
Evaluation de la réserve en eau des zones humides sur le périmètre du SAGE Haute Vallée de l'Aude

Phase 1 : approche de l'ordre de grandeur à partir des inventaires géographiques existants

Décembre 2009

Réalisation :

Maître d'ouvrage :



☒ Amalvit 81470 PECHAUDIER
☎ 05 63 75 28 73
☎ 05 63 75 00 80
🌐 <http://www.sagne.coop>
@ scop@sagne.coop

SMMAR
Conseil général de l'Aude
11855 CARCASSONNE cedex 09
04 68 11 63 02
04 68 11 64 68

Sommaire

1	LES HYPOTHESES DE L'EVALUATION	4
1.1	INFORMATION DISPONIBLE	4
1.2	LIEN ENTRE RESSOURCE EN EAU ET HABITATS NATURELS DE ZONES HUMIDES.....	6
1.2.1	Evaluation des flux d'eau	6
1.2.2	Evaluation des stocks d'eau	8
2	LES RESULTATS	9
2.1.1	Correction des surfaces de zones humides.....	9
2.1.2	Evaluation des flux d'eau	10
2.1.3	Volume d'eau stockée dans les zones humides de la haute vallée de l'Aude	12
3	ANALYSE ET CRITIQUE DES RESULTATS	13
4	PROPOSITION D'UN PROTOCOLE D'ETUDE	14
4.1	OBJECTIF DU PROJET.....	14
4.2	PROTOCOLE.....	14
4.2.1	Objectif et méthode	14
4.2.2	Etapes :	16
4.2.3	Cout de l'opération.....	16
ANNEXES		

avertissements

La présente étude constitue une étape préalable à l'évaluation des réserves en eau issues des zones humides dans le bassin de la haute vallée de l'Aude.

Cette étape est nécessairement faite d'approximations tant les données sur le terrain sont encore très partielles et d'extrapolations à partir de données issues de la littérature ou de l'expérience de l'auteur. Le calcul proposé, même mené avec l'apparence de la rigueur, ne doit pas cacher les approximations inhérentes à ce genre d'évaluation.

L'objet de l'étude est d'apporter à la connaissance du maître d'ouvrage du SDAGE les ordres de grandeurs des réserves en eau issues des zones humides, la localisation des enjeux « zones humides » sur le bassin et la définition de ce qui pourrait être une étude plus précise à mettre en œuvre le cas échéant.

Les données recueillies lors de cette étude seront la propriété du maître d'ouvrage (SMMAR) et des financeurs. A l'issue de ce travail le bureau d'études abandonnera tout droit patrimonial sur ces données à l'exception des droits de propriété intellectuelle, et leur réutilisation devra faire l'objet d'une autorisation par le maître d'ouvrage.

La commande :

- Estimation des potentiels de stockage en eau suivant les habitats naturels rencontrés,
- Critique des résultats et proposition d'une méthode d'amélioration de la connaissance,
- Identification des complexes ou entités stratégiques et prioritaires,
- Proposition succincte d'équipement des zones stratégiques (méthode, type d'appareils, fréquence du suivi, coût approximatif).

1 LES HYPOTHESES DE L'EVALUATION

A défaut de pouvoir disposer des résultats de mesures faites sur le bassin versant à l'aide d'appareillage, nous allons nous contenter dans un premier temps de réaliser une évaluation indirecte à partir des caractéristiques connues des zones humides du bassin versant de la haute vallée de l'Aude.

1.1 INFORMATION DISPONIBLE

Il existe deux façons principales de décrire les zones humides : par leurs végétations d'une part et par la nature de leurs sols hydromorphes d'autre part. Ces deux méthodes sont d'ailleurs la base des méthodes de délimitation légales des zones humides en France (cf. arrêté du 24 juin 2008).

L'information disponible à ce jour concerne la distribution géographique des zones humides (localisation et surface) et la nature de leur couvert végétal (les habitats naturels). Cette information a été collectée au cours de divers inventaires assez récents puisque réalisés depuis 2000. La connaissance des sols hydromorphes de ce territoire est beaucoup moins fouillée.

A quelques exceptions près ces inventaires ont en commun :

- ✓ Une localisation sur fond cartographique précise (échelle du 1/25000 au minimum, emploi de GPS et/ou de la photo interprétation, utilisation systématique du SIG)
- ✓ Une description quasi systématique du couvert végétal basé sur la typologie européenne Corine Biotopes à partir d'une observation de terrain récente
- ✓ Une estimation des coefficients de recouvrement des habitats naturels décrits (cf. la méthodologie d'inventaire des tourbières des Pyrénées Orientales 2003/2006, méthodologie utilisée également par la fédération Aude Claire dans le département de l'Aude, cf. aussi les méthodologies de cartographie des habitats naturels pour les sites Natura 2 000)

Nous disposons donc d'une information, qui, sans être exhaustive est - pour une fois sur un vaste territoire - relativement homogène.

Le travail de compilation des inventaires de zones humides réalisé par la fédération Aude Claire en 2009, dénombre¹ :

- ✓ 1 100 localités (points, surfaces et linéaires), représentant une surface cartographiée de 3 316 ha. pour le bassin de la Haute Vallée de l'Aude.
- ✓ 3 184 descriptions d'habitats naturels Cor. biotopes représentant 3285 ha.
- ✓ un total de 2 688 ha. d'habitats naturels de zones humides décrits

Une analyse critique de cette information montre :

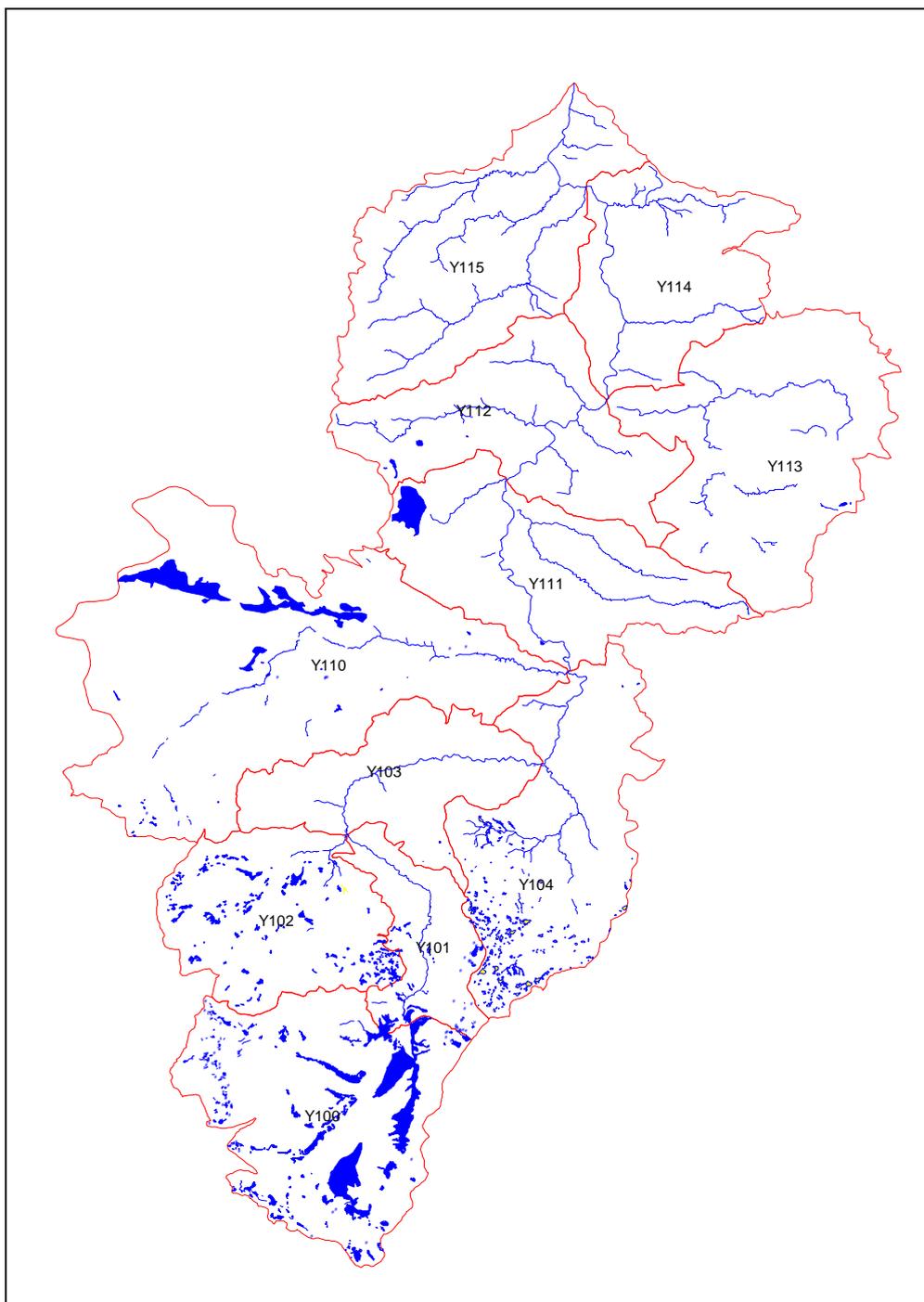
- d'abord notons les progrès réalisés depuis moins de 10 ans sur ce territoire oriental de la chaîne des Pyrénées. Réduite à quelques sites emblématiques dans les années 1990, la connaissance des zones humides et tout particulièrement les tourbières, rien que dans la haute vallée de l'Aude en 2009, rivalise avec celle de l'ensemble de la chaîne des Pyrénées atteinte en 2003 (3 750 ha.²)
- une faible proportion de données qui ne sont pas renseignées complètement
- une couverture des habitats de zones humides représentant 81% des surfaces cartographiées, ce qui est cohérent avec l'appréciation du taux de recouvrement en zone humide de chaque site fourni par les auteurs des inventaires (entre coef 5 et 6, soit environ 75 %).
- Des habitats naturels décrits avec un niveau de précision suffisant (au minimum 1 décimale du code Cor. biot et généralement plus).

¹ Chiffres traités par Scop SAGNE à partir des informations brutes transmises par la fédération Aude Claire

² d'après J. Thomas 1^{ère} rencontre des gestionnaires de tourbières du massif des Pyrénées Bagnères de Bigorre octobre 2003

- Une distribution inégale des zones humides sur le bassin versant. Si la forte concentration dans les sous bassins amont semble cohérente avec la réalité géographique, nous remarquons cependant une relativement faible densité dans le sous bassin Y102 « La Bruyante », qui semble correspondre à une pression d'inventaire plus faible.

Conclusion : moyennant quelques corrections à apporter aux séries de données (sous bassin Y 102) nous disposons d'une information suffisamment précise et représentative du bassin de la Haute Vallée de l'Aude pour être la base d'un calcul évaluant les ressources en eau de ces zones humides.



• carte 1 distribution des zones humides par sous bassin versant

1.2 LIEN ENTRE RESSOURCE EN EAU ET HABITATS NATURELS DE ZONES HUMIDES

Le mode d'alimentation en eau d'une zone humide, le comportement de la nappe imbibant le sol influencent la nature du couvert végétal de la zone humide.

Ainsi connaissant la nature de l'habitat naturel, il est possible de déduire le comportement de l'eau à un endroit donné. Les habitats naturels deviennent des indicateurs indirects des ressources en eau des zones humides.

1.2.1 Evaluation des flux d'eau

Dans le bassin de la haute vallée de l'Aude on peut classer les habitats en 5 catégories selon l'amplitude des mouvements verticaux de la nappe d'eau du sol hydromorphe et de la fréquence de ces mouvements. Le plancher de la nappe constitue le seuil de saturation permanente du sol, il est variable selon la nature des habitats. Les variations saisonnières et intra saisonnières dépendent de la nature de sols (perméabilité, capacité de ressuyage, d'absorption) et des conditions climatiques (fréquence et nature des précipitations).

code cor biot	statut arrêté 2008	Libellé des habitats
amplitude forte (30/50 cm); variation fréquente avec inondations périodiques		
37.31	H	Prairies à Molinie et communautés associées
44.9	H	BOIS MARECAGEUX D'AULNE , DE SAULE ET DE MYRTE DES MARAIS
51.2	H	TOURBIERES A MOLINIE BLEUE
53.1	H	ROSELIERES
53.2	H	COMMUNAUTES A GRANDES LAICHES
amplitude forte (30/50 cm); variation saisonnière		
37.1	H	Communautés à Reine des prés et communautés associées
37.2	H	PRAIRIES HUMIDES EUTROPHES
53.5	H	JONCHAIES HAUTES
amplitude moyenne (15/30 cm); variation fréquente		
36.312	p	Pelouses pyrénéo-alpines hygrophiles à Nard raide
37.32	H	Prairies à Jonc rude et pelouses humides à Nard
44.A	H	FORETS MARECAGEUSES DE BOULEAUX ET DE CONIFERES
51.12	H	Tourbières basses (Schlenken)
51.14	H	Suintements et rigoles de tourbières
54.2	H	BAS-MARAIS ALCALINS (tourbières basses alcalines)
54.4	H	BAS-MARAIS ACIDES
amplitude moyenne (15/30 cm); variation saisonnière		
15.4	H	PRES SALES CONTINENTAUX
37.4	H	PRAIRIES HUMIDES MEDITERRANEENNES HAUTES
44.3	H	FORET DE FRENES ET D'AULNES DES FLEUVES MEDIO-EUROPEENS
54.5	H	TOURBIERES DE TRANSITION
amplitude faible		
22	p	EAUX DOUCES STAGNANTES
37.7	H	LISIERES HUMIDES A GRANDES HERBES
37.8	H	MEGAPHORBIAIES ALPINES ET SUBALPINES
44.1	H	Formations riveraines de saules
51.11	H	Buttes, bourrelets et pelouses tourbeuses
54.1	H	SOURCES
<i>Comportement de la nappe d'eau ne pouvant être déduit de la nature de l'habitat</i>		
38.1	p	PATURES MESOPHILES
38.2	p	PRAIRIES A FOURRAGE DES PLAINES
38.3	p	PRAIRIES A FOURRAGE DES MONTAGNES

On remarquera que les habitats ayant la contribution la plus forte en matière d'amplitude de la nappe ne sont pas forcément ceux à qui on attribue l'intérêt patrimonial le plus important. En fait les zones humides subissant régulièrement des assèchements (comme les moliniaies ou les prairies à canche) ont des mouvements d'eau plus importants que les habitats nécessitant la présence d'une nappe d'eau constante comme les pelouses à sphaignes, les groupements à Narthécium et bien entendu que les formations ombrotrophiques à base de buttes de sphaignes sur des histosols fibriques. La littérature nous montre d'ailleurs que les formations ombrotrophiques ont très peu d'eau en mouvement.

Ce tableau constitue une hypothèse de travail pour évaluer les mouvements d'eau. Très peu de travaux ont fait la corrélation entre nature du couvert végétal, nature du sol hydromorphe et nature des mouvements d'eau dans ces sols.

Pour valider notre dispositif nous nous référons aux suivis piézométriques conduits sur un sol tourbeux d'une moliniaie dégradée située dans le sud du Massif Central (Monts de Lacaune - Tarn). Ce suivi réalisé avec une sonde piézométrique automatique relève quotidiennement la position de la nappe d'eau du sol depuis avril 2007.

Ce dispositif nous apprend qu'annuellement les cycles de vidange et de remplissage du sol tourbeux se succèdent au rythme des précipitations. Le sol se remplit et atteint la saturation dans les 24 à 48 heures après les précipitations, il mettra par contre environ 2 semaines pour retrouver son niveau initial. Le phénomène est très accusé en été et début d'automne, mais il est également visible en hiver (le site étant rarement enneigé). Sur une année l'ensemble de ces mouvements correspond à une variation cumulée de 360 cm du niveau de la nappe d'eau en remplissage ou en vidange. La teneur en eau moyenne d'un histosol étant de 83.5%, nous évaluons donc que chaque m² de ce type de sol apporte au bassin versant 3 m³ d'eau chaque année.

Cette eau en mouvement est évacuée pour partie :

- par le réseau hydraulique de surface de la zone humide vers les ruisseaux qui la drainent, cette eau contribue notamment au soutien des étiages
- en profondeur par percolation, et vient recharger les nappes profondes lorsqu'elles existent et qu'elles sont en connexion avec les zones humides de surface
- dans l'atmosphère, par simple évapotranspiration

La principale caractéristique de ces mouvements d'eau est la « désynchronisation des flux », qui contribue à la fois à la fonction de soutien d'étiage et à la fonction de laminage des pics de crue.

Faute de mesures plus précises, il est difficile d'évaluer les volumes d'eau selon leur mode d'évacuation de la zone humide.

Ce dispositif sous estime certainement l'effet de frein à l'écoulement des eaux de surface lors d'un épisode pluvieux violent tant que les sols ne sont pas à saturation.

Néanmoins, nous prendrons pour hypothèse haute la valeur de 3 m³/ m²/an le flux d'eau transitant dans un sol de zone humide de type moliniaie dégradée et pour hypothèse basse la valeur de 2 m³/m²/an pour cet habitat.

Par extrapolation nous affectons les valeurs suivantes aux différents types de comportement de nappe.

Comportement de la nappe d'eau du sol hydromorphe	Estimation des flux d'eau dans ces sols (m ³ /m ² /an)	
	maxi	mini
amplitude forte (30/50 cm); variation fréquente avec inondations périodiques	3	2
amplitude forte (30/50 cm); variation saisonnière	1.5	1
amplitude moyenne (15/30 cm); variation fréquente	0.75	0.5
amplitude moyenne (15/30 cm); variation saisonnière	0.35	0.25
amplitude faible	0.2	0

1.2.2 Evaluation des stocks d'eau

On comprend par stock d'eau, les volumes d'eaux contenus dans les zones humides à un moment donné.

Par définition ce volume sera calculé pour des sols saturés.

En toute rigueur il serait nécessaire de connaître la profondeur des sols hydromorphes, leur nature précise et leur teneur en eau à saturation. Faute de connaître ces paramètres, une évaluation peut être réalisée en fixant arbitrairement une profondeur de sol moyen de 1 mètre et en prenant les teneurs en eau moyennes (50% dans les sols hydromorphes minéraux ou para-tourbeux et 83.5 % dans les histosols).

2 LES RESULTATS

2.1.1 Correction des surfaces de zones humides

code cor biot	statut arrêté 2008	Habitats Cor. biotope	SURFACE initiale	SURFACE corrigée
15.4	H	PRES SALES CONTINENTAUX	0,5	0,5
22	p	EAUX DOUCES STAGNANTES	2,8	3,2
36.312	p	Pelouses pyrénéo-alpines hygrophiles à Nard raide	70,3	89,3
37.1	H	Communautés à Reine des prés et communautés associées	220,3	225,4
37.2	H	PRAIRIES HUMIDES EUTROPHES	726,4	741,8
37.31	H	Prairies à Molinie et communautés associées	228,2	283,8
37.32	H	Prairies à Jonc rude et pelouses humides à Nard	13,3	24,2
37.4	H	PRAIRIES HUMIDES MEDITERRANEENNES HAUTES	5,9	5,9
37.7	H	LISIERES HUMIDES A GRANDES HERBES	15,6	15,6
37.8	H	MEGAPHORBIAIES ALPINES ET SUBALPINES	38,1	43,4
38.1	p	PATURES MESOPHILES	25,9	26,3
38.2	p	PRAIRIES A FOURRAGE DES PLAINES	334,2	334,6
38.3	p	PRAIRIES A FOURRAGE DES MONTAGNES	277,4	277,4
44.1	H	Formations riveraines de saules	2,5	4,5
44.3	H	FORET DE FRENES ET D'AULNES DES FLEUVES MEDIO-EUROPEENS	259,7	272,3
44.9	H	BOIS MARECAGEUX D'AULNE , DE SAULE ET DE MYRTE DES MARAIS	55,5	59,2
44.A	H	FORETS MARECAGEUSES DE BOULEAUX ET DE CONIFERES	58,8	82,7
51.11	H	Buttes, bourrelets et pelouses tourbeuses	43,0	49,8
51.12	H	Tourbières basses (Schlenken)	1,9	1,9
51.14	H	Suintements et rigoles de tourbières	0,2	0,2
51.2	H	TOURBIERES A MOLINIE BLEUE	43,8	45,1
53.1	H	ROSELIERES	4,2	4,5
53.2	H	COMMUNAUTES A GRANDES LAICHES	94,5	105,4
53.5	H	JONCHAIES HAUTES	19,1	20,5
54.1	H	SOURCES	8,5	11,0
54.2	H	BAS-MARAIS ALCALINS (tourbières basses alcalines)	9,4	10,5
54.4	H	BAS-MARAIS ACIDES	117,1	159,1
54.5	H	TOURBIERES DE TRANSITION	11,1	11,7
			2688,2	2909,9

• Tableau 1 surfaces d'habitats de zones humides, données initiales et données corrigées

		Données initiales		Données corrigées	
		Habitats totaux	Habitats de ZH	Habitats totaux	Habitats de ZH
Sous bassin versant		3285.61	2688.2	3525,86	2909,88
Y100	L'Aude de sa source à la retenue de Puyvalador incluse	1599,66	1397,70	1599,66	1397,70
Y110	Le Rebenty	924,05	780,37	924,05	780,37
Y102	La Bruyante	240,25	221,70	480,50	443,40
Y101	L'Aude de la retenue de Puyvalador à la Bruyante	190,78	160,90	190,78	160,90
Y104	L'Aude de l'Aiguette incluse au Rebenty	114,88	105,63	114,88	105,63
Y112	L'Aude du ruisseau de Brésilhou à la Sals	13,98	8,01	13,98	8,01
Y103	L'Aude de la Bruyante à l'Aiguette	5,71	4,94	5,71	4,94
Y113	La Sals	5,57	4,02	5,57	4,02
Y111	L'Aude du Rebenty au ruisseau de Brésilhou inclus	190,73	4,89	190,73	4,89

• Tableau 2 surfaces d'habitats selon les sous bassins versants (ha.)

Le sous bassin de la Bruyante, a été considéré comme sous inventorié. Aude Claire, pour compléter les inventaires a procédé à une prospection systématique dans la forêt des Ares au sud de Quérigut sur une surface des 922 ha.. Sur ce territoire la densité de zones humides est de 6.6% (61ha pour 922 ha), ce qui est conforme à ce genre de territoire. La densité sur l'ensemble du bassin est de 2.2%. Si l'on considère que le bassin est homogène, il faudrait apporter une correction qui triplerait les surfaces de zones humides. Nous nous contenterons de les doubler par prudence.

2.1.2 Evaluation des flux d'eau

Cf. la feuille de calcul complète au format excel. Cette feuille de calcul permet en modifiant les paramètres des hypothèses et l'estimation des surfaces par habitat naturel, de calculer les valeurs maximales et minimales des flux d'eau pour chaque sous bassin versant.

2.1.2.1 A l'échelle du bassin de la haute vallée de l'Aude

Cor. biot	Habitats naturels de zones humides	Surf. ha	types	volume mini m ³ /an	volume max m ³ /an
15.4	PRES SALES CONTINENTAUX	0,45	4	1 133	1 586
22	EAUX DOUCES STAGNANTES	3.25	5	0	6 497
36.312	Pelouses pyrénéo-alpines hygrophiles à Nard raide	89.26	3	446 316	669 474
37.1	Communautés à Reine des prés et communautés associées	225,39	2	2 253 866	3 380 800
37.2	PRAIRIES HUMIDES EUTROPHES	741,83	2	7 418 341	11 127 511
37.31	Prairies à Molinie et communautés associées	283,81	1	5 676 276	8 514 413
37.32	Prairies à Jonc rude et pelouses humides à Nard	24,16	3	120 780	181 169
37.4	PRAIRIES HUMIDES MEDITERRANEENNES HAUTES	5,85	4	14 634	20 488
37.7	LISIERES HUMIDES A GRANDES HERBES	15,58	5	0	31 162
37.8	MEGAPHORBIAIES ALPINES ET SUBALPINES	43,44	5	0	86 890
44.1	Formations riveraines de saules	4,53	5	0	9 062
44.3	FORET DE FRENES ET D'AULNES DES FLEUVES MEDIO-EUROPEENS	272,32	4	680 807	953 130
44.9	BOIS MARECAGEUX D'AULNE , DE SAULE ET DE MYRTE DES MARAIS	59,22	1	1 184 460	1 776 690
44.A	FORETS MARECAGEUSES DE BOULEAUX ET DE CONIFERES	82,70	3	413 510	620 264
51.11	Buttes, bourrelets et pelouses tourbeuses	49,83	5	0	99 652

51.12	Tourbières basses (Schlenken)	1,89	3	9 454	14 182
51.14	Suintements et rigoles de tourbières	0,24	3	1 182	1 772
51.2	TOURBIERES A MOLINIE BLEUE	45,06	1	901 164	1 351 747
53.1	ROSELIERES	4,51	1	90 204	135 305
53.2	COMMUNAUTES A GRANDES LAICHES	105,43	1	2 108 520	3 162 780
53.5	JONCHAIES HAUTES	20,51	2	205 070	307 605
54.1	SOURCES	11,00	5	0	21 994
54.2	BAS-MARAIS ALCALINS (tourbières basses alcalines)	10,53	3	52 658	78 988
54.4	BAS-MARAIS ACIDES	159,11	3	795 563	1 193 345
54.5	TOURBIERES DE TRANSITION	11,66	4	29 145	40 803
		2179,06		22 403 081,24	33 787 305,80

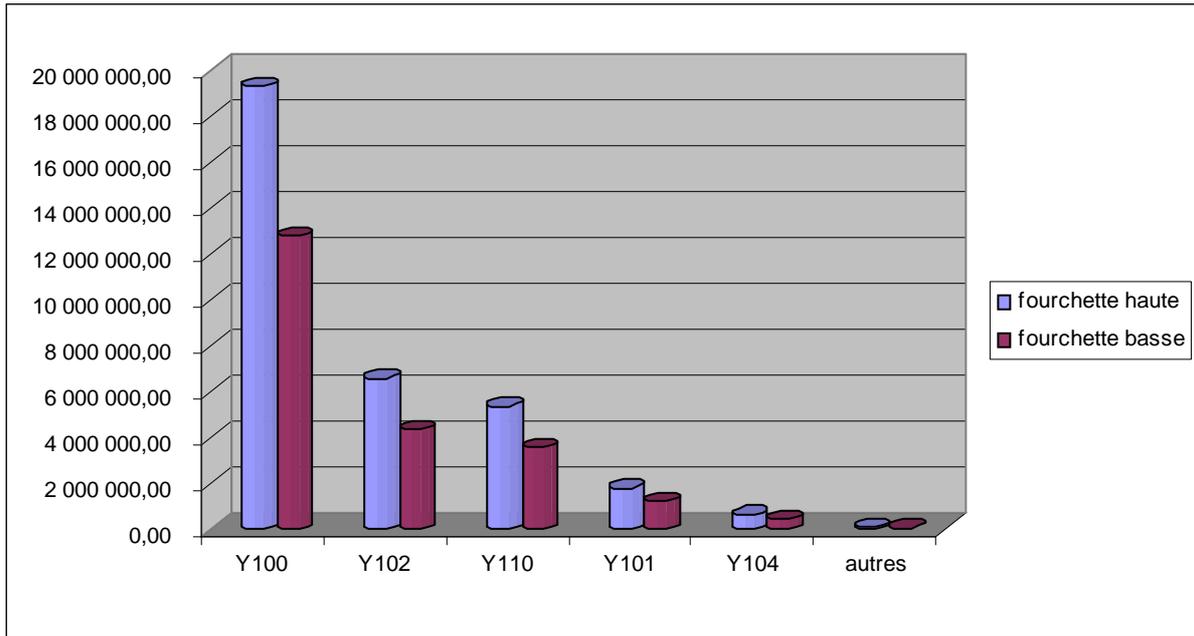
- Tableau 3 contribution de chaque habitat de zone humide aux flux d'eau à l'échelle du bassin de la haute vallée de l'aude

Les volumes d'eau transitant par les zones humides et restitués progressivement au bassin versant sont évalués entre 22 millions et 34 millions de m³ chaque année.

Exprimé sous forme de débit à l'exutoire du bassin de la Haute vallée de l'Aude, ces volumes correspondent à un écoulement moyen compris entre 2 500 et 3 880 m³ / heure.

2.1.2.2 A l'échelle des sous bassins

Sous bassins		fourchette basse m ³ /an	fourchette haute m ³ /an
Y100	L'Aude de sa source à la retenue de Puyvalador incluse	12 800 825,00	19 310 090,00
Y102	La Bruyante	4 347 450,00	6 583 110,00
Y110	Le Rebenty	3 578 875,00	5 367 070,00
Y101	L'Aude de la retenue de Puyvalador à la Bruyante	1 208 475,00	1 803 840,00
Y104	L'Aude de l'Aiguette incluse au Rebenty	419 200,00	650 335,00
autres		48 625,00	73 425,00



2.1.3 Volume d'eau stockée dans les zones humides de la haute vallée de l'Aude

D'après l'inventaire des zones humides, et selon la nature des habitats naturels, on compte 1 545 ha. de sols minéraux ou para-tourbeux et 1365 ha d'histosols.

Le stock en eau (Se) serait donc de

$$Se = ((50\% \times 1545 \text{ ha}) + (83.5\% \times 1365 \text{ ha})) \times 10\,000 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = \mathbf{19\,120\,431 \text{ m}^3}$$

3 ANALYSE ET CRITIQUE DES RESULTATS

Les calculs exposés ci-avant ont pour seule ambition d'offrir un ordre de grandeur aux variables étudiées. Il ne faut pas chercher des valeurs exactes avec la méthode utilisée. Ainsi, plusieurs approximations viennent affaiblir le raisonnement. Par exemple, certains volumes ignorés par la méthode (les sols hydromorphes minéraux surmontés de prairies artificialisées, leur grande surface (600 ha.) laisse supposer une contribution de d'ordre de 1 à 2 Millions de m³ /an), l'effet du manteau neigeux qui n'est pas pris en compte dans notre hypothèse faute de disposer de données dans cette situation, l'effet de l'évapotranspiration qui est probablement un des flux d'eau les plus important au sein d'une zone humide.

Les flux d'eau au sein des zones humides sont ici pour les besoins du calcul réduits aux seuls mouvements verticaux de la nappe, il est évident que dans le cas d'une modélisation rigoureuse, les mouvements horizontaux ne devraient pas être négligés.

La valeur des flux selon les différents habitats naturels est une hypothèse qui demande à être confirmée par des mesures in situ réalisées dans ce bassin. En disposant d'estimations plus précises, le calcul, malgré toutes ses imperfections, gagnerait en précision.

Néanmoins, nous considérons avoir systématiquement cherché à minimiser les résultats pour éviter de pécher par trop d'optimisme. Ainsi, on voit que le rapport stock/flux annuel a une valeur modeste (de 1 à 1.5), ce qui tendrait à démontrer que les valeurs de flux sont sous-estimées.

Les densités de zones humides quant à elles, présentent des valeurs conformes aux densités connues dans d'autres régions : de 4 à 8% des surfaces des bassins pourvus en zones humides (sud massif central ; bassin de l'Agoût, département du Cantal ..)

Les zones humides qui contribuent le plus aux flux d'eau sont les systèmes prairiaux de Prairies humides eutrophes (37.2), les prairies à molinies (37.31), les communautés à reine des prés (37.1) et les communautés à grandes laiches (53.2). Ces habitats naturels ne sont pas connus pour être les plus importants du point de vue du patrimoine naturel (espèces rares), cependant, leur relative abondance et le comportement de la nappe d'eau de leur sol les rendent performant d'un point de vue fonctionnel. Les habitats de tourbières acides actives, auraient eux une contribution plus modeste, exception faite des molinaies dégradées (51.2)..

Une réserve important doit être faite quant à l'exploitation de ces résultats. Il est en effet tentant, une fois exprimés en volume d'eau, de convertir ces résultats en masse monétaire.

Cela est possible à condition :

- de mentionner qu'il s'agit d'exprimer une valeur de remplacement de l'un des services offerts par les zones humides à la communauté humaine³
- que les valeurs attribuées aux zones humides ne se résument pas aux seuls services fonctionnels liés aux flux d'eau
- que les « valeurs » attribuées aux zones humides ne se limitent pas aux seules valeurs chiffrables quelles soient monétaires ou non.

³ voir à ce sujet le rapport du groupe de travail présidé par Bernard Chevassus-au-Louis « Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes » - avril 2009 Centre d'Analyse Stratégique

4 PROPOSITION D'UN PROTOCOLE D'ETUDE

Pour améliorer l'état de la connaissance, nous proposons deux axes d'études. Le premier consisterait à équiper un bassin versant expérimental pour évaluer son bilan hydrologique complet (mesures des variations de nappe, mesures des débits aux exutoires, mesures des précipitations et de l'humidité atmosphérique, mesures des pertes par évapotranspiration etc. ...).

Le second consiste à affiner la connaissance du comportement des nappes des différents habitats naturels de zones humides fréquents sur le bassin de la Haute vallée de l'Aude.

Quoique très intéressant sur le plan de la recherche fondamentale, le premier axe d'étude est complexe à mettre en œuvre, long, aléatoire et difficilement extrapolable à l'ensemble du bassin. A notre avis cette action mériterait d'être mise en œuvre par un laboratoire de recherche.

Le second axe, permettrait avec des moyens plus réduits et une meilleure efficacité dans leur emploi de lever les hypothèses d'évaluation des flux d'eau au travers des zones humides du bassin de la haute vallée de l'Aude. Nous détaillons ci-après un projet de protocole.

4.1 OBJECTIF DU PROJET

Évaluer les services rendus par les zones humides en matière de ressources en eau dans le bassin de la Haute Vallée de l'Aude

L'étude précise du comportement de la nappe d'eau dans les zones humides, permettra d'évaluer les services rendus par ces infrastructures naturelles en matière de ressource en eau sur ce bassin. Cette connaissance permettra d'alimenter la réflexion en matière de politiques publiques de gestion des ressources sur ce territoire.

4.2 PROTOCOLE

4.2.1 Objectif et méthode

- Établir un réseau de stations de suivi des mouvements d'eau dans les zones humides de l'amont du bassin de la Haute Vallée de l'Aude
- Lieu: amont du bassin de la Haute Vallée de l'Aude
- Zones humides étudiées: essentiellement les prairies humides et les prairies tourbeuses
- 25 stations de mesures (2 à 3 stations par type d'habitats naturel suivi)
- Choisir un panel représentatif d'après
 - o des types de zones humides, et des habitats naturels
 - o des types de sols
 - o les modes d'alimentation en eau des zones humides
 - o des secteurs géographiques
 - o la contribution relative de chaque habitat et de chaque secteur géographique aux flux d'eau

Distribution indicative des stations selon les secteurs et les habitats :

Nombre indicatif de stations	Secteurs géographiques
6	Plateau de Sault
2	Pinet
8	Vallées du Capcir
2	Lac d'aude
4	Madres
3	Donezan

Cor. biot	Habitats naturels de zones humides	Surf. ha	types	% surface totale	volume mini m ³ /an	% en volume	Nbre de stations (indicatif)
37.1	Communautés à Reine des prés et communautés associées	225,39	2	10.3	2 253 866	10	2
37.2	PRAIRIES HUMIDES EUTROPHES	741,83	2	34	7 418 341	33.1	3
37.31	Prairies à Molinie et communautés associées	283,81	1	13	5 676 276	25.3	3
44.9	BOIS MARECAGEUX D'AULNE , DE SAULE ET DE MYRTE DES MARAIS	59,22	1	2.7	1 184 460	5.3	2
51.2	TOURBIERES A MOLINIE BLEUE	45,06	1	2	901 164	4	3
53.2	COMMUNAUTES A GRANDES LAICHES	105,43	1	4.8	2 108 520	9.4	3
54.4	BAS-MARAIS ACIDES	159,11	3	7.3	795 563	3.55	2
36.312	Pelouses pyrénéo-alpines hygrophiles à Nard raide	89,26	3	4.1	446 316	2	2
51.1	Tourbières hautes	50	5	2	0	0	2
	Prairies humides reconnues d'après le sol						3
		2179,06			22 403 081,24		25

- Installation sur des sites où la surveillance et la maintenance des installations est possible (accord avec le propriétaire)
- Appareillage
 - o sondes piézométriques (fréquence des relevés recommandée : 12 heures)
 - o sondes barométriques
 - o Petites stations météo (Pluviomètre au minimum)
 - o mesures de conductivité hydraulique des sols
 - o mesures d'humidité volumétrique des sols



• cliché 1 tube piézométrique



• cliché 2 sonde de la société SDEC

4.2.2 Etapes :

4.2.2.1 ETAPE 1 – installation du réseau des stations de suivi – année 1

- Choix des sites et des stations en fonction
 - o des types de zones humides
 - o des habitats naturels
 - o des sols
 - o des propriétaires
- Installation du matériel et mesures préalables
- Sondages pédologiques
- Mesures de conductivité hydraulique et d'humidité volumétrique

4.2.2.2 ETAPE 2 – Suivis - année 1 à 5

- Suivi, maintenance et recueil des données
- Traitement des données
- Surveillance des sondes, gestion des stations météo
- Publication des données brutes
- Analyse et commentaires

4.2.2.3 ETAPE 3 – Restitution- année 5

- Restitution finale: publication des données traitées et analysées

4.2.3 Cout de l'opération

4.2.3.1 Investissement – Année 1

Année 1					
Matériel	unité	nombre	prix unitaire HT	total HT	total TTC
sondes piézométriques	matériel	25	620,00 €	15 500,00 €	18 538,00 €
sondes barométriques	matériel	8	442,00 €	3 536,00 €	4 229,06 €
tubes piézométriques	matériel	25	50,00 €	1 250,00 €	1 495,00 €
fournitures mesures complémentaires	matériel	1	1 500,00 €	1 500,00 €	1 794,00 €
stations météo semi-automatiques	matériel	5	300,00 €	1 500,00 €	1 794,00 €
				23 286,00 €	27 850,06 €
Main d'œuvre (jr)					
Choix des stations	jr	5	600	3 000,00 €	3 588,00 €
Pose des matériels	jr	5	600	3 000,00 €	3 588,00 €
Sondages pédologiques et description du fonctionnement hydraulique	jr	5	600	3 000,00 €	3 588,00 €
Mesures complémentaires: conductivité et humidité volumétrique	jr	5	600	3 000,00 €	3 588,00 €
				12 000,00 €	14 352,00 €
				35 286,00 €	42 202,06 €

4.2.3.2 MAINTENANCE années 2 à 5 - RESULTATS année 5

4.2.3.3

Années 2 - 3 - 4 - 5 (jours)					
Main d'œuvre (jr)					
maintenance et relevés des données	jr	12	600	7 200,00 €	8 611,20 €
traitement des données	jr	8	600	4 800,00 €	5 740,80 €
maintenance des stations météo	jr	6	500	3 000,00 €	3 588,00 €
			par an	15 000,00 €	17 940,00 €
			pour 4 ans	60 000,00 €	71 760,00 €
année 5					
analyse et publication des résultats	jr	5	700	3 500,00 €	4 186,00 €
				63 500,00 €	75 946,00 €

4.2.3.4 Récapitulatif financier

		HT	TTC
<i>investissement et fonctionnement</i>	année1	50 286.00 €	60 142.06 €
<i>fonctionnement</i>	année 2	15 000,00 €	17 240,00 €
<i>fonctionnement</i>	année 3	15 000,00 €	17 240,00 €
<i>fonctionnement</i>	année 4	15 000,00 €	17 240,00 €
<i>fonctionnement et résultats</i>	année 5	18 500,00 €	22 126,00 €
	total sur 5 ans	113 786.00 €	136 088.05 €

Annexes

BIBLIOGRAPHIE (cf. certains textes dans le CD de l'étude) les liens hypertexte renvoient au site du pôle relais tourbières

- Etude du fonctionnement hydrologique des zones humides du Mont-Lozère : l'exemple de la tourbière des Sagnes. Martin C. et Didon-Lescot J.F. ; 2002. Etudes de Géographie Physique, n°XXIX.
- Etude du rôle hydrologique d'une tourbière de montagne modélisation comparée de couples « averse-crue » sur deux bassins versants du Mont-Lozère.
Anne-Laure COGNARD-PLANCQ (1), Christina BOGNER (1), Vincent MARC (1), Jacques LAVABRE (2), Claude MARTIN (3) et Jean-François DIDON-LESCOT (3)
- Facteurs hydrologiques de la dégradation des tourbières hautes à sphaignes des Hautes-Fagnes.(Belgique). Wastiaux C., 2000.
- Article de revue : [Emergence d'un cadre méthodologique pour l'étude hydrologique des zones humides : quelles méthodes pour quels objectifs ?](#) / GIRAUD, François. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2004. - p. 22-31
- Article d'un ouvrage : [Les tourbières : facteurs essentiels du fonctionnement hydrique.](#) / LAPLACE-DOLONDE, Arlette. - Paris : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2003. - p. 7-12
- Actes de colloques : [Table ronde "Tourbières de France : Elaboration de nouveaux outils de diagnostic, de gestion et de suivi / Lyon : 24-26 septembre 2002.](#) / LAPLACE-DOLONDE, Arlette. Pôle-relais Tourbières, 2002. - 67 p.
- Article de revue : [L'eau et les zones humides.](#) Zones humides infos, 2003, n°41. - p. 2-23
- Article de revue : [Fonctionnement hydrologique de la Tourbière du Grand Lemps \(Isère, France\).](#) / DZIKOWSKI, Marc ; LAPLACE-DOLONDE, Arlette ; NICOU, Gérard ; POINT, Mathieu. -Paris : Elsevier, 2000. - p. 125-142
- Rapport universitaire : [Fonctionnement hydrologique d'une zone humide : conséquences sur son potentiel épurateur.](#) / AUGÉARD, Bénédicte. Université de Paris-Sud, 2002. - 57 p.
- Tiré-à-part : [Hydrological processes in abandoned and restored peatlands : an overview of management approaches.](#) / PRICE, Jonathan ; HEATHWAITE, A.L. ; BAIRD, Andrew James. Wetlands Ecology and Management, 2003, n°11. - p. 65-83
- Rapport d'étude : [Tourbière de la Morte-Femme \(Vosges\) : expertise hydrologique.](#) / BAUBRON, J-C. ; WENG, Philippe ; NGUYEN-THE, D. . Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 2001. - 43 p.
- Tiré-à-part : [Artificial drainage of peatlands : hydrological and hydrochemical process and wetland restoration.](#) / HOLDEN, J. ; CHAPMAN, P.J. ; LABADZ, J.C.. Progress in Physical Geography, 2004, vol. 28, n°1. - p. 95-123
- Rapport universitaire : [Bilan écologique et approche du fonctionnement hydrologique du bas-marais de Vesly-Pissot \(50\).](#) / MAINGARD, Julie. Université d'Angers, 2004. - 32 p. + annexes
- Rapport d'étude : [Tourbières de l'Herrétang : étude hydraulique.](#) / Temcis Consultants. 2002. - 21 p.
- Thèse : [Facteurs hydrologiques de la dégradation des tourbières hautes à sphaignes des Hautes-Fagnes.](#) / WASTIAUX, Cécile. Université de Liège, 2000. - 223 p.
- Article d'un ouvrage : [Le fonctionnement hydrologique des zones humides.](#) / BENDJOURI, Hocine. Dunod, 2000. - p. 61-81
- Article d'un ouvrage : [Petites zones humides de fond de vallée : fonctionnement hydrologique.](#) Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2003. - p. 16-19
- Rapport d'étude : [Etude hydrologique de la tourbière du Col, réserve naturelle nationale lac Luitel.](#) / HUSTACHE, Eric. Office National des Forêts, 2004. - 61 p.
- Actes de colloques : [Elaboration de nouveaux outils de diagnostic, de gestion et de suivi des tourbières / Actes de la Table ronde " Tourbières de France ", Lyon, 24-26 septembre 2002.](#) Cahiers scientifiques et techniques, 2005, n°4. - 290 p.
- Thèse : [Interactions solides-solutions dans une zone humide à tourbe : le marais de Taligny \(France\).](#) / JAFFRE, Christelle. Université de Tours, 2003. - 295 p.
- Rapport universitaire : [Etude du comportement hydrologique et hydrochimique du lac tourbière Luitel durant la période de dérivation : septembre 2001- août 2002.](#) / HUSTACHE, Eric. Université de Grenoble I, 2002. - 156 p.
- Rapport d'étude : [Evaluation hydrochimique et suivi hydrologique du plan d'eau lacustre du Luitel. Rapport 2004-2005.](#) / NEDJAI, Rachid. 2005. - 20 p.
- Rapport d'étude : [La tourbière de la Verrerie : diagnostic hydrologique et préconisations de restauration.](#) / SAGET, Marion. Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels, 2006. - 54 p. + annexes
- Rapport universitaire : [La genèse et le fonctionnement actuel des marais de Saint-Gond : introduction à l'hydrologie et à l'hydrogéologie des Marais.](#) / SALAÜN, Frédéric. Université de Lille, 2000. - 131 p.
- Tiré-à-part : [Fonctionnement hydrologique d'une tourbière drainée : la plaine de la Sénégrière \(Lozère\).](#) / MARTIN, Claude ; DUGUEPEROUX, Franck ; DIDON-LESCAUT, Jean-François. Etudes de géographie physique, 2008, n°XXXV. - p. 3-23

- Rapport universitaire : [Les impacts engendrés par la modification du régime hydrique, découlant de l'enneigement artificiel.](#) / DEMERS, Anne-Sophie. Université de Sherbrooke (Québec), 2006. - 62 p. + annexes
- Thèse : [Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central.](#) / PORTERET, Jérôme. Université Jean Monnet, 2008. - 405 p. + annexes
- Article de revue : [Les effets du reméandrement de ruisseaux temporaires en forêt de Chaux \(Jura, France\) sur le fonctionnement hydrique des sols riverains : premiers résultats.](#) / LUCOT, Eric ; DEGIORGI, François ; AUGÉ, Vincent ; PERERA, Stéphane ; BADOT, Pierre-Marie ; DURLET, Pierre. Forêt wallonne, 2008, n°97. - p. 29-38
- Article d'un ouvrage : [Etude du fonctionnement hydrologique d'une tourbière basse du nord-est du Massif Central français : la Prenarde dans les Monts du Forez.](#) / PORTERET, Jérôme. Université de Saint-Etienne, 2007
- Rapport universitaire : [Comportement hydraulique d'une parcelle de marais cultivé : utilisation de la simulation sur trente ans pour l'étude des possibilités d'intervention culturelles.](#) / NEZ, Christiane. CEMAGREF, 1981. - 111 p.
- Tiré-à-part : [Evidence that piezometers vent gas from peat soils and implications for pore-water pressure and hydraulic conductivity measurements.](#) / WADDINGTON, J.M.. Hydrological processes, 2009. - 6 p.
- Article de revue : [Le fonctionnement hydrologique de la tourbière des Narcis de la Sauvetat.](#) / NEGREL, Ph.. Echo des tourbières, 2009, n°16. - p. 12-13
- Article d'un ouvrage : [Le rôle de l'hydrogéologie dans le fonctionnement hydrologique des tourbières.](#) / DZIKOWSKI, Marc. Cahiers scientifiques et techniques, 2005. - p. 26-30
- Article d'un ouvrage : [Le remplissage tourbeux : relation avec le fonctionnement hydrologique et la nature des eaux.](#) / LAPLACE-DOLONDE, Arlette. Cahiers scientifiques et techniques, 2005. - p. 32-41
- Article d'un ouvrage : [La tourbière de l'étang du Grand Lemps \(38\)](#) / DZIKOWSKI, Marc. Cahiers scientifiques et techniques, 2005. - p. 64-69
- Article d'un ouvrage : [La tourbière de Logné \(44\) : un fonctionnement complexe, un diagnostic contrasté, une gestion délicate.](#) / LAPLACE-DOLONDE, Arlette. Cahiers scientifiques et techniques, 2005. - p. 72-85
- Article d'un ouvrage : [Etude hydrologique et hydrochimique de la tourbière de la basse vallée de l'Ay \(50\).](#) / PAQUEREAU, V. ; WETTON, Jean-Baptiste ; AQUILANA, Luc ; TORTRAT, F.. Cahiers scientifiques et techniques, 2005. - p. 126-132