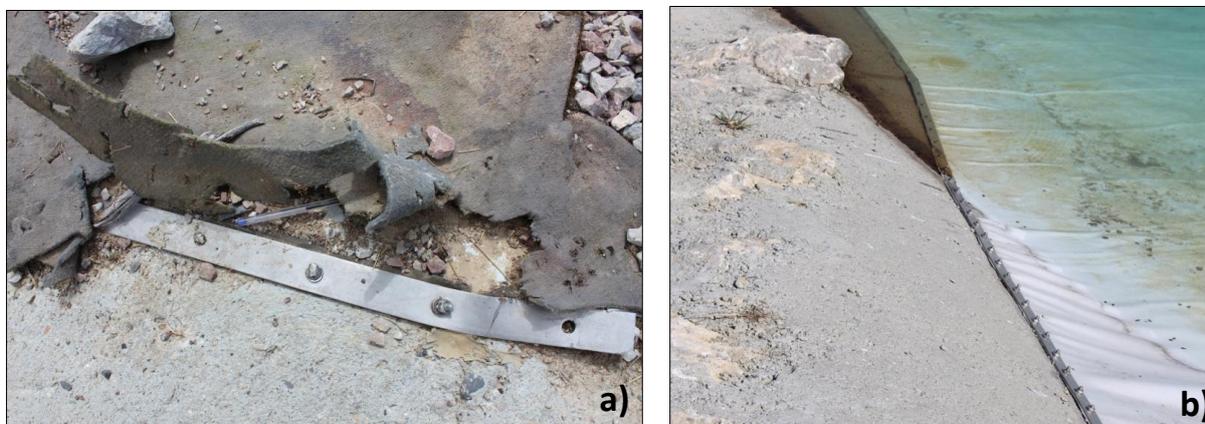


Figure 30 – Exemple de raccordement du DEG à des évacuateurs de crue en France

En Italie, à l'inverse des retenues en France, les évacuateurs de crues sont en partie ou totalement recouverts de géomembrane. Différentes manières de fixer cette dernière au béton ont été observées. Trois sont illustrées ci-dessous :

- **Figure 31a** : la géomembrane est maintenue en partie haute de la buse de l'évacuateur à l'aide de rondelles ovales fixées par des vis ; l'infiltration d'eau sous le géosynthétique n'est possible que si le niveau d'eau atteint cette limite ;
- **Figure 31b** : la géomembrane est maintenue en partie haute des bajoyers de l'évacuateur à l'aide d'une pâte qui assure également une fonction de joint ;
- **Figure 31c** : si l'on ignore si la géomembrane est fixée à l'évacuateur (et de quelle manière dans ce cas), le maintien d'un géotextile au-dessus est en revanche assurée par des pierres pluridécimétriques. Cette configuration peut toutefois être difficilement considérée comme une solution pérenne.



Figure 31 – Exemples de raccordement du DEG à des évacuateurs de crue en Italie

## 3 Désordres mis en évidence

Le rapport de retour d'expérience BARALTISUR évoquait deux principaux facteurs d'endommagement de la géomembrane : la glace et l'agressivité du support sous la structure d'étanchéité. Nous verrons que le recensement des endommagements du DEG dans le cadre des visites du projet RISBA ne déroge pas à cette règle. On peut toutefois noter que si l'un ou l'autre de ces deux éléments peuvent être à l'origine de dégradations, ils restent le plus souvent associés dans les endommagements observés : nous essayerons néanmoins de traiter les désordres dus aux facteurs environnementaux indépendamment de ceux dus à des défauts de conception.

### 3.1 En raison de facteurs environnementaux

#### DÉCHIRURES DE LA GÉOMEMBRANE

Ce phénomène est souvent associé à la formation de glace dans les ouvrages pourvus d'une structure de recouvrement partielle, reposant sur une risberme : lorsque le niveau de la retenue s'abaisse, la glace tend à glisser sur les parements ou à se décrocher brutalement du rip-rap sur lequel elle s'était fixée. Cela peut également s'accompagner d'une déstructuration du confinement, dont les blocs, pris dans la glace, peuvent chuter dans la retenue. S'ensuivent des déchirures de grande ampleur, métriques pour les plus importantes (Figure 32). Les anciens désordres de ce type sont également décelables lorsque la remise en état de l'étanchéité de l'ouvrage a nécessité des réparations de grande taille. Trois des retenues visitées ont été identifiées comme présentant ou ayant pu présenter par le passé ce type d'endommagement.





Figure 32 – Exemples de déchirures récentes et anciennes

#### ARRACHEMENTS DU DEG

Les retenues Valdotaines présentent la particularité de posséder une ou plusieurs rampe(s) d'accès au fond de la retenue afin d'en faciliter l'accès pour le nettoyage ou la réhabilitation de la géomembrane. Trois types de rampe ont été rencontrés :

- des dalles de béton reposant sur un coussin de géotextile rempli de matériaux fins, et maintenues entre elles par des câbles ancrés en crête (Figure 33a) ;
- des dalles de béton reposant sur des tapis de PVC recyclé et maintenues entre elles par des câbles ancrés en crête (Figure 33b) ;
- des enrochements maintenus dans une matrice de béton (Figure 33c).



Figure 33 – Exemples de structures de protection de la géomembrane vis-à-vis des rampes d'accès

Deux ouvrages, équipés respectivement du premier et du second type de rampe, présentent des désordres. Ceux-ci se trouvent confrontés à la formation d'une épaisse couche de glace en hiver, provoquant un surpoids sur la rampe et une fragilisation des câbles, conduisant ensuite au glissement de la structure en fond de retenue. En découle la mise en tension de la géomembrane lorsque les câbles résistent (Figure 34), ou l'endommagement de l'ensemble du DEG s'ils cèdent (Figure 35). La récurrence de ce problème a conduit à la suppression de la rampe d'une retenue.

La dernière configuration semble quant à elle exempte de désordres : le site d'implantation de l'ouvrage reste toutefois moins sujet aux congères ; il serait donc nécessaire de tester cette conception dans d'autres conditions pour conclure à sa résistance.



Figure 34 – Mise en tension de la géomembrane et dégradation de la rampe d'accès suite au glissement de cette dernière en fond de retenue





Figure 35 – Rupture des câbles et de la rampe :  
endommagement de l'ensemble de la rampe et du DEG sous-jacent

#### GLISSEMENT DU PAREMENT AMONT DU REMBLAI

Les ouvrages dont les pentes des parements sont trop raides sont prédisposés à ce type de sinistre (voir section « [3.2 Désordres mis en évidence en raison de défauts de conception](#) », page 46). Toutefois, le surpoids provoqué par la formation de glace en hiver peut constituer l'élément déclencheur, donnant lieu à une traction de la géomembrane telle que l'on assiste à la rupture de la clé d'ancrage en crête.

Plusieurs indices caractéristiques ont pu être notés sur une retenue : géomembrane lâche ([Figure 36a](#)) ; fissure longitudinale sur le couronnement (rupture de la clé d'ancrage - [Figure 36b](#)) ; surplomb de la risberme en raison de la migration des matériaux sous-jacent en fond de retenue ; bourrelet en pied de parement suite à l'arrivée des matériaux amont. Des travaux de réhabilitation de la clé d'ancrage et de réduction de la pente du parement amont étaient à l'étude lors de la visite.



Figure 36 – Glissement du parement amont (a) avec rupture de la clé d'ancrage (b)

Une seconde retenue semble être sujette au même phénomène, mais de manière superficielle : l'irrégularité de la rupture de pente entre la risberme et le parement amont situé au-dessous suggère en effet des déplacements de matériaux en fond de retenue (Figure 37).



Figure 37 – Irrégularité de la structure support sous la géomembrane laissant supposer des instabilités superficielles locales

## 3.2 En raison de défauts de conception

### POINÇONNEMENT ET PERFORATION

Les problématiques de poinçonnement et de perforation de la structure d'étanchéité figurent parmi les plus récurrents (au moins 6 des 11 retenues italiennes). Une retenue piémontaise présentait 130 trous réparés en 2008 et de 180 trous réparés en 2010. Ces phénomènes, bien que pouvant être aggravés par des conditions météorologiques extrêmes en hiver, sont attribués à la présence d'un support agressif sous la géomembrane. Dans la plupart des cas vus sur site, l'absence d'une couche de régilage faite de matériaux de granulométrie adaptée. Dans d'autres cas, la stabilité de la couche support est précaire : elle évolue en fond de retenue en raison de la pente prononcée du parement amont.

La détection de ces désordres est facilitée en cas de géomembrane nue ou partiellement protégée. Ainsi, des blocs de roches saillants, parfois de plusieurs décimètres, peuvent être mis à jour (Figure 38). Le recouvrement total, souvent privilégié sur les ouvrages en France, n'a pas permis d'observer ce type de dommages.



Figure 38 – Poinçonnement (pointé par une flèche) et perforation de la géomembrane par un bloc anguleux de taille importante

### STABILITÉ DU PAREMENT

La rupture de la clé d'ancrage en raison de la présence de glace a déjà été abordée en section « 3.1 Désordres mis en évidence en raison de facteurs environnementaux », page 41. Toutefois, les conditions météorologiques aggravent dans la plupart des cas une configuration de l'ouvrage qui le prédisposait à subir ce type de désordre : c'est le cas des pentes de parement amont abrupts. La mise en place d'une structure de recouvrement partielle sur risberme est également susceptible d'encourager ce phénomène en créant une surcharge en tête de glissement (Figure 39).



Figure 39 – Mise à nu du béton de la tranchée d’ancrage

#### CIRCULATION D’EAU

Dans le cas d’un recouvrement total de la géomembrane, la présence de traces d’infiltration non interceptée par le réseau de drainage peut révéler une défaillance de l’étanchéité, un défaut dans le raccordement du DEG aux ouvrages annexes ou une anomalie lors de la réalisation de ces derniers.

Les ouvrages parcourus n’ont que très rarement révélés ce type de désordre et nous n’avons pas observé de fuites directes sur le remblai aval. Seul le cas présenté ci-dessous est à recenser : bien que les jours précédents la visite aient été pluvieux, les dépôts de calcite accompagnant les fissures transversales qui parcourent la surface bétonnée de l’évacuateur de crues attestent de circulations régulières (Figure 40).



Figure 40 – Traces de circulation d’eau sur un évacuateur de crue

## CHOIX DES MATÉRIAUX DE RECOUVREMENT

Le cas d'un ouvrage au recouvrement essentiellement constitué de fines (matériaux pour partie argileux) a pu être rapporté. En plus des conséquences sur la qualité de l'eau que cela engendre (eau trouble si batillage ou bullage - [Figure 41](#)), le colmatage des géosynthétiques assurant la fonction de drainage ou des drains eux-mêmes n'est pas à exclure.



Figure 41 – Eau trouble en raison de la forte proportion de fines

## SITUATIONS POTENTIELLEMENT AGRESSIVE POUR LA GÉOMEMBRANE

Certaines configurations ont été jugées potentiellement agressives pour la géomembrane, bien qu'aucun dommage n'ait été noté. Nous dressons ici une liste non exhaustive de détails à surveiller pouvant conduire à un endommagement de l'étanchéité de la retenue :

- l'utilisation de gabions pour la structure de recouvrement nécessite une bonne qualité des cages métalliques ([Figure 42a](#)) : lorsque le tressage des fils de fer est défaillant, il existe un risque de griffure des géosynthétiques sous-jacents ;
- un mauvais lestage du géotextile protégeant la géomembrane vis-à-vis des matériaux du confinement peut amener à la chute de matériaux potentiellement blessants dans la retenue ([Figure 42b](#)) ;
- l'utilisation de pavés autobloquants pour la structure de recouvrement nécessite une couche support adaptée : en association avec un géotextile en mauvais état, la blessure de la géomembrane sur la risberme est probable. De même, un risque de poinçonnements ou de déchirures existe en cas de basculement en fond de retenue ([Figure 42c](#)) ;

- la qualité des sacs de lestage est à contrôler afin d'éviter qu'ils ne s'éventrent : selon la nature, la granulométrie et l'angularité des matériaux qu'ils contiennent, la blessure de la géomembrane est possible (Figure 42d) ;
- etc.



Figure 42 – Illustrations de situations à risque

Les ouvrages associés comprennent l'ensemble des installations participant au bon fonctionnement et à la sécurité de l'ouvrage : évacuateur de crues, dispositif de vidange, bullage, dispositifs pour la sécurité aux abords de la retenue, etc.

### 1 Évacuateurs de crue

En France, l'ensemble des retenues d'altitude possèdent un évacuateur de crues (EVC) à seuil libre. Différentes configurations sont à recenser :

- 8 des 11 EVC sont en béton lisse, relayés à l'aval par du béton cyclopéen ; on note que 5 d'entre eux sont barrés d'une barrière, d'un cordage ou d'un filet (exemple en [Figure 43a](#)) ;
- 1 EVC est de structure identique à celle précitée, mais présente un seuil de quelques centimètres sur sa partie en béton lisse ([Figure 43b](#)) ;
- 1 EVC n'est fait que de béton cyclopéen ;
- 1 EVC est recouvert d'enrochements décimétriques non cimentés, et surmonté d'une passerelle piétonne.

Les configurations des EVC des retenues collinaires sont diverses : à clapet, à entonnement latéral, ou par système de trop plein. Un ouvrage ne possède pas d'évacuateur de crues : son alimentation en eau, issue d'un trop plein d'eau potable plus en amont dans le versant, est déviée en cas de pluies intenses.

En Italie, les 4 retenues valdotaines sont équipées de systèmes de trop plein ([Figure 43c](#)) où les eaux sont ensuite évacuées par buse : ces dernières sont enterrées et débouchent le plus souvent dans le talweg le plus proche. En région Piémont, 2 ouvrages sont pourvus du même système, 2 autres sont à surface libre, et les 3 derniers possèdent des buses ou dalots pour EVC ([Figure 43d](#)).

Les retenues collinaires ont pour la plupart des évacuateurs à surface libre. Deux cas particuliers sont à recenser : un évacuateur à seuil avec dissipateur en saut de ski et un

évacuateur avec batardeau, ce dernier nécessitant d'être relevé pour que l'EVC remplisse ses fonctions.



Figure 43 – Illustration de quelques évacuateurs de crue observés sur le terrain

## 2 Système de bullage

Le bullage permet aux exploitants des retenues d'altitude de refroidir et d'homogénéiser la température de l'eau, tout en évitant la prise de la glace par l'effet du brassage : 17 des 22 ouvrages en sont équipées (10 en Italie et 7 en France). Le bullage est le plus souvent assuré par des serpentins concentriques disposés en fond de retenue, sur le pourtour du parement amont ou sur la risberme ; plus rarement, il est organisé en forme d'étoile (2 ouvrages recensés). Ces « anneaux » sont maintenus à l'aide de sacs de lestage, qui, lorsqu'ils sont défailants, conduisent à la remontée des tuyaux en surface (Figure 44). Leur alimentation peut se faire par eau ou par air comprimé.



Figure 44 – Remontée d'un système de bullage « en étoile »

## 3 Sécurité immédiate aux abords des ouvrages

Plusieurs dispositifs de sécurité peuvent être mis en place aux abords des ouvrages. Parmi ceux-ci, sont recensés (Figure 45) :

- les clôtures périphériques pour 34 des 36 retenues (20 italiennes et 14 françaises) ;
- les panneaux de signalisation pour 26 retenues (17 en Italie et 9 en France) ;
- les échelles pour 4 retenues (2 en Italie et 2 en France) ;
- les bouées pour 7 retenues (1 en Italie et 6 en France).

Les échelles sont spécifiques aux retenues d'altitude du fait du manque d'adhérence d'une géomembrane humide. Elles ne sont cependant pas systématiques, notamment en présence d'une structure de recouvrement. Attention aux cas de recouvrement

partiel sur risberme : une fois la cote en dessous de cette dernière dépassée, les difficultés pour sortir de la retenue sont réelles.

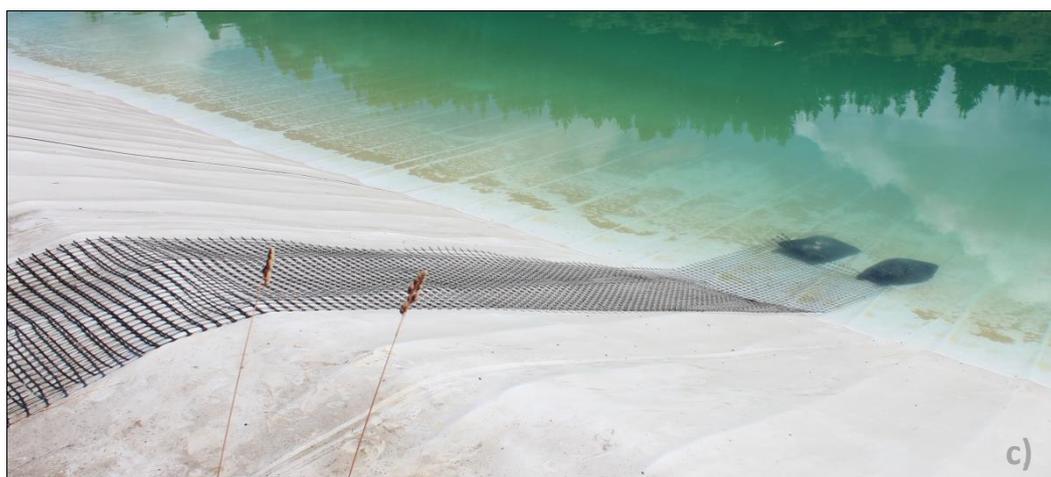




Figure 45 – a) Bouée et clôture périphérique  
b) Panneau de signalisation et clôture périphérique  
c) Échelle à batracien  
d) Échelle à corde

## PARTIE 6 - AUSCULTATION DES OUVRAGES

Cette partie traite de l'auscultation des ouvrages en comparant les demandes à la conception aux mises en place à l'exécution. En France, seules les retenues d'altitude sont commentées dans le paragraphe dédié aux préconisations à la conception, en raison de la disponibilité des dossiers de ces ouvrages seulement ; de même en Italie, seuls les ouvrages valdotains sont abordés. Le paragraphe dédié aux mises en place à l'exécution traite en revanche de l'ensemble des 36 ouvrages.

Pour le cas spécifique des retenues d'altitude françaises, une mise en relief des dispositifs d'auscultation mis en place avec les recommandations faites dans le guide « Retenues d'altitude » [1] paru en 2009 est proposé.

### 1 Conception des dispositifs d'auscultation

#### 1.1 Recommandations du guide « Retenues d'altitude »

Le guide de recommandations « Retenues d'altitude » propose des équipements minimaux en fonction de la classe géométrique de l'ouvrage ([1], p.220). Ces derniers doivent être adaptés et/ou complétés en cas d'identification de difficultés spécifiques (Tableau 9). Puisqu'aucune des retenues visitées ne relève de la catégorie A, cette classe d'ouvrage n'est pas détaillée.

Classe de l'ouvrage	Dispositifs d'auscultation standards proposés
D	<ul style="list-style-type: none"><li>• Échelle limnimétrique ou sonde de pression</li><li>• Collecte et mesure manuelle du débit total</li></ul>
B et C sans enjeux	<ul style="list-style-type: none"><li>• Échelle limnimétrique ou sonde de pression</li><li>• Dispositif de mesure des débits de drainage du corps du barrage indépendant</li><li>• Compartimentage des débits de drainage dans le remblai et la cuvette</li></ul>
B et C avec enjeux	<ul style="list-style-type: none"><li>• Idem B et C sans enjeux</li><li>• Échelle limnimétrique ET sonde de pression avec télétransmission</li><li>• Mesures des débits télétransmises</li><li>• Mesures topographiques les cinq premières années d'exploitation</li><li>• Piézomètres ou cellules de pression en fondation et dans le remblai pour les retenues semi-perméables</li></ul>

Tableau 9 – Dispositifs d'auscultation standards proposés par classe d'ouvrage

Nous verrons que l'analyse des études de conception françaises met en évidence des recommandations en accord avec le tableau précité. Une nette amélioration peut donc être soulignée en comparaison au retour d'expérience de 2007.

## 1.2 Dispositifs d'auscultation et fréquence des mesures

De manière générale, les dispositifs d'auscultation mentionnés dans les dossiers des ouvrages ont vocation à permettre tout ou partie des mesures suivantes :

- la cote du plan d'eau ;
- le débit des drains ;
- le niveau piézométrique dans le remblai ;
- le suivi topographique des mouvements du remblai ;
- le suivi inclinométrique pour la détection de mouvements superficiels ou profonds du versant.

### COTE DU PLAN D'EAU

En Région Vallée d'Aoste, toutes les études de conception demandent la mise en place d'un moyen de mesure du niveau d'eau. L'utilisation d'un capteur de pression est précisée dans l'une d'entre elles.

En France, 70% des dossiers recommandent explicitement la mise en place de système de mesure du niveau d'eau, qu'il soit fait au moyen d'une échelle limnimétrique, d'un capteur de pression, ou des deux. La solution associant échelle limnimétrique et capteur de pression ne semble toutefois pas systématique, bien que nous soyons majoritairement en présence d'ouvrages de classe C ou B avec enjeux. Les 30% restant concernent des dossiers d'ouvrages où l'information n'est pas explicitement citée, ou dont la consultation n'a pas été possible.

### DÉBIT DE DRAINAGE

En Région Vallée d'Aoste, la présence d'un dispositif de suivi des débits de drainage sous la géomembrane est également préconisée pour l'ensemble des ouvrages. Toutefois, aucune disposition particulière ne semble être prise quant au compartimentage du drainage en plusieurs zones indépendantes. La fréquence des relevés conseillée peut être soit quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle.

En France, tous les dossiers parcourus préconisent la mise en place de dispositifs de mesure individuels des débits de fuite. Ces derniers concernent (i) le drainage sous la géomembrane avec une compartimentation de l'ouvrage de 2 à 11 zones distinctes, (ii) le drainage du remblai, (iii) le drainage des masques drainants, (iv) le drainage des venues d'eaux souterraines et sources. La fréquence des mesures, précisée pour 60% des retenues, peut être mensuelle, bimensuelle ou hebdomadaire selon les cas : si ce choix n'apparaît là aussi pas lié à la classe des ouvrages, il l'est plus probablement aux études géotechniques et géologiques. On recense également un ouvrage pour lequel cinq cellules de pression interstitielles sont demandées.

#### NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE

En Région Vallée d'Aoste, 3 des 4 dossiers recommandent l'installation de piézomètres, dont les effectifs sont croissants avec la taille de l'ouvrage. L'application d'une veille quotidienne est demandée pour un ouvrage.

En France, 70% des dossiers mentionnent la mise en place de piézomètres, qui peuvent être placés dans le remblai (en crête ou sur le parement aval), en pied de parement aval, ou plus rarement dans le déblai. L'automatisation des mesures est évoquée dans l'un des dossiers. Le nombre de dispositifs préconisé (de 2 à 12) est ici corrélé de manière évidente avec la taille de l'ouvrage. Le relevé des mesures est le plus souvent conseillé à fréquence mensuelle, et parfois à fréquence bimensuelle (précisée pour 45% des retenues).

#### SUIVI TOPOGRAPHIQUE

En Région Vallée d'Aoste, 3 des 4 dossiers mentionnent l'implantation de 3 à 8 bornes topographiques : celles-ci devront être relevées à fréquence semestrielle.

En France, 100% des dossiers consultés demandent l'installation de bornes de mesures topographiques (de 3 à 40) ; leur localisation sur la retenue n'est pas toujours précisée. Là aussi le nombre de points de mesure est corrélé à la taille des ouvrages. Les recommandations en termes de fréquence de mesure suivent le même calendrier pour la plupart des ouvrages (données disponibles dans 70% des dossiers) : (i) trois relevés au cours du 1er remplissage - à vide, à moitié puis à retenue pleine -, (ii) une campagne annuelle de mesures pendant les trois ou cinq premières années de vie de l'ouvrage, (iii) puis une périodicité triennale. Dans certains cas une fréquence

semestrielle, trimestrielle ou biannuelle peut être demandée (supposément pour les premières années de vie de l'ouvrage).

#### SUIVI INCLINOMÉTRIQUE

Le suivi inclinométrique est cité pour la totalité des retenues valdotaines : les dossiers comptent 1 à 3 dispositif(s) par ouvrage, sans précision quant à la périodicité des mesures. À l'inverse, aucune des études françaises ne recommande l'installation d'inclinomètre(s).

## 2 Réalisation des dispositifs d'auscultation

Nous verrons que les ouvrages sont à l'image des consignes de conception : la nature et les effectifs des outils d'auscultation sont généralement respectés. La fréquence des mesures est en revanche, dans la pratique, difficile à satisfaire.

### 2.1 Dispositifs d'auscultation

#### COTE DU PLAN D'EAU

25 des 36 retenues (13 en Italie et 12 en France) disposent d'un système de mesure de la cote du plan d'eau au moyen d'une échelle limnimétrique, d'une sonde de pression, ou des deux. La présence d'un manomètre en complément a parfois été notée.

#### DÉBIT DE DRAINAGE

Un ou plusieurs dispositifs de suivi des débits de drainage équipent 21 des 36 retenues de manière certaine. On note toutefois des différences entre la France et l'Italie sur ce point.

En Italie, 6 ouvrages sont dépourvus de dispositif de suivi des débits de fuite. À l'inverse, 4 retenues minimum ont un dispositif de drainage compartimenté. Pour les autres ouvrages, l'ensemble des eaux est collecté dans une seule et même conduite. Si cette conception peut rendre difficile le diagnostic de la (des) zone(s) où l'étanchéité est endommagée en cas de retenue confinée, il est important de noter que l'ensemble des ouvrages piémontais et valdotains ne sont recouverts qu'en partie supérieure (voir

section « 1.3 Structure de recouvrement », page 36). La recherche des fuites peut néanmoins s'avérer complexe lorsque la superficie à vérifier est importante.

Outre l'absence de zones du drainage, des difficultés d'accès rendant parfois compliquée la mesure des débits ont également été notées : si les ouvrages récents voient leur(s) exutoire(s) être installé(s) dans un local technique au proche de l'ouvrage, pour les plus anciens en revanche, l'embouchure peut se situer dans un regard enterré, étroit, immergé et inaccessible l'hiver en présence d'une importante couverture neigeuse (Figure 46).



Figure 46 – Difficulté d'accès au débit de drainage sur une retenue

En France, les 5 retenues dédiées à l'irrigation sont pour la majorité équipées d'une seule conduite de collecte des eaux (tapis drainant ou drain cheminée le plus souvent) ; située dans un regard enterré, l'accès y est également difficile dans la plupart des cas.

La mise en place d'un géosynthétique drainant est courante dans les retenues d'altitude : elle concerne au moins 8 ouvrages sur les 11 visités. Toutes, à l'exception d'une, possèdent à minima deux zones de drainage distinctes correspondant dans chaque cas au nombre préconisé à la conception (Figure 47) : elles peuvent être organisées en secteurs (cuvette, remblai nord, déblai ouest etc.) ou disposées selon la cote du plan d'eau.

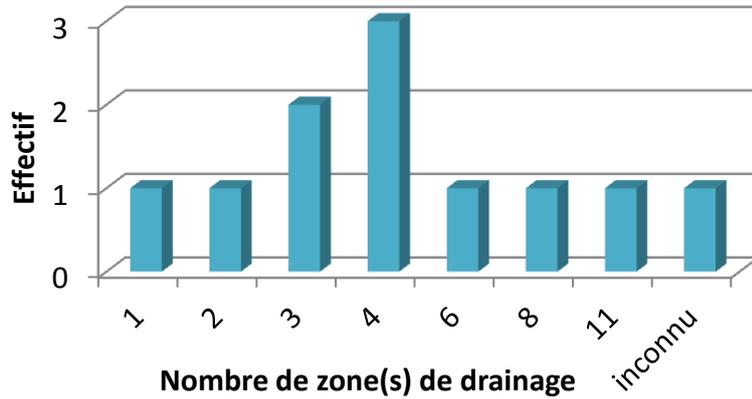


Figure 47 - Répartition des ouvrages français selon le nombre de zone(s) de drainage

Au contraire de l'Italie, ce choix de conception paraît indispensable au vu de la plus large proportion de retenues totalement recouvertes. L'ensemble des exutoires sont implantés dans les locaux techniques proches de la retenue (usine à neige), faciles d'accès été comme hiver (Figure 48).

Les mesures de débit se font soit par empotement, soit à l'aide d'une plaque déversante en V (Figure 48) ; elles sont parfois accompagnées d'une poire de niveau qui, lors de l'atteinte d'un seuil prédéfini, déclenche une alerte automatique transmise sur GSM.

En Italie comme en France, la présence du ou des exutoires du drainage sous le remblai n'a pas pu être vérifiée au cours de toutes les visites car fréquemment peu accessibles.



Figure 48 – 4 zones de drainage d'une retenue, accessibles depuis le local technique en aval de la retenue et dont les débits sont mesurés à l'aide d'une plaque déversante en V

Par ailleurs 15 retenues (5 en Italie et 10 en France) sont équipées de fossés périphériques de drainage, pour évacuer les eaux de versant : il s'agit dans la majorité des cas de canaux plus ou moins bien entretenus, ou de tranchées remplies de matériaux grossiers. Certains de ces dispositifs peuvent être complétés de masques ou d'éperons drainants dans les zones en déblai.

Enfin, la mise en place des 5 cellules de pressions interstitielles abordées dans le paragraphe « **DÉBIT DE DRAINAGE** » de la section « [1.2 Dispositifs d'auscultation et fréquence des mesures](#) », pages 56 et 57, est effective.

#### NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE

23 des 36 retenues sont équipées de piézomètres (12 en Italie et 11 en France) : ceux-ci se trouvent dans le remblai, dans le déblai ou en pied de parement aval. On note l'automatisation des mesures sur les ouvrages les plus récents. Lorsque les relevés sont manuels en revanche, certains piézomètres se révèlent bouchés ou rarement mesurés après plusieurs années d'exploitation.

#### SUIVI TOPOGRAPHIQUE

20 retenues possèdent des bornes de mesures topographiques (11 en Italie et 9 en France). En France, un ouvrage ne présente aucun dispositif de ce type bien que cela ait été mentionné dans son dossier loi sur l'eau. Les bornes se situent généralement en crête, sur les parements aval ou sur l'évacuateur de crues ; les points de référence fixe se retrouvent aux abords de l'ouvrage, sur le terrain naturel ou fixés dans le substratum mis à nu lors des travaux de déblaiement.

#### SUIVI INCLINOMÉTRIQUE

La mise en place d'inclinomètres a pu être constatée sur 8 retenues italiennes ; les ouvrages comptent 1 à 3 dispositif(s). En France, aucune n'en est équipée.

## 2.2 Fréquence des mesures

Dans les faits, si le nombre de dispositifs recommandés dans les dossiers des ouvrages est respecté, les fréquences de mesures ont rarement pu être vérifiées. Une baisse de vigilance et de vérification in situ semble être induite par l'acquisition

automatique de la cote du plan d'eau, des débits de drainage et de la piézométrie. Dans de rares cas, certains gestionnaires se sont à l'inverse révélés très sensibles au risque que peut représenter leur ouvrage et en surveillent par conséquent le comportement de manière assidue. L'auscultation reste dans tous les cas perturbée en hiver (piézométrie notamment) lorsque la couverture neigeuse est trop importante.

## CONCLUSION

---

Sur le cas spécifique des DEG, les configurations rencontrées sur le territoire italien sont sensiblement identiques ; celles-ci donnent lieu à des dommages variés se révélant parfois préjudiciables pour la sécurité des ouvrages. En France, la diversité des DEG est plus importante : la prise en compte, dès la conception de l'ouvrage, des difficultés liées au site d'implantation de la retenue (telles que la géologie de la fondation ou les facteurs environnementaux) aboutie à des solutions adaptées permettant de recenser des dommages de moindre ampleur.

De manière plus générale, si nos analyses font état de divers types de désordres, les retenues visitées restent dans l'ensemble bien entretenues. On constate par ailleurs que les actions de sensibilisation des services de l'État portent leurs fruits : les propriétaires montrent une sensibilité accrue aux dangers que leur ouvrage peut représenter. Cette enquête de retour d'expérience encourage ainsi à poursuivre les études de réduction des risques liés aux retenues d'altitude et collinaires.

Pour conclure, nous synthétisons dans le tableau ci-après le nombre et le type de retenues ayant alimenté les différentes actions du projet RISBA.

Action du projet	Nombre de retenues...			
	...collinaires italiennes	...collinaires françaises	...d'altitude italiennes	...d'altitude françaises
<b>Action 2.2</b> - Évaluation des risques liés à l'environnement autour de l'ouvrage (Région Piémont)	9		7	
<b>Action 2.3</b> - Évaluation de la vulnérabilité des ouvrages vis-à-vis de l'aléa sismique (IRSTEA et Région Piémont)			7	1
<b>Action 2.4a</b> - Durabilité des ouvrages étanchés par géomembrane (IRSTEA)			11	11
<b>Action 2.4b</b> - Système de surveillance (Région Vallée d'Aoste)			4	
<b>Action 2.5</b> - Évaluation de la vulnérabilité des ouvrages vis-à-vis des aléas torrentiels (IRSTEA)				
<b>Action 2.6</b> - Évaluation de la vulnérabilité des ouvrages soumis à la présence d'une végétation arborescente vis-à-vis du mécanisme d'érosion interne (IRSTEA)	3	4		
<b>Action 3.1</b> - Évaluation de l'onde de rupture en aval de l'ouvrage (Région Piémont)	5		2	
<b>Action 3.2</b> - Étude de l'onde de rupture d'un ouvrage incluant le transport solide et la potentialité de formation de laves torrentielles (IRSTEA)				
<b>Action 3.3</b> - Vulnérabilité des enjeux en aval de l'ouvrage (Région Piémont)	9		7	
<b>Action 3.4</b> - Évaluation des risques de dam-break en aval de l'ouvrage (Région Piémont)	9		8	

## RÉFÉRENCES

---

- [1] PEYRAS L., MERIAUX P. *Retenues d'altitude*.  
Guide de recommandations, ed. Quae, 2009, 352 p.
- [2] BARD A., BETH T., PEYRAS L. & GIRARD H. *Retour d'expérience sur la conception, la réalisation et le suivi des ouvrages - Éléments de diagnostic du parc d'ouvrages*.  
Document de travail interne, septembre 2007.
- [3] CIGB - *Small dams : design, surveillance ans rehabilitation*  
Guide de recommandations  
<http://www.cbdb.org.br/bulletins/icold-small-dams-sept-2011.pdf>
- [4] CFBR. *Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi*.  
Guide de recommandations, Cemagref Editions, 1997, 173p.