

ÉTANCHÉITÉ D'UN LAGUNAGE AÉRÉ : VIEILLISSEMENT PRÉMATURÉ D'UNE GÉOMEMBRANE PVC SOUS CLIMAT DE MONTAGNE

SEALING OF A VENTILATED LAGUNAGE: PREMATURE AGEING OF A GEOMEMBRANE PVC UNDER CLIMATE OF MOUNTAIN

Denis SAVOYE¹, Daniel FAYOUX², Laurent SAUGER³

¹ G2C Environnement, Vennelles, France

² Appligeo, Les Ormes, France

³ CETE de Lyon, Lyon, France

RÉSUMÉ – Une installation d'épuration des eaux usées par lagunage aéré est implantée sur le plateau Ardéchois à 1100 mètres d'altitude sous climat de montagne. L'installation comprend trois bassins étanchés par une géomembrane PVC. Les travaux sont réalisés en 1995 et l'installation réceptionnée en février 1996. Dès la fin 2002, des désordres sont signalés par la collectivité exploitante. Très rapidement, ces désordres s'amplifient jusqu'à la mise hors service définitive de l'installation à la fin de l'année 2004. Nous présentons ici le constat réalisé, en tentant d'analyser les phénomènes en cause sur la base notamment du diagnostic matériau entrepris en 2005 sous la responsabilité du CETE de Lyon. Au delà du constat, nous émettons des recommandations pour l'élaboration de projets similaires.

Mots clés : géomembrane PVC, vieillissement, climat de montagne, lagunage

ABSTRACT – The paper presents a purifying plant of waste water by lagunage ventilated, established on the Ardèche plateau at an altitude of 1100 meters in mountain climate. The installation includes three basins waterproofed by a PVC géomembrane. Works were carried out in 1995 and the installation was opened in February 1996. At the end of 2002, disorders are announced by the operating community. Very quickly, these disorders develop until the final outage of the installation at the end of 2004. This paper reports the observations made and analyzes the phenomena which might have caused the problems, on the basis of the material diagnosis undertaken in 2005 by CETE of Lyon. Beyond this analysis, we put forth recommendations for the development of similar projects.

Keywords: géomembrane PVC, ageing, climate of mountain, lagunage

1 Le contexte

Courcouron est une commune ardéchoise située à environ 1100 mètres d'altitude sur le plateau Ardéchois à environ 40 kilomètres au nord-est d'Aubenas et 30 kilomètres à l'ouest de Langogne. C'est une commune rurale comptant environ 1200 habitants. Les activités sont essentiellement touristiques et agricoles (élevages bovins, ovins et caprins).

Le plateau Ardéchois peut être considéré comme une région de moyenne montagne, au climat continental, avec un été doux mais avec des hivers *très rigoureux*. Le relief est peu accentué (vallonné). C'est une région *très exposée aux vents et aux intempéries*, surtout en fin d'automne ou au début du printemps. Les conditions hivernales rendent toute réalisation de travaux complexe entre novembre et avril.

Le chef-lieu compte deux installations d'épuration des eaux usées, dont la plus importante traite les effluents des deux tiers du chef-lieu ainsi que ceux de deux industries agro-alimentaires à savoir une laiterie et une fromagerie.

C'est un *lagunage aéré* dimensionné pour traiter une pollution équivalente à 2000 habitants.

Il comprend un bâtiment dans lequel sont disposés les prétraitements ainsi que les installations électriques et trois bassins successifs dont le premier est aéré, comme le montre la figure 1.

Le premier bassin, aéré (1), présente une surface de 3600 m² et les deux autres bassins de finition (2 et 3), chacun une surface de 750 m². Les ouvrages sont implantés sur un terrain présentant une déclivité moyenne nord-sud (inférieure à 15%).

Les talus des bassins présentent des pentes de 1H/1V. Une particularité réside dans le fait que la digue sud séparant le bassin aéré des deux autres bassins de finition a une largeur en crête relativement faible : environ 1.80 m.

Le projet prévoyait une étanchéité de tous les bassins par un DEG composé d'une géomembrane PVC de 1,2 mm d'épaisseur avec interposition d'un géotextile de protection vis à vis du sol support. La géomembrane installée faisait seulement 1 mm d'épaisseur.

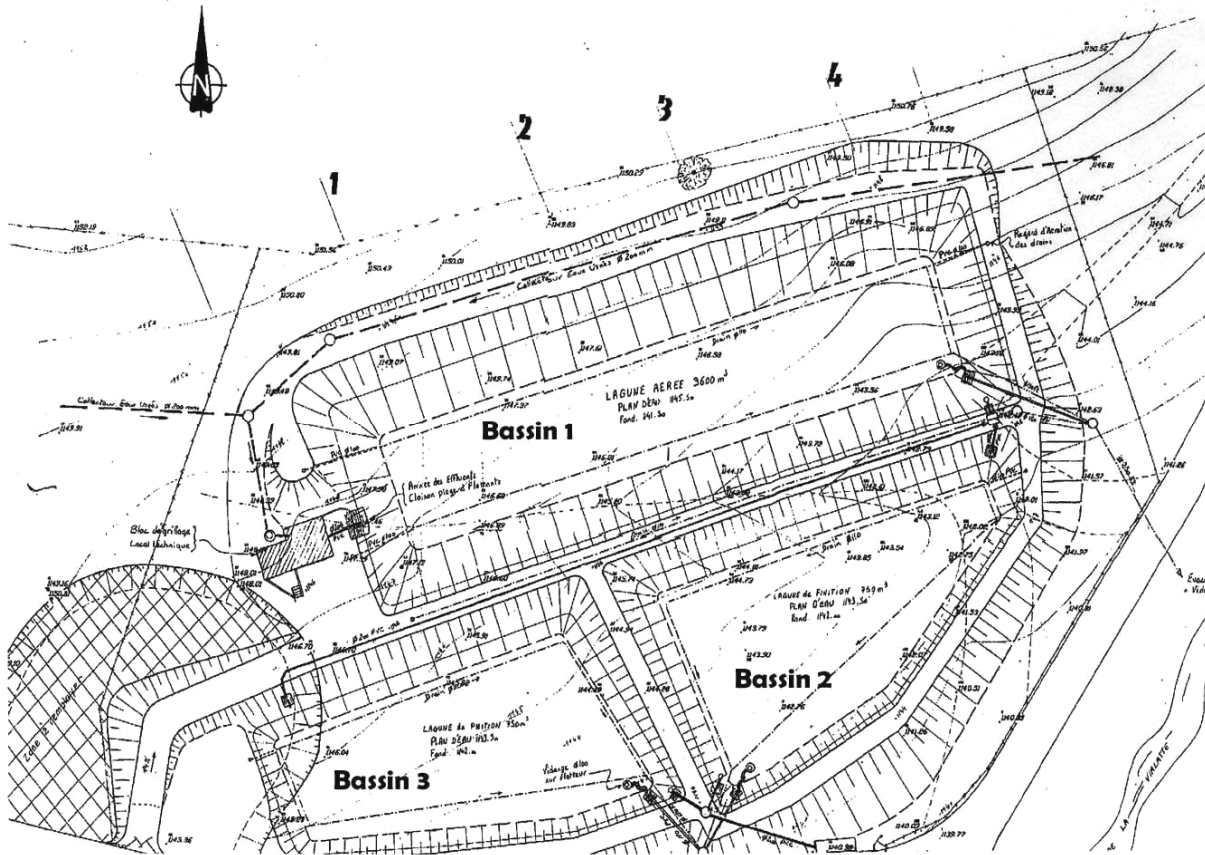


Figure 1. Plan de masse

Les travaux ont démarré en septembre 1994, soit dans une période peu favorable. Le chantier a été ponctué de nombreux arrêts et travaux de reprise, notamment en phase de terrassements, essentiellement pour des dégâts liés aux intempéries : glissement de talus, venues d'eau ...

La date retenue pour l'achèvement des travaux est le 7 juin 1995. L'installation est réceptionnée le 8 février 1996.

L'exploitation de l'ouvrage est confiée au personnel du SIVOM de Courcouron, qui détient la compétence assainissement sur l'ensemble de son territoire.

2 Le constat

2.1 2002, Premiers désordres

Les premiers désordres sont signalés au constructeur par l'exploitant en novembre 2002, soit moins de sept ans après la réception. L'exploitant constate que « les bâches sont déchirées en de nombreux endroits »

Fin 2003, l'exploitant signale que « la géomembrane sur le bassin aéree (1) s'est totalement déchirée, en partie enroulée autour d'un aérateur et que le bassin s'est vidangé par le fond. La lagune est hors service ».

Une première réunion collégiale regroupant maître d'ouvrage, maîtres d'œuvre et titulaire du marché, portant examen contradictoire des désordres a lieu le 21 janvier 2004 sur le site. Les conditions sont hivernales (il a neigé). Les premiers constats montrent que :

- la géomembrane PVC est *déchirée en de nombreux endroits*, les déchirures pouvant être soit ponctuelles (en forme d'étoiles) soit plutôt linéaires, comme l'illustrent les photos 2 et 3 ;
- les désordres ne sont pas généralisés sur les trois bassins du lagunage mais sont *principalement situés sur le talus nord du bassin aéree (exposé au sud) et sur la digue séparant ce dernier des deux*

bassins de finition mais seulement sur le talus exposé au sud (photos 4 et 5), On constate par ailleurs que les déchirures ont principalement lieu en partie haute des talus entre le rampant et la risberme.



Figure 2. Vue de détail d'une déchirure (rupture fragile)



Figure3. Déchirure linéaire



Figure 4. Vue d'ensemble bassin aéré (1) – Absence de déchirures sur le talus exposé au nord



Figure 5. DEG totalement déchiré sur talus exposé au sud entre bassins 1 et 2

- la géomembrane PVC est très raide, elle semble avoir perdu une grande partie de sa souplesse et de son élasticité initiale comme le montre la photo 6.

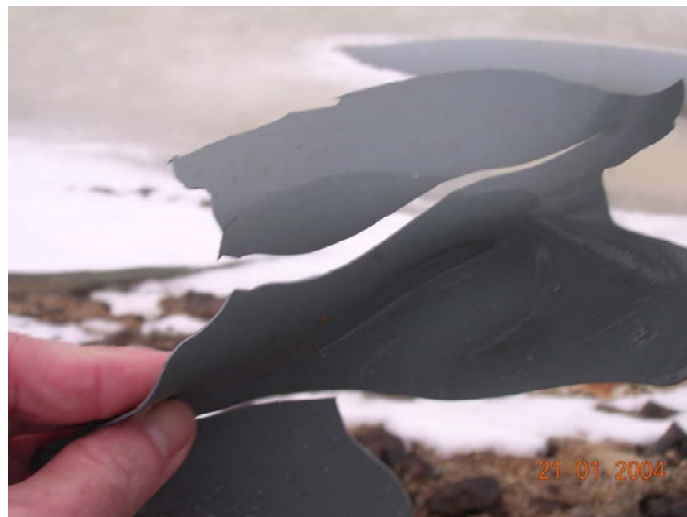


Figure 6. Échantillon de géomembrane PVC raidi

2.2 Évolution des désordres : 2004

Une seconde réunion a lieu le 1^{er} avril 2004 à laquelle est conviée l'applicateur du DEG. Les désordres ont largement évolué sous l'effet des conditions extérieures et notamment du vent. *Les talus exposés au sud sont entièrement dégarnis* (la géomembrane est tombée au fond des bassins), les lés de géotextile sous-jacents se sont enroulés sur eux-mêmes sous l'effet du vent. Les talus offrent un support constitué d'une forme en sable qui s'érode par endroits et laissent apparaître des pointements rocheux (blocs de basalte rapportés). Les photos 7 et 8 illustrent cette évolution.



Figure 7. Talus nord du bassin aéré, exposé au sud totalement dégarni



Figure 8. Talus digue médiane exposé sud entre bassin 1 et bassin 3

2.3 Évolution des désordres : 2005

Une troisième réunion a lieu le 12 janvier 2005, à laquelle participent les différents experts mandatés par les assurances des différents intervenants. Les désordres ont encore évolué. *La géomembrane est totalement détruite sur tous les talus exposés au sud*. Ces talus sont érodés par les intempéries. Ils sont sujets à glissement. Le sable flue au bas des talus et laisse apparaître de nombreux blocs rocheux de petite à moyenne taille (< 250 mm). Les photos 9 et 10 illustrent cette évolution. Les talus exposés au nord, à l'ouest ou à l'est ne présentent pratiquement aucun désordre.



Figure 9. Vue de détail parement talus nord exposé sud du bassin aéré



Figure 10. Vue d'ensemble talus nord exposé sud du bassin aéré

3 Le diagnostic

3.1 Essais de laboratoire

Le CETE de Lyon est mandaté dans le cadre des opérations d'expertise le 19 avril 2005 afin d'essayer de déterminer les causes d'endommagement de la géomembrane PVC mise en œuvre sur le lagunage aéré de Coucouron. Le LRPC se rend sur site le 19 mai 2005 et procède à trois prélèvements d'échantillons, tous sur le bassin aéré :

Échantillon 1 = un prélèvement sur le talus nord exposé au sud,

Échantillon 2 = un prélèvement sur le talus sud (digue médiane avec bassins 2 et 3) exposé au nord,

Échantillon 3 = un prélèvement en tranchée d'ancrage du talus nord.

Il s'agit, par des essais de laboratoire, d'évaluer le vieillissement physico-chimique du matériau, d'en déterminer l'origine et de tenter d'établir une relation entre ce vieillissement et la perte des caractéristiques fonctionnelles du matériau.

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux I (échantillon 1) et II (échantillons 2 et 3).

Tableau I. Résultats des essais sur l'échantillon 1

Caractéristiques	Méthode	Unité	P	T	Référence
En traction :					
Résistance à la rupture	NF P 84-501	kN/m	17,7	14,6	250 à 320
Contrainte à la rupture		MPa	20,5	16,7	
Résistance à 15% de déformation		kN/m	9,1	8,2	
Déformation à la rupture		%	154	155	
Épaisseur		NF P 84-512-1	mm	0,87	
Masse volumique	NF T 51-063	g/cm ³	1,364		
Plastifiant :					
Nature chimique	Chromatographie Extrait à l'éther	-	DOP		33 à 37 %
Teneur		%	21,9		
Température de transition vitreuse	DSC	°C	+ 4 ; + 15		

Tableau II. Résultats des essais sur les échantillons 2 et 3

Caractéristiques	Méthode	Unité	Échantillon 2		Échantillon 3	
			P	T	P	T
En traction :						
Résistance à la rupture	NF P 84-501	kN/m	17,8	15,0	19,1	16,1
Contrainte à la rupture		MPa	18,9	15,9	19,9	16,6
Résistance à 15% de déformation		kN/m	3,8	4,0	4,2	4,3
Déformation à la rupture		%	209	264	208	247
Épaisseur		NF P 84-512-1	mm	0,94		0,97
Masse volumique	NF T 51-063	g/cm ³	1,331		1,308	
Plastifiant :						
Nature chimique	Chromatographie Extrait à l'éther	-	DOP* ¹		DOP	
Teneur		%	26,8		27,7	
Température de transition vitreuse	DSC	°C	+ 4 ; + 15		-7 ; - 13	

*¹ DOP = Dioctylphtalate

3.2 Analyse des résultats

Tous les critères mesurés convergent et montrent un vieillissement physico-chimique très avancé de l'échantillon 1. Les autres échantillons prélevés respectivement sur le talus exposé au nord (échantillon 2) et en tranchée d'ancrage (échantillon 3) présentent un vieillissement avéré, mais nettement moins important que sur l'échantillon 1, ce qui coïncide avec l'observation des désordres. Les résultats de l'échantillon 1 en particulier appellent les commentaires suivants :

- la géomembrane a une épaisseur initiale de 1 mm (au lieu de 1,2 mm au projet). Elle est un "contretypé" d'une géomembrane bien connue d'une autre marque : même couleur, mais largeur de laize et formulation différente ;

- la masse volumique supérieure à 1,3 g/cm³ indique la présence de craie dans la formule. La craie est ajoutée pour diminuer le coût de la géomembrane, mais elle introduit une porosité et une sensibilité aux milieux acides, ainsi qu'une diminution de la souplesse et de la résistance ;

- la teneur résiduelle en plastifiant de la géomembrane PVC est faible : 21,9%. Cette valeur est faible par rapport à d'autres géomembranes PVC du marché, de même épaisseur et dans les mêmes conditions d'exposition aux UV et aux effluents et pour une même durée d'exposition ;
- la membrane est complètement détruite sur ce talus alors que des membranes PVC (avec une autre formulation) remplissent leur fonction en climat tempéré jusqu'à une teneur en plastifiant de l'ordre de 20%, voire moins en climat chaud. Ceci montre que le froid a un effet défavorable sur la durabilité de la géomembrane. Ceci est la conséquence de la variation de la température de transition vitreuse consécutive à la perte de plastifiant ;
- la température de transition vitreuse T_G est globalement un indicateur du changement de comportement rhéologique du produit. Elle remonte avec la diminution de la teneur en plastifiant. En général une géomembrane en PVC-P neuve a une T_G inférieure à -25°C . Sur l'échantillon 1 exposé au sud, la T_G est positive ($+4^\circ\text{C}$). Or, lorsque la géomembrane est à une température égale ou inférieure à la température de transition vitreuse, elle se brise facilement (rupture fragile en étoile) en cas de choc ou de forte tension, ce qui, sur ce site, s'est produit fréquemment. Il faut noter que la température de transition vitreuse dépend non seulement de la teneur en plastifiant, mais aussi de sa nature (d'où l'importance de la formulation) ;
- la perte de plastifiant entraîne en outre une perte de souplesse du produit (cf. photo 5) qui se retrouve dans les caractéristiques en traction. Une valeur résiduelle de 150-170% de déformation à la rupture est très faible pour ce type de géomembrane (entre 50% et 60% de la valeur initiale) ;
- la perte de souplesse se retrouve également dans l'augmentation du module sécant à 15% de déformation (passe de 4 kN/m à 8-9 kN/m) ;
- la perte de plastifiant entraîne aussi une réduction de volume qui se traduit par la réduction de l'épaisseur et un retrait dimensionnel (longueur, largeur), ce qui provoque des tensions dans la géomembrane si elle ne peut pas se déformer. Ce phénomène est bien connu sur ce type de produit lorsqu'il y a perte de plastifiant. Elle se retrouve aussi dans l'élévation de la masse volumique car le plastifiant perdu à une masse volumique inférieure à celle du polymère PVC ;
- la perte de plastifiant est clairement due à l'action des UV, car elle varie fortement en fonction de l'exposition. Les premières dégradations constatées en 2002 étaient en haut de talus, en dehors de la zone immergée.

3.3 Relation entre le vieillissement et les désordres observés sur les talus exposés au sud

Le vieillissement prématuré de cette géomembrane (par rapport à d'autres géomembranes en PVC similaires) se traduit ici par une perte de plastifiant

La perte de plastifiant entraîne un *retrait dimensionnel* qui cependant est *empêché* : ancrages en tête, poids du liquide stocké dans les bassins. Cela crée des tensions inévitables dans la géomembrane et occasionne des *ruptures* dans les zones où ces tensions sont les plus fortes et la géomembrane la plus dégradée et fragile, à savoir les hauts de talus. C'est principalement à cet endroit que ce sont produits les déchirures entraînant au fil des mois la rupture totale.

La géomembrane a perdu une grande partie de ses capacités de déformation notamment à basses températures, hors celles-ci favorisent le raccourcissement du matériau. Au *retrait dimensionnel* du au vieillissement physico-chimique se rajoute donc le *retrait dimensionnel* du aux contraintes thermiques dans un site très exposé aux rigueurs hivernales.

La perte de plastifiant entraîne une remontée de la température de transition vitreuse T_G au dessus de 0°C , rendant la géomembrane très fragile pour des températures inférieures à T_G . Le froid aggrave donc les conséquences du vieillissement en entraînant des ruptures pour un vieillissement moindre que pour un climat tempéré.

Ces différends points sont clairement mis en évidence par l'examen des talus qui ne sont pas exposés au sud. (Figures 10 et 11). Des blocs rocheux pointent fortement sous le DEG (saillants), mais ces *pointements ne s'accompagnent pas de déchirure sur les talus qui ne sont pas exposés au sud* tel qu'en attestent les figures 11 et 12. Ceci est la conséquence d'une teneur en plastifiant plus élevée, donc moins de retrait et T_G plus basse, donc membrane moins fragile.

Ces blocs rocheux ont été mis en place pour reconstituer les talus suite à la ruine de certains d'entre eux en phase chantier pour cause de pente excessive, d'intempéries et de venues d'eau. Afin d'offrir au DEG un support acceptable, les blocs de basaltes ont été noyés dans une matrice sableuse avant déroulage du géotextile de protection. Le sable est instable sur cette pente et de nombreux blocs sont donc en saillie.



Figure 11. Talus sud, exposé au nord, du bassin 3



Figure 12. Talus du bassin aéré (1), exposé à l'est

3.4 Synthèse du diagnostic

La géomembrane PVC-P constituant l'étanchéité du DEG du lagunage aéré de Coucouron souffre sans conteste *d'un vieillissement prématuré par perte de plastifiant*.

Il s'agit bien essentiellement *d'un vieillissement de type climatique* (rayonnement ultraviolet) qui semble être à l'origine de l'endommagement et de la ruine du produit sur les talus exposés au sud. Il est nettement plus rapide que celui d'autres géomembranes PVC de même épaisseur et dans les mêmes expositions.

Une agression chimique due à un déversement fortuit de produits agressif ne peut pas être invoquée, car, dans ce cas, la perte de plastifiant serait la même quelle que soit l'exposition de la géomembrane. Ici, au contraire, la teneur résiduelle en plastifiant varie très fortement en fonction de l'exposition, et les dégradations ont été détectées en crêtes de l'ouvrage. De plus, la géomembrane qui est restée immergée est restée souple et déformable, comme l'attestent des bulles consécutives à la formation de gaz, provenant de la fermentation des effluents présents sous la géomembrane.

La géomembrane PVC-P est considérée dès 2002 comme *en fin de vie*, sur la partie exposée au sud, au vu des ruptures visibles à l'époque. En 2005, la membrane était complètement détruite sur ces mêmes parties. Compte tenu du relatif jeune âge de cette dernière et de l'expérience acquise sur d'autres géomembranes PVC de 1 mm d'épaisseur, qui existent depuis bien plus longtemps en France, il apparaît que sa résistance aux UV était insuffisante et donc que *sa formulation chimique et sa stabilisation n'était pas adaptée* à l'usage : exposition aux UV, altitude, climatologie. Il faut noter que, même si elle avait eu une épaisseur initiale de 1,2 mm, elle n'aurait pas tenu 10 ans sans problème, au vu des dégradations déjà avancées en 2002.

4 Conclusion

Au delà du constat de l'inadaptation d'un produit à une destination donnée, il convient de remarquer que le projet du lagunage aéré de Courcouron a souffert d'un ensemble de difficultés telles que :

- un choix de terrain discutable : pente, superficie limitée, zones humides,
- l'absence d'étude géotechnique initiale,
- des pentes de talus relativement fortes (1H/1V) dues pour l'essentiel à une emprise foncière étriquée,
- un marché à l'entreprise générale avec une sous-traitance en chaîne,
- Un maître d'œuvre exécution différent du maître d'œuvre projet,
- une période de chantier délicate,
- peu de contrôles ou d'essais sur matériaux et en phase chantier.

Quoiqu'il en soit, il est tout à fait possible de réaliser aujourd'hui des bassins de stockage en altitude pérennes, étanchés par des géomembranes en PVC-P. De très importants progrès ont été effectués ces dernières années en termes de certification de produits, de certification des soudeurs ou de responsabilité chantier.

Les recommandations qu'on pourrait donner dans le cadre d'une reconstruction du lagunage aéré de Courcouron pourraient être les suivantes :

- implanter les bassins dans un terrain suffisamment vaste pour contenir les bassins avec des caractéristiques géométriques convenables et assurant la stabilité des structures ;

- pentes des talus si possible à 2,5H/1V pour assurer non seulement la stabilité d'ensemble, mais aussi la stabilité des granulats en surface, ce qui permet de maintenir l'état de surface du support ;
- largeur en crête des digues intermédiaires suffisante pour circuler avec un engin et pour réaliser les ancrages de la géomembrane et l'entretien ;
- implanter le fond de bassin au dessus de la nappe phréatique et en dehors de zones compressibles (en particulier marécageuse ou tourbeuses) ;
- réaliser un drainage sous la géomembrane, en particulier pour capter les venues d'eau en provenance de l'extérieur. Si ces venues d'eau sont susceptibles de déstabiliser un talus, il faudra un drainage profond dans le talus, pour assurer sa stabilité ;
- une étude géotechnique est donc nécessaire pour choisir ou confirmer le choix du site et pour établir la conception de l'ouvrage ;
- prescrire une géomembrane certifiée Asqual. Les géomembranes certifiées Asqual ont 0% de craie et passent des tests de résistance aux UV relativement long et sévères, ce qui garantit une meilleure tenue dans le temps. La certification garantit aussi une constance de production et des procédures de contrôle qualité stricts, ce qui garantit une constance de qualité ;
- l'augmentation d'épaisseur de la géomembrane diminue la vitesse de perte de plastifiant, et augmente donc la durabilité, de façon au moins linéaire. Pour tenir compte de l'effet pénalisant du froid, une épaisseur supérieure à 1 mm est recommandée. Le projet prévoyait d'ailleurs 1,2 mm, ce qui est cohérent par rapport aux bassins en plaine étanchés avec une géomembrane PVC de 1 mm. Il faut savoir que la tendance actuelle est à l'augmentation d'épaisseur, car si l'investissement initial est augmenté, le coût ramené à l'année de bon fonctionnement est nettement plus faible, l'étanchéité n'étant qu'une faible proportion de l'investissement total. Ainsi, pour les bassins de montagne destinés à l'alimentation des canons à neige, une recommandation en cours d'établissement préconise une épaisseur minimale de 1,5 mm ;
- prescrire des poseurs de géomembranes et un encadrement de pose certifié Asqual, et exiger un PAQ permettant la traçabilité du produit et de la pose ;
- avoir un Maître d'Œuvre bien informé du projet, faisant contrôler la conformité des produits et matériaux livrés, la conformité de la réalisation au projet et la mise en œuvre effective des PAQ ;
- passer le marché et déclencher le début des travaux suffisamment tôt dans la saison pour permettre la réalisation du chantier pendant les meilleures conditions climatiques (printemps –été). Il n'est pas possible de réaliser des bons terrassements, ni de garder une surface de talus lisse, ni de réaliser correctement des soudures de géomembranes lorsque le chantier est interrompu à plusieurs reprises par la neige. Il est clairement préférable de retarder le début des travaux de 6 à 8 mois plutôt que de commencer le chantier dans ce type de climat en septembre ou octobre ;
- le fait de faire un marché unique à l'entreprise générale ne permet pas de choisir le poseur et de maîtriser l'aspect étanchéité, ce qui est un inconvénient au niveau de la fiabilité du résultat. Le prix payé pour la partie étanchéité est aussi plus élevé que si celle-ci fait l'objet d'un lot séparé. Par contre, la maîtrise d'œuvre est plus sollicitée pour la coordination des travaux dans le cas où l'étanchéité est traitée en lot séparé.

La remise en état du lagunage aéré de COUCOURON, dans les conditions du marché initial, est évaluée en 2006 à environ 285 000 € H.T. Le milieu récepteur, constitué des nombreux petits ruisseaux à *très forte valeur halieutique* parcourant le haut bassin versant de la Loire mérite *la plus grande attention*. À l'heure du développement durable et de la protection de l'environnement, il convient d'être *extrêmement vigilant* sur les choix techniques concernant la mise en œuvre d'un nouveau dispositif de traitement, qui vont bien au delà du respect d'un niveau de rejet exigeant, en prenant en compte le plus largement possible *toutes les contraintes d'un environnement d'altitude particulièrement sévère*.

5 Bibliographie

- Fayoux D., van der Syde D., (2000). Durability of PVC geomembranes. Assessment after very long UV exposure. *Proceedings of "Second European Geosynthetics Conference" Bologna 15–18 October 2000, Vol. 2*, pp. 651 - 6561
- Girard H., Poulain D., Benneton J.P., Fayoux D. (2004). Durability of PVC geomembranes used in hydraulic structures : feedback on experiences. *Proceedings of the seventh International Conference on Geosynthetics 7IGC, Nice 22-27 september 2004, vol. 2*, pp. 709-712.
- Fayoux D., Potié G. (2006). L'emploi des géomembranes dans les îles de Tenerife et de Las Palmas (îles Canaries). *Actes des Rencontres Géosynthétiques 2006 Montpellier 12/14 juin 2006*.