

Parc naturel régional des Grands Causses

71 boulevard de l'Ayrolle
 BP 50126
 12101 MILLAU cedex
 Tel : 05.65.61.35.50
 Fax : 05.65.61.34.80



Avec le soutien de :

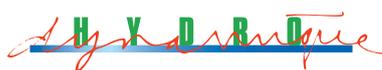


Phase 1

Etat des lieux et diagnostic

Rapport annexe sur les traçages
 sur une zone probable de pertes hydrologiques

Octobre 2010



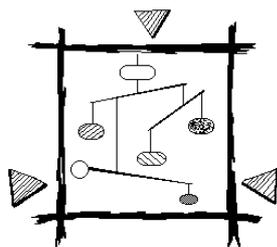
DYNAMIQUE HYDRO
 18, Avenue Charles De Gaulle
 69370 Saint Didier au Mont d'Or
 Tel-Fax : 04.78.83.68.89
 contact@dynamiquehydro.fr
 www.dynamiquehydro.fr



CALLIGEE Sud Ouest
 Le Prologue 2 - BP 2717
 31312 Labège cedex
 Tel : 05.62.24.36.97
 Fax : 05.61.39.07.28
 toulouse@calligee.fr

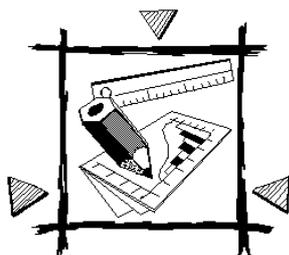


HYDRETUDES-Agence de Toulouse
 20, Boulevard de Thibaud
 31100 Toulouse
 Tel : 05.62.14.07.43 - Fax : 05.62.14.08.95
 contact-toulouse@hydretudes.com
 www.hydretudes.com



SOMMAIRE

LISTES DES ILLUSTRATIONS	3
LISTES DES ANNEXES	4
1 – INTRODUCTION	5
2 – RAPPELS DU CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	6
2.1 – Contexte hydrologique	6
2.2 – Contexte géologique et hydrogéologique	6
2.3 – Hypothèse des relations muze-source des douzes	7
3 – CAMPAGNE DE JAUGEAGE SUR LA MUZE	8
3.1 – Résultats des jaugeages	8
3.2 – Comparaison des deux campagnes de jaugeage	9
3.3 – conclusion	10
4 – PROTOCOLE DE TRAÇAGES	11
4.1 – Objectifs	11
4.2 – Choix de la technique d’injection	11
4.3 – Choix des points d’injection	11
4.4 – Choix des traceurs et quantités injectées	11
4.5 – Déroulement des injections	12
4.6 – Suivi de la restitution	12
4.7 – Analyses des échantillons	14
5 – RESULTATS DES TRAÇAGES	15
5.1 – Résultats des débits	15
5.1.1 – La Muze	15
5.1.2 – La source des Douzes	15
5.2 – Résultats des traçages	16
5.2.1 – Observations visuelles	16
5.2.2 – Résultats des injections	16
6 – CONCLUSION	23
PHOTOS	25
CARTES	30
ANNEXES	34



LISTES DES ILLUSTRATIONS

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits mesurés de la Muze le 30/07/2001	7
Tableau 2 : Débits mesurés dans la Muze et son affluent, la Muzette	8
Tableau 3 : Comparaison des débits mesurés de la Muze en 2001 et 2010.....	9
Tableau 4 : Limites de détection en laboratoire (Technique du double balayage synchronisé – Spectrofluorimètre Hitachi-2500, sans filtration)	11
Tableau 5 : Récapitulatif des injections	12
Tableau 6 : Matériel installé pour le suivi de l'injection.	13
Tableau 7 : Matériel installé pour le suivi de la restitution.....	13
Tableau 8 : Résultats du traçage en Fluorescéine - La Muze à Gignac.....	17
Tableau 9 : Résultats du traçage en Sulforhodamine - La Muze à Barruques	19
Tableau 9 : Résultats des 2 traçages- La Muze à St Hippolyte	22
Tableau 10 : Récapitulatif des informations obtenues à partir des traçages.....	24

LISTES DES FIGURES

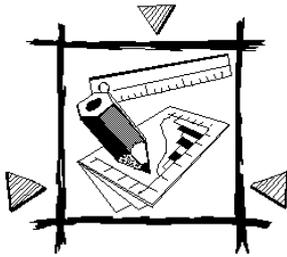
Figure 1 : Comparatif des variations de débits mesurés en 2001 et 2010.	9
Figure 2 : Débits journaliers des mois d'août et septembre 2010 (en m ³ /s).....	15
Figure 3 : Courbe de restitution de la fluorescéine dans la Muze, à Gignac	17
Figure 4 : Courbe de restitution de la sulforhodamine dans la Muze, à Barruques.....	18
Figure 5 : Courbe de restitution de la sulforhodamine dans la Muze à St Hippolyte	20
Figure 6 : Courbe de restitution de la fluorescéine dans la Muze à St Hippolyte	21

LISTES DES PHOTOS

Photo 1 : Citerne de 4 m ³ contenant le mélange de sulforhodamine	26
Photo 2 : Injection de la sulforhodamine en continu	26
Photo 3 : La Muze colorée par la sulforhodamine au Rauzel.....	27
Photo 4 : Citerne de 3m ³ contenant le mélange de fluorescéine	28
Photo 5 : La Muze colorée par la fluorescéine au pont de Pomayrols	28
Photo 6 : Fluorimètre de terrain déposé dans la Muze à Gignac	29
Photo 7 : Préleveur autonome installé à la sortie de la source de Douzes	29

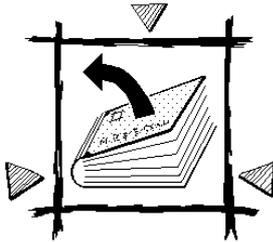
LISTES DES CARTES

Carte 1 : Contexte géologique du bassin versant de la Muze et localisation des points de jaugeages	31
Carte 2 : Localisation des points de jaugeage	32
Carte 3 : Localisation des points d'injection et des points de suivi.....	33



LISTES DES ANNEXES

Annexe 1 : Résultats du traçage à la fluorescéine.....	38
Annexe 2 : Résultats du traçage à la sulforhodamine.....	43



1 – INTRODUCTION

Le Parc Naturel Régional des Grands Causses réalise une étude du bassin versant de la Muze dans l'objectif d'établir un programme d'action permettant d'atteindre avant 2015, un bon état écologique des différents milieux aquatiques constituant ce ruisseau. Ce programme rentre dans les orientations de la Directive Cadre sur l'Eau et les objectifs du SDAGE ADOUR GARONNE 2010-2015.

Afin d'obtenir des précisions sur le fonctionnement hydrologique et géomorphologique du bassin versant de la Muze, une étude a été lancée par le Parc Naturel Régional des Grands Causses et attribuée au groupement Dynamique Hydro (65), Hydrétudes (31) et Calligée (31). La mission confiée à CALLIGEE était de réaliser deux traçages dans la Muze sur une zone probable de pertes et de prouver les relations supposées entre ces pertes et la source karstique des Douzes, émergeant en bordure du Tarn, plus au Sud.

Cette hypothèse a été avancée par l'étude hydrogéologique du Causse Rouge menée par le Parc en 1999 (*Etude hydrogéologique du Causse Rouge, connaissance, aménagement et protection des ressources en eau souterraine, ANTEA, juin 1999*), ainsi que par des résultats de jaugeages effectués sur la Muze en 2001 par un stagiaire du Parc. Ces derniers avaient conclu à l'existence de pertes de l'ordre de quelques dizaines de litres/secondes sur la partie amont du bassin versant, ce qui n'est pas négligeable.

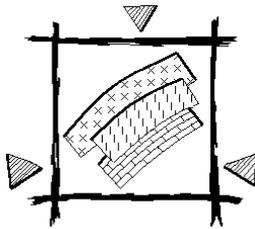
L'objectif de la mission demandée à CALLIGEE était :

- o de localiser précisément ces pertes à partir d'une campagne de jaugeages sériés d'amont en aval sur le ruisseau,
- o de réaliser deux injections de traceurs en amont et aval de ces pertes, avec surveillance de la restitution sur 2 sources (les Douzes dans la vallée du Tarn et Fontliane dans la vallée du Lumansonesque),
- o d'établir un rapport de synthèse et d'interprétation des données.

L'opération a eu lieu en période de basses eaux (1^{er} septembre 2010). Le suivi de la restitution était prévu sur 1 mois.

Ce rapport présente :

- o le contexte général du secteur d'étude,
- o la reconnaissance du terrain comprenant une campagne de jaugeages,
- o les conditions et résultats du traçage,
- o la synthèse des résultats,
- o une conclusion.



2 – RAPPELS DU CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.1 – CONTEXTE HYDROLOGIQUE

La Muze est un cours d'eau de 29,3 km de long, qui se jette dans le Tarn juste en aval de Millau. Sa source est localisée à une altitude de 910 m NGF alors que son exutoire est à 333 m d'altitude NGF. La pente est moyenne à faible, générant un faciès d'écoulement alternant entre le type plat et le type radier.

La Muze est alimentée par de nombreux ruisseaux et par des ravins lors de fortes précipitations.

Le cours d'eau est suivi par le Parc au niveau du hameau Saint-Hippolyte sur la commune de Montjoux. Cette station permet d'avoir des données hydrologiques de la Muze depuis 1968, qui peuvent fournir des renseignements sur le fonctionnement hydraulique du ruisseau. La Muze est un ruisseau assez abondant mais très irrégulier. Il présente des variations saisonnières de débit assez marquées. Les hautes eaux se caractérisent par des débits mensuels moyens allant de 2,02 à 2,92 m³/s. Alors qu'en période d'étiage, ils diminuent jusqu'à atteindre au mois d'août, un minima moyen de 0,174 m³/s.

Son bassin versant, d'une surface de 112 km², présente un réseau hydrographique cumulé de 64 km. Il est principalement occupé par des forêts, des prairies et des terres arables.

2.2 – CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Le bassin versant de la Muze est situé dans la partie méridionale du Massif Central. Il est plus précisément localisé au niveau de la discordance du causse Rouge sur les monts du Lézou. Il est encadré par le causse de Séverac au Nord et par le causse du Larzac au Sud.

Dans la partie occidentale du bassin, les formations métamorphiques qui constituent les monts du Lézou, affleurent largement. Elles sont composées majoritairement par des migmatites et des micaschistes à deux micas. Ce socle métamorphique est recouvert par des placages sédimentaires qui marquent le début du causse Rouge. Ces formations tabulaires sont composées de grès rouges ou gris du Trias moyen, surmontés par une série de couches bien stratifiées datant du Lias, constituées de dolomies et calcaires dolomitiques et de bancs de calcaire massif.

Le secteur présente de nombreuses failles dont les directions sont assez variées. Une série de fractures présente une direction NE-SO, recoupée par trois failles majeures NO-SE. Ces nombreuses figures tectoniques sont dues au jeu ou rejeu des accidents du socle auxquels se sont ajoutés de nouvelles cassures. Certaines de ces failles coupent la Muze.

Une carte géologique du bassin versant est présentée en annexe ([carte 1](#)).

Le ruisseau de la Muze est alimenté par le ruissellement des eaux de pluie sur le socle imperméable du Lézérou et par des venues d'eau souterraine du causse Rouge, notamment par l'intermédiaire de fractures ou de failles. Celles-ci sont également susceptibles de jouer un rôle de drains, en relation avec les pertes présumées et identifiées dans le cours d'eau.

Les formations calcaires fortement karstifiées du Jurassique permettent l'infiltration des eaux météoriques vers le sous-sol. Elles constituent un aquifère discontinue, drainé par de nombreuses sources existant dans le secteur. Certaines d'entre elles sont captées pour l'alimentation en eau potable. Elles se localisent généralement à la base de la série triasique, au niveau de la discordance avec le socle métamorphique.

2.3 – HYPOTHESE DES RELATIONS MUZE-SOURCE DES DOUZES

La source des Douzes est une émergence de la bordure méridionale du causse Rouge et localisée sur les berges du Tarn à Comprégnac.

Cette source possède un débit très soutenu (autour de 40 l/s en étiage) ce qui implique une surface de bassin d'alimentation importante et dirigée vers le Nord, c'est-à-dire vers la Muze.

Dans le cadre des études menées par le Parc en 1999, une analyse des éléments en traces avait été réalisée et consistait à comparer, entre autres, les eaux de la Muze et celles de la source des Douzes. Les valeurs des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ont démontré la contribution des eaux de la Muze à l'alimentation de la source des Douzes, dans une proportion d'environ 20 % soit 8 l/s en étiage.

Une campagne de jaugeage a été réalisée par le Parc Naturel Régional des Grands Causses durant l'été 2001. Elle a permis de mettre en évidence une zone de pertes entre les villages de Saint Léons et Saint Beauzély. Le débit de la Muze diminuerait plus précisément entre les lieux dits « Les Cauzits » et « Salsac », dans un secteur où affleurent les calcaires jurassiques, assez fracturés d'après les observations de terrain.

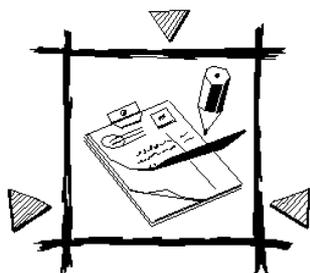
Le débit total des pertes était de 15 l/s entre les Cauzits et le point du Ramier et de 35 l/s entre le Ramier et Salsac.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Débits mesurés de la Muze le 30/07/2001

ID	Site	Débits (l/s)
1	Pomayrols	67
3	Les Cauzits	113
11	La Muzette	99
4	Le Ramier	197
7	Salsac	162
9	Camping de St Beauzély	264

Les numéros indiqués font référence à la carte 2.



3 – CAMPAGNE DE JAUGEAGE SUR LA MUZE

Une reconnaissance de terrain a été réalisée le 29 et 30 août, en période d'étiage sévère. Elle a consisté à effectuer une série de jaugeages de la Muze afin de repérer les zones préférentielles de pertes et localiser les meilleurs sites pour les injections.

3.1 – RESULTATS DES JAUGEAGES

La localisation des jaugeages réalisés pour cette reconnaissance de terrain a été ciblée dans le secteur présumé des pertes, déduit de la campagne de jaugeage de 2001.

10 jaugeages au courantomètre ont été effectués sur la Muze et sur la Muzette. Les débits mesurés à +/- 5 % sont récapitulés dans le tableau ci-dessous et localisés sur la [carte 1 et 2](#).

Tableau 2 : Débits mesurés dans la Muze et son affluent, la Muzette

	La Muze					
	Commune	ID	Site	Débits (m ³ /s)	Débits (l/s)	≠ amont-aval
Amont ↓ Aval	Saint Léons	1	Pomayrols	0,01	10	
		2	Les Près	0,012	12	+ 2
		3	Les Cauzits	0,009	9	- 3
	Saint Beauzély	4	Le Ramier	0,01	10	+ 1
		5	Point alt 637	0,012	12	+ 2
		6	Gignac	0,019	19	+ 7
		7	Salsac	0,018	18	- 1
		8	Rauzel	0,022	22	+ 4
		9	Camping de St Beauzély	0,013	13	- 9
		10	Barruques	0,019	19	+ 6

La Muzette				
Commune	ID	Site	Débits (m ³ /s)	Débits (l/s)
Saint Beauzély	11	Le Ramier	0,005	5

Les débits calculés sont très faibles, compris entre 10 et 20 l/s, d'amont en aval.

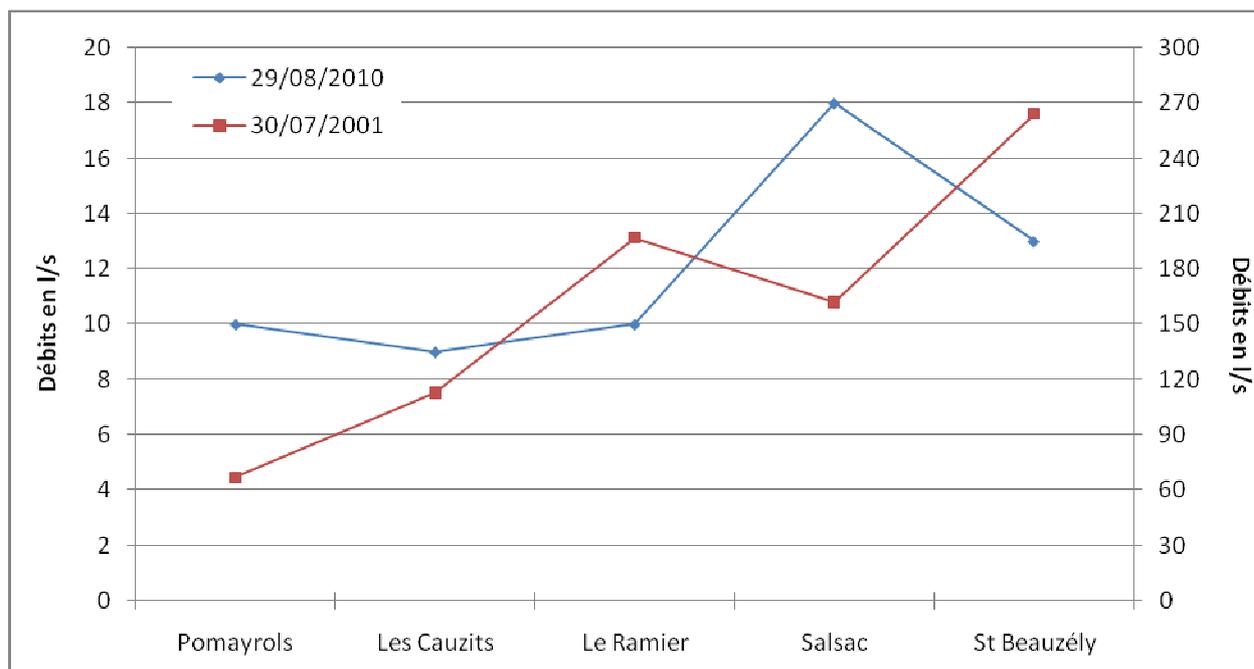
3.2 – COMPARAISON DES DEUX CAMPAGNES DE JAUGEAGE

Le tableau 3 ainsi que le graphique suivant permettent de comparer les valeurs des deux campagnes de débits (juillet 2001- août 2010).

Tableau 3 : Comparaison des débits mesurés de la Muze en 2001 et 2010

ID	Site	29/08/2010		30/07/2001	
		Débits (l/s)	≠ amont-aval	Débits (l/s)	≠ amont-aval
1	Pomayrols	10		67	
3	Les Cauzits	9	- 1	113	46
11	La Muzette	5	- 4	99	-14
4	Le Ramier	10	+ 5	197	98
7	Salsac	18	+ 8	162	-35
9	Camping de St Beauzély	13	- 5	264	102
10	Barruques	19	+ 6	NM	NM

Figure 1 : Comparatif des variations de débits mesurés en 2001 et 2010.



La comparaison entre ces données amène aux conclusions suivantes :

- o les débits mesurés en 2010 sont en général 10 fois plus faibles que ceux de juillet 2001. Ils sont représentatifs d'étiage sévère,
- o les zones identifiées de diminution de débit ne coïncident pas forcément entre les deux campagnes de mesures.

La campagne 2001 avait indiqué une diminution du débit de 50 l/s entre les Cauzits et Salsac. Or, dans ce secteur, les jaugeages de 2010 ont montré un déficit dans une zone beaucoup plus restreinte, localisée entre les Cauzits et le Ramier. En effet, l'apport de 5 l/s par la Muzette devrait donner un débit de la Muze en aval de la confluence de 14 l/s alors qu'il a été mesuré à 10 l/s, soit une perte de 4 l/s.

Une autre diminution de débit de 9 l/s a été constatée entre le Rauzel et le camping de St Beauzély (voir [tableau 2](#)). Cette perte plus conséquente n'avait pas été identifiée dans la campagne de 2001.

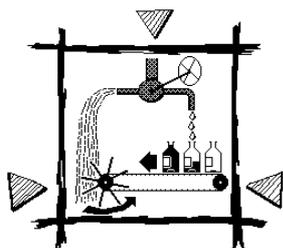
3.3 – CONCLUSION

La campagne de jaugeages a permis de mettre en évidence une perte d'une dizaine de litres par seconde, localisée entre Gignac et le camping de Saint Beauzély.

Cependant, cette valeur est à prendre avec précaution car les mesures sont entachées d'erreurs d'incertitudes (+/- 5 %), liées à la mesure elle-même (section de jaugeage non calibrée) et à l'appareil utilisé. De plus, l'incertitude est d'autant plus grande que le débit est faible, ce qui est le cas.

Les points d'injection des traceurs ont donc été positionnés en fonction de ces pertes potentielles avec :

- en amont des pertes situées entre « les Près » et « Ramier », soit au niveau du pont de Pomayrols,
- en aval des pertes localisées entre « Rauzel » et le camping, soit au pont de Rauzel.



4 – PROTOCOLE DE TRAÇAGES

4.1 – OBJECTIFS

Les traçages ont pour but de vérifier les éventuelles pertes de la Muze et leurs relations avec les eaux souterraines et notamment la source des Douzes.

Une injection de fluorescéine sur la partie amont du ruisseau avait pour objectif de tracer les pertes situées en aval immédiat de St Léons, dans une zone où le calcaire jurassique affleure. La deuxième injection de sulforhodamine B devait permettre de suivre la perte repérée par la série de jaugeages et d'identifier de nouvelles pertes potentielles illustrées géologiquement par de nombreuses fractures dans les grès.

L'opération de traçage a été réalisée sur 20 jours avec l'injection le 1^{er} septembre et un suivi jusqu'au 24 septembre.

4.2 – CHOIX DE LA TECHNIQUE D'INJECTION

L'objectif de ces traçages est de faire en sorte que les traceurs injectés dans la Muze s'infiltrent de manière diffuse dans les fractures associées aux pertes.

Pour ce faire, il a été décidé de réaliser les injections en continu afin d'allonger le temps de passage au niveau des pertes supposées et donc de favoriser l'infiltration.

4.3 – CHOIX DES POINTS D'INJECTION

L'injection de fluorescéine a été réalisée au niveau du pont de Pomayrols. Une petite aire de stationnement en bordure de route juste après le pont a permis de placer la citerne contenant le traceur.

La sulforhodamine a été injectée au Rauzel, en bordure de la route départementale 96 qui rejoint St Beauzély.

4.4 – CHOIX DES TRACEURS ET QUANTITES INJECTEES

Les traceurs utilisés sont des traceurs fluorescents faciles à mettre en œuvre et à analyser par les laboratoires spécialisés. De plus, les seuils de détection dans les eaux naturelles sont très faibles (tableau ci dessous).

Tableau 4 : Limites de détection en laboratoire (Technique du double balayage synchronisé – Spectrofluorimètre Hitachi-2500, sans filtration)

	Eaux naturelles optiquement propres	Bruit de fond existant
Uranine (Fluorescéine)	0.002 µg/l	0.01 µg/l
Sulforhodamine B	0.008 µg/l	0.01 µg/l

Les sources suivies ne sont pas exploitées pour l'alimentation en eau potable. Les quantités de traceurs peuvent alors être choisies avec une seule condition, qu'elles soient suffisantes pour être détectées au niveau des points de suivi.

Ainsi, 8 kg de fluorescéine et 6 kg de sulforhodamine B ont été injectées, après dilution dans des citernes de type alimentaire.

4.5 – DEROULEMENT DES INJECTIONS

Les injections ont été réalisées dans l'après-midi du 1^{er} septembre 2010.

L'injection de la sulforhodamine a été le premier traçage réalisé au niveau du point le plus en aval. Un quantité de 6 kg de traceur a été mélangée dans 2 poubelles contenant chacune 30 l d'eau. Puis, ce mélange a été versé dans une citerne contenant 4 m³ d'eau. Le débit de sortie a été contrôlé par une vanne, de sorte que l'injection soit continu pendant 12h.

Le deuxième traçage à la fluorescéine a été réalisé 2 h plus tard sur le point amont. La méthodologie de l'injection a été la même que pour la première.

Les conditions des injections sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Récapitulatif des injections

	Pomayrols – St Léons	Le Rauzel – St Beauzély
X (L2 m)	651 005	650 344
Y (L2 m)	1 913 793	1 908 141
Z (m NGF)	750	608
Date d'injection	01/09/2010 à 17h50	01/09/2010 à 15h50
Traceur	Fluorescéine	Sulforhodamine
Masse injectée	8 kg	6 kg
Dilution initiale	8 kg dilué dans 3 000 l soit 2,7 g/l	6 kg dilué dans 4 000 l soit 1,5 g/l
Modalité d'injection	En continu sur 12h	En continu sur 12h
Débit d'injection	≈ 0,07 l/s	≈ 0,09 l/s

Les conditions météorologiques étaient bonnes pour la réalisation de traçages. Les pluies cumulées en août étaient seulement de 6,2 mm à la station de Millau ([figure 2](#)). Aucune précipitation n'a été enregistrée entre le 9 août 2010 (0,2 mm) et le 1 septembre 2010.

Le contexte hydrologique correspondait à un étiage avancé.

4.6 – SUIVI DE LA RESTITUTION

L'injection a été suivie à l'aide de 2 fluorimètres de terrain, installés dans la Muze en aval immédiat des pertes présumées. Ces appareils permettent de mesurer directement les concentrations du traceur en utilisant des photodiodes. Ils ont été programmés pour réaliser des mesures à un pas de temps de 10 min.

Un préleveur autonome a également été mis en place à l'exutoire du bassin versant, au lieu-dit St-Hippolyte, où se trouve une station de mesures appartenant au Parc.

Ces matériels de suivi ont été retirés après le passage des nuages de traceurs.

Tableau 6 : Matériel installé pour le suivi de l'injection.

	Fluorescéine	Sulforhodamine	
Points de suivi	La Muze Lieu-dit : Gignac Commune : St Léons	La Muze Lieu-dit : St Hippolyte Commune : Montjaux	La Muze Lieu-dit : Barruques Commune : St Beauzély
Distance du point d'injection	6,4 km	de Pomayrols : 24 km du Rauzel : 15,7 km	4 km
Matériels	Fluorimètre de terrain	Préleveur autonome	Fluorimètre de terrain
Durée de suivi	5 jours	10 jours	5 jours

La restitution a été suivie à l'aide de préleveurs autonomes au niveau de 2 points :

- o la source de Fontliane sur la commune d'Aguessac, au nord de Millau. Les eaux sortent des dolomies de l'Hettangien, à la faveur d'une faille orientée NW-SE. Cette source était captée gravitairement pour alimenter la commune en eau potable. Elle a été récemment abandonnée pour des raisons de forte turbidité.
- o la source des Douzes qui est située à Comprégnac, dans la vallée du Tarn, en contrebas de la route CD41, sur la parcelle de Mr Bernet. Cette source aménagée alimentait à l'époque une pisciculture. Aujourd'hui, les bassins ont été conservés dont le trop-plein principal est rejeté dans le Tarn. Une station de mesures du Parc est également présente sur ce site. D'un point de vue géologique, la résurgence se situe dans les dolomies hettangiennes.

Un pas de temps d'acquisition adapté a été établi pour ces 2 points : 5 h pour les 5 premiers jours, 7 h pour la semaine suivante et 14 h pendant 12 jours. Ainsi, le suivi de la restitution a été réalisée sur une période de 24 jours.

Tableau 7 : Matériel installé pour le suivi de la restitution

	Source de Fontliane	Source des Douzes
Points de suivi	Lieu-dit : le Mas Nau Commune : Aguessac	Lieu-dit : les Douzes Commune : Comprégnac
Distance du point d'injection	de Pomayrols : 10,7 km du Rauzel : 8,5 km	de Pomayrols : 14,5 km du Rauzel : 9 km
Matériels installés	Préleveur autonome	Préleveur autonome
Durée de suivi	24 jours	20 jours

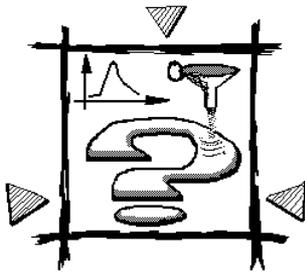
Le dispositif de suivi établi dans le cadre de cette étude est résumé sur la carte 3 en annexe.

4.7 – ANALYSES DES ECHANTILLONS

Les échantillons prélevés à l'aide des préleveurs autonomes ont été analysés au laboratoire d'hydrogéologie d'Orléans. L'analyse se fait par spectrofluorimétrie. Le spectrofluorimètre est un appareil mono-faisceau dont la résolution de balayage est de l'ordre de 2 nm. Les analyses ont porté sur :

- o la concentration nette en traceur ($\mu\text{g/l}$) il s'agit de la concentration réelle en traceur corrigée du bruit de fond lié au matière organique fluorescentes,
- o des spectres d'excitation,
- o des spectres d'émission.

La réalisation de spectres permet de définir si le signal observé correspond effectivement au traceur recherché. Le spectre est positif quand le traceur est celui recherché et négatif si le signal ne correspond pas au traceur.



5 – RESULTATS DES TRAÇAGES

5.1 – RESULTATS DES DEBITS

Le Parc Naturel Régional des Grands Causses possède des stations de mesures qui permettent de suivre en continu la Muze, juste en amont de sa confluence avec le Tarn, et la source des Douzes. Les données suivantes ont donc été fournies par le Parc et récupérées dans la Banque Hydro.

5.1.1 – La Muze

Les injections de traceurs dans la Muze ont été réalisées lors d'un étiage sévère. Les débits journaliers moyens étaient au plus bas. A partir du 22 août jusqu'au 6 septembre, ils n'excédaient pas les 50 l/s. Puis, de légères précipitations dans le secteur ont entraîné une augmentation du débit qui atteint 350 l/s le 8 août et se stabilise ensuite à 100 l/s pendant une dizaine de jours.

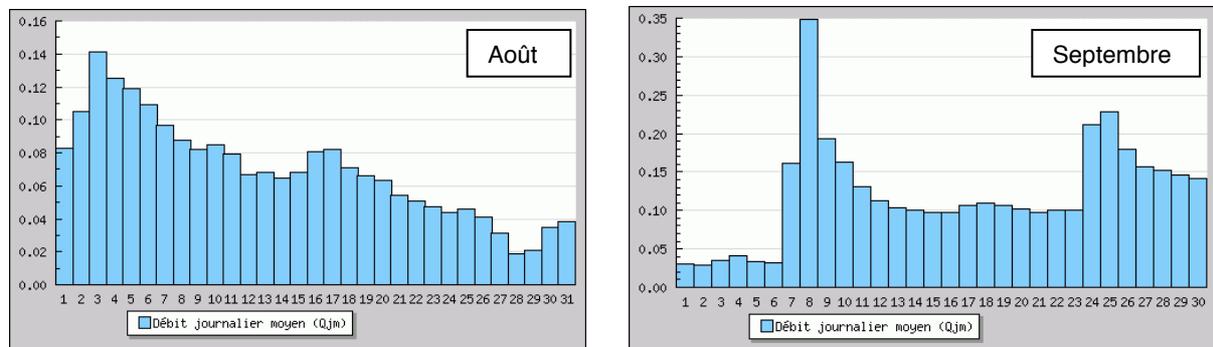


Figure 2 : Débits journaliers des mois d'août et septembre 2010 (en m³/s)

Source : Banque Hydro

5.1.2 – La source des Douzes

Le Parc n'a pas pu fournir les débits réels de la source. La station de mesures a été dérégulée par des travaux réalisés sur le site à partir de juillet 2010.

Une mesure manuelle du débit à l'aide d'un sceau au niveau du trop-plein du bassin, a permis d'avoir un débit approximatif de 30 l/s.

5.2 – RESULTATS DES TRAÇAGES

5.2.1 – Observations visuelles

5.2.1.1 – Traçage à la sulforhodamine

Le nuage de traceur s'est déplacé très lentement. Il a été observé le 1^{er} septembre à 19h45 au camping de St Beauzély, soit 4 h après l'injection. La vitesse de déplacement moyenne était alors de 250 m/h. Le lendemain, la coloration rouge a été vue à la station d'épuration de St Beauzély à 10h00, soit un linéaire supplémentaire de 1,3 km en 15 h. La vitesse de déplacement du nuage, de 90 m/h, était encore plus lent du fait d'une pente très faible sur ce tronçon, générant des passages de courant plat et lent.

5.2.1.2 – Traçage à la fluorescéine

Le nuage de fluorescéine a été observé au Cauzits, le lendemain de l'injection à 10h25. La vitesse de déplacement était alors de 230 m/h.

5.2.2 – Résultats des injections

5.2.2.1 – Source de Fontliane et source des Douzes

Pendant la période de suivi, aucune restitution n'a été décelée dans les échantillons prélevés dans ces 2 sources.

5.2.2.2 – La Muze

Le suivi de l'injection avec des fluorimètres de terrain et d'un préleveur autonome ont permis de reconstituer les restitutions des deux traceurs.

Le débit du cours d'eau a été supposé constant pendant toute la durée des traçages au niveau des points de suivi de Gignac et de Barruques. Les débits utilisés pour le calcul des masses restituées sont ceux mesurés lors de la campagne de jaugeage. A St Hippolyte, les débits journaliers relevés à la station de mesures du Parc ont été pris en compte.

- *Au niveau de Gignac*

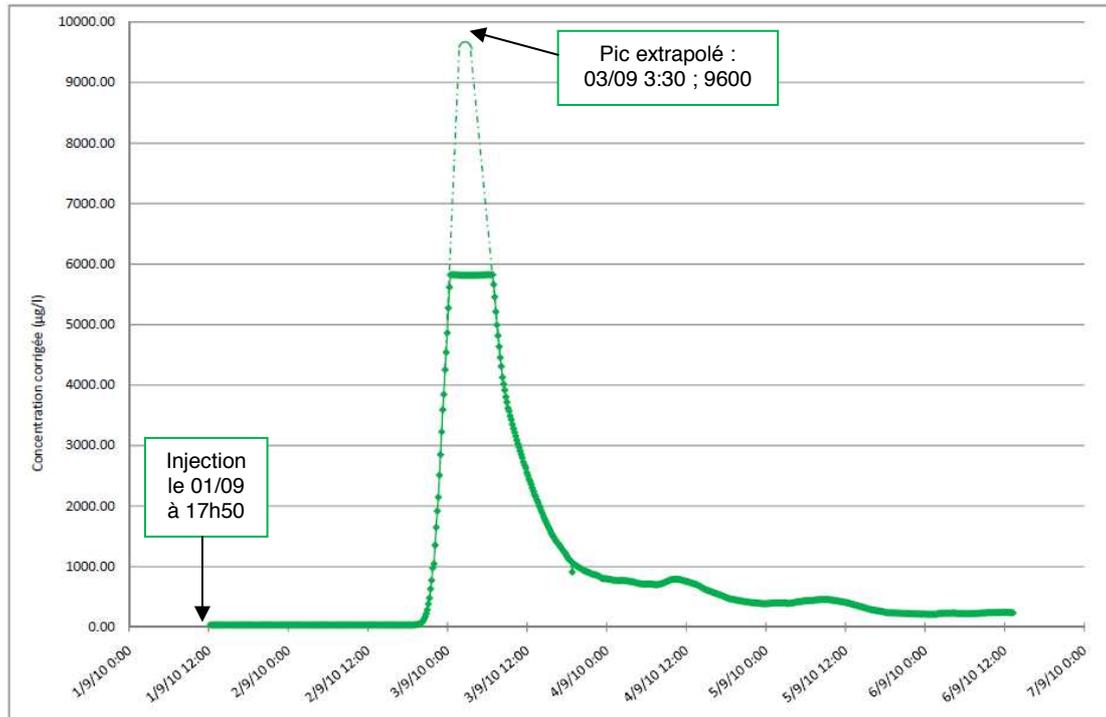
Sur ce point, seule une restitution de fluorescéine est relevée puisqu'il se trouve à l'amont de l'injection de sulforhodamine.

Les premières molécules de traceur sont arrivées au point de suivi le 02/09 à 18h20, soit presque 25 h après l'injection.

Le fluorimètre ne mesurant pas des teneurs de fluorescéine supérieures à 500 µg/l, le pic de concentration a été graphiquement extrapolé. La valeur maximale est alors approximativement de 9600 µg/l, le 03/09 à 3h30.

La fin de la courbe de restitution présente des ondulations correspondant à des vagues de flux. En effet, les bassins naturels existant dans la Muze ont piégé le traceur qui a été relargué par bouffées.

Figure 3 : Courbe de restitution de la fluorescéine dans la Muze, à Gignac



Le tableau suivant résume les informations obtenues à partir de ce traçage. Sont notées en italiques les informations estimées du fait de l'absence d'une courbe complète.

Tableau 8 : Résultats du traçage en Fluorescéine - La Muze à Gignac

Injection	01/09/2010 à 17h50
Traceur	Fluorescéine 8 kg
Restitution	La Muze - Gignac
Distance apparente	6 400 m
Taux de restitution	<i>94,75 %</i>
Masse restituée	<i>7580 g</i>

TEMPS	
apparition du traceur	24,45 h
temps modal	33,8 h
durée de restitution	<i>91 h</i>
temps moyen séjour	<i>46 h</i>
D.T.S. maximale	$1,94 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
VITESSES	
Vitesse d'apparition	262 m/h
Vitesse moyenne	156 m/h
Vitesse modale	189 m/h
Vitesse apparente	138 m/h

CONCENTRATIONS ET DILUTIONS	
Concentration maxi.	9600 µg/l (valeur estimée)
Dilution unitaire	$1,2 \cdot 10^{-6} \text{ l}^{-1}$

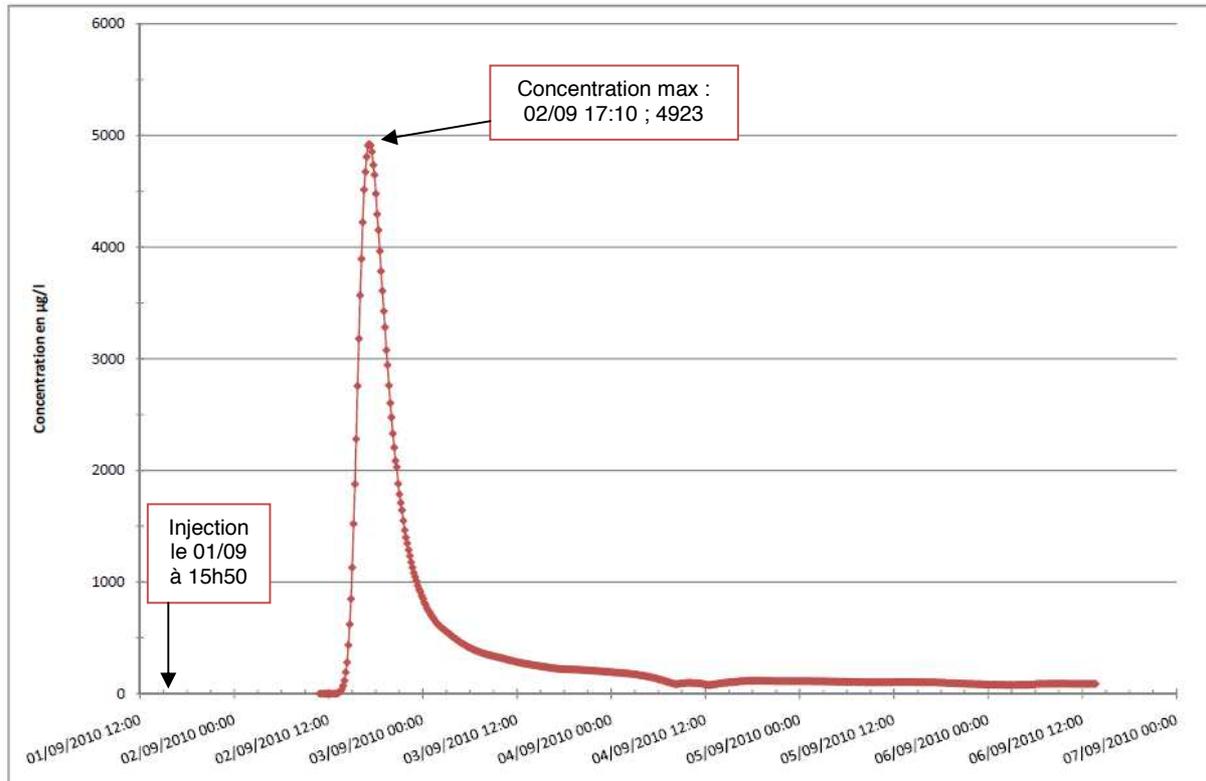
La masse de fluorescéine restituée est de 7580 g soit un taux de restitution de 94,75 %. La vitesse moyenne du nuage de colorant dans la Muze est de 156 m/h. Ces valeurs sont minimisées du fait d'une restitution incomplète et d'un manque de données du à la saturation du fluorimètre.

Le 6 septembre, la concentration était de 200 µg/l. La fin du nuage du traceur s'est étalé et dilué sur une longue distance.

- *Au niveau de Barruques*

Les premières traces de sulforhodamine ont été détectées en ce point de la Muze le 02/09 à 12h40, soit presque 21 h après l'injection. La concentration maximale mesurée est de 4923 µg/l, à 17h10. La vitesse modale est alors de 158 m/h.

Figure 4 : Courbe de restitution de la sulforhodamine dans la Muze, à Barruques.



Après un parcours de 4 km, la masse de sulforhodamine restituée est de 2 842 g ce qui équivaut un taux de restitution inférieur à 50 %. Cette valeur plutôt faible peut s'expliquer par :

- o la rétention du colorant au niveau de l'étang connecté au ruisseau, au camping de St Beauzély,
- o l'adsorption importante des molécules de sulforhodamine sur les argiles.

Les données obtenues à partir du traçage sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Résultats du traçage en Sulforhodamine - La Muze à Barruques

Injection	01/09/2010 à 15h50
Traceur	Sulforhodamine 6 kg
Restitution	La Muze - Barruques
Distance apparente	4 000 m
Taux de restitution	47,36 %
Masse restituée	2 842 g

TEMPS	
apparition du traceur	20,86 h
temps modal	25,36 h
durée de restitution	87 h
temps moyen séjour	39 h
D.T.S. maximale	$3,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

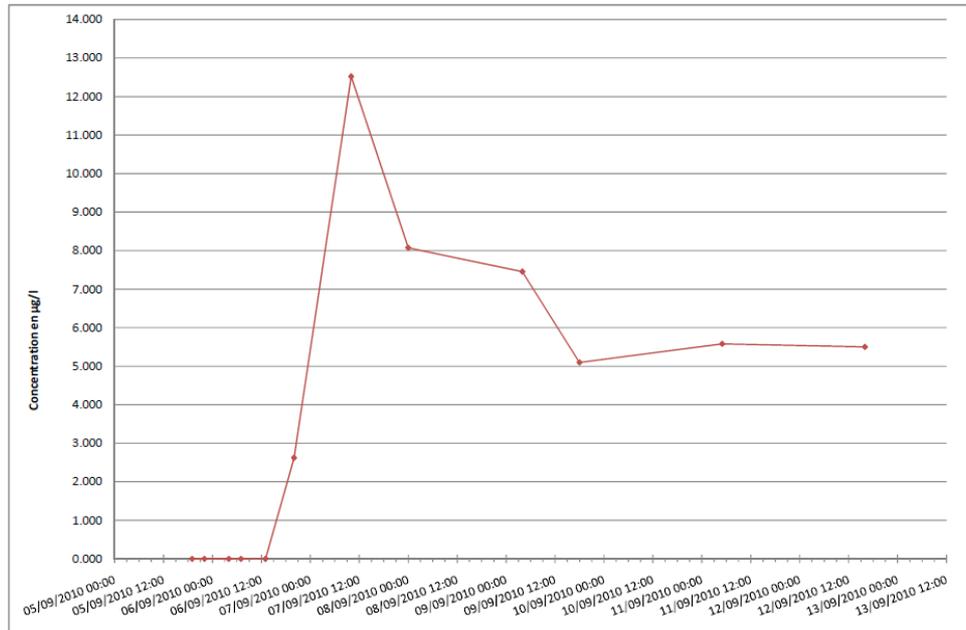
VITESSES	
Vitesse d'apparition	192 m/h
Vitesse moyenne	124 m/h
Vitesse modale	158 m/h
Vitesse apparente	102 m/h

CONCENTRATIONS ET DILUTIONS	
Concentration maxi.	4 923 $\mu\text{g/l}$
Dilution unitaire	$8,2 \cdot 10^{-7} \text{ l}^{-1}$

- *Au niveau de St Hippolyte*

Sur ce point, il y a eu tout d'abord la restitution de la sulforhodamine, dont la fin a été chevauchée par le début du nuage de fluorescéine. Des corrections ont donc été effectuées sur les résultats d'analyses afin de déduire les concentrations de la fluorescéine. La courbe de restitution ainsi obtenue est illustrée en [figure 5](#).

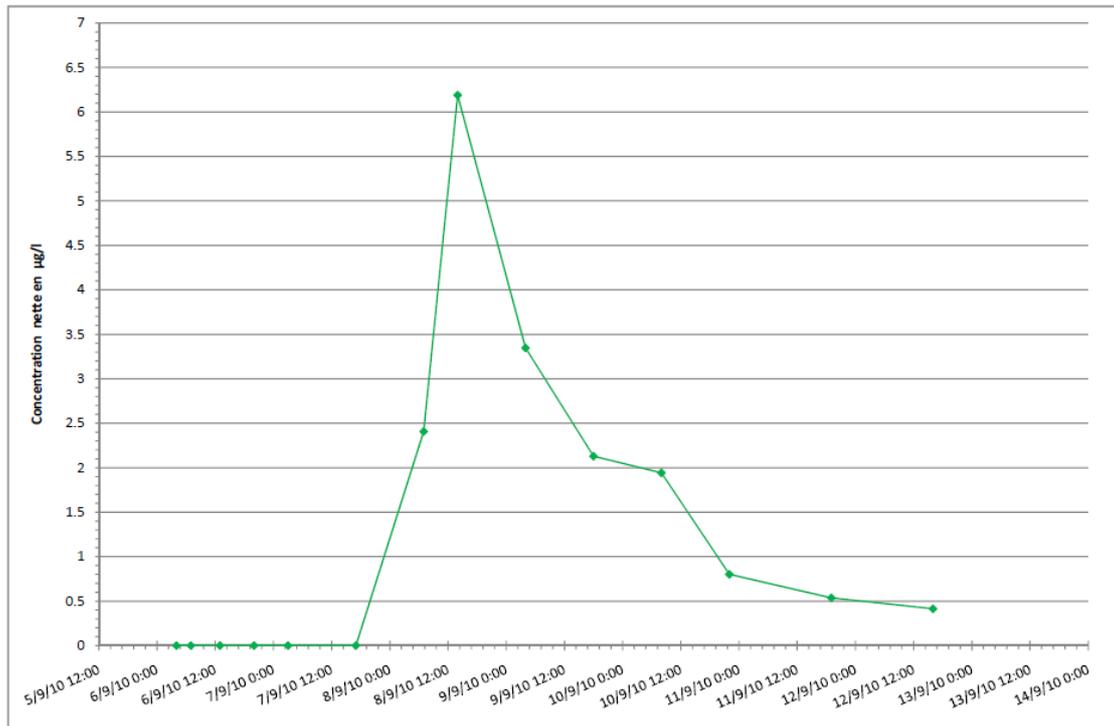
Figure 5 : Courbe de restitution de la sulforhodamine dans la Muze à St Hippolyte



Le traceur est arrivé au niveau de ce point de suivi le 6 septembre entre 13 h et 20 h, soit un peu plus de 5 jours après l'injection. La concentration maximale a été relevée le 7 septembre à 10 h avec une concentration de 12,5 µg/l.

La phase descendante de la courbe est très étalée dans le temps. Sur un parcours de plus de 10 km, le nuage de traceur s'est fortement dilué et dispersé. Le fin de la restitution n'a pas été mesurée, se situant hors de la période de suivi. La masse restituée calculée, qui est de 532 g, est alors minimisée. Le taux de restitution est de 9 % seulement (tableau 9).

Figure 6 : Courbe de restitution de la fluorescéine dans la Muze à St Hippolyte



Les premières molécules de fluorescéine sont arrivées à St Hippolyte le 07/09 entre 17h et minuit, soit 6 jours et demi après l'injection, localisée 24 km plus en amont. La vitesse moyenne du nuage était alors de 136,5 m/h (tableau 9). La concentration maximale de 6.2 µg/l a été mesurée le 08/09 à 18h.

La restitution en ce point n'étant pas complète, la masse restituée calculée est partielle. Elle est de 200 g environ, ce qui correspond à 2,5 % de restitution.

Les informations obtenues à partir des analyses des échantillons prélevés dans la Muze sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Résultats des 2 traçages- La Muze à St Hippolyte

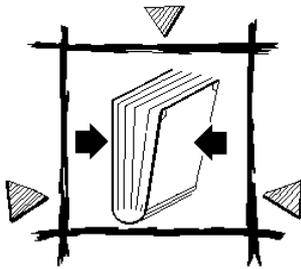
Injection	01/09/2010 à 17h50	01/09/2010 à 15h50
Traceur	Fluorescéine 8 kg	Sulforhodamine 6 kg
Restitution	La Muze – St Hippolyte	La Muze – St Hippolyte
Distance apparente	24 000 m	10 732 m
Taux de restitution	2,5 %	8,87 %
Masse restituée	199 g	532 g

TEMPS		
apparition du traceur	6,55 jrs	5,17 jr
temps modal	7 jrs	5,76 jrs
durée de restitution	<i>Indéterminée</i>	<i>Indéterminée</i>
temps moyen séjour	<i>Indéterminé</i>	<i>Indéterminé</i>
D.T.S. maximale	$1,09 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

VITESSES		
Vitesse d'apparition	150 m/h	126 m/h
Vitesse moyenne	136,5 m/h	102 m/h
Vitesse modale	143 m/h	114 m/h
Vitesse apparente	136,5 m/h	83 m/h

CONCENTRATIONS ET DILUTIONS		
Concentration maxi.	6,2 µg/l	12,5 µg/l
Dilution unitaire	$7,7 \cdot 10^{-10} \text{ l}^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$

Les données obtenues à partir des traçages sont récapitulés en annexe.



6 – CONCLUSION

Dans le cadre de la mission d'étude hydrogéomorphologique, confiée par le Parc Naturel des Grands Causses au groupement Dynamique Hydro (65), Hydrétudes (31) et Calligée (31), il était demandé de réaliser un traçage hydrogéologique afin de vérifier l'hypothèse des pertes de la Muze et leur relation avec la source des Douzes. Cette hypothèse avait été avancée dans l'étude du Parc sur le causse Rouge en 1999.

Une série de jaugeage ont été effectuée préalablement aux opérations de traçage. Une diminution de débit de 9 l/s est constatée entre le lieu-dit « Rauzel » et le camping de St Beauzély. Cependant, cette valeur est à prendre avec beaucoup de précautions car les mesures sont entachées d'incertitudes liées aux conditions de jaugeages (faible débit, section non calibrée) et à l'appareillage. Elles sont estimées à +/- 5 %.

Afin de confirmer ces pertes, deux traçages ont été réalisés à l'aide de deux traceurs différents, injectés dans deux secteurs représentatifs. Les sources des Douzes et de Fontliane ont été suivies pendant 1 mois à l'aide de préleveurs automatiques. Les échantillons ont été analysés par spectrofluorimétrie. Le suivi du nuage tracé a été suivi dans la Muze à l'aide de Fluorimètre de terrain.

Dans les conditions d'injection, ces traçages ont permis de mettre en évidence l'absence de relations entre les pertes du ruisseau et les sources de Fontliane et des Douzes. Aucune restitution de colorant n'a été décelée pendant la période de suivi.

Cependant, l'absence de restitution dans les sources ne réfutent pas l'existence de pertes diffuses dans le cours d'eau. Les mesures de concentrations dans la Muze en différents points ont permis de suivre l'évolution du flux massique de traceur en fonction de la distance au point d'injection.

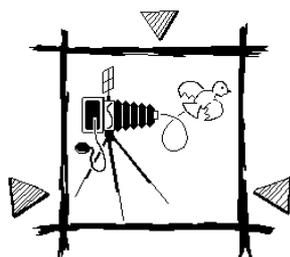
La totalité des traceurs n'a pas été restituée, cependant il est difficile d'affirmer qu'une partie s'est infiltrée dans des fractures. En effet, le phénomène d'adsorption par les argiles et de détérioration par les UV, ainsi que la présence d'un étang connecté au cours d'eau entraînent une diminution de la concentration des colorants au cours du trajet.

A partir de ces résultats, on peut émettre l'hypothèse qu'il existe bien des pertes de la Muze mais qu'elles se font de manière diffuse tout au long du parcours de la rivière et que seulement une infime partie pourrait alimenter l'aquifère carbonaté sous-jacent. L'un des exutoires principal de ce réservoir karstique est la source des Douzes, dont le débit d'étiage soutenu (40 l/s mesurés en Août 2010) et l'étendue de son bassin d'alimentation iraient dans le sens d'une contribution des pertes de la Muze. En prenant l'hypothèse retenue par ANTEA de 20 % de contribution, les pertes en Août 2010 seraient de 8 l/s (20 % de 40 l/s) ce qui correspond grosso modo à la valeur des pertes mesurées par jaugeage d'amont en aval.

Les données des traçages sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Récapitulatif des informations obtenues à partir des traçages

Lieu d'injection	Le Rauzel - St Beauzély		Pomayrols - St Léons	
Date d'injection	01/09/2010 à 15h50		01/09/2010 à 17h50	
Traceur	Sulforhodamine		Fluorescéine	
Restitution	Barruques	St Hippolyte	Gignac	St Hippolyte
Distance apparente	4 000	15 700	6 400	24 000
Masse injectée (g)	6 000	6 000	8 000	8 000
Masse restituée (g)	2 842	532	7 580	199
Restitution (%)	47.36%	8.87%	94.75%	2.49%
Temps				
Apparition du traceur (j)	0.9	5.2	1.0	6.3
Temps modal (j)	1.1	5.8	1.4	7.0
Temps moyen de séjour (j)	1.6	8.0	1.9	7.4
Durée de restitution (j)	3.6	5.8	3.8	7.5
Vitesses				
Vitesse d'apparition (m/h)	191.7	126.4	261.7	159.8
Vitesse modale (m/h)	157.7	113.6	189.4	142.7
Vitesse moyenne (m/h)	123.6	102.3	155.7	136.5
Vitesse apparente (m/h)	102.0	82.2	138.1	134.9
Concentrations et Dilutions				
Concentration initiale (g/l)	2	2	3	3
Concentration max (g/l)	4.92E-03	1.25E-05	9.60E-03	6.19E-06
Dilution minimale	3.28E-03	8.35E-06	3.60E-03	2.32E-06
Dilution unitaire (I-1)	8.20E-07	2.09E-09	1.20E-06	7.74E-10
DTS Max (s-1)	3.46E-05	8.19E-06	1.94E-06	1.09E-05



PHOTOS

Photo 1 : Citerne de 4 m ³ contenant le mélange de sulforhodamine	26
Photo 2 : Injection de la sulforhodamine en continu	26
Photo 3 : La Muze colorée par la sulforhodamine au Rauzel.....	27
Photo 4 : Citerne de 3 m ³ contenant le mélange de fluorescéine	28
Photo 5 : La Muze colorée par la fluorescéine au pont de Pomayrols	28
Photo 6 : Fluorimètre de terrain déposé dans la Muze à Gignac	29
Photo 7 : Préleveur autonome installé à la sortie de la source de Douzes	29

TRAÇAGE A LA SULFORHODAMINE



Photo 1 : Citerne de 4 m³ contenant le mélange de sulforhodamine



Photo 2 : Injection de la sulforhodamine en continu



Photo 3 : La Muze colorée par la sulforhodamine au Rauzel

TRAÇAGE A LA FLUORESCEINE



Photo 4 : Citerne de 3m³ contenant le mélange de fluorescéine



Photo 5 : La Muze colorée par la fluorescéine au pont de Pomayrols

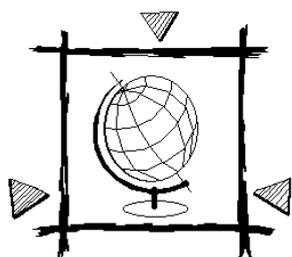
MATERIELS DE SUIVI



Photo 6 : Fluorimètre de terrain déposé dans la Muze à Gignac



Photo 7 : Préleveur autonome installé à la sortie de la source de Douzes

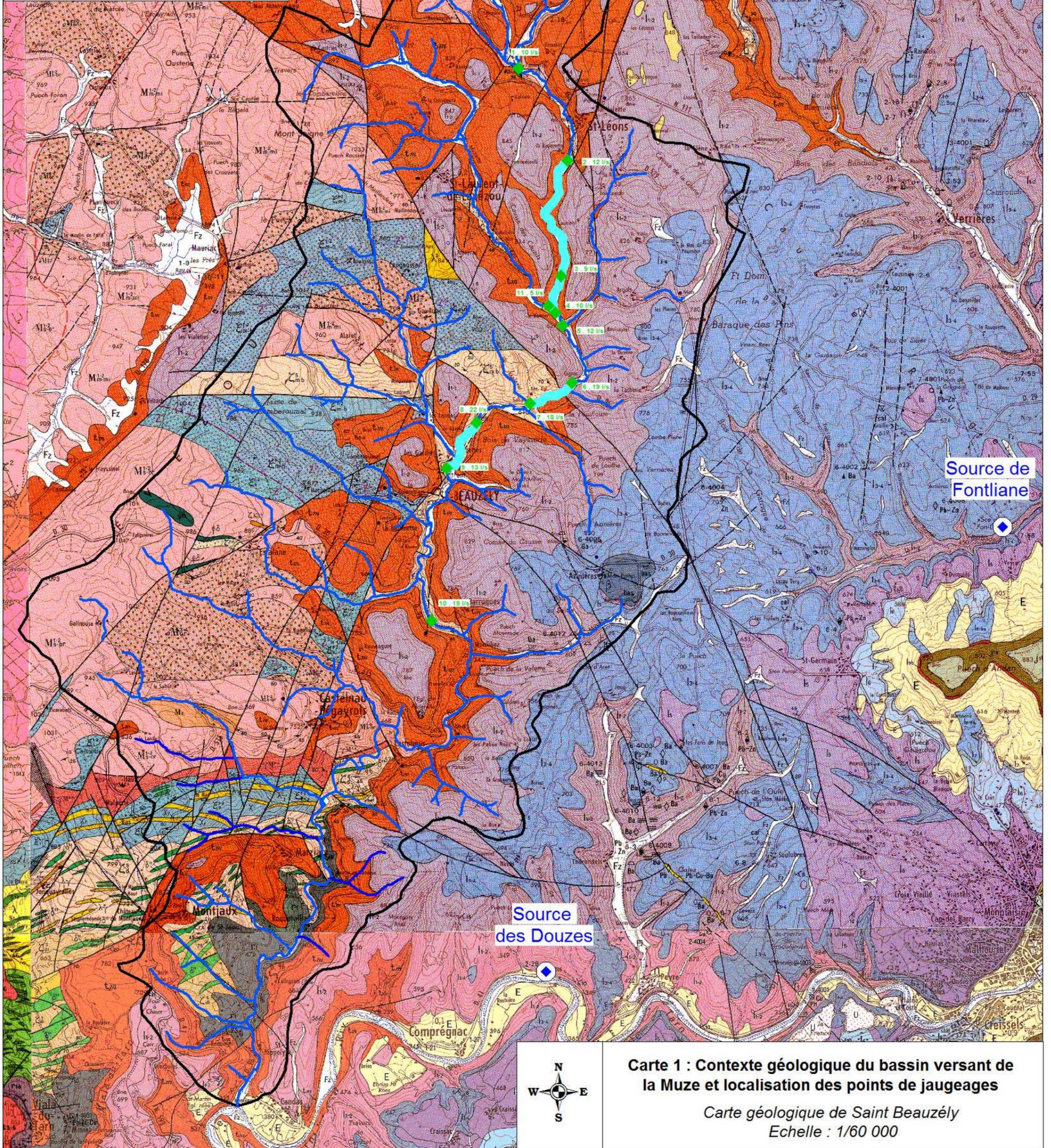


CARTES

Carte 1 : Contexte géologique du bassin versant de la Muze et localisation des points de jaugeages	31
Carte 2 : Localisation des points de jaugeage	32
Carte 3 : Localisation des points d'injection et des points de suivi.....	33

Terrains sédimentaires	Terrains métamorphiques
Eboulis	Micaschistes à deux micas
Alluvions récentes	Micaschistes migmatisés dans la zone à biotite Zb
Bajocien inférieur - Calcaires à chailles	Micaschistes migmatisés dans la zone à sillimanite Zs
Aalénien supérieur - Calcaires noduleux, sableux et marnes	Leptynites d'origine incertaine
Toarcien supérieur - Aalénien inférieur - Marnes feuilletées	Gneiss à amphibole
Toarcien inférieur - Marno-calcaire, schistes bitumineux	Eclogites plus ou moins amphibolitisées et amphibolites associées
Domérien - Marnes feuilletées	Cornéenne d'Estalane
Carixien - Calcaires argileux et marnes subordonnées	Migmatite lit-par-lit alumineuses à muscovite-microcline
Sinémurien - Calcaires et dolomies	Migmatite lit-par-lit alumineuses à sillimanite-orthose
Hettangien - Dolomie et calcaires dolomitiques	Gneiss ocellé du Lévêzou, à orthose, de type "Pareloup"
Trias moyen - Grès et marnes subordonnées	

- Bassin versant de la Muze
- Points de jaugeages : ID + Débit mesuré
- Zones de perte



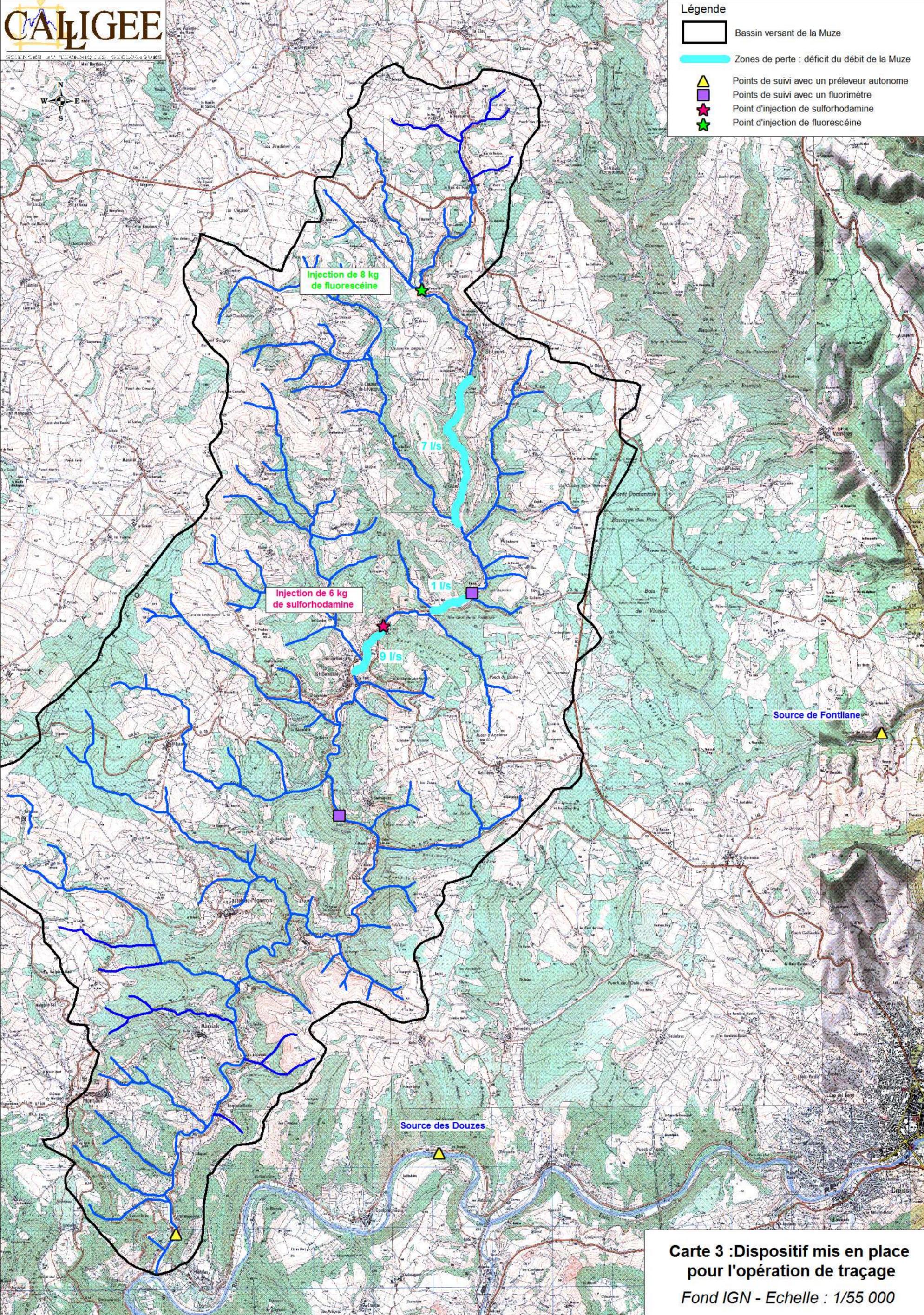
Carte 1 : Contexte géologique du bassin versant de la Muze et localisation des points de jaugeages

Carte géologique de Saint-Beauzély
Echelle : 1/60 000

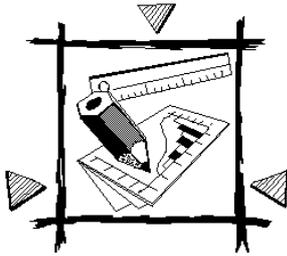


Légende

- Bassin versant de la Muze
- Zones de perte : déficit du débit de la Muze
- Points de suivi avec un préleveur autonome
- Points de suivi avec un fluorimètre
- Point d'injection de sulforhodamine
- Point d'injection de fluorescéine



Carte 3 : Dispositif mis en place pour l'opération de traçage
Fond IGN - Echelle : 1/55 000



ANNEXES

Annexe 1 : Résultats du traçage à la fluorescéine.....	38
Annexe 2 : Résultats du traçage à la sulforhodamine.....	43

**ANNEXE 1 : DONNEES DU TRAÇAGE A LA
FLUORESCEINE**

TRACAGE FLUORESCÉINE - La MUZE (12) – Suivi à « Gignac »

Point d'injection		Pomayrols - St Léons (12)			Arrivée	Heure d'arrivée			02/09/2010 18:17		
		X l2m	Y l2m	Z m NGF		to		(s) (h) (j)	88033	24.45	1.02
		651005	1913793	750		Vmax		(m/s) (m/h) (m/j)	0.07270	261.72	6281.28
Heure d'injection		01/09/2010 17:50									
Point de Suivi		Gignac									
		X l2m	Y l2m	Z m NGF	Mode	Heure modale			03/09/2010 03:37		
		651849	1908733	630		Temps modal tm		(s) (h) (j)	121631	33.79	1.41
Distance x	(m)			6400		Vitesse modale Vm		(m/s) (m/h) (m/j)	0.05262	189.43	4546.21
Pente				2%							
Traceur utilisé		Fluorescéine									
Masse injectée	(g)			8000							
Concentration initiale	(g/l)			3	Moyenne	Temps moy séjour		(s) (h) (j)	166790	46.33	1.93
Masse restituée Mr	(g)			7580		$\int (1/t) \cdot (h(t) \cdot d(t))$			6.76E-06		
Taux de restitution	(%)			94.75%		Vitesse moyenne		(m/s) (m/h) (m/j)	0.04325	155.71	3737.00
Cmax	(µg/l) (g/l)		9600.00	9.60E-03		Vitesse apparente		(m/s) (m/h) (m/j)	0.03837	138.14	3315.31
Taux de dilution minimale				3.60E-03							
Taux de dilution unitaire	I-1			1.20E-06							
DTS max	(s-1)			1.94E-06	Fin	Heure fin restitution			06/09/2010 13:16		
Volume d'eau tracé	m3			8.40E+01		Temps de restitution		(s) (h) (j)	415608	115.45	4.81
Débit moyen tracé	m3/s			0.0002564		Durée de restitution		(s) (h) (j)	327575	90.99	3.79
Q calc pour Section (m3/s)				0.01							
Section moyenne du drain (m²)				0.26							
Diamètre moyen du drain (m)				0.57							

Date	Temps relatif (s)	C° nette (µg/l)	Débit (m3/s)	débit (l/s)	Volume d'eau (m3)	Flux massique (g/s)	Masse restituée (g)	DTS = h(t) (s-1)	Intégrale DTS	h(t)*t	$\int h(t)*t = TMS$	h(t)*1/t	$\int h(t)*1/t$
2/9/10 17:27	85034	0.000	0.02	19		0.000E+00		0.000E+00		0.000E+00		0.000E+00	
2/9/10 18:07	87434	0.000	0.02	20	1.200E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2/9/10 19:07	91033	2.300	0.02	20	1.200E+01	4.600E-05	2.064E-02	6.069E-09	2.723E-06	5.525E-04	2.473E-01	6.667E-14	2.997E-11
2/9/10 20:07	94633	43.167	0.02	20	1.200E+01	8.633E-04	4.247E-01	1.139E-07	5.603E-05	1.078E-02	5.289E+00	1.204E-12	5.935E-10
2/9/10 21:07	98233	345.027	0.02	20	1.200E+01	6.901E-03	3.564E+00	9.104E-07	4.702E-04	8.943E-02	4.607E+01	9.268E-12	4.799E-09
2/9/10 22:07	101832	1318.990291	0.02	20	1.198E+01	2.638E-02	1.396E+01	3.480E-06	1.842E-03	3.544E-01	1.871E+02	3.418E-11	1.813E-08
2/9/10 23:07	105432	3190.057891	0.02	20	1.200E+01	6.380E-02	3.602E+01	8.417E-06	4.752E-03	8.874E-01	4.997E+02	7.984E-11	4.519E-08
3/9/10 0:07	109032	5240.616091	0.02	20	1.200E+01	1.048E-01	6.040E+01	1.383E-05	7.969E-03	1.508E+00	8.666E+02	1.268E-10	7.328E-08
3/9/10 0:37	110832	5787.447091	0.02	20	1.200E+01	1.157E-01	6.945E+01	1.527E-05	9.163E-03	1.692E+00	1.013E+03	1.378E-10	8.290E-08
3/9/10 1:07	112632	5785.473391	0.02	20	1.200E+01	1.157E-01	6.943E+01	1.527E-05	9.160E-03	1.719E+00	1.029E+03	1.355E-10	8.154E-08
3/9/10 1:37	114431	5783.383591	0.02	20	1.198E+01	1.157E-01	6.929E+01	1.526E-05	9.141E-03	1.746E+00	1.043E+03	1.334E-10	8.009E-08
3/9/10 2:07	116231	5781.758191	0.02	20	1.200E+01	1.156E-01	6.938E+01	1.526E-05	9.154E-03	1.773E+00	1.061E+03	1.313E-10	7.896E-08
3/9/10 2:37	118031	5780.713291	0.02	20	1.200E+01	1.156E-01	6.937E+01	1.525E-05	9.152E-03	1.800E+00	1.077E+03	1.292E-10	7.774E-08
3/9/10 3:07	119831	5780.248891	0.02	20	1.200E+01	1.156E-01	6.937E+01	1.525E-05	9.151E-03	1.828E+00	1.094E+03	1.273E-10	7.656E-08
3/9/10 3:37	121631	5780.248891	0.02	20	1.200E+01	1.156E-01	6.936E+01	1.525E-05	9.151E-03	1.855E+00	1.110E+03	1.254E-10	7.542E-08
3/9/10 4:07	123431	5780.945491	0.02	20	1.200E+01	1.156E-01	6.937E+01	1.525E-05	9.152E-03	1.883E+00	1.127E+03	1.236E-10	7.433E-08
3/9/10 4:37	125231	5781.990391	0.02	20	1.200E+01	1.156E-01	6.938E+01	1.526E-05	9.154E-03	1.911E+00	1.144E+03	1.218E-10	7.327E-08
3/9/10 5:07	127031	5783.499691	0.02	20	1.200E+01	1.157E-01	6.940E+01	1.526E-05	9.156E-03	1.939E+00	1.160E+03	1.201E-10	7.225E-08
3/9/10 6:07	130630	5786.866591	0.02	20	1.200E+01	1.157E-01	6.944E+01	1.527E-05	9.161E-03	1.995E+00	1.194E+03	1.169E-10	7.029E-08
3/9/10 7:07	134230	5421.267691	0.02	20	1.200E+01	1.084E-01	6.628E+01	1.430E-05	8.744E-03	1.920E+00	1.171E+03	1.066E-10	6.529E-08

3/9/10 8:07	137830	4272.342091	0.02	20	1.200E+01	8.545E-02	5.215E+01	1.127E-05	6.881E-03	1.554E+00	9.463E+02	8.179E-11	5.003E-08
3/9/10 9:07	141429	3580.850491	0.02	20	1.200E+01	7.162E-02	4.358E+01	9.448E-06	5.750E-03	1.336E+00	8.114E+02	6.681E-11	4.074E-08
3/9/10 10:07	145029	3183.904591	0.02	20	1.200E+01	6.368E-02	3.858E+01	8.401E-06	5.090E-03	1.218E+00	7.366E+02	5.793E-11	3.517E-08
3/9/10 11:07	148629	2816.680291	0.02	20	1.200E+01	5.633E-02	3.417E+01	7.432E-06	4.508E-03	1.105E+00	6.686E+02	5.000E-11	3.039E-08
3/9/10 12:07	152229	2470.237891	0.02	20	1.200E+01	4.940E-02	2.994E+01	6.518E-06	3.950E-03	9.922E-01	6.002E+02	4.282E-11	2.600E-08
3/9/10 13:07	155828	2157.348391	0.02	20	1.200E+01	4.315E-02	2.622E+01	5.692E-06	3.459E-03	8.870E-01	5.380E+02	3.653E-11	2.224E-08
3/9/10 14:07	159428	1891.827691	0.02	20	1.200E+01	3.784E-02	2.299E+01	4.992E-06	3.033E-03	7.958E-01	4.826E+02	3.131E-11	1.906E-08
3/9/10 15:07	163028	1637.916991	0.02	20	1.200E+01	3.276E-02	1.993E+01	4.322E-06	2.629E-03	7.046E-01	4.278E+02	2.651E-11	1.615E-08
3/9/10 16:07	166627	1434.277591	0.02	20	1.200E+01	2.869E-02	1.739E+01	3.784E-06	2.294E-03	6.306E-01	3.815E+02	2.271E-11	1.379E-08
3/9/10 17:07	170227	1273.246891	0.02	20	1.200E+01	2.546E-02	1.548E+01	3.360E-06	2.042E-03	5.719E-01	3.470E+02	1.974E-11	1.202E-08
3/9/10 18:07	173827	1113.957691	0.02	20	1.200E+01	2.228E-02	1.355E+01	2.939E-06	1.787E-03	5.109E-01	3.101E+02	1.691E-11	1.030E-08
3/9/10 19:07	177427	1001.572891	0.02	20	1.200E+01	2.003E-02	1.207E+01	2.643E-06	1.592E-03	4.689E-01	2.820E+02	1.489E-11	8.990E-09
3/9/10 20:07	181026	927.8493912	0.02	20	1.200E+01	1.856E-02	1.123E+01	2.448E-06	1.481E-03	4.432E-01	2.677E+02	1.352E-11	8.197E-09
3/9/10 21:07	184626	877.3458912	0.02	20	1.200E+01	1.755E-02	1.055E+01	2.315E-06	1.392E-03	4.274E-01	2.566E+02	1.254E-11	7.553E-09
3/9/10 22:07	188226	834.1566912	0.02	20	1.200E+01	1.668E-02	1.000E+01	2.201E-06	1.320E-03	4.143E-01	2.480E+02	1.169E-11	7.022E-09
3/9/10 23:07	191826	781.6794912	0.02	20	1.200E+01	1.563E-02	9.485E+00	2.063E-06	1.251E-03	3.956E-01	2.397E+02	1.075E-11	6.534E-09
4/9/10 0:07	195425	759.2721912	0.02	20	1.200E+01	1.519E-02	9.131E+00	2.003E-06	1.205E-03	3.915E-01	2.351E+02	1.025E-11	6.174E-09
4/9/10 1:07	199025	737.6775912	0.02	20	1.200E+01	1.475E-02	8.887E+00	1.946E-06	1.172E-03	3.874E-01	2.330E+02	9.780E-12	5.900E-09
4/9/10 2:07	202625	737.6775912	0.02	20	1.200E+01	1.475E-02	8.841E+00	1.946E-06	1.166E-03	3.944E-01	2.360E+02	9.606E-12	5.765E-09
4/9/10 3:07	206224	727.4607912	0.02	20	1.198E+01	1.455E-02	8.716E+00	1.919E-06	1.150E-03	3.958E-01	2.368E+02	9.308E-12	5.584E-09
4/9/10 4:07	209824	705.6339912	0.02	20	1.200E+01	1.411E-02	8.498E+00	1.862E-06	1.121E-03	3.907E-01	2.349E+02	8.874E-12	5.351E-09
4/9/10 5:07	213424	681.2529912	0.02	20	1.200E+01	1.363E-02	8.187E+00	1.798E-06	1.080E-03	3.836E-01	2.302E+02	8.422E-12	5.068E-09
4/9/10 6:07	217024	674.7513912	0.02	20	1.200E+01	1.350E-02	8.097E+00	1.780E-06	1.068E-03	3.864E-01	2.315E+02	8.204E-12	4.929E-09
4/9/10 7:07	220623	666.3921912	0.02	20	1.200E+01	1.333E-02	8.022E+00	1.758E-06	1.058E-03	3.879E-01	2.332E+02	7.970E-12	4.804E-09
4/9/10 8:07	224223	677.3055912	0.02	20	1.200E+01	1.355E-02	8.093E+00	1.787E-06	1.068E-03	4.007E-01	2.391E+02	7.970E-12	4.768E-09
4/9/10 9:07	227823	719.6820912	0.02	20	1.200E+01	1.439E-02	8.601E+00	1.899E-06	1.135E-03	4.326E-01	2.582E+02	8.335E-12	4.987E-09
4/9/10 10:07	231422	756.3696912	0.02	20	1.198E+01	1.513E-02	9.044E+00	1.996E-06	1.193E-03	4.619E-01	2.758E+02	8.624E-12	5.162E-09
4/9/10 11:07	235022	746.6172912	0.02	20	1.200E+01	1.493E-02	8.988E+00	1.970E-06	1.186E-03	4.630E-01	2.783E+02	8.382E-12	5.052E-09
4/9/10 12:07	238622	716.5473912	0.02	20	1.200E+01	1.433E-02	8.627E+00	1.891E-06	1.138E-03	4.512E-01	2.713E+02	7.923E-12	4.776E-09
4/9/10 13:07	242222	680.4402912	0.02	20	1.200E+01	1.361E-02	8.203E+00	1.795E-06	1.082E-03	4.349E-01	2.618E+02	7.412E-12	4.473E-09
4/9/10 14:07	245821	634.0002912	0.02	20	1.200E+01	1.268E-02	7.663E+00	1.673E-06	1.011E-03	4.112E-01	2.482E+02	6.805E-12	4.118E-09
4/9/10 15:07	249421	574.5570912	0.02	20	1.200E+01	1.149E-02	6.940E+00	1.516E-06	9.156E-04	3.781E-01	2.281E+02	6.078E-12	3.675E-09
4/9/10 16:07	253021	532.7610912	0.02	20	1.200E+01	1.066E-02	6.439E+00	1.406E-06	8.495E-04	3.557E-01	2.147E+02	5.556E-12	3.361E-09
4/9/10 17:07	256621	493.6353912	0.02	20	1.200E+01	9.873E-03	5.966E+00	1.303E-06	7.871E-04	3.342E-01	2.018E+02	5.076E-12	3.071E-09
4/9/10 18:07	260220	450.2139912	0.02	20	1.200E+01	9.004E-03	5.440E+00	1.188E-06	7.177E-04	3.091E-01	1.865E+02	4.565E-12	2.761E-09
4/9/10 19:07	263820	420.1440912	0.02	20	1.200E+01	8.403E-03	5.065E+00	1.109E-06	6.683E-04	2.925E-01	1.761E+02	4.202E-12	2.536E-09
4/9/10 20:07	267420	398.2011912	0.02	20	1.200E+01	7.964E-03	4.801E+00	1.051E-06	6.334E-04	2.810E-01	1.692E+02	3.929E-12	2.371E-09
4/9/10 21:07	271020	379.8573912	0.02	20	1.200E+01	7.597E-03	4.573E+00	1.002E-06	6.033E-04	2.716E-01	1.633E+02	3.698E-12	2.229E-09
4/9/10 22:06	274619	367.2024912	0.02	20	1.200E+01	7.344E-03	4.418E+00	9.689E-07	5.829E-04	2.661E-01	1.599E+02	3.528E-12	2.125E-09
4/9/10 23:06	278219	356.4051912	0.02	20	1.200E+01	7.128E-03	4.287E+00	9.404E-07	5.656E-04	2.616E-01	1.572E+02	3.380E-12	2.035E-09
5/9/10 0:06	281819	351.8772912	0.02	20	1.200E+01	7.038E-03	4.219E+00	9.285E-07	5.566E-04	2.617E-01	1.567E+02	3.295E-12	1.977E-09
5/9/10 1:06	285418	362.4423912	0.02	20	1.198E+01	7.249E-03	4.327E+00	9.563E-07	5.708E-04	2.730E-01	1.628E+02	3.351E-12	2.002E-09
5/9/10 2:06	289018	361.8618912	0.02	20	1.200E+01	7.237E-03	4.331E+00	9.548E-07	5.713E-04	2.760E-01	1.650E+02	3.304E-12	1.979E-09
5/9/10 3:06	292618	354.0831912	0.02	20	1.200E+01	7.082E-03	4.331E+00	9.343E-07	5.714E-04	2.734E-01	1.670E+02	3.193E-12	1.955E-09
5/9/10 4:06	296218	364.9965912	0.02	20	1.200E+01	7.300E-03	4.361E+00	9.631E-07	5.754E-04	2.853E-01	1.703E+02	3.251E-12	1.944E-09
5/9/10 5:06	299817	385.5462912	0.02	20	1.200E+01	7.711E-03	4.617E+00	1.017E-06	6.091E-04	3.050E-01	1.824E+02	3.393E-12	2.034E-09
5/9/10 6:06	303417	401.1036912	0.02	20	1.200E+01	8.022E-03	4.797E+00	1.058E-06	6.329E-04	3.211E-01	1.918E+02	3.488E-12	2.088E-09
5/9/10 7:06	307017	402.7290912	0.02	20	1.200E+01	8.055E-03	4.841E+00	1.063E-06	6.387E-04	3.262E-01	1.959E+02	3.461E-12	2.082E-09
5/9/10 8:06	310616	418.6347912	0.02	20	1.198E+01	8.373E-03	4.999E+00	1.105E-06	6.595E-04	3.431E-01	2.047E+02	3.556E-12	2.125E-09
5/9/10 9:06	314216	420.6084912	0.02	20	1.200E+01	8.412E-03	5.052E+00	1.110E-06	6.665E-04	3.487E-01	2.092E+02	3.532E-12	2.123E-09
5/9/10 10:06	317816	408.0696912	0.02	20	1.200E+01	8.161E-03	4.916E+00	1.077E-06	6.486E-04	3.422E-01	2.059E+02	3.388E-12	2.043E-09

5/9/10 11:06	321416	389.7258912	0.02	20	1.200E+01	7.795E-03	4.693E+00	1.028E-06	6.192E-04	3.305E-01	1.988E+02	3.199E-12	1.928E-09
5/9/10 12:06	325015	369.8727912	0.02	20	1.200E+01	7.397E-03	4.459E+00	9.759E-07	5.883E-04	3.172E-01	1.910E+02	3.003E-12	1.812E-09
5/9/10 13:06	328615	338.9901912	0.02	20	1.200E+01	6.780E-03	4.102E+00	8.945E-07	5.412E-04	2.939E-01	1.777E+02	2.722E-12	1.648E-09
5/9/10 14:06	332215	308.6880912	0.02	20	1.200E+01	6.174E-03	3.737E+00	8.145E-07	4.930E-04	2.706E-01	1.636E+02	2.452E-12	1.485E-09
5/9/10 15:06	335815	276.5283912	0.02	20	1.200E+01	5.531E-03	3.346E+00	7.296E-07	4.415E-04	2.450E-01	1.481E+02	2.173E-12	1.316E-09
5/9/10 16:06	339414	247.5033912	0.02	20	1.200E+01	4.950E-03	2.992E+00	6.531E-07	3.948E-04	2.217E-01	1.339E+02	1.924E-12	1.164E-09
5/9/10 17:06	343014	231.2493912	0.02	20	1.200E+01	4.625E-03	2.785E+00	6.102E-07	3.675E-04	2.093E-01	1.259E+02	1.779E-12	1.072E-09
5/9/10 18:06	346614	206.0556912	0.02	20	1.200E+01	4.121E-03	2.496E+00	5.437E-07	3.293E-04	1.885E-01	1.140E+02	1.569E-12	9.507E-10
5/9/10 19:06	350214	198.5091912	0.02	20	1.200E+01	3.970E-03	2.386E+00	5.238E-07	3.147E-04	1.834E-01	1.101E+02	1.496E-12	8.995E-10
5/9/10 20:06	353813	194.3295912	0.02	20	1.200E+01	3.887E-03	2.336E+00	5.128E-07	3.082E-04	1.814E-01	1.090E+02	1.449E-12	8.718E-10
5/9/10 21:06	357413	190.0338912	0.02	20	1.200E+01	3.801E-03	2.284E+00	5.014E-07	3.013E-04	1.792E-01	1.076E+02	1.403E-12	8.437E-10
5/9/10 22:06	361013	183.9966912	0.02	20	1.200E+01	3.680E-03	2.211E+00	4.855E-07	2.918E-04	1.753E-01	1.052E+02	1.345E-12	8.088E-10
5/9/10 23:06	364612	179.8170912	0.02	20	1.200E+01	3.596E-03	2.163E+00	4.745E-07	2.854E-04	1.730E-01	1.040E+02	1.301E-12	7.834E-10
6/9/10 0:06	368212	177.4950912	0.02	20	1.200E+01	3.550E-03	2.140E+00	4.683E-07	2.823E-04	1.724E-01	1.039E+02	1.272E-12	7.673E-10
6/9/10 1:06	371812	175.8696912	0.02	20	1.200E+01	3.517E-03	2.108E+00	4.640E-07	2.781E-04	1.725E-01	1.033E+02	1.248E-12	7.485E-10
6/9/10 2:06	375412	190.4982912	0.02	20	1.200E+01	3.810E-03	2.275E+00	5.026E-07	3.001E-04	1.887E-01	1.126E+02	1.339E-12	8.001E-10
6/9/10 3:06	379011	193.1685912	0.02	20	1.200E+01	3.863E-03	2.319E+00	5.097E-07	3.059E-04	1.932E-01	1.159E+02	1.345E-12	8.078E-10
6/9/10 4:06	382611	195.8388912	0.02	20	1.200E+01	3.917E-03	2.347E+00	5.167E-07	3.096E-04	1.977E-01	1.184E+02	1.351E-12	8.098E-10
6/9/10 5:06	386211	187.3635912	0.02	20	1.200E+01	3.747E-03	2.247E+00	4.944E-07	2.964E-04	1.909E-01	1.144E+02	1.280E-12	7.682E-10
6/9/10 6:06	389810	188.9889912	0.02	20	1.198E+01	3.780E-03	2.233E+00	4.987E-07	2.946E-04	1.944E-01	1.147E+02	1.279E-12	7.563E-10
6/9/10 7:06	393410	183.8805912	0.02	20	1.200E+01	3.678E-03	2.230E+00	4.852E-07	2.942E-04	1.909E-01	1.157E+02	1.233E-12	7.485E-10
6/9/10 8:06	397010	193.4007912	0.02	20	1.200E+01	3.868E-03	2.311E+00	5.103E-07	3.049E-04	2.026E-01	1.210E+02	1.285E-12	7.686E-10
6/9/10 9:06	400610	199.3218912	0.02	20	1.200E+01	3.986E-03	2.384E+00	5.259E-07	3.145E-04	2.107E-01	1.259E+02	1.313E-12	7.855E-10
6/9/10 10:06	404209	204.0819912	0.02	20	1.200E+01	4.082E-03	2.448E+00	5.385E-07	3.229E-04	2.177E-01	1.304E+02	1.332E-12	7.995E-10
6/9/10 11:06	407809	206.0556912	0.02	20	1.200E+01	4.121E-03	2.469E+00	5.437E-07	3.258E-04	2.217E-01	1.327E+02	1.333E-12	7.994E-10
6/9/10 12:06	411409	207.6810912	0.02	20	1.200E+01	4.154E-03	2.495E+00	5.480E-07	3.292E-04	2.254E-01	1.353E+02	1.332E-12	8.007E-10
6/9/10 13:06	415009	202.5726912	0.02	20	1.200E+01	4.051E-03	2.439E+00	5.345E-07	3.217E-04	2.218E-01	1.334E+02	1.288E-12	7.758E-10

TRACAGE FLUORESCÉINE - La MUZE (12) – Suivi à « St Hippolyte »

Point d'injection		Pomayrols - St Léons (12)			Arrivée	Heure d'arrivée			08/09/2010 00:00		
		X l2m	Y l2m	Z m NGF		to		(s) (h) (j)	540600	150.17	6.26
		651005	1913793	750		Vmax		(m/s) (m/h) (m/j)	0.04440	159.82	3835.74
Heure d'injection		01/09/2010 17:50									
Point de Suivi		St Hippolyte									
		X l2m	Y l2m	Z m NGF	Mode	Heure modale			08/09/2010 18:00		
		646904	1897975	343		Temps modal tm		(s) (h) (j)	605400	168.17	7.01
Distance x	(m)			24000		Vitesse modale Vm		(m/s) (m/h) (m/j)	0.03964	142.72	3425.17
Pente				2%							
Traceur utilisé		Fluorescéine									
Masse injectée	(g)			8000							
Concentration initiale	(g/l)			3	Moyenne	Temps moy séjour		(s) (h) (j)	640544	177.93	7.41
Masse restituée Mr	(g)			199		$\int (1/t) \cdot (h(t) \cdot d(t))$			1.58E-06		
Taux de restitution	(%)			2.49%		Vitesse moyenne		(m/s) (m/h) (m/j)	0.03793	136.54	3276.96
Cmax	(µg/l) (g/l)		6.19	6.19E-06		Vitesse apparente		(m/s) (m/h) (m/j)	0.03747	134.89	3237.25
Taux de dilution minimale				2.32E-06							
Taux de dilution unitaire	I-1			7.74E-10							
DTS max	(s-1)			1.09E-05	Fin	Heure fin restitution			15/09/2010 12:00		
Volume d'eau tracé	m3			2.03E+04		Temps de restitution		(s) (h) (j)	1188600	330.17	13.76
Débit moyen tracé	m3/s			0.031		Durée de restitution		(s) (h) (j)	648000	180.00	7.50
Q calc pour Section (m3/s)				#REF!							
Section moyenne du drain (m²)				#REF!							
Diamètre moyen du drain (m)				#REF!							

Date	Temps relatif (s)	C° nette (µg/l)	Débit (m3/s)	débit (l/s)	Volume d'eau (m3)	Flux massique (g/s)	Masse restituée (g)	DTS = h(t) (s-1)	Intégrale DTS	h(t)*t	$\int h(t)*t = TMS$	h(t)*1/t	$\int h(t)*1/t$
6/9/10 4:00	382200	0.000	0.03	32		0.000E+00		0.000E+00		0.000E+00		0.000E+00	
6/9/10 7:00	393000	0.000	0.03	32	3.456E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6/9/10 13:00	414600	0.000	0.03	32	6.912E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6/9/10 20:00	439800	0.000	0.03	32	8.064E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7/9/10 3:00	465000	0.000	0.16	161	2.432E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7/9/10 17:00	515400	0.000	0.16	161	8.114E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8/9/10 7:00	565800	2.407	0.35	348	1.283E+04	8.376E-04	2.111E+01	4.201E-06	1.059E-01	2.377E+00	5.989E+04	7.424E-12	1.871E-07
8/9/10 18:00	605400	6.189	0.35	350	1.382E+04	2.166E-03	5.947E+01	1.086E-05	2.983E-01	6.576E+00	1.773E+05	1.794E-11	5.023E-07
9/9/10 4:00	641400	3.346	0.19	193	9.774E+03	6.458E-04	5.061E+01	3.238E-06	2.538E-01	2.077E+00	1.558E+05	5.049E-12	4.139E-07
9/9/10 18:00	691800	2.129	0.19	193	9.727E+03	4.109E-04	2.663E+01	2.061E-06	1.335E-01	1.426E+00	8.827E+04	2.979E-12	2.023E-07
10/9/10 8:00	742200	1.942	0.16	163	8.971E+03	3.165E-04	1.833E+01	1.587E-06	9.193E-02	1.178E+00	6.561E+04	2.139E-12	1.290E-07
10/9/10 22:00	792600	0.800	0.16	163	8.215E+03	1.304E-04	1.126E+01	6.539E-07	5.648E-02	5.183E-01	4.275E+04	8.251E-13	7.469E-08
11/9/10 19:00	868200	0.536	0.13	131	1.111E+04	7.022E-05	7.583E+00	3.521E-07	3.803E-02	3.057E-01	3.115E+04	4.056E-13	4.652E-08
12/9/10 16:00	943800	0.413	0.11	112	9.185E+03	4.626E-05	4.403E+00	2.320E-07	2.208E-02	2.189E-01	1.983E+04	2.458E-13	2.462E-08

<p>ANNEXE 2 : DONNEES DU TRAÇAGE A LA SULFORHODAMINE</p>

TRACAGE SULFO - La MUZE (12) – Suivi à « Barruques »

Point d'injection		Le Rauzel - St Beauzély			Arrivée	Heure d'arrivée	02/09/2010 12:41			
		X l2m	Y l2m	Z m NGF		to	(s) (h) (j)			
		650344	1908141	608		Vmax	(m/s) (m/h) (m/j)	75100	20.86	0.87
Heure d'injection		01/09/2010 15:50						0.05326	191.74	4601.86
Point de Suivi		Barruques			Mode	Heure modale	2/9/10 17:11			
		X l2m	Y l2m	Z m NGF		Temps modal tm	(s) (h) (j)			
		649605	1904994	550		Vitesse modale Vm	(m/s) (m/h) (m/j)	91299	25.36	1.06
Distance x	(m)			4000				0.04381	157.72	3785.36
Pente				1%						
Traceur utilisé		Sulforhodamine B								
Masse injectée	(g)			6000						
Concentration initiale	(g/l)			2	Moyenne	Temps moy séjour	(s) (h) (j)	141140	39.21	1.63
Masse restituée Mr	(g)			2842		∫ (1/t)*h(t) d(t)		8.59E-06		
Taux de restitution	(%)			47.36%		Vitesse moyenne	(m/s) (m/h) (m/j)	0.03434	123.63	2967.18
Cmax	(µg/l) (g/l)		4922.56	4.92E-03		Vitesse apparente	(m/s) (m/h) (m/j)	0.02834	102.03	2448.63
Taux de dilution minimale				3.28E-03						
Taux de dilution unitaire	I-1			8.20E-07						
DTS max	(s-1)			3.46E-05	Fin	Heure fin restitution		06/09/2010 03:31	.???	
Volume d'eau tracé	m3			8.40E+01		Temps de restitution	(s) (h) (j)	387680	107.69	4.49
Débit moyen tracé	m3/s			0.0002687		Durée de restitution	(s) (h) (j)	312580	86.83	3.62
Q calc pour Section (m3/s)				0.01						
Section moyenne du drain (m²)				0.37						
Diamètre moyen du drain (m)				0.68						

Date	Temps relatif (s)	C° nette (µg/l)	Débit (m3/s)	débit (l/s)	Volume d'eau (m3)	Flux massique (g/s)	Masse restituée (g)	DTS = h(t) (s-1)	Intégrale DTS	h(t)*t	∫ h(t)*t = TMS	h(t)*1/t	∫ h(t)*1/t
02/09/2010 10:41	67901	-0.212	0.02	19		-4.021E-06		-1.415E-09		-9.608E-05		-2.084E-14	
02/09/2010 11:01	69101	-0.087	0.02	20	1.200E+01	-1.749E-06	-1.799E-04	-6.154E-10	-6.331E-08	-4.252E-05	-4.447E-03	-8.906E-15	-9.008E-13
02/09/2010 12:01	72700	0.192	0.02	20	1.198E+01	3.840E-06	1.246E-03	1.351E-09	4.385E-07	9.824E-05	3.186E-02	1.859E-14	6.036E-12
02/09/2010 13:01	76300	3.473	0.02	20	1.200E+01	6.946E-05	3.019E-02	2.444E-08	1.062E-05	1.865E-03	8.085E-01	3.203E-13	1.396E-10
02/09/2010 14:01	79900	119.217	0.02	20	1.200E+01	2.384E-03	1.151E+00	8.390E-07	4.049E-04	6.704E-02	3.226E+01	1.050E-11	5.082E-09
02/09/2010 15:01	83500	1130.785	0.02	20	1.200E+01	2.262E-02	1.188E+01	7.958E-06	4.180E-03	6.645E-01	3.480E+02	9.530E-11	5.022E-08
02/09/2010 16:01	87100	3569.038	0.02	20	1.200E+01	7.138E-02	4.049E+01	2.512E-05	1.425E-02	2.188E+00	1.237E+03	2.884E-10	1.641E-07
02/09/2010 17:01	90699	4910.056	0.02	20	1.200E+01	9.820E-02	5.831E+01	3.455E-05	2.052E-02	3.134E+00	1.855E+03	3.810E-10	2.270E-07
02/09/2010 18:01	94299	4478.502	0.02	20	1.200E+01	8.957E-02	5.476E+01	3.152E-05	1.927E-02	2.972E+00	1.811E+03	3.342E-10	2.050E-07
02/09/2010 19:01	97899	3426.684	0.02	20	1.200E+01	6.853E-02	4.221E+01	2.412E-05	1.485E-02	2.361E+00	1.449E+03	2.463E-10	1.522E-07
02/09/2010 20:01	101499	2476.285	0.02	20	1.200E+01	4.953E-02	3.048E+01	1.743E-05	1.073E-02	1.769E+00	1.085E+03	1.717E-10	1.060E-07
02/09/2010 21:01	105098	1786.726	0.02	20	1.200E+01	3.573E-02	2.201E+01	1.257E-05	7.745E-03	1.322E+00	8.116E+02	1.196E-10	7.391E-08
02/09/2010 22:01	108698	1346.530	0.02	20	1.200E+01	2.693E-02	1.647E+01	9.476E-06	5.795E-03	1.030E+00	6.281E+02	8.718E-11	5.346E-08
02/09/2010 23:01	112298	1047.063	0.02	20	1.200E+01	2.094E-02	1.278E+01	7.369E-06	4.497E-03	8.275E-01	5.036E+02	6.562E-11	4.015E-08
03/09/2010 00:01	115898	851.655	0.02	20	1.200E+01	1.703E-02	1.038E+01	5.994E-06	3.653E-03	6.946E-01	4.223E+02	5.171E-11	3.160E-08
03/09/2010 01:01	119498	708.463	0.02	20	1.200E+01	1.417E-02	8.645E+00	4.986E-06	3.042E-03	5.958E-01	3.626E+02	4.172E-11	2.552E-08
03/09/2010 02:01	123097	615.500	0.02	20	1.200E+01	1.231E-02	7.454E+00	4.332E-06	2.623E-03	5.332E-01	3.221E+02	3.519E-11	2.136E-08

03/09/2010 03:01	126697	555.780	0.02	20	1.200E+01	1.112E-02	6.722E+00	3.911E-06	2.365E-03	4.956E-01	2.990E+02	3.087E-11	1.871E-08
03/09/2010 04:01	130297	500.201	0.02	20	1.200E+01	1.000E-02	6.044E+00	3.520E-06	2.127E-03	4.587E-01	2.765E+02	2.702E-11	1.636E-08
03/09/2010 05:01	133897	449.889	0.02	20	1.200E+01	8.998E-03	5.448E+00	3.166E-06	1.917E-03	4.239E-01	2.561E+02	2.365E-11	1.435E-08
03/09/2010 06:01	137496	411.377	0.02	20	1.200E+01	8.228E-03	4.968E+00	2.895E-06	1.748E-03	3.981E-01	2.398E+02	2.106E-11	1.274E-08
03/09/2010 07:01	141096	378.433	0.02	20	1.200E+01	7.569E-03	4.576E+00	2.663E-06	1.610E-03	3.758E-01	2.267E+02	1.888E-11	1.144E-08
03/09/2010 08:01	144696	354.659	0.02	20	1.200E+01	7.093E-03	4.280E+00	2.496E-06	1.506E-03	3.612E-01	2.175E+02	1.725E-11	1.043E-08
03/09/2010 09:01	148296	337.799	0.02	20	1.200E+01	6.756E-03	4.063E+00	2.377E-06	1.430E-03	3.525E-01	2.116E+02	1.603E-11	9.660E-09
03/09/2010 10:01	151895	320.400	0.02	20	1.200E+01	6.408E-03	3.857E+00	2.255E-06	1.357E-03	3.425E-01	2.058E+02	1.484E-11	8.954E-09
03/09/2010 11:01	155495	299.907	0.02	20	1.200E+01	5.998E-03	3.622E+00	2.111E-06	1.274E-03	3.282E-01	1.978E+02	1.357E-11	8.212E-09
03/09/2010 12:01	159095	283.523	0.02	20	1.200E+01	5.670E-03	3.425E+00	1.995E-06	1.205E-03	3.174E-01	1.914E+02	1.254E-11	7.589E-09
03/09/2010 13:01	162695	270.337	0.02	20	1.200E+01	5.407E-03	3.262E+00	1.903E-06	1.148E-03	3.095E-01	1.864E+02	1.169E-11	7.068E-09
03/09/2010 14:01	166294	257.058	0.02	20	1.200E+01	5.141E-03	3.096E+00	1.809E-06	1.090E-03	3.008E-01	1.809E+02	1.088E-11	6.564E-09
03/09/2010 15:01	169894	245.860	0.02	20	1.200E+01	4.917E-03	2.965E+00	1.730E-06	1.043E-03	2.940E-01	1.769E+02	1.018E-11	6.151E-09
03/09/2010 16:01	173494	235.096	0.02	20	1.200E+01	4.702E-03	2.834E+00	1.654E-06	9.972E-04	2.870E-01	1.727E+02	9.536E-12	5.758E-09
03/09/2010 17:01	177094	225.894	0.02	20	1.200E+01	4.518E-03	2.719E+00	1.590E-06	9.569E-04	2.815E-01	1.692E+02	8.977E-12	5.413E-09
03/09/2010 18:01	180693	220.057	0.02	20	1.200E+01	4.401E-03	2.647E+00	1.549E-06	9.316E-04	2.798E-01	1.680E+02	8.571E-12	5.164E-09
03/09/2010 19:01	184293	217.739	0.02	20	1.200E+01	4.355E-03	2.609E+00	1.532E-06	9.182E-04	2.824E-01	1.689E+02	8.315E-12	4.990E-09
03/09/2010 20:01	187893	214.354	0.02	20	1.200E+01	4.287E-03	2.572E+00	1.509E-06	9.051E-04	2.834E-01	1.698E+02	8.029E-12	4.825E-09
03/09/2010 21:01	191493	209.883	0.02	20	1.200E+01	4.198E-03	2.522E+00	1.477E-06	8.876E-04	2.828E-01	1.697E+02	7.713E-12	4.642E-09
03/09/2010 22:01	195093	205.3186577	0.02	20	1.200E+01	4.106E-03	2.469E+00	1.445E-06	8.687E-04	2.819E-01	1.692E+02	7.406E-12	4.460E-09
03/09/2010 23:01	198692	200.4231077	0.02	20	1.200E+01	4.008E-03	2.409E+00	1.410E-06	8.477E-04	2.803E-01	1.682E+02	7.099E-12	4.273E-09
04/09/2010 00:01	202292	193.2505577	0.02	20	1.200E+01	3.865E-03	2.331E+00	1.360E-06	8.202E-04	2.751E-01	1.657E+02	6.723E-12	4.061E-09
04/09/2010 01:01	205892	189.1519577	0.02	20	1.200E+01	3.783E-03	2.270E+00	1.331E-06	7.987E-04	2.741E-01	1.642E+02	6.465E-12	3.885E-09
04/09/2010 02:01	209492	181.9173077	0.02	20	1.200E+01	3.638E-03	2.191E+00	1.280E-06	7.708E-04	2.682E-01	1.613E+02	6.111E-12	3.685E-09
04/09/2010 03:01	213091	174.7137077	0.02	20	1.200E+01	3.494E-03	2.099E+00	1.230E-06	7.388E-04	2.620E-01	1.572E+02	5.770E-12	3.472E-09
04/09/2010 04:01	216691	164.7673577	0.02	20	1.200E+01	3.295E-03	1.977E+00	1.160E-06	6.955E-04	2.513E-01	1.505E+02	5.351E-12	3.214E-09
04/09/2010 05:01	220291	148.1245577	0.02	20	1.200E+01	2.962E-03	1.796E+00	1.042E-06	6.318E-04	2.296E-01	1.390E+02	4.732E-12	2.872E-09
04/09/2010 06:01	223891	130.1673077	0.02	20	1.200E+01	2.603E-03	1.586E+00	9.161E-07	5.582E-04	2.051E-01	1.248E+02	4.092E-12	2.497E-09
04/09/2010 07:01	227490	108.9498077	0.02	20	1.200E+01	2.179E-03	1.334E+00	7.667E-07	4.694E-04	1.744E-01	1.066E+02	3.370E-12	2.066E-09
04/09/2010 08:01	231090	89.96790772	0.02	20	1.200E+01	1.799E-03	1.093E+00	6.332E-07	3.846E-04	1.463E-01	8.877E+01	2.740E-12	1.667E-09
04/09/2010 09:01	234690	92.79345772	0.02	20	1.200E+01	1.856E-03	1.107E+00	6.530E-07	3.896E-04	1.533E-01	9.132E+01	2.783E-12	1.662E-09
04/09/2010 10:01	238290	98.51700772	0.02	20	1.200E+01	1.970E-03	1.182E+00	6.933E-07	4.161E-04	1.652E-01	9.902E+01	2.910E-12	1.748E-09
04/09/2010 11:01	241889	94.50120772	0.02	20	1.200E+01	1.890E-03	1.139E+00	6.651E-07	4.006E-04	1.609E-01	9.679E+01	2.749E-12	1.658E-09
04/09/2010 12:01	245489	81.90525772	0.02	20	1.200E+01	1.638E-03	1.001E+00	5.764E-07	3.521E-04	1.415E-01	8.633E+01	2.348E-12	1.436E-09
04/09/2010 13:01	249089	83.68545772	0.02	20	1.200E+01	1.674E-03	9.915E-01	5.889E-07	3.489E-04	1.467E-01	8.680E+01	2.364E-12	1.402E-09
04/09/2010 14:01	252689	94.21140772	0.02	20	1.200E+01	1.884E-03	1.119E+00	6.630E-07	3.937E-04	1.675E-01	9.937E+01	2.624E-12	1.560E-09
04/09/2010 15:01	256289	101.7876077	0.02	20	1.200E+01	2.036E-03	1.218E+00	7.163E-07	4.284E-04	1.836E-01	1.097E+02	2.795E-12	1.674E-09
04/09/2010 16:01	259888	108.4426577	0.02	20	1.200E+01	2.169E-03	1.300E+00	7.632E-07	4.575E-04	1.983E-01	1.188E+02	2.937E-12	1.762E-09
04/09/2010 17:01	263488	114.3111077	0.02	20	1.200E+01	2.286E-03	1.366E+00	8.045E-07	4.807E-04	2.120E-01	1.265E+02	3.053E-12	1.826E-09
04/09/2010 18:01	267088	117.2608577	0.02	20	1.200E+01	2.345E-03	1.406E+00	8.252E-07	4.946E-04	2.204E-01	1.320E+02	3.090E-12	1.854E-09
04/09/2010 19:01	270688	116.4328577	0.02	20	1.200E+01	2.329E-03	1.400E+00	8.194E-07	4.926E-04	2.218E-01	1.332E+02	3.027E-12	1.822E-09
04/09/2010 20:01	274287	114.6423077	0.02	20	1.200E+01	2.293E-03	1.375E+00	8.068E-07	4.839E-04	2.213E-01	1.326E+02	2.941E-12	1.766E-09
04/09/2010 21:01	277887	113.3071577	0.02	20	1.200E+01	2.266E-03	1.362E+00	7.974E-07	4.791E-04	2.216E-01	1.330E+02	2.870E-12	1.726E-09
04/09/2010 22:01	281487	113.2450577	0.02	20	1.200E+01	2.265E-03	1.361E+00	7.970E-07	4.788E-04	2.243E-01	1.346E+02	2.831E-12	1.703E-09
04/09/2010 23:01	285087	113.1415577	0.02	20	1.200E+01	2.263E-03	1.358E+00	7.962E-07	4.780E-04	2.270E-01	1.361E+02	2.793E-12	1.678E-09
05/09/2010 00:01	288686	113.1208577	0.02	20	1.198E+01	2.262E-03	1.355E+00	7.961E-07	4.768E-04	2.298E-01	1.375E+02	2.758E-12	1.653E-09
05/09/2010 01:01	292286	112.3756577	0.02	20	1.200E+01	2.248E-03	1.350E+00	7.908E-07	4.749E-04	2.312E-01	1.387E+02	2.706E-12	1.627E-09
05/09/2010 02:01	295886	111.8892077	0.02	20	1.200E+01	2.238E-03	1.344E+00	7.874E-07	4.730E-04	2.330E-01	1.398E+02	2.661E-12	1.600E-09
05/09/2010 03:01	299486	110.9370077	0.02	20	1.200E+01	2.219E-03	1.331E+00	7.807E-07	4.685E-04	2.338E-01	1.402E+02	2.607E-12	1.566E-09
05/09/2010 04:01	303086	109.3534577	0.02	20	1.200E+01	2.187E-03	1.314E+00	7.696E-07	4.622E-04	2.332E-01	1.399E+02	2.539E-12	1.527E-09
05/09/2010 05:01	306685	108.0907577	0.02	20	1.200E+01	2.162E-03	1.298E+00	7.607E-07	4.569E-04	2.333E-01	1.400E+02	2.480E-12	1.491E-09

05/09/2010 06:01	310285	106.9005077	0.02	20	1.200E+01	2.138E-03	1.283E+00	7.523E-07	4.516E-04	2.334E-01	1.400E+02	2.425E-12	1.457E-09
05/09/2010 07:01	313885	105.3480077	0.02	20	1.200E+01	2.107E-03	1.265E+00	7.414E-07	4.450E-04	2.327E-01	1.395E+02	2.362E-12	1.419E-09
05/09/2010 08:01	317485	103.6816577	0.02	20	1.200E+01	2.074E-03	1.246E+00	7.297E-07	4.384E-04	2.317E-01	1.391E+02	2.298E-12	1.382E-09
05/09/2010 09:01	321084	102.7294577	0.02	20	1.200E+01	2.055E-03	1.234E+00	7.230E-07	4.343E-04	2.321E-01	1.393E+02	2.252E-12	1.354E-09
05/09/2010 10:01	324684	102.2119577	0.02	20	1.200E+01	2.044E-03	1.228E+00	7.193E-07	4.319E-04	2.336E-01	1.401E+02	2.215E-12	1.332E-09
05/09/2010 11:01	328284	102.4396577	0.02	20	1.200E+01	2.049E-03	1.230E+00	7.209E-07	4.330E-04	2.367E-01	1.420E+02	2.196E-12	1.320E-09
05/09/2010 12:01	331884	103.8058577	0.02	20	1.200E+01	2.076E-03	1.244E+00	7.305E-07	4.376E-04	2.425E-01	1.451E+02	2.201E-12	1.320E-09
05/09/2010 13:01	335483	104.3958077	0.02	20	1.200E+01	2.088E-03	1.253E+00	7.347E-07	4.409E-04	2.465E-01	1.478E+02	2.190E-12	1.315E-09
05/09/2010 14:01	339083	104.1784577	0.02	20	1.200E+01	2.084E-03	1.250E+00	7.332E-07	4.397E-04	2.486E-01	1.490E+02	2.162E-12	1.298E-09
05/09/2010 15:01	342683	102.7915577	0.02	20	1.200E+01	2.056E-03	1.236E+00	7.234E-07	4.349E-04	2.479E-01	1.489E+02	2.111E-12	1.270E-09
05/09/2010 16:01	346283	103.1641577	0.02	20	1.200E+01	2.063E-03	1.239E+00	7.260E-07	4.361E-04	2.514E-01	1.509E+02	2.097E-12	1.260E-09
05/09/2010 17:01	349882	102.4707077	0.02	20	1.200E+01	2.049E-03	1.228E+00	7.211E-07	4.322E-04	2.523E-01	1.511E+02	2.061E-12	1.236E-09
05/09/2010 18:01	353482	99.80040772	0.02	20	1.200E+01	1.996E-03	1.201E+00	7.024E-07	4.226E-04	2.483E-01	1.492E+02	1.987E-12	1.196E-09
05/09/2010 19:01	357082	96.28140772	0.02	20	1.200E+01	1.926E-03	1.151E+00	6.776E-07	4.051E-04	2.420E-01	1.445E+02	1.898E-12	1.135E-09
05/09/2010 20:01	360682	92.86590772	0.02	20	1.200E+01	1.857E-03	1.118E+00	6.535E-07	3.934E-04	2.357E-01	1.418E+02	1.812E-12	1.092E-09
05/09/2010 21:01	364282	89.87475772	0.02	20	1.200E+01	1.797E-03	1.080E+00	6.325E-07	3.800E-04	2.304E-01	1.383E+02	1.736E-12	1.044E-09
05/09/2010 22:01	367881	87.78405772	0.02	20	1.200E+01	1.756E-03	1.055E+00	6.178E-07	3.712E-04	2.273E-01	1.365E+02	1.679E-12	1.010E-09
05/09/2010 23:01	371481	86.99745772	0.02	20	1.200E+01	1.740E-03	1.036E+00	6.122E-07	3.645E-04	2.274E-01	1.353E+02	1.648E-12	9.821E-10
06/09/2010 00:01	375081	82.49520772	0.02	20	1.200E+01	1.650E-03	9.927E-01	5.806E-07	3.493E-04	2.178E-01	1.309E+02	1.548E-12	9.320E-10
06/09/2010 01:01	378681	80.92200772	0.02	20	1.200E+01	1.618E-03	9.744E-01	5.695E-07	3.429E-04	2.157E-01	1.297E+02	1.504E-12	9.062E-10
06/09/2010 02:01	382280	79.28670772	0.02	20	1.200E+01	1.586E-03	9.531E-01	5.580E-07	3.354E-04	2.133E-01	1.281E+02	1.460E-12	8.780E-10
06/09/2010 03:01	385880	78.39660772	0.02	20	1.200E+01	1.568E-03	9.426E-01	5.517E-07	3.317E-04	2.129E-01	1.279E+02	1.430E-12	8.602E-10
06/09/2010 04:01	389480	79.56615772	0.02	20	1.200E+01	1.591E-03	9.556E-01	5.600E-07	3.363E-04	2.181E-01	1.309E+02	1.438E-12	8.640E-10
06/09/2010 05:01	393080	79.39020772	0.02	20	1.200E+01	1.588E-03	9.529E-01	5.587E-07	3.353E-04	2.196E-01	1.317E+02	1.421E-12	8.536E-10
06/09/2010 06:01	396679	85.86930772	0.02	20	1.200E+01	1.717E-03	1.001E+00	6.043E-07	3.522E-04	2.397E-01	1.396E+02	1.523E-12	8.884E-10
06/09/2010 07:01	400279	88.83975772	0.02	20	1.200E+01	1.777E-03	1.066E+00	6.252E-07	3.751E-04	2.503E-01	1.500E+02	1.562E-12	9.378E-10
06/09/2010 08:01	403879	89.82300772	0.02	20	1.200E+01	1.796E-03	1.077E+00	6.321E-07	3.788E-04	2.553E-01	1.529E+02	1.565E-12	9.387E-10
06/09/2010 09:01	407479	89.67810772	0.02	20	1.200E+01	1.794E-03	1.069E+00	6.311E-07	3.760E-04	2.572E-01	1.531E+02	1.549E-12	9.235E-10
06/09/2010 10:01	411078	89.40900772	0.02	20	1.200E+01	1.788E-03	1.075E+00	6.292E-07	3.783E-04	2.587E-01	1.554E+02	1.531E-12	9.209E-10
06/09/2010 11:01	414678	88.89150772	0.02	20	1.200E+01	1.778E-03	1.068E+00	6.256E-07	3.757E-04	2.594E-01	1.557E+02	1.509E-12	9.067E-10
06/09/2010 12:01	418278	88.46715772	0.02	20	1.200E+01	1.769E-03	1.063E+00	6.226E-07	3.742E-04	2.604E-01	1.564E+02	1.488E-12	8.952E-10
06/09/2010 13:01	421878	89.00535772	0.02	20	1.200E+01	1.780E-03	1.068E+00	6.264E-07	3.758E-04	2.643E-01	1.584E+02	1.485E-12	8.914E-10

TRACAGE SULFO - La MUZE (12) – suivi à « St Hippolyte »

Point d'injection		Le Rauzel - St Beauzély			Arrivée	Heure d'arrivée			06/09/2010 20:00		
		X l2m	Y l2m	Z m NGF		to		(s) (h) (j)	447000	124.17	5.17
		650344	1908141	608		Vmax		(m/s) (m/h) (m/j)	0.03512	126.44	3034.63
Heure d'injection		01/09/2010 15:50									
Point de Suivi		St Hippolyte									
		X l2m	Y l2m	Z m NGF	Mode	Heure modale			07/09/2010 10:00		
		646904	1897975	343		Temps modal tm		(s) (h) (j)	497400	138.17	5.76
Distance x	(m)			15700		Vitesse modale Vm		(m/s) (m/h) (m/j)	0.03156	113.63	2727.14
Pente				2%							
Traceur utilisé		Sulforhodamine B									
Masse injectée	(g)			6000							
Concentration initiale	(g/l)			2	Moyenne	Temps moy séjour		(s) (h) (j)	687508	190.97	7.96
Masse restituée Mr	(g)			532		$\int (1/t) \cdot (h(t) d(t))$			1.81E-06		
Taux de restitution	(%)			8.87%		Vitesse moyenne		(m/s) (m/h) (m/j)	0.02842	102.30	2455.29
Cmax	(µg/l) (g/l)		12.52	1.25E-05		Vitesse apparente		(m/s) (m/h) (m/j)	0.02284	82.21	1973.04
Taux de dilution minimale				8.35E-06							
Taux de dilution unitaire	l-1			2.09E-09							
DTS max	(s-1)			8.19E-06	Fin	Heure fin restitution			12/09/2010 16:00	??	
Volume d'eau tracé	m3			1.97E+04		Temps de restitution		(s) (h) (j)	951000	264.17	11.01
Débit moyen tracé	m3/s			0.039		Durée de restitution		(s) (h) (j)	504000	140.00	5.83
Q calc pour Section (m3/s)				0.09							
Section moyenne du drain (m²)				3.96							
Diamètre moyen du drain (m)				2.24							

Date	Temps relatif (s)	C° nette (µg/l)	Débit (m3/s)	débit (l/s)	Volume d'eau (m3)	Flux massique (g/s)	Masse restituée (g)	DTS = h(t) (s-1)	Intégrale DTS	h(t)*t	$\int h(t)*t = TMS$	h(t)*1/t	$\int h(t)*1/t$
05/09/2010 19:00	357000	0.000	0.03	32		0.000E+00		0.000E+00		0.000E+00		0.000E+00	
05/09/2010 22:00	367800	0.000	0.03	32	3.456E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
06/09/2010 04:00	389400	0.000	0.03	32	6.912E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
06/09/2010 07:00	400200	0.000	0.03	32	3.456E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
06/09/2010 13:00	421800	0.000	0.16	161	2.084E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
06/09/2010 20:00	447000	2.622	0.35	348	6.413E+03	9.125E-04	1.150E+01	1.714E-06	2.160E-02	7.663E-01	9.655E+03	3.835E-12	4.832E-08
07/09/2010 10:00	497400	12.520	0.35	348	1.754E+04	4.357E-03	1.328E+02	8.186E-06	2.495E-01	4.072E+00	1.219E+05	1.646E-11	5.114E-07
08/09/2010 00:00	547800	8.073	0.19	193	1.363E+04	1.558E-03	1.491E+02	2.927E-06	2.801E-01	1.604E+00	1.430E+05	5.344E-12	5.494E-07
09/09/2010 04:00	648600	7.454	0.13	131	1.633E+04	9.765E-04	1.277E+02	1.835E-06	2.400E-01	1.190E+00	1.408E+05	2.829E-12	4.119E-07
09/09/2010 18:00	699000	5.097	0.11	112	6.124E+03	5.709E-04	3.899E+01	1.073E-06	7.326E-02	7.497E-01	4.888E+04	1.534E-12	1.099E-07
11/09/2010 05:00	825000	5.58	0.10	103	1.354E+04	5.747E-04	7.217E+01	1.080E-06	1.356E-01	8.909E-01	1.034E+05	1.309E-12	1.791E-07
12/09/2010 16:00	951000	5.5	0.10	103	1.298E+04	5.665E-04	7.190E+01	1.064E-06	1.351E-01	1.012E+00	1.199E+05	1.119E-12	1.530E-07

Parc naturel régional des Grands Causses

71 boulevard de l'Ayrolle
BP 50126
12101 MILLAU cedex
Tel : 05.65.61.35.50
Fax : 05.65.61.34.80



Avec le soutien de :

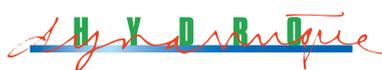


Phase 1

Etat des lieux et diagnostic

Rapport final

Octobre 2011



DYNAMIQUE HYDRO
18, Avenue Charles De Gaulle
69370 Saint Didier au Mont d'Or
Tel-Fax : 04.78.83.68.89
contact@dynamiquehydro.fr
www.dynamiquehydro.fr



CALLIGEE Sud Ouest
Le Prologue 2 - BP 2717
31312 Labège cedex
Tel : 05.62.24.36.97
Fax : 05.61.39.07.28
toulouse@calligee.fr



HYDRETUDES-Agence de Toulouse
20, Boulevard de Thibaud
31100 Toulouse
Tel : 05.62.14.07.43 - Fax : 05.62.14.08.95
contact-toulouse@hydretudes.com
www.hydretudes.com

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
INTRODUCTION	7
ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'OCCUPATION DES SOLS.....	9
1- <i>Méthodologie</i>	9
1- <i>Evolution des surfaces</i>	9
1.1- Occupation des sols à l'échelle du bassin versant.....	9
1.2- Occupation des sols à l'échelle des sous-bassins	10
1.3- Distribution spatiale des évolutions	11
1.4- Informations complémentaires.....	12
2- <i>Evolution des haies</i>	13
2.1- Densité des haies à l'échelle du bassin versant.....	13
2.2- Densité des haies à l'échelle des sous-bassins	15
3- <i>Synthèse et implications hydrologiques et géomorphologiques</i>	15
ETAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC GEOMORPHOLOGIQUE	17
1- <i>Sectorisation des branches principales du réseau hydrographique</i>	17
2- <i>Inventaire réalisé sur les branches principales du réseau hydrographique et analyses thématiques</i>	20
2.1- Méthode d'inventaire et parcours effectué	20
2.2- Fourniture sédimentaire	20
2.2.1- Transformation des données brutes	20
2.2.2- Analyse globale à l'échelle du bassin versant.....	21
2.2.3- Distribution spatiale des formes d'érosions	23
2.3- Transit sédimentaire	25
2.3.1- Granulométrie des sédiments	25
2.3.2- Inventaire des atterrissements.....	27
2.4- Embâcles et bois mort.....	30
2.5- Mobilité latérale.....	31
2.5.1- Evolution diachronique des tracés	31
2.5.2- Stabilité actuelle des berges.....	31
3- <i>Ensemblement</i>	33
3.1- Etat des lieux	33
3.1.1- Méthode.....	33
3.1.2- Résultats.....	34
3.2- Analyses exploratoires des causes de l'ensablement.....	35
3.2.1- Erosion des sols	35
3.2.1.1- Présentation préalable des facteurs contrôlant l'érosion des sols	35
3.2.1.2- Disponibilité des données sur le bassin versant de la Muse	36
3.2.1.3- Modèle d'érosion établi : paramètre retenus pour la modélisation	36
3.2.1.4- Principe de la modélisation	38
3.2.1.5- Résultats.....	40
3.2.2- Analyses statistiques multi-paramètres	41
3.2.2.1- Corrélations simples entre et les caractéristiques des affluents et leur ensablement	42
3.2.2.2- Corrélations multiples ou complexes.....	44
3.2.2.3- Bilan sur l'approche statistique.....	46
3.2.3- Problématique des avens	46

ETUDE HYDROLOGIQUE.....	49
1- <i>Caractéristiques hydrométéorologiques du bassin versant.....</i>	49
1.1- Régime hydrologique	49
1.2- Pluviométrie locale.....	50
1.2.1- Recueil des données pluviométriques.....	50
1.2.2- Analyse des pluies annuelles et journalières.....	50
1.3- Données Pluviométriques à faible pas de temps	51
1.4- Hydrologie de crue	51
1.4.1- Analyse des données au droit de la station de St Hippolyte	51
1.4.2- Utilisation des formules empiriques ou semi-empiriques	52
1.4.2.1- Détermination du débit décennal	52
1.4.2.2- Détermination du débit centennal.....	52
2- <i>Evolution du fonctionnement hydrologique du bassin versant.....</i>	53
2.1- Influence de l'occupation des sols sur le ruissellement	53
2.1.1- A l'échelle du bassin versant	53
2.1.2- A l'échelle des sous-bassins.....	54
2.2- Evolution des chroniques de débits et de pluie	56
2.2.1- Débit moyen / pluie annuelle	56
2.2.2- Débits d'étiage.....	59
2.2.3- Chronique de débits journaliers et de pluies journalières.....	59
2.2.3.1- Principe de modélisation.....	60
2.2.3.2- Résultats.....	60
2.3- Synthèse.....	62
INVENTAIRE ET DIAGNOSTIC DES CHAUSSEES	63
1- <i>Localisation et description des chaussées.....</i>	63
2- <i>Recherches en archives et entretiens avec les propriétaires</i>	63
2.1- Historique.....	65
2.2- Usages actuels.....	66
3- <i>Impact des chaussées sur la continuité écologique</i>	66
3.1- Influence sur la circulation piscicole.....	66
3.2- Influence sur le transport solide.....	67
SYNTHESE GENERALE.....	69
1- <i>Description synthétique</i>	69
2- <i>Synthèse des évolutions.....</i>	70
3- <i>Perturbations hydro-morphologiques, enjeux écologiques et orientations de gestion</i>	71
3.1- Synthèse à l'échelle du bassin versant	71
3.1.1- Perturbations et dysfonctionnements.....	71
3.1.2- Enjeux écologiques.....	73
3.2- Dysfonctionnements et orientations de gestion par secteur	73
3.2.1- Affluents	73
3.2.2- Secteur 7.....	74
3.2.3- Secteurs 5 et 6.....	74
3.2.4- Secteur 4.....	74
3.2.5- Secteur 3.....	75
3.2.6- Secteur 2.....	75
3.2.7- Secteur 1.....	75
LEXIQUE.....	77
LISTE DES TABLEAUX	81
LISTE DES FIGURES.....	83
BIBLIOGRAPHIE.....	85

ANNEXES

- 1- coefficients de ruissellement utilisés pour la méthode rationnelle
- 2- Atlas cartographique

INTRODUCTION

Le Parc naturel régional des Grands Causses réalise une étude du bassin versant de la Muse afin d'établir un plan de gestion permettant d'atteindre le bon état écologique des milieux aquatiques du bassin fixé par la Directive Cadre sur l'Eau. Le S.A.G.E. Tarn Amont définit les objectifs généraux suivants :

- Préserver ou rétablir la morphodynamique des cours d'eau ;
- Instaurer une logique dans la gestion physique des cours d'eau en tenant compte des aspects écologiques et juridiques ;
- Préserver voire restaurer les écosystèmes aquatiques, les zones humides ainsi que leur fonctionnement ;
- Maintenir ou améliorer les potentialités piscicoles.

Ce rapport présente les résultats de la phase 1 de l'étude confiée à DYNAMIQUE HYDRO et HYDRETTES visant à réaliser un diagnostic hydrologique et géomorphologique et à définir un programme d'actions adapté au contexte du bassin versant de la Muse. Il s'articule autour des thèmes suivants :

- Analyse diachronique de l'occupation des sols ;
- Etat des lieux et diagnostic géomorphologique ;
- Etude hydrologique ;
- Inventaire et diagnostic des chaussées (ou seuils artificiels).

Le bureau d'études CALLIGEE a également pris en charge la réalisation des traçages sur la Muse dans une zones de pertes potentielles, afin de vérifier les relations supposées entre ces pertes et la source karstique des Douzes, émergeant en bordure du Tarn, plus au Sud. Les résultats et conclusions de CALLIGEE sont présentés dans un rapport annexe.

Un lexique a été réalisé pour rappeler la définition des principales notions abordées dans le rapport et faciliter sa compréhension.

Une vingtaine de cartes ont été éditées et réunies en **annexe 2**. Elles contiennent une grande part des informations collectées sur le terrain et des résultats d'analyse. La **carte n°1** présente notamment la sectorisation des branches principales du réseau hydrographique et la numérotation des sous-bassins versants sur lesquelles s'appuient une grande partie des documents du rapport (de nombreux commentaires, figures et tableaux font référence aux secteurs ou aux sous-bassins versants identifiés sur cette carte pour localiser les informations).

Les fiches descriptives des chaussées sont regroupées dans un rapport annexe.

ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'OCCUPATION DES SOLS

L'analyse de l'évolution de l'occupation des sols a pour objectif de retracer les modifications de l'état de surface du bassin versant et plus particulièrement du couvert végétal. Elle permet d'évaluer les implications théoriques des évolutions constatées sur l'hydrologie et la dynamique sédimentaire du bassin, et d'alimenter les analyses et interprétations des thèmes suivants (diagnostic géomorphologique, analyse hydrologique).

1- Méthodologie

Trois séries de photographies aériennes (1948, 1978, 2008) ont été sélectionnées pour étudier l'évolution de l'occupation des sols du bassin versant. Une typologie en 7 classes a été adoptée en fonction des possibilités techniques liées à la qualité variable des photographies aériennes et de façon à minimiser les erreurs lors des comparaisons. Le linéaire de haies a également été digitalisé. En revanche, il s'est révélé impossible de détecter les zones humides. Précisons qu'un pré-inventaire des zones humides est actuellement en cours d'élaboration par le PNRGC, et sera suivi de prospections terrain en 2012 et 2013 pour finaliser l'inventaire.

Les classes d'occupation du sol retenues sont les suivantes :

- boisements denses ;
- boisements peu denses ;
- landes, friches et prairies permanentes (surfaces herbacées et/ou arbustives non labourées) ;
- surfaces cultivées (dont prairies temporaires) ;
- roche nue ;
- surfaces artificielles : bâti et surfaces annexes (jardins, routes, terrains de sports...) ;
- plans d'eau.

Quelques sources d'informations complémentaires ont encore été exploitées : Recensement Général Agricole (1979, 1988, 2000), bases de données Corine Land Cover (1990, 2000, 2006).

1- Evolution des surfaces

1.1- Occupation des sols à l'échelle du bassin versant

Les occupations des sols en 1948, 1978 et 2008 sont présentées sur la [carte n°2](#). Le [tableau 1](#) résume la répartition des principales classes d'occupation des sols pour ces 3 dates à l'échelle du bassin versant,

ainsi que les taux d'évolution moyens correspondant. Les superficies relatives aux roches à nue et aux plans d'eau ne sont pas mentionnées dans ce tableau car elles sont négligeables.

date / période	Boisements denses (%)	Boisements peu denses (%)	Landes, friches et prairies permanentes (%)	Surfaces cultivées (%)	Surfaces artificielles (%)
1948	6,3	11,9	31,8	48,9	1,1
1978	25,3	7,5	21,1	44,8	1,3
2008	30,2	7,9	16,5	42,6	2,8
1948-1978	+19	-4	-10	-5	≈0
1978-2008	+5	≈0	-5	-2	+2
1948-2008	+24	-4	-15	-7	+2

Tableau 1 : occupation du sol du bassin versant de la Muse en 1948, 1978 et 2008 et taux d'évolution moyens

Globalement, **le bassin versant a connu un important reboisement** avec, en % de la superficie totale du bassin, une augmentation moyenne de 20% des surfaces boisées entre 1948 et 2008 (boisements denses et peu denses confondus car la diminution de ces derniers – -4% entre 1948 et 1978 – représentent essentiellement une densification de boisements déjà existants en 1948). Il s'est **réalisé principalement au dépend des surfaces herbacées et arbustives** (-15% de landes, friches et prairies permanentes), **et dans une moindre mesure au dépend des surfaces cultivées** (-7%). Le reboisement a été particulièrement intense durant la première période (opéré au ¾ entre 1948 et 1978), puis il a connu une progression plus modérée (+5%), analogue à l'évolution générale des forêts en France métropolitaine (source : Inventaire Forestier National).

1.2- Occupation des sols à l'échelle des sous-bassins

Le **tableau 2** précise les taux d'évolution observés entre 1948 et 2008 pour chaque sous-bassin (la **carte n°1** permet d'identifier les sous-bassins versants). Il confirme que la tendance globale précédemment constatée à l'échelle du bassin versant est représentative de l'évolution individuelle de l'ensemble des sous-bassins : 28 des 31 sous-bassins ont effectivement connu un fort taux de reboisement. Seuls 2 sous-bassins ont légèrement moins évolué : celui de la Muse en amont du ruisseau de Roubayrolles (n°25) et celui de la Sagette (n°24b) qui n'ont connu qu'un faible recul des terres cultivées en faveur des surfaces boisées. L'évolution du 31^{ème} sous-bassin (ravin de Carlesse, n°12), qui se caractériserait par une augmentation des surfaces herbacées et arbustives (+12%) aussi importante que celle des forêts (+11%), est marginale et pourrait également refléter une limite méthodologique (liée à la difficulté à identifier et à délimiter les différentes parcelles sur la photographie de 1948).

Sous-bassin	Superficie (km ²)	Boisements denses (%)	Boisements peu denses (%)	Landes, friches et prairies permanentes (%)	Surfaces cultivées (%)	Surfaces artificielles (%)
1	0,82	22	10	-20	-14	1
2	0,82	53	-23	-9	-23	2
3	1,34	37	-9	-6	-21	0
4	0,26	32	0	-16	-14	-2
5	1,72	43	-12	-16	-15	0
6	0,41	34	7	-24	-22	4
7	1,01	24	-3	-17	-4	0
8	2,08	38	-7	-30	-2	1
9	8,67	23	-8	-24	8	1
10	0,94	29	4	-4	-27	-1
11	8,09	30	-6	-10	-17	3
12	1,58	5	6	12	-23	0
13	1,16	7	15	-15	-7	0
14	4,71	12	12	-11	-18	5
15	0,81	13	9	-9	-12	0
16	6,10	47	-13	-30	-4	0
17	4,85	34	-6	-36	5	2
18	1,23	4	23	-22	-8	2
19	0,84	16	-4	9	-27	5
19a	3,04	20	-5	-23	7	1
19b	7,51	28	-6	-30	7	1
20	2,26	14	-2	-1	-11	0
21	0,52	62	0	-51	-12	1
22	7,77	13	3	-12	-6	2
23	3,55	33	-13	-10	-12	2
23a	2,61	11	0	-13	0	2
23b	3,49	13	-3	-12	2	1
24	0,14	20	16	-7	-27	-1
24a	1,81	14	1	0	-15	1
24b	2,02	8	-1	-2	-6	0
25	6,48	6	-2	0	-5	1
Ensemble	112	24	-4	-15	-7	2

Tableau 2 : taux d'évolution des principales classes d'occupation du sol (exprimés en % de la superficie des bassins) durant la période 1948-2008 - les valeurs en gras mettent en évidence les augmentations les plus significatives (>10%)

1.3- Distribution spatiale des évolutions

Les résultats précédents rendent compte de l'évolution moyenne du bassin versant et des sous-bassins mais ils ne permettent pas de mettre en évidence les modifications relatives à la localisation des types de surfaces. La **carte n°3** représente une synthèse de l'évolution de la distribution spatiale de l'occupation des sols. Elle repose sur une superposition des cartes d'occupation des sols de 1948 et 2008, simplifiée et partiellement corrigée (notamment en supprimant les polygones inférieurs à 1 ha) pour limiter les erreurs liés au décalage de ces 2 séries de photographies aériennes, mais il faut préciser qu'il **subsiste des erreurs qui tendent à surestimer l'emprise spatiale des surfaces modifiées.**

L'ampleur du développement des surfaces artificielles est encore surestimée par l'inclusion des parcelles annexes au bâti en 2008 (jardins, voirie, terrains de sport...) alors que certaines de ces surfaces étaient difficilement détectables sur les photographies aériennes de 1948.

La **carte n°3** révèle néanmoins que **le reboisement a été particulièrement important sur les zones à forte pente** : la plupart des surfaces reboisées se situent sur les versants escarpés qui font la jonction entre les zones de plateau (plateau du Lévézou et Avant-Causses) et les fonds de vallée de la Muse et de certains affluents dans leur partie aval. Un autre secteur important de reboisement concerne une partie du plateau du Lévézou, en tête des bassins de Falguières et Estalane.

Cette carte montre également **un développement des surfaces cultivées sur la partie sommitale du plateau**, au niveau des secteurs amont des bassins de Fouyrouse (n°9) et de Brinhac (n°19b), et dans une moindre mesure des bassins de Rivaldiès (n°17), des Landes (n°19a) et de Coste Cave (n°23a). Ces cultures ne se sont pas développées sur toute la période 1948-2008, mais essentiellement entre 1948 et 1978. Par ailleurs, elles ont remplacées d'anciennes surfaces classées en *landes, friches et prairies permanentes* qui dominaient toute la bordure ouest du bassin en 1948 (**carte n°2**) et il est probable que leur implantation se soit accompagnée de travaux de drainage.

1.4- Informations complémentaires

Les données du Recensement Général Agricole (fiches comparatives des recensements de 1979, 1988 et 2000) indiquent une diminution globale de 8,2 km² (soit 9%) de la Surface Agricole Utile (SAU composée des cultures pérennes, surfaces toujours en herbes ou STH, terres arables et jachères) des exploitations des 5 communes du bassin versant entre 1979 et 2000 (**tableau 3**). Seule la SAU de Saint-Laurent-de-Lévézou connaît une progression positive de 15% environ.

Ces informations ne sont pas directement comparables avec les données issues de l'interprétation des photographies aériennes car :

- elles correspondent à une typologie différente ;
- elles ont été établies sur un territoire plus vaste que celui du bassin versant (la superficie du bassin ne représente que 65% de la superficie totale des communes) ;
- elles sont basées sur les exploitations agricoles dont le siège est situé sur la commune renseignée, sans tenir compte de la localisation réelle des parcelles.

Si l'on ignore les erreurs liées à ce dernier point, alors la diminution de la SAU sur le bassin serait approximativement de 5,3 km² (65% des 8,2 km²) soit près de 5% du bassin. Cette valeur correspond assez bien aux résultats précédents qui montrent, sur la période 1978-2008, une diminution globale de 6,7% des surfaces cultivées et des surfaces herbacées (la classe *landes, friches et prairies permanentes* étant principalement constituée de prairies permanentes ou de jachères) en faveur d'une augmentation des surfaces boisées et artificielles.

Les données du RGA indiquent également une importante modification de la nature des surfaces agricoles, difficilement détectable par photo-interprétation : plus de la moitié des surfaces toujours en herbes ont disparues (-29 km² soit -54% des STH présentes en 1979) alors que la superficie fourragère a peu diminuée (-7 km²) ; en contrepartie, les terres labourables se sont nettement développées (+22 km² soit +55%). Ceci révèle qu'**une grande partie des prairies permanentes ont été converties en prairies temporaires** (les STH correspondent aux surfaces en herbes naturelles ou semées depuis au moins 5 ans). Si la commune d'appartenance du siège des exploitations témoignait de la localisation des

parcelles, cette évolution concernerait davantage le secteur nord du bassin versant : +8% et +7% de terres labourables sur les communes de Saint-Laurent-de-Lévezou et Saint-Léons respectivement (**tableau 3**).

Commune	Evolution de la Surface Agricole Utile (km ²)	Evolution de la superficie fourragère (km ²)	Evolution des Surfaces Toujours en Herbe (km ²)	Evolution des terres labourables (km ²)
Castelnaud-Pégayrols	-3,6	-3,3	-7,2	+3,7
Montjoux	-4,4	-3,1	-4,4	+0,4
Saint-Beauzély	-1,7	-1,9	-3,6	+1,9
Saint-Laurent-de-Lévezou	+2,4	+1,5	-6,2	+8,5
Saint-Léons	-0,9	-0,6	-8,0	+7,1
<i>Ensemble</i>	-8,2	-7,4	-29,3	+21,6

Tableau 3 : évolution des principales classes d'occupation du sol définies par le Recensement Général Agricole entre 1979 et 2000 (superficies renseignées pour les exploitations dont le siège se situe sur les communes du bassin versant, quelle que soit la localisation réelle des parcelles)

L'analyse des données de la base Corine Land Cover (1990, 2000, 2006) n'apporte quasiment aucune information complémentaire car elles se sont avérées être trop imprécises (faible résolution spatiale) et incomparables d'une année sur l'autre (la comparaison des données 1990 et 2006 produit des évolutions fortuites). Elles montrent seulement, ce qui est confirmé par des observations de terrain, qu'une grande partie des nouveaux boisements sont consacrés à la culture des résineux, et donc destinés à faire l'objet de coupes qui laissent temporairement les sols dépourvus de couvert végétal.

2- Evolution des haies

Le linéaire de haies a été digitalisé pour les 3 séries de photographies aériennes de manière à évaluer l'impact possible sur la circulation des flux hydriques et sédimentaires. Il faut souligner que les densités de haies ne sont comparables qu'à occupation du sol égale. La transformation progressive des terres arables et des prairies en surfaces boisées suppose qu'une partie des haies a été enveloppée dans la couverture forestière. Autrement dit, la longueur totale de haies présentes (ou détectables) sur le bassin versant a diminué mais elle pourrait être largement compensée par le phénomène de reboisement. Aussi, pour tenir compte des évolutions précédemment décrites, nous avons comparé les densités de haies présentes sur les terres cultivées (**tableau 4**).

2.1- Densité des haies à l'échelle du bassin versant

Contrairement à l'occupation des sols, la densité de haies à l'échelle du bassin versant aurait connu deux évolutions distinctes selon la période considérée (**tableau 4**) :

- augmentation de 1,78 km/km² soit +95% entre 1948 et 1978 ;
- diminution de 0,52 km/km² soit -14% entre 1978 et 2008.

Sous-bassin	Densité de haies sur les terres cultivées (km/km ²)			Evolution (km/km ²)		
	1948	1978	2008	1948-1978	1978-2008	1948-2008
1	0,73	2,50	0,80	1,77	-1,70	0,07
2	0,31	1,09	4,55	0,78	3,46	4,24
3	1,94	3,35	9,60	1,41	6,25	7,66
4	3,13	3,27	5,59	0,14	2,32	2,46
5	1,58	2,73	3,89	1,15	1,16	2,31
6	0,68	0	3,86	-0,68	4	3,18
7	0,32	2,08	2,34	1,76	0,26	2,02
8	1,77	3,81	3,44	2,03	-0,37	1,67
9	0,98	2,32	1,50	1,35	-0,82	0,53
10	0,00	0,20	0,55	0,20	0,34	0,55
11	1,29	4,11	3,00	2,81	-1,11	1,70
12	0,23	2,58	2,11	2,35	-0,47	1,88
13	1,77	3,77	2,44	2,00	-1,33	0,67
14	1,13	3,60	4,11	2,47	0,51	2,98
15	1,03	1,78	2,64	0,76	0,85	1,61
16	1,60	4,08	3,61	2,47	-0,46	2,01
17	1,81	2,38	1,22	0,57	-1,16	-0,59
18	0,59	3,04	1,74	2,45	-1,30	1,15
19	3,91	6,14	3,28	2,23	-2,87	-0,64
19a	1,79	2,16	1,10	0,37	-1,06	-0,69
19b	2,45	3,50	2,20	1,05	-1,30	-0,25
20	1,70	3,87	4,25	2,17	0,38	2,54
21	0	0	0,52	0	0,52	0,52
22	1,76	4,92	4,07	3,15	-0,84	2,31
23	2,99	4,40	4,45	1,41	0,05	1,46
23a	3,63	6,40	3,84	2,77	-2,56	0,22
23b	1,07	4,79	2,03	3,72	-2,76	0,96
24	3,57	7,65	8,03	4,08	0,37	4,46
24a	4,34	5,23	4,39	0,90	-0,84	0,06
24b	3,30	4,80	4,20	1,49	-0,60	0,90
25	3,64	4,45	3,33	0,81	-1,11	-0,30
Ensemble	1,86	3,64	3,12	1,78	-0,52	1,26

Tableau 4 : densité des haies sur les terres cultivées en 1948, 1978 et 2008 et évolution

Une partie des résultats précédents est néanmoins biaisée par la méthodologie employée, le type de haies considérées et la mauvaise qualité des photographies de 1948. D'une part, il est difficile de repérer les haies constituées d'une végétation broussailleuse. Les résultats présentés ci-dessus correspondent donc essentiellement aux haies arborées et arbustives. Or certaines haies présentes dès 1948 se sont probablement développées pour devenir détectables en 1978. D'autre part, il est impossible de détecter les haies qui présentent une faible largeur et la limite de détection est variable selon la qualité de l'image : 2m environ pour 1978 et 2008 ; 5m environ pour 1948.

La densité de haies en 1948 devait donc être très largement supérieure à la valeur présentée dans le **tableau 4**. Une comparaison attentive des photographies aériennes de 1948 et 1978, sur certains secteurs où les haies sont densément implantées en 1978, révèle effectivement que **la densité de haies**

en 1948 est fortement sous-estimée. De plus, une diminution de la densité de haies durant la période 1948-1978 est vraisemblable du fait de la modernisation de l'agriculture et des opérations de remembrement. Il nous est néanmoins **impossible d'évaluer la proportion des évolutions des haies durant cette période.**

La diminution observée entre 1978 et 2008 est également en partie surévaluée dans la mesure où l'épaississement de certaines haies (ex : double rangée d'arbres) nous a parfois conduit à les classer en surfaces boisées. Nous retiendrons donc **une valeur approximative de -10% pour cette dernière période.**

2.2- Densité des haies à l'échelle des sous-bassins

L'évolution moyenne observée à l'échelle du bassin versant masque des **situations très contrastées à l'échelle des sous-bassins.** La **carte n°4** représente l'évolution des haies durant les 3 dernières décennies (entre 1978 et 2008). Quelques sous-bassins présentent une densification du linéaire des haies, notamment dans la partie sud du bassin versant. Mais une grande partie des affluents, et plus particulièrement ceux de rive droite, de la Muse et de la Muzette, ont connu une forte diminution de la densité de haies. Cette évolution peut être expliquée par le développement des surfaces cultivées sur la partie sommitale du plateau (cf. paragraphe 2.3). Ailleurs, elle témoigne d'une augmentation de la taille des parcelles agricoles.

3- Synthèse et implications hydrologiques et géomorphologiques

En résumé, l'évolution de l'occupation des sols est caractérisée par les éléments suivants :

- reboisement important, rapide entre 1948 et 1978 (+15%), et modéré entre 1978 et 2008 (+5% soit conforme à l'évolution générale des forêts en France métropolitaine) au détriment des landes, friches, prairies et surfaces cultivées (cf. paragraphe 2.1). Il affecte la quasi-totalité des sous-bassins versants (cf. paragraphe 2.2) et concerne principalement les zones à forte pente qui font la jonction entre les plateaux et les fonds de vallée de la Muse et des tronçons aval des affluents (cf. paragraphe 2.3 et **carte n°3**) ;
- ce reboisement est en partie constitué d'essences résineuses destinées à la sylviculture (cf. paragraphe 2.4), particulièrement en tête des bassins de Falguières et d'Estalane ;
- la bordure ouest du bassin versant, sur la partie sommitale du plateau du Lévézou, a connu une double évolution selon les zones considérées (cf. paragraphe 2.3 et **carte n°3**) :
 - o reboisement progressif sur toute la période 1948-2008 pour les secteurs amont des bassins d'Estalane et de Falguières ;
 - o développement de terres cultivées entre 1948 et 1978 (en remplacement de surfaces classées en *landes, friches et prairies permanentes* qui dominaient toute la bordure ouest du bassin en 1948) sur les secteurs amont des bassins de Fouyrouse, Brinhac, Rivaldiès, Landes et Coste Cave ;

- diminution globale de la densité des haies entre les parcelles cultivées durant les trente dernières années (cf. paragraphe 3.1) mais il s'agit d'une tendance moyenne car les sous-bassins présentent des évolutions contrastées (cf. paragraphe 3.2 et **carte n°4**) ;
- conversion de la moitié des prairies permanentes en prairies temporaires, qui concerne environ 13% de la superficie totale du bassin versant (cf. paragraphe 2.4).

A l'échelle du bassin versant, les conséquences théoriques du reboisement au détriment des surfaces herbacées, arbustives et cultivées sont les suivantes :

- augmentation de l'évapotranspiration et de l'interception des eaux de pluie qui tend à diminuer les volumes écoulés en surface (ex. : débits moyens mensuels), particulièrement en été et au printemps ;
- augmentation de l'infiltration (et diminution du ruissellement) et ralentissement des écoulements qui entraînent une diminution des débits de pointe des crues et une probable augmentation des débits d'étiage (en partie compensée par la diminution des volumes écoulés) ;
- diminution de l'érosion des versants et de la fourniture sédimentaire aux cours d'eau, et notamment des apports en matériaux grossiers (galets et graviers) du fait du reboisement des fortes pentes ;
- diminution de l'érosion des cours d'eau (plus faibles débits de crues) ;
- possible altération des modalités du transport solide dans les cours d'eau par modification du régime des crues : les crues intenses, désormais plus rares *a priori*, favorisent l'érosion des cours d'eau alors que les débits moyens, désormais plus longs (durée annuelle cumulée), participent davantage à la redistribution des sédiments dans le réseau hydrographique.

La diminution globale de la densité des haies entre 1978 et 2008 (et probablement depuis 1948) favorise en revanche le ruissellement des eaux sur de plus grandes distances (plus grandes parcelles), ce qui tend à favoriser l'érosion des terres cultivées. Le remplacement de la majeure partie des prairies permanentes par des prairies temporaires (ou artificielles) entre 1979 et 2000 implique également un retournement plus fréquent des sols. Dans la mesure où il concerne une portion significative du territoire, cela peut encore entraîner une augmentation de la production de sédiments fins (sables et limons). Les coupes réalisées dans les exploitations sylvicoles (récoltes de bois), et plus particulièrement les coupes à blanc, favorisent encore le ruissellement, l'érosion des sols et les apports de fines dans les cours d'eau. Précisons par ailleurs que les dessouchages, en créant des excavations profondes dans les sols, perturbent fortement leur stabilité, ce qui favorise les glissements de terrains dans les zones à fortes pentes. A l'échelle du bassin, ces trois dernières tendances viennent donc s'opposer aux effets du reboisement généralisé du bassin.

A une échelle plus fine, on peut distinguer le cas des sous-bassins de Fouyrouse, Brinhac, Rivaldiès, Landes et Coste Cave dont une partie des secteurs amont ont été mis en cultures entre 1948 et 1978. La modification de ces têtes de bassin favorise le drainage des bassins. En 1948, cette partie sommitale du plateau du Lévézou était très largement représentée par des surfaces classées en *landes, friches et prairies permanentes* alors que des parcelles moins adaptées du point de vue du relief étaient cultivées sur d'autres parties du bassin (**carte n°2**). Aussi, on peut supposer qu'elle constituait une zone impropre à la culture en raison de l'humidité des sols, et il est par conséquent probable que leur implantation se soit de plus accompagnée de travaux de drainage qui ont encore limité les capacités de rétention et de restitution progressive des eaux dans cette zone.

ETAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC GEOMORPHOLOGIQUE

Cette partie est consacrée à l'analyse géomorphologique de la Muse et de ses affluents. Elle s'articule autour de trois axes :

- la sectorisation des branches principales du réseau hydrographique qui décrit les grands secteurs identifiés d'un point de vue des caractéristiques fondamentales du cours d'eau et des fonds de vallée ;
- l'inventaire réalisé sur les branches principales du réseau hydrographique visant à caractériser les dynamiques géomorphologiques de ces secteurs (fourniture sédimentaire, transit sédimentaire, embâcles et bois mort, dynamique latérale) ;
- l'état des lieux et l'analyse de l'ensablement sur l'ensemble du réseau hydrographique.

1- Sectorisation des branches principales du réseau hydrographique

Nous avons distingué **7 secteurs** en fonction des caractéristiques fondamentales du cours d'eau et du fond de vallée (pente, largeur et encaissement du fond de vallée, dimensions du chenal à pleins bords, présence d'alluvions en fond de vallée, fréquence des affleurements rocheux dans le lit) : 5 sur la Muse, et 2 sur la Muzette et Brinhac.

La **carte n°1** (en annexe 2) **permet de localiser ces secteurs**. Soulignons que ce découpage en tronçons homogènes servira de base pour l'analyse des données collectées sur les branches principales du réseau hydrographique.

La **figure 1** illustre sommairement ce découpage. Elle montre :

- le profil en long des branches principales du réseau du réseau hydrographique (segments d'ordre 3 à 5 selon Strahler), soit la Muse en aval du ruisseau de Roubayrolles et ses principaux affluents (Muzette, Brinhac et Landes) : il permet de repérer les ruptures de pente qui marquent le découpage des secteurs ;
- la présence d'alluvions en fond de vallée (source : carte géologique BRGM au 50 000^{ème}) témoigne des héritages géomorphologiques qui influencent la fourniture sédimentaire des versants (colluvions) et la dynamique latérale des cours d'eau. Elle est étroitement liée à la largeur et à l'encaissement des fonds de vallée (**tableau 5** ; ne figurent pas sur la **figure 1** mais ces paramètres ont également servi à sectoriser le réseau hydrographique). Ces caractéristiques différencient nettement les secteurs S1, S4, S5, S7 des secteurs S2 et S3. Ces derniers présentent un fond de vallée plus étroit et plus encaissé. C'est plus particulièrement le cas du secteur S2 qui comporte quelques tronçons en gorges. Le secteur S3 est en fait hétérogène sur ce point, ce que l'imprécision de la carte géologique ne permet

pas de constater : un peu moins de la moitié amont du secteur est effectivement bien encaissée, mais la carte topographique (IGN 25 000^{ème}) montre un élargissement du fond de vallée dans sa partie aval. On peut effectivement observer un fond de vallée relativement alluvial en aval du ravin de Moulibez. L'inventaire des affleurements rocheux dans le lit montre par ailleurs très bien la limite ente ces 2 sous-secteurs (**carte n°9** ; ne figure pas sur la **figure 1** mais ce paramètre a également servi à sectoriser le réseau hydrographique). La Muzette (S6) est encore un cas particulier car son fond de vallée s'évase aux extrémités amont et aval ;

- les pentes du cours d'eau (calculées par tronçon de 250m) : les secteurs S1 et S4 présentent les pentes les plus faibles et les plus homogènes. Sur la Muse, le secteur amont (S5) présente une pente moyenne nettement plus élevée, qui décroît vers l'amont à mesure que l'on se rapproche de la zone de plateau. Les secteurs S2 et S3 se caractérisent par leur hétérogénéité, c'est-à-dire par une alternance de tronçons à forte énergie d'écoulement (0,021 à 0,043 m/m) et de tronçons plus lents (0,01 à 0,017 m/m) ;
- le rapport largeur/profondeur (à pleins bords) du lit, traditionnellement utilisé comme indicateur de l'intensité du transport solide et de la dynamique latérale, et de la cohésion des berges, permet ici notamment de différencier les secteurs S1 et S2, plus larges et moins profonds, des secteurs amont.

Les caractéristiques moyennes de chaque secteur sont résumées dans le **tableau 5**. Il faut préciser que les largeurs de fond de vallée ont été estimées par la distance entre les deux points des versants situés 10 m au-dessus du fond de vallée. Il ne s'agit donc pas de mesures de la largeur réelle du fond de vallée. Néanmoins, les erreurs associées à cette méthode de calcul étant reproductibles sur la totalité du cours d'eau, les estimations sont comparables entre elles et elles permettent donc bien de différencier les secteurs.

Secteur	Linéaire de cours d'eau (m)	Pente (m/m)	Largeur à pleins bords (m)	Profondeur à pleins bords (m)	Rapport largeur/profondeur	Largeur en fond de vallée * (m)	Rapport d'encaissement **
S1	4 250	0,011	8,3	0,67	12,6	93	10
S2	6 250	0,022	7,5	0,60	12,9	58	8
S3	4 000	0,015	6,0	0,89	7,3	57	9
S4	7 000	0,010	3,9	0,84	4,9	119	34
S5	4 441	0,024	3,1	0,60	5,8	82	27
S6 - Muzette	3 211	0,030	2,6	0,57	4,8	64	27
S7 - Brinhac	970	0,032	1,8	0,60	3,0	112	66
Total/moyenne	30 122	0,018	5,2	0,70	8,0		

* distance entre les deux versants opposés à +10 m au-dessus du fond de vallée (mesure qui surestime la largeur réelle du fond de vallée, mais qui peut être utilisée à titre d'indicateur comparable d'un secteur à l'autre) – ** le rapport d'encaissement représente le rapport entre la largeur du fond de vallée et la largeur à pleins bords du cours d'eau

Tableau 5 : caractéristiques morphologiques moyennes des secteurs identifiés

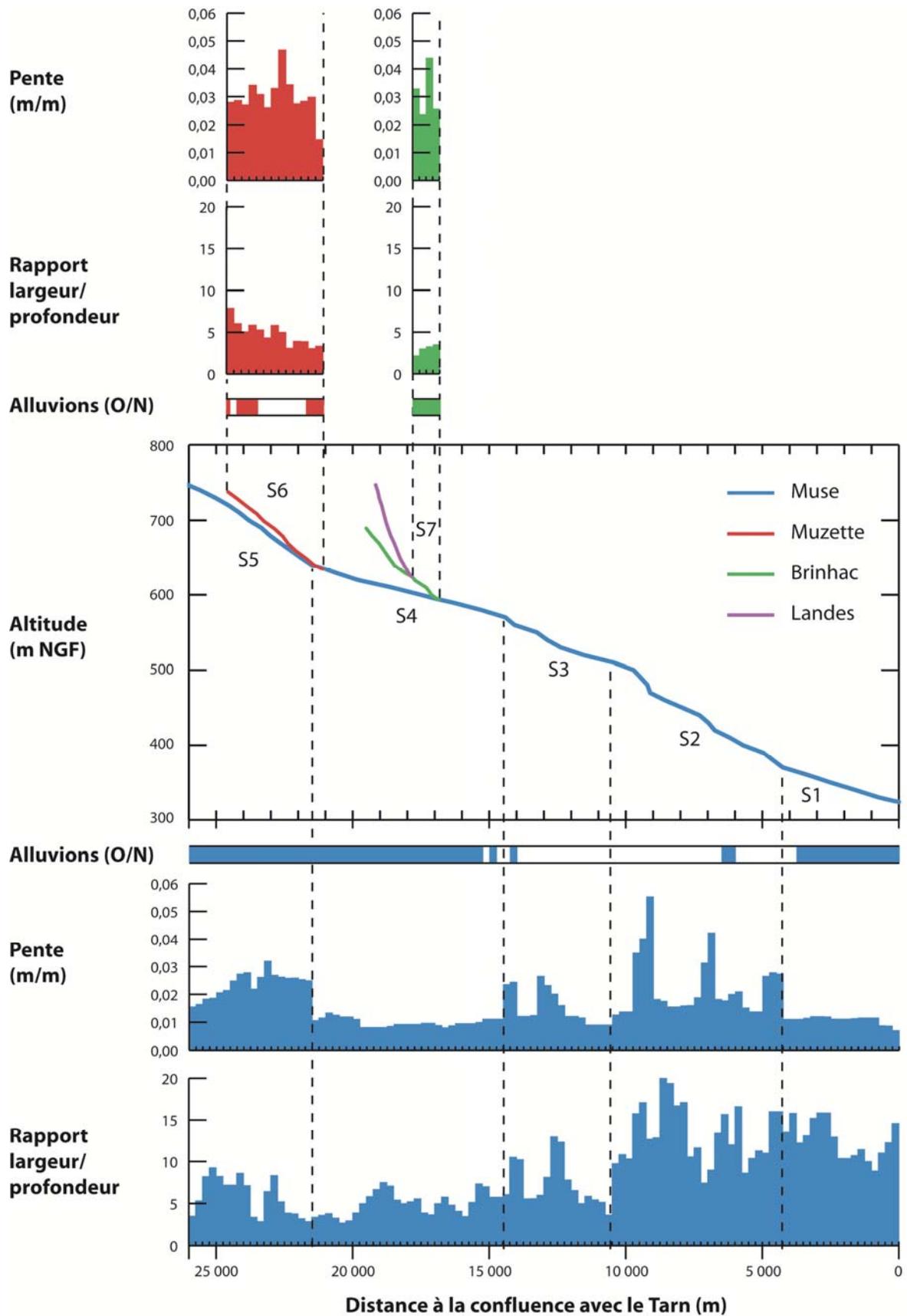


Figure 1 : sectorisation morphologique des branches principales du réseau hydrographique : découpage en 7 secteurs homogènes du point de vue des caractéristiques fondamentales du cours d'eau et du fond de vallée - le profil en long correspond au linéaire d'ordre 3 à 5 selon Strahler

2- Inventaire réalisé sur les branches principales du réseau hydrographique et analyses thématiques

2.1- Méthode d'inventaire et parcours effectué

Les levés réalisés sur le terrain ont permis d'établir, sur le linéaire de cours d'eau parcouru, un inventaire exhaustif des objets suivants :

- formes d'érosion (type, dimensions, granulométrie, connexion et activité) : **carte n°5** ;
- atterrissements (dimensions, mobilité, granulométrie) : **cartes n°6 et 7** ;
- embâcles (volume, stabilité) : **carte n°8** ;
- affleurements de la roche mère : **carte n°9** ;
- aménagements (type, état, description) et divers éléments qui influencent potentiellement les flux hydriques et sédimentaires (rejets, obstacles au transport solide...) : **cartes n°10, 13 et 20**.

Des levés systématiques, au pas d'échantillonnage de 250 m de linéaire de cours d'eau, ont également été réalisés pour caractériser le réseau hydrographique du point de vue de :

- la géométrie hydraulique du tronçon (largeur et profondeur à pleins bords) ;
- la composition granulométrique des sédiments du lit ;
- la ripisylve (densité, état, stabilité) : **cartes n°11 et 12**.

Précisons que la granulométrie des particules du lit et la géométrie à pleins bords ont systématiquement été déterminées sur un faciès de type lotique (ex. : radier) pour assurer la comparabilité des résultats (entre chaque levé) et leur représentativité de la charge de fond en transit.

Enfin, des analyses granulométriques plus fines ont été réalisées sur 7 atterrissements grossiers (méthode d'échantillonnage surfacique de type *grid sampling* selon Wolman 1954).

L'inventaire de terrain avait dans un premier temps été envisagé sur la totalité des tronçons d'ordre 3 à 5 du réseau hydrographique (ordre de Strahler). Néanmoins, l'accès et le parcours difficile sur certains tronçons amont (Brinhac amont, Landes et Falguières) ne nous ont pas permis de réaliser un inventaire exhaustif des formes énumérées ci-avant (atterrissements, embâcles...). Cela nous a conduits à restreindre l'analyse aux secteurs S1 à S7 décrits dans le paragraphe 1- *Sectorisation*.

2.2- Fourniture sédimentaire

2.2.1- Transformation des données brutes

Le **tableau 6** présente les principaux résultats relatifs aux formes d'érosions, tous types confondus (érosion de berge, de banc, reptation, glissement de terrain, écoulement). Les **surfaces érodées S_e** et le **nombre d'érosions N_e** correspondent aux données brutes mesurées sur le terrain mais ne permettent pas d'apprécier directement la fourniture sédimentaire potentielle des différents secteurs. Il faut pour cela tenir compte de l'efficacité des érosions qui dépend à la fois de leur **degré d'activité** (intensité de la production) et de leur **degré de connexion** (ex. : fourniture plus faible pour les surfaces déconnectées par une terrasse, un banc figé, un replat...). L'**indice d'efficacité I_e** intègre ces 2 paramètres. Il s'agit

néanmoins d'un coefficient estimé sur des bases qualitatives, si bien qu'il ne traduit pas parfaitement la fourniture sédimentaire des érosions. Les secteurs étant de longueur différente, on peut encore comparer les densités (rapport entre la superficie totale des formes d'érosion et la longueur du cours d'eau, en m²/km) pour s'affranchir de cet effet de taille.

N.B. : L'indice d'efficacité des érosions, ainsi que les indices d'activité et de connexion qui permettent son calcul, sont davantage expliqués dans le lexique.

L'analyse de la fourniture sédimentaire s'appuiera donc essentiellement sur trois indicateurs :

- la **surface d'érosion efficace** $S_e \cdot I_e$ (valeur absolue en m²) pour l'évaluation de la fourniture sédimentaire de chaque secteur ;
- la **densité d'érosion efficace** $S_e \cdot I_e / L$ (valeur relative en m²/km) qui traduit la propension des berges et des versants d'un secteur à fournir des sédiments ;
- le **nombre d'érosion par km** N_e / L qui informe soit sur la concentration de la production totale dans quelques érosions majeures, soit à l'inverse sur la multiplicité de formes d'érosion petites ou moyennes.

Secteur	Nombre d'érosions N_e	Surface des érosions S_e (m ²)	Nombre d'érosions par km N_e / L	Indice d'efficacité I_e	Surface efficace $S_e \cdot I_e$ (m ²)	Densité efficace $S_e \cdot I_e / L$ (m ² /km)
S1	8	384	1,9	0,39	149	35
S2	4	140	0,6	0,43	61	10
S3	6*	771	1,5*	0,30	230	58
S4	26*	583	3,7*	0,72	422	60
S5	26	1 019	5,9	0,21	217	49
S6 - Muzette	13	171	4,0	0,54	92	29
S7 - Brinhac	0	0	0		0	0
Total / moyenne	83	3 067	2,8	0,38	1171	39

* certaines érosions de berges discontinues ont été considérées comme une seule forme d'érosion

Tableau 6 : synthèse des principaux résultats sur les formes d'érosions recensées sur les branches principales du réseau hydrographique

2.2.2- Analyse globale à l'échelle du bassin versant

Le premier constat que l'on peut établir est la **faiblesse de l'activité érosive des cours d'eau du bassin**, comme en atteste la densité efficace moyenne des érosions estimée à 39 m²/km. A titre de démonstration, on peut comparer cette valeur avec son équivalent en termes d'érosions de berges : si la totalité des formes d'érosions correspondaient à des érosions de berges, et si l'on se base sur une hauteur de berges de 0,70 m (valeur moyenne de la profondeur à pleins bords ; **tableau 5**), elle ne représenterait que 56 m/km de berges érodées (soit 2,8% des berges de chaque rive). Etant donné que les érosions recensées sont de plus globalement peu intenses, cette proportion traduit bien une faible fourniture sédimentaire globale au cours d'eau. Cette estimation est entachée d'une certaine erreur liée à l'imprécision du coefficient d'efficacité I_e . Mais quand bien même on ne tiendrait pas compte du coefficient d'efficacité (ce qui revient à considérer que toutes les érosions sont pleinement actives et connectées au cours d'eau), les érosions ne représenteraient que 145 m/km (ou 7,2% des berges).

Plusieurs types d'érosion peuvent participer à la recharge sédimentaire des cours d'eau. Dans le cas du bassin versant de la Muse, les apports liés exclusivement (43%) ou en partie (17%) aux processus de versants (écroulement, glissement de terrain et reptation ; ex. : **figure 3a**) sont largement dominants (**figure 2**). Le faible niveau global de la fourniture sédimentaire et de la part des érosions de berge (40% ; ex. : **figure 3b**) s'explique par une dynamique latérale du cours d'eau extrêmement faible (cf. paragraphe 2.5).

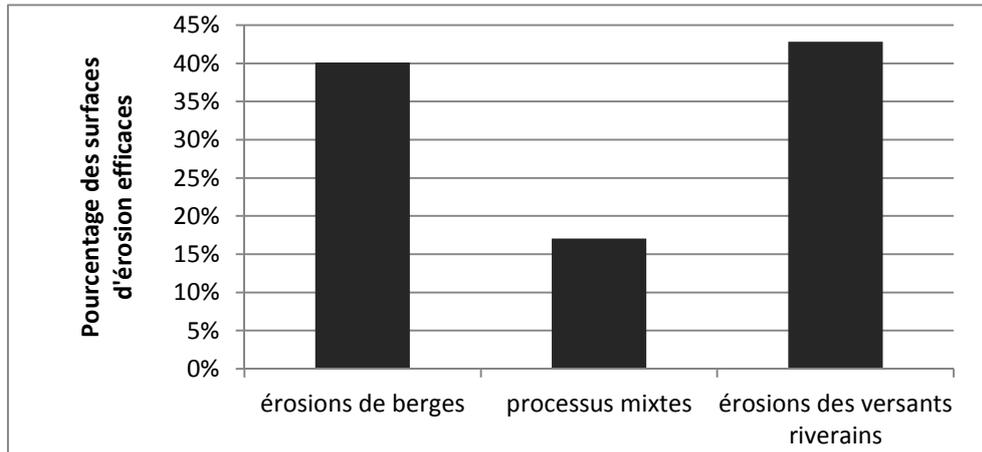


Figure 2 : répartition des superficies érodées par type de processus érosif sur l'ensemble des branches principales du réseau hydrographique

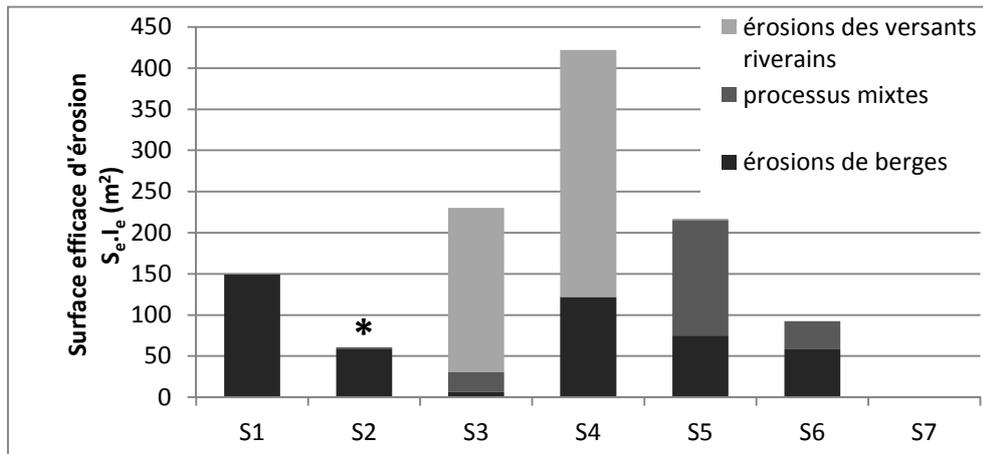
De plus, chaque affluent a été caractérisé par sa largeur de bande active et la dimension du cône de déjection afin de déterminer, de manière qualitative, sa capacité à fournir des sédiments grossiers (charge de fond constituée de graviers et galets) aux branches principales. Ces informations ne sont pas détaillées car, à l'exception du ravin de Payssel (dépôt d'environ 6 m³), les confluences sont dépourvues de cônes de déjection. Il est donc difficile d'évaluer les apports relatifs de chaque affluent. On peut néanmoins considérer qu'ils sont généralement très faibles par rapport à la capacité de transport de leur émissaire puisqu'ils n'entraînent aucun dépôt remarquable.



Figure 3 : exemples d'érosions localisées sur le bassin versant : a) érosion de versant (écroulement de la partie supérieure et glissement dans la partie inférieure) ; b) érosion de berge

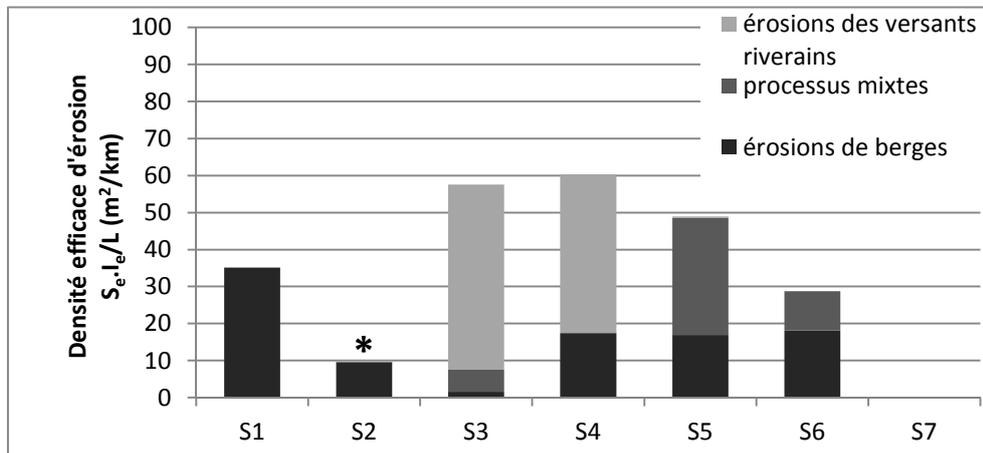
2.2.3- Distribution spatiale des formes d'érosions

Les surfaces d'érosions pondérées par l'indice d'efficacité (surface efficace $S_{e.I_e}$ en m^2) indiquent que le secteur S4 est le plus productif (tableau 6 et figure 4), suivi des secteurs S3 et S5. Les apports les plus faibles correspondent dans l'ordre à S7 (aucune érosion significative sur Brinhac aval), S2 (secteur en gorges) et S6 (Muzette). Si l'on considère les densités d'érosions (figure 5), la hiérarchie précédente est conservée mais l'importance du secteur S4 diminue fortement. Celui-ci contribue donc de manière plus importante que les autres secteurs à la fourniture sédimentaire globale (valeur absolue en m^2) du fait de sa longueur (7 km), mais il présente une intensité d'érosion (valeur relative en m^2/km) équivalente à celles de S3 et S5.



* valeur sous-estimée (apports de versants indéterminés)

Figure 4 : surface efficace des érosions ($S_{e.I_e}$) et type de processus érosif



* valeur sous-estimée (apports de versants indéterminés)

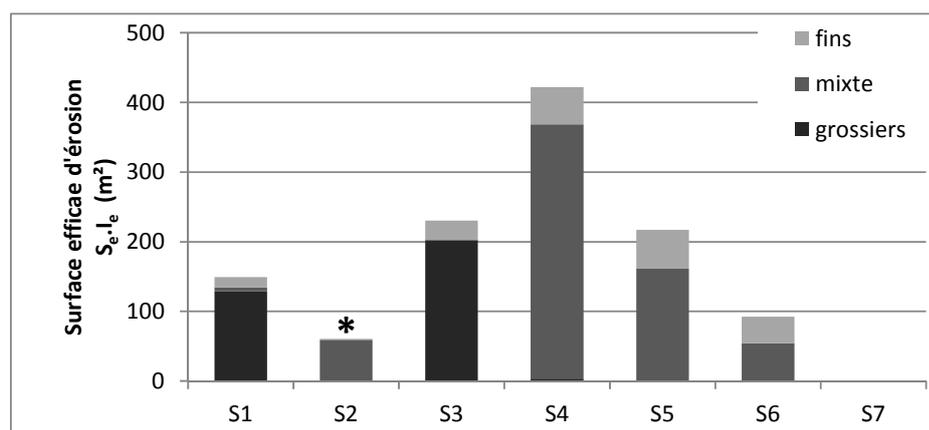
Figure 5 : densité efficace des érosions ($S_{e.I_e}/L$) et type de processus érosif

La production du secteur S2 paraît particulièrement faible comparée aux autres secteurs de la Muse. La contrainte exercée par les versants rocheux dans ce secteur en gorges explique en partie ce résultat (peu d'érosions de berges). Néanmoins, la fourniture sédimentaire de ce secteur est largement sous-estimée car la proximité des versants, parfois particulièrement escarpés, favorise également l'introduction de colluvions. Il était cependant difficile, voire impossible, d'observer les apports provenant du sommet des parois adjacentes aux cours d'eau.

Si l'on écarte le secteur S2, mal représenté par les données collectées, on remarque alors que l'ordre des secteurs productifs s'explique essentiellement par le type de processus érosif dominant (figure 5) :

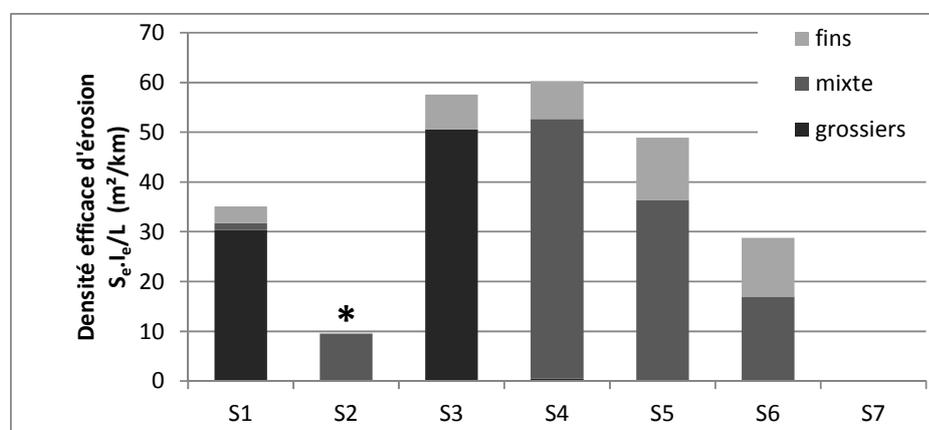
- le secteur S1 caractérisé par un fond de vallée nettement plus alluvial que les autres est relativement plus sensible à l'érosion des berges ;
- les berges des secteurs S4 à S6 présentent une sensibilité à l'érosion similaire (entre ces secteurs) et plus faible qu'en S1. La différence de niveau de production de ces secteurs correspond donc essentiellement à la part des apports depuis les versants riverains ;
- le secteur S3, dont le fond de vallée est nettement plus étroit et encaissé, présente très peu d'érosions de berges mais une plus forte proportion d'érosion de versant du fait de la proximité des versants.

On peut encore différencier les apports en fonction du type de matériaux produits : grossiers, mixtes ou fins (figures 6 et 7). On constate que les secteurs S1 et S3 fournissent essentiellement des matériaux grossiers (blocs, galets et graviers). En fait, la principale érosion recensée sur le secteur S3 (qui représente environ la moitié des matériaux produits) produit essentiellement des blocs très grossiers qui dépassent largement la compétence du cours d'eau, si bien qu'ils ne contribuent pas à la recharge sédimentaire. Pour les raisons évoquées ci-dessus, le secteur S2 doit également fournir des sédiments de taille très variée (colluvions), dont une part importante de sédiments très grossiers (blocs) même si cela n'apparaît pas sur les figures 6 et 7. Pour les secteurs S4 à S6, la production est mixte.



* valeur sous-estimée (apports de versants indéterminés)

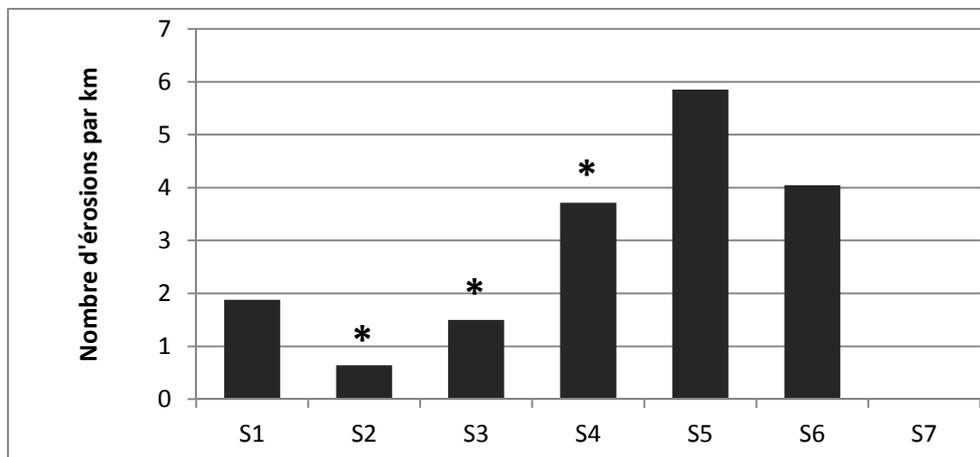
Figure 6 : surface efficace des érosions (S_e.I_e) et type de matériaux produits



* valeur sous-estimée (apports de versants indéterminés)

Figure 7 : densité efficace des érosions (S_e.I_e/L) et type de matériaux produits

Enfin, le nombre d'érosions par kilomètre de cours d'eau montre une différence assez nette de la taille des formes d'érosions entre les secteurs amont et les secteurs aval (**figure 8**). Les premiers présentent une grande proportion de petites érosions, alors qu'en aval, les érosions sont généralement moins fréquentes mais de taille plus importante.



* valeurs sous-estimées (apports de versants indéterminés en S2 ; certaines érosions de berges discontinues ont été considérées comme une seule forme d'érosion en S3 et S4)

Figure 8 : nombre d'érosions par kilomètre de cours d'eau

Le second constat concerne donc l'**hétérogénéité de l'activité érosive des différents secteurs du bassin versant**. Globalement, les secteurs en aval du ruisseau d'Estalane (S1 à S3) fournissent plus de sédiments grossiers, et de manière plus concentrée (faible nombre d'érosion par kilomètre). Le secteur S1 se distingue en revanche des deux autres par des érosions de berges relativement plus productives et par une faible présence d'érosion de versants. Les secteurs amont (S4, S5 et S6) présentent une sensibilité intermédiaire aux érosions de berges. Ils se caractérisent également par des érosions plus fréquentes, mais de faible ampleur, et qui fournissent des sédiments mixtes ou fins. La diminution de la fourniture sédimentaire vers l'amont (S4 à S6) s'explique essentiellement par les différences d'apports des versants riverains.

2.3- Transit sédimentaire

2.3.1- Granulométrie des sédiments

Une analyse granulométrique fine de 7 atterrissements répartis sur les 4 premiers secteurs (la Muse en aval du ruisseau de la Muzette) a été réalisée. Les résultats de cette première série d'analyse nous montrent que les secteurs aval S1 et S2 présentent des particules plus grossières que les secteurs intermédiaires S3 et S4 (**tableau 7** : diamètres médians et maximums). Ils nous indiquent également que le tri (ou classement) des particules est faible voire très faible, c'est-à-dire que la distribution granulométrique des sédiments est très hétérogène. Ce résultat nous confirme que **les apports sédimentaires des versants sont prépondérants** (cf. paragraphe 2.2.2), les sédiments du lit étant d'autant plus hétérogènes que la part des colluvions augmente (à l'inverse, les cours d'eau alluviaux présentent des sédiments bien classés). C'est plus particulièrement le cas du secteur S2, comme l'indiquent à la fois le pourcentage de blocs, la taille importante des plus grosses particules et l'hétérogénéité des sédiments.

Secteur	Nombre d'échantillons	Diamètre médian (mm)	Diamètre maximum (mm)	Indice de tri de Folk & Ward (1957)	Classe de tri	Pourcentage de blocs
S1	1	50	268	1,83	faible	0%
S2	2	44	460	2,71	très faible	7%
S3	1	27	192	1,36	faible	2%
S4	3	35	248	2,07	très faible	1%
<i>Total / moyenne</i>	7	39	292	1,99		

Tableau 7 : résultats des analyses granulométriques de 7 atterrissements grossiers (méthode d'échantillonnage surfacique de type grid sampling selon Wolman 1954) - les blocs (diamètre > 512 mm) ne sont pas pris en compte dans le calcul du tri et des diamètres médians et maximums

Une deuxième série d'analyse a été réalisée à partir de données moins précises mais collectées de manière exhaustive sur les branches principales du réseau hydrographique. Tous les 250 m de cours d'eau, le pourcentage à la surface du lit des principales fractions granulométriques (blocs, galets, graviers, sables, limons) et des affleurements rocheux a été estimé. Ces mesures ont été effectuées systématiquement sur des faciès lotiques (de type radier essentiellement) représentatifs des conditions hydrauliques et du transport de la charge de fond. Les résultats sont résumés dans la **figure 9**, et l'on peut émettre les commentaires suivants :

- les affleurements constituent une part importante des faciès lotiques sur le secteur S2, et, dans une moindre mesure, sur les secteurs S3 et S6, en rapport avec la nature de leur fond de vallée (cf. paragraphe 1-Sectorisation et **figure 1**) ;
- les blocs (diamètre > 512 mm) sont omniprésents sur la totalité du linéaire parcouru et en proportion importante (13 à 32%). Ces particules ne sont mobilisées que lors de crues exceptionnelles, et sur de faibles distances ;
- la part des particules généralement considérées comme « utiles » au cours d'eau (graviers et galets) est relativement constante : 46 à 64% des particules potentiellement mobilisables (exclusion des affleurements) ;
- la part des sables, faible dans les secteurs aval (4 à 8% en S1 et S2), devient significative sur les secteurs amont (16 à 29% entre S3 et S7).

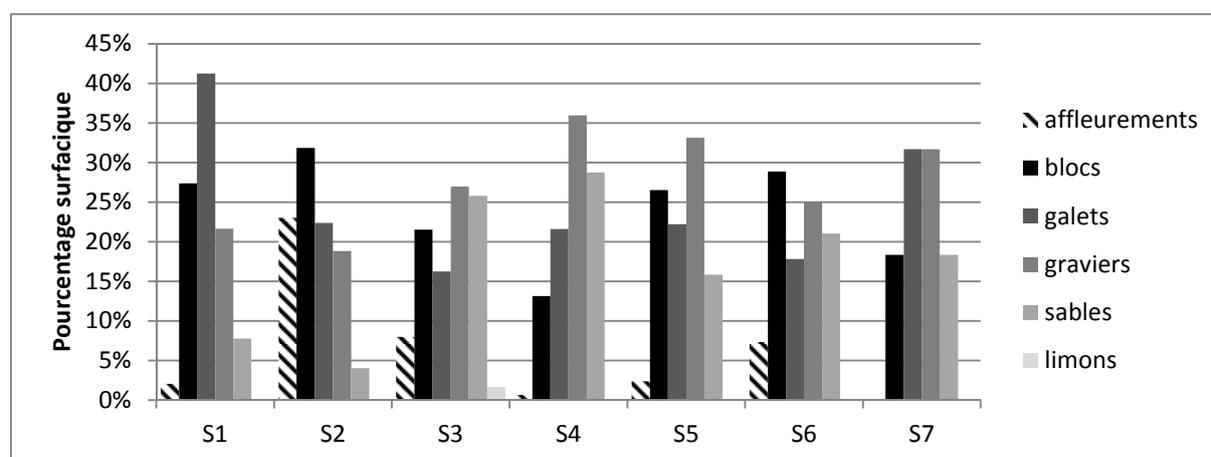


Figure 9 : pourcentage surfacique des principales fractions granulométriques et des affleurements rocheux sur les faciès lotiques

Les données présentées dans ce paragraphe ont permis de caractériser la nature granulométrique des sédiments du lit, et par conséquent le type de sédiments en transit dans les cours d'eau. Elles confirment les premières conclusions concernant la fourniture sédimentaire, c'est-à-dire qu'une partie importante des sédiments du lit provient des versants adjacents. Les colluvions sont de taille très variée, des limons aux blocs métriques (voire plus), ce qui confère aux distributions granulométriques une hétérogénéité élevée. La part des particules sableuses dans les faciès lotiques met également en évidence une différence très nette entre les secteurs S1 et S2 d'une part, et les secteurs amont d'autre part, vis-à-vis du phénomène d'ensablement. Ce thème sera abordé intégralement dans le paragraphe 3-Ensablement.

2.3.2- Inventaire des atterrissements

L'inventaire de terrain a permis de mesurer et de localiser la totalité des dépôts de sédiments : 528 atterrissements (ou accumulations) compris entre 0,02 et 95 m³. Les **volumes des atterrissements** (V_a en m³) permettent d'apprécier les quantités de sédiments actuellement en transit dans les branches principales du réseau hydrographique (**figure 10**). L'analyse des **densités des accumulations** (V_a/L en m³/km) permet encore une fois de tenir compte des différences de longueur entre secteurs (**figure 11**). On peut encore rapporter ces densités à la largeur moyenne du lit (en m²/km) pour s'affranchir pleinement de l'effet de taille des secteurs (**figure 12**).

Chaque atterrissement a également été caractérisé par un **indice de mobilité** I_m afin de pouvoir appréhender les conditions de transit des sédiments (1=mobile ; 3=figé), et par un **type granulométrique** (dominance de sédiments sableux, dominance de sédiments grossiers, ou granulométrie mixte).

Secteur	Nombre d'accumulations N_a	Nombre d'accumulations par km N_a/L	Volume stocké V_a (m ³)	Densité des accumulations V_a/L (m ³ /km)	Densité par unité de largeur (m ² /km)	Indice de mobilité I_m
S1	79	19	433	102	12,3	1,40
S2	168	27	675	108	14,4	1,35
S3	46	12	97	24	4,0	1
S4	114	16	322	46	11,7	1,10
S5	61	14	117	26	8,4	1,10
S6 - Muzette	56	17	59	18	7,2	1
S7 - Brinhac	4	4	1,1	1,1	0,6	1
<i>Total / moyenne</i>	528	18	1 704	57	10,8	

Tableau 8 : synthèse des principaux résultats sur les atterrissements recensés sur les branches principales du réseau hydrographique

Les volumes les plus importants sont stockés dans les secteurs S1 et S2 (**figures 10 et 11**) mais ils correspondent également à un indice de mobilité légèrement plus élevé. Ces secteurs ne présentent pas de déficit sédimentaire : aucun phénomène de pavage ou d'incision n'est observé. Néanmoins, la plus faible mobilité des atterrissements indique qu'une partie de ces sédiments ne participe pas ou peu au transit sédimentaire, ce qui conduit à nuancer l'importance des volumes en transit dans ces secteurs aval.

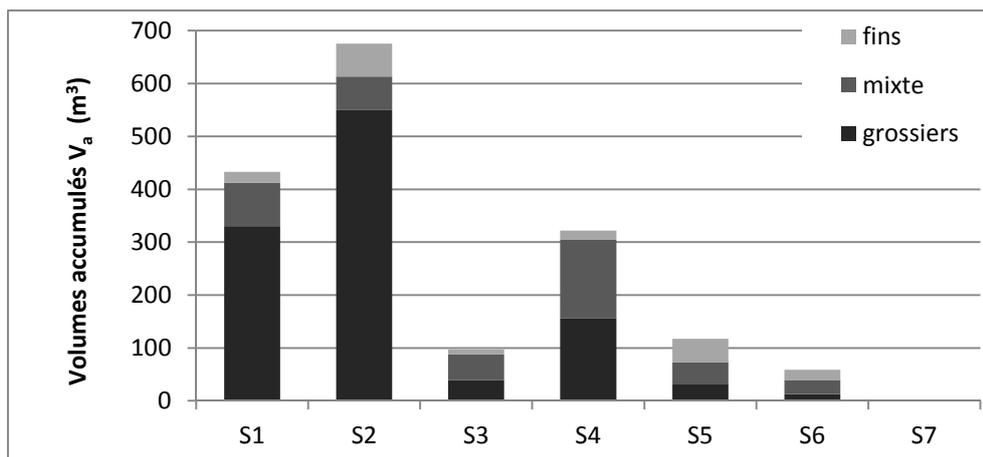
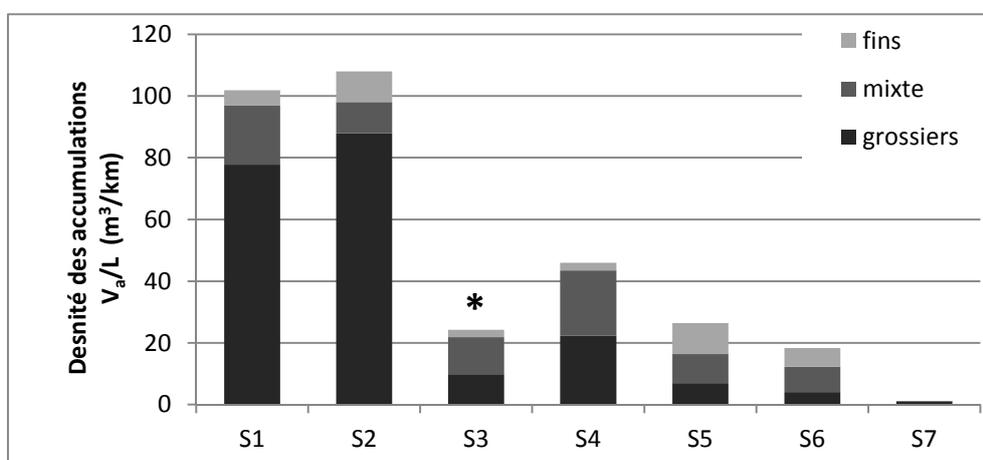
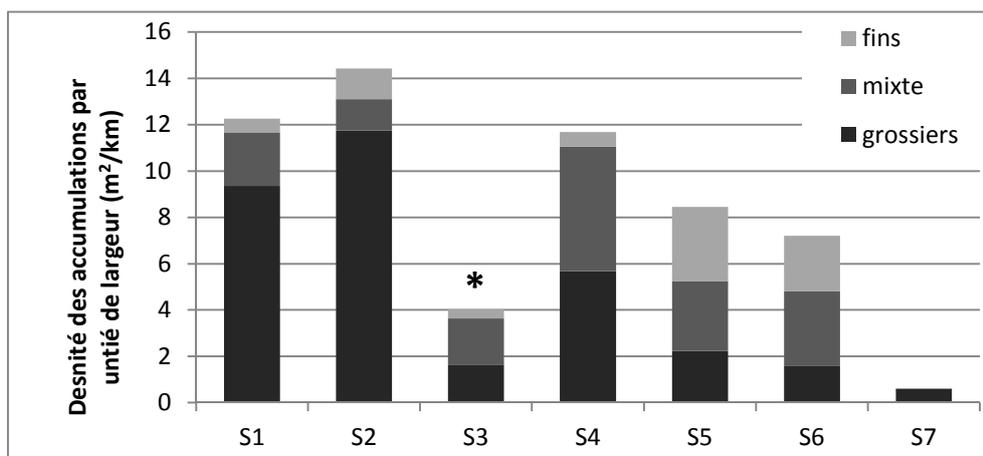


Figure 10 : volume des atterrissements et type de matériaux stockés



* si l'on écarte les tronçons sous l'influence des nombreuses chaussées (remous solide qui fausse l'analyse en augmentant artificiellement la hauteur d'eau), on obtient une densité moyenne de 33 m³/km

Figure 11 : densité des atterrissements et type de matériaux stockés



* si l'on écarte les tronçons sous l'influence des nombreuses chaussées (remous solide qui fausse l'analyse en augmentant artificiellement la hauteur d'eau), on obtient une densité unitaire moyenne de 5,5 m²/km

Figure 12 : densité des atterrissements par unité de largeur et type de matériaux stockés

Pour le secteur S1, la valeur moyenne des volumes accumulés est peu représentative car il faut distinguer 3 portions de cours d'eau très contrastées :

- le tronçon aval (100 derniers mètres) contient à lui seul 18% des volumes déposés en raison de l'influence particulière de la confluence avec le Tarn (forte diminution de la pente de la ligne d'eau, voire reflux d'une partie des débits liquides et/ou solides du Tarn) ;
- les tronçons les plus amont (environ 1 500 m) contiennent près de la moitié des dépôts du secteur, soit une densité de **125 m³/km** et une densité unitaire de **15 m²/km** (toutes deux supérieures aux valeurs moyennes du secteur S2). Ces valeurs élevées s'expliquent à la fois par la pente, la géométrie et la position géographique de ces tronçons : la faible pente du secteur S1 entraîne le dépôt d'une partie des apports relativement importants du secteur précédent (S2) ; de plus, ces tronçons présentent un rapport largeur/profondeur nettement plus élevé que les tronçons aval, ce qui favorise davantage le dépôt de la charge solide en transit par étalement de la lame d'eau ;
- les tronçons intermédiaires (environ 2500 m) représentent alors des quantités relativement faibles par rapport à la moyenne du secteur (volume brut : 167 m³, densité : **67 m³/km**, densité unitaire : **8,1 m²/km**), et dont 33% sont constitués de deux atterrissements quasiment figés ($I_m=3$).

Dans le cas du secteur S2, les volumes élevés s'expliquent notamment par la taille très importante d'une partie des sédiments fournis par les versants qui dépassent la compétence du cours d'eau (*taille maximale de particule que le cours d'eau est capable de mobiliser*). Malgré la forte pente de ce secteur, la morphologie complexe du lit favorise également le dépôt des sédiments dans des zones où la force des écoulements est réduite (à l'amont des seuils naturels et des embâcles importants, derrière les blocs métriques...). Les grandes quantités de sédiments stockés traduisent donc à la fois un transit sédimentaire important, lié à la forte énergie des écoulements de ce secteur, et des conditions de transport particulières qui favorisent le piégeage d'une partie des particules en transit.

Comme pour les formes d'érosions, on observe un gradient très net entre les secteurs S4 et S7, de l'amont vers l'aval. Le secteur S7 est quasiment dépourvu d'atterrissements. L'augmentation des volumes et densités des atterrissements vers l'aval (de S7 à S4) est à mettre en rapport à la fois avec :

- l'augmentation de la fourniture sédimentaire qui entraîne une augmentation des volumes transportés ;
- l'évolution des conditions hydrauliques (diminution de la pente et augmentation du rapport largeur/profondeur) qui favorise le dépôt des sédiments transportés depuis l'amont.

Le secteur S3 présente quant à lui des volumes particulièrement faibles. On pourrait supposer que la capacité de transport relativement faible du secteur S4 (1,0% de pente) limite la fourniture sédimentaire vers le secteur S3 qui présente potentiellement une plus grande aptitude à évacuer les sédiments (pente de 1,5%). Néanmoins, la forte densité des seuils artificiels (ou chaussées ; hauteur de chute cumulée de 20,2 m) tend à diminuer la pente naturelle du cours d'eau, de telle manière que la pente moyenne de la ligne d'eau en S3 est égale à celle de S4. L'explication réside probablement dans les quantités et la nature des sédiments fournis par les érosions dans ce secteur. Comme nous l'avons décrit dans le paragraphe précédent, la fourniture sédimentaire est relativement plus élevée dans ce secteur par rapport aux autres. Il n'en reste pas moins qu'elle est faible en valeur absolue, et surtout qu'une grande partie des sédiments fournis sont soit trop fins, soit trop grossiers pour contribuer à la recharge sédimentaire du cours d'eau.

2.4- Embâcles et bois mort

La densité de la ripisylve, qui correspond ici au pourcentage de longueur de rives occupées par une végétation arborée et/ou arbustive, est plus ou moins homogène sur le linéaire parcouru (**tableau 9 ; carte n°11**). **Les rives des branches principales du réseau hydrographique sont très majoritairement colonisées par une ripisylve dense voire moyenne, même si celle-ci ne constitue parfois qu'un simple liseré d'arbres et arbustes** (faible largeur). Ceci contribue à limiter le réchauffement de l'eau en période estivale et, dans une moindre mesure (étant donnée la faible largeur du cordon rivulaire par endroits), à maintenir une zone tampon vis-à-vis des polluants et des sédiments fins potentiellement fournis par les zones riveraines.

L'instabilité des arbres riverains est globalement assez faible, mais on remarque qu'elle est sensiblement plus importante sur la Muzette amont, sur la Muse en amont de Saint-Beauzély et entre Moulibez et Castelmus (**tableau 9 ; carte n°12**).

Secteur	Nombre d'embâcles	Nombre d'embâcles par km	Volume des embâcles (m ³)	Densité des embâcles (m ³ /km)	Instabilité des arbres riverains (%)	Densité de la ripisylve *
S1	38	8,9	585	14	8%	69%
S2	114	18,2	223	36	7%	80%
S3	17	4,3	71	18	6%	79%
S4	24	3,4	37	5	8%	75%
S5	63	14,2	111	25	12%	69%
S6 - Muzette	73	22,7	109	34	11%	89%
S7 - Brinhac	3	3,1	3	3	≤5%	65%
Total / moyenne	332	11,0	610	20	8%	76%

* la densité correspond au pourcentage de longueur de rives occupées par une végétation arborée et/ou arbustive

Tableau 9 : synthèse des principaux résultats sur les embâcles et la ripisylve

De nombreux embâcles ont été recensés dans les secteurs S2, S5 et S6 (**tableau 9 ; figure 13**). Pour ces deux derniers secteurs, l'importance des embâcles est liée à l'instabilité des arbres riverains engendrée par la relative mobilité latérale du cours d'eau (cf. paragraphe 2.5). Les faibles dimensions du chenal à pleins bords favorisent également la stabilité des débris ligneux introduits dans le lit. Pour le secteur S2, les embâcles ont principalement pour origine des introductions de bois mort (fûts et branches) depuis les versants très escarpés. La morphologie complexe du lit peut encore limiter le transport des débris ligneux.

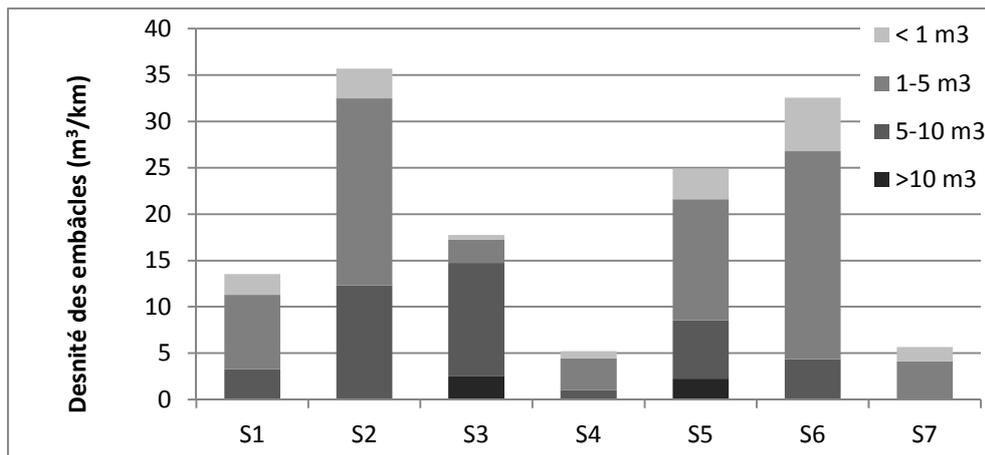


Figure 13 : densité des embâcles par catégorie de taille

2.5- Mobilité latérale

Deux approches ont été mises en œuvre pour étudier la mobilité latérale du cours d'eau :

- analyse de l'évolution des tracés à partir des photographies aériennes de 1948, 1978 et 2008 ;
- analyse de la stabilité actuelle des berges basée sur l'inventaire des érosions de berges, de la ripisylve (stabilité) et des aménagements.

2.5.1- Evolution diachronique des tracés

A partir des 3 séries de photographies aériennes (1948, 1978 et 2008), nous avons comparé les tracés en plan du cours d'eau sur les portions visibles. Ceux-ci sont restés remarquablement constants au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle : à l'exception de l'extrémité aval de la Muse (sur environ 150 m avant la confluence avec le Tarn) qui a progressivement migrée en direction de la rive droite, aucun déplacement significatif des branches principales du réseau hydrographique n'a été constaté. Cela traduit donc une **dynamique latérale quasi-inexistante**.

2.5.2- Stabilité actuelle des berges

Le **tableau 10** présente une synthèse des éléments qui caractérisent la mobilité latérale des branches principales du réseau hydrographique :

- la **fréquence des érosions de berges** (ou de bancs), exprimée en mètres de berges érodées par kilomètre de cours d'eau, traduit la dynamique latérale effective du cours d'eau (**carte n°14**). Contrairement au paragraphe 2.2-Fourniture sédimentaire, nous ne nous intéressons pas ici aux volumes mis en jeu par les érosions mais à la proportion de berges érodées qui témoigne davantage de la mobilité du lit ;
- la **fréquence des enrochements** : il faut tenir compte de ces aménagements de berges pour dissocier les contraintes naturelles des contraintes anthropiques et ainsi apprécier la dynamique latérale potentielle du cours d'eau. De plus, la présence d'enrochements témoignent souvent d'érosions antérieures ou d'un risque d'érosion important ;

- la **fréquence des murets** : nous avons recensé un grand nombre de murets en pierre, de longueur et de hauteur variables, sur le bassin versant de la Muse. Ces aménagements ne sont pas aussi efficaces que les enrochements en termes de protection de berges mais ils diminuent tout de même la mobilité du cours d'eau ;
- la **fréquence d'érosion des berges non aménagées** traduit la sensibilité des berges du cours d'eau qui ne sont pas protégées par des enrochements ou des murets (**figure 14**) ;
- le **rapport d'encaissement du fond de vallée** témoigne de la contrainte exercée par les versants sur la mobilité du lit (NB : la largeur du fond de vallée est basée sur la distance entre les deux versants opposés à +10 m au-dessus du fond de vallée ; cette mesure surestime la largeur réelle du fond de vallée, et donc le rapport d'encaissement, mais elle peut être utilisée à titre d'indicateur comparable d'un secteur à l'autre) ;
- la **présence d'alluvions récentes** témoigne encore des héritages géomorphologiques partiellement liés à la dynamique latérale du cours d'eau.

Secteur	Erosions de berge (m/km)	Enrochements (m/km)	Murets (m/km)	Erosions des berges non aménagées (m/km)	Rapport d'encaissement *	Présence d'alluvions en fond de vallée **
S1	36	0	83	39	10	continue
S2	6	13	46	7	8	non
S3	15	8	≈0	15	9	non
S4	45	47	26	49	34	continue
S5	30	40	126	36	27	continue
S6 - Muzette	27	0	0	27	27	discontinue
S7 - Brinhac	0	155	0	0	66	continue
Total / moyenne	26	26	47	28		

* le rapport d'encaissement représente le rapport entre la largeur du fond de vallée (estimée par la distance entre deux points des versants opposés situés à +10 m au-dessus du fond de vallée) et la largeur à pleins bords du cours d'eau ; ** source : carte géologique BRGM au 50 000^{ème}

Tableau 10 : caractérisation de la mobilité latérale des branches principales du réseau hydrographique

La fréquence des érosions de berges est en moyenne de 26 m/km (soit 1,3% des berges), ce qui témoigne d'une **dynamique latérale extrêmement faible**. Cette valeur augmente à peine si on exclut les berges aménagées (28 m/km soit 1,4% des berges) car l'emprise des protections de berges est limitée sur le linéaire parcouru. La plupart des enrochements sont très localisés (moins de 50 m de long). Seuls 3 enrochements sont implantés sur plus de 100 m de berges : le premier à Saint-Beauzély (130 m) entre les lieux-dits *Le Pont* et *La Muze* (S4) ; le deuxième (150 m prolongé par un muret d'environ 100 m) protège une route (en rive gauche) dans le village de Saint-Léons (S5) ; le troisième protège une route (en rive droite) sur 150 m en aval de la confluence entre les ruisseaux de Brinhac et des Landes (S7). A l'échelle du bassin versant, **ces aménagements ne constituent donc pas une contrainte significative vis-à-vis de la dynamique latérale des cours d'eau**.

Les secteurs les plus encaissés (S2 et S3) présentent logiquement une mobilité quasi-nulle. Il en est de même du secteur S7, pourtant potentiellement mieux disposé avec un rapport d'encaissement très faible et la présence d'alluvions dans le fond de vallée. Il présente néanmoins une pente élevée (3,2%)

qui favorise un tracé rectiligne, et la plus forte proportion d'enrochements. La **figure 14** et la **carte n°14** mettent en évidence une **dynamique latérale relativement plus élevée sur les secteurs S1, S4, S5 et S6**.

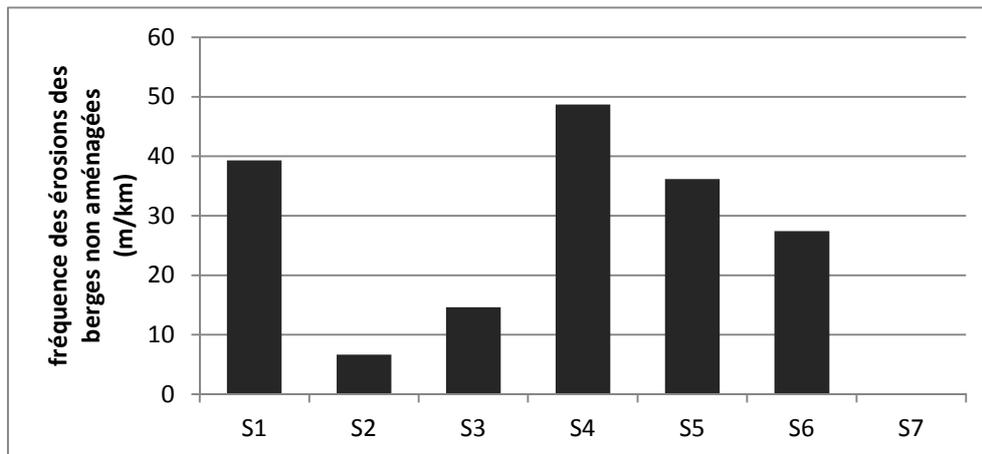


Figure 14 : sensibilité des berges à l'érosion (berges aménagées exclues)

3- Ensablement

L'ensablement peut être considéré comme le principal dysfonctionnement morphologique des cours d'eau du bassin versant de la Muse. Il a donc fait l'objet d'une attention particulière en vue de caractériser le degré d'ensablement des différentes portions du réseau hydrographique de manière objective (3.1- *Etat des lieux*) et d'expliquer ses origines (3.2- *Analyses exploratoires des causes de l'ensablement*).

3.1- Etat des lieux

3.1.1- Méthode

La méthode élaborée pour dresser un état des lieux de l'ensablement des cours d'eau repose sur deux échelles d'analyse.

La première échelle est l'unité morphodynamique (ou faciès d'écoulement), qui correspond à une portion de cours d'eau homogène du point de vue de la pente du lit, de la hauteur d'eau, des vitesses d'écoulement et de la granulométrie des sédiments (ex. : radier, mouille, rapide...) :

- l'évaluation de l'ensablement repose essentiellement sur l'analyse des faciès lenticques (mouilles ou plats lenticques) qui présentent un écoulement lent et une profondeur plus importante que les faciès lotiques (radiers, seuils, rapides...). Ce premier type de faciès est davantage représentatif de la fourniture sédimentaire amont en sédiments fins, et, dans une moindre mesure, de la qualité des habitats ;
- chaque faciès lenticque a été classé sur le terrain comme *ensablé*, *non ensablé* ou en *état intermédiaire*, le principal critère de classification étant la proportion de sables à la surface du lit, qui traduit son degré d'homogénéisation. Autrement dit, un faciès est considéré comme *ensablé* lorsque la part de sables et de granules (gravier très fins) devient largement majoritaire, ne laissant apparaître qu'une faible proportion de matériaux

grossiers (graviers fins à moyens, galets et blocs). Inversement, lorsque les matériaux sont majoritairement grossiers et/ou qu'ils présentent une variabilité satisfaisante, le faciès est considéré comme *non ensablé* ;

- le taux de comblement des faciès lenticules (rapport entre l'épaisseur des dépôts sableux et la profondeur), qui témoigne davantage des volumes accumulés, ainsi que l'ensablement des faciès lotiques (notamment pour prendre en compte la présence de sable interstitiel au sein de la matrice grossière), ont également été pris en compte de manière qualitative et à titre secondaire.

La seconde échelle est le tronçon de cours d'eau. Il s'agit de segments de cours d'eau d'une longueur minimale de 150 m :

- une note de 1 à 4 est attribuée à chaque tronçon selon la règle générale suivante :
 - o **1** : moins de 20% de faciès lenticules ensablés >>> **ensablement nul à faible**
 - o **2** : 20 à 40% de faciès lenticules ensablés >>> **ensablement modéré**
 - o **3** : 40 à 70% de faciès lenticules ensablés >>> **ensablement important**
 - o **4** : 70 à 100% de faciès lenticules ensablés >>> **ensablement très important**
- quelques tronçons ont ensuite été surclassés lorsque le taux de comblement des mouilles ou l'ensablement des faciès lotiques étaient importants ;
- cette méthode a été appliquée :
 - o de manière quasi-continue sur les branches principales du réseau hydrographique. La notation et la délimitation des tronçons homogènes en termes d'ensablement sont donc réalisées conjointement en fonction des discontinuités constatées ;
 - o de manière ponctuelle sur les affluents, l'état des lieux reposant sur une sélection de 51 tronçons de 150 à 300 m de longueur, sur lesquels 10 à 30 faciès lenticules ont été analysés (nombre variable en fonction de la diversité des conditions d'ensablement sur le tronçon). La majorité des tronçons échantillons a été sélectionnée sur les affluents de rive droite plus sensibles et plus vulnérables à l'ensablement (socle cristallin, hydrologie plus propice à la vie piscicole).

3.1.2- Résultats

La **carte n°15** représente l'état des lieux de l'ensablement du réseau hydrographique.

Elle montre un **net gradient du degré d'ensablement des cours d'eau de l'aval vers l'amont des branches principales**. La Muse en amont du ravin de Bouscayrols et la Muzette sont particulièrement affectées par l'ensablement avec une grande majorité de faciès lenticules ensablés. En aval, le degré d'ensablement décroît pour devenir tout à fait satisfaisant (note=1) à partir de la confluence avec le ruisseau de Rivaldiès (limite approximative), à l'exception de quelques tronçons légèrement plus ensablés (essentiellement notés à 2). Les tronçons aval des ruisseaux de Brinhac et des Landes sont également peu ensablés.

Ces résultats confirment **l'ensablement important des principaux affluents de rive droite, particulièrement dans leur partie amont, sur le plateau**. Un gradient aval-amont assez net s'observe donc également sur certains de ces affluents. L'augmentation de la pente des cours d'eau vers l'aval est à l'évidence en partie responsable de l'amélioration des conditions d'ensablement (ex. : Brinhac, Landes, Falguières, Fouyrouse, Rivaldiès).

En revanche, les affluents de rive gauche (par ailleurs rarement en eau lors de nos visites sur le terrain en été 2010) ne sont pas ensablés à l'exception de l'affluent de la source ferrugineuse (vers le Moulin de Cambon) en aval des barres rocheuses en grés.

3.2- Analyses exploratoires des causes de l'ensablement

Pour comprendre et expliquer la dynamique d'ensablement des cours d'eau du bassin, nous avons adopté deux approches complémentaires :

- analyse de la sensibilité à l'érosion des sols du bassin, de son évolution au cours des dernières décennies et de ses implications pour la fourniture en sédiments sableux au réseau hydrographique ;
- analyse multicritère sur les caractéristiques des sous-bassins (topographie, occupation des sols, drainages) pour mettre en évidence les facteurs les plus discriminants vis-à-vis de leur degré d'ensablement. A ce titre, un inventaire exhaustif des drainages agricoles implantés dans les fonds de vallée des affluents de rive droite (au nord et à l'ouest) a été réalisé par les techniciens de l'Agence de l'eau, du PNRGC et du Conseil Général (cf. page 40).

3.2.1- Erosion des sols

3.2.1.1- Présentation préalable des facteurs contrôlant l'érosion des sols

Les facteurs qui interviennent dans l'érosion des sols et la production de sédiments sableux se composent de deux grandes catégories :

- les facteurs internes au système fluvial, fixes dans le temps (à une échelle annuelle ou décennale), qui déterminent la sensibilité intrinsèque du bassin à l'érosion :
 - o les pentes des versants qui conditionnent la vitesse des eaux de ruissellement et donc l'érosion et le transport des particules du sol ;
 - o l'érodibilité des sols qui dépend essentiellement de leur stabilité structurale. Celle-ci dépend à son tour en partie de l'occupation des sols qui influence les conditions de la pédogenèse, si bien que l'érodibilité n'est théoriquement pas un paramètre interne au système étudié. Néanmoins, les processus pédologiques sont lents et on peut considérer que les modifications récentes de l'occupation des sols n'ont pas significativement modifié l'érodibilité des sols ;
 - o la propension des sols à fournir des sédiments sableux : quels que soient les volumes érodés, la nature des sédiments produits dépend de la texture plus ou moins sableuse des sols ;
- les facteurs externes qui peuvent évoluer en fonction des contraintes exercées par l'homme et le climat :
 - o l'occupation des sols qui influence profondément la réponse hydrologique du bassin versant aux précipitations (donc le ruissellement de surface) ainsi que la sensibilité des sols aux phénomènes de battance et d'érosion par ruissellement (fonction de la densité de la couverture végétale) ;
 - o les pratiques culturales et autres pressions anthropiques (prélèvements d'eau, irrigation, drainage, direction des labours, remembrements, cultures en terrasse, construction de routes et de pistes, utilisation d'engrais...) qui modifient à la fois les

conditions pédologiques des sols (humidité, stabilité, texture...) et la circulation des eaux au sein des parcelles ;

- le climat qui influence de manière complexe la plupart des éléments précédemment cités.

De plus, l'impact de la production sédimentaire au niveau des versants sur l'ensablement des cours d'eau dépend encore de :

- la connexion des versants au réseau hydrographique qui conditionne l'introduction dans les cours d'eau des sédiments érodés sur les versants ;
- la pente des cours d'eau qui contrôle leur capacité de transport.

3.2.1.2- Disponibilité des données sur le bassin versant de la Muse

La principale difficulté que nous avons rencontrée réside dans le manque de données à la fois exhaustives et précises sur les sols, de manière à déterminer leur érodibilité (et leur sensibilité à la battance). Ce paramètre est de plus le plus difficile à évaluer. La méthode d'évaluation proposée par l'INRA et le BRGM (Cerdan et al. 2006) dans le cadre des études de zonage de l'aléa érosion repose par exemple sur le taux de pierrosité, la texture, la teneur en matières organiques et la teneur en fer.

Trois sources de données potentielles ont été prospectées et/ou analysées :

- les données du programme *IGCS (Inventaire, Gestion et Conservation des Sols)* qui prévoit l'établissement d'un Référentiel Régional Pédologique au 250 000^{ème} (résolution requise par les méthodes développées par Le Bissonais et al. 2004, Antoni et al. 2006, Cerdan et al. 2006) sur l'ensemble de la France : ce programme n'a pas encore été mis en œuvre dans le département de l'Aveyron ;
- l'étude des *Grands Ensembles Morpho-pédologiques de la région Midi-Pyrénées* au 500 000^{ème} (Chambre Régionale d'Agriculture) : fournit des descriptions de sol partielles (tous les éléments nécessaires à l'évaluation de l'érodibilité et de la battance ne sont pas renseignés), non exhaustives (tous les types de sols n'ont pas été analysés) et non géoréférencées (pas de cartographie des différents types de sols au sein de chaque ensemble morpho-pédologique) ;
- les *Schémas Communaux d'Assainissement* établis sur les communes de Castelnaud-Pégayrols, Saint-Beauzély et Montjaux qui reposent sur des campagnes de sondage de terrain et d'analyses granulométriques des sols : tous les éléments nécessaires à l'évaluation de l'érodibilité et de la battance ne sont pas renseignés et les sondages se sont restreints aux zones d'urbanisation.

Les données actuellement disponibles sur le territoire sont donc insuffisantes, autant d'un point qualitatif (éléments de caractérisation des sols) que d'un point de vue quantitatif (exhaustivité), pour appliquer les méthodes existantes pour analyser la sensibilité à l'érosion des sols.

3.2.1.3- Modèle d'érosion établi : paramètre retenus pour la modélisation

Les modèles d'érosion des sols existants (ex. : USLE, MESALES, STREAM) n'ont pas pu être appliqués au bassin versant de la Muse car ils reposent en grande partie sur l'évaluation de l'érodibilité et, parfois, de la battance des sols (cf. paragraphe précédent). Par ailleurs, ils ne sont pas totalement adaptés à la problématique de l'étude. D'une part, ces modèles ont été établis pour estimer les pertes de sols sans tenir compte de la granulométrie des produits de l'érosion. D'autre part, ils n'intègrent généralement

pas le devenir des particules arrachées au sol et leur possibilité de stockage sur les versants ou d'introduction dans le réseau hydrographique. Dans la mesure où l'érosion des sols n'est pas l'objet final de l'étude, mais un élément à prendre en compte dans l'analyse de l'ensablement des cours d'eau, il est nécessaire d'intégrer à la fois la propension des sols à produire des sédiments sableux et la connexion des parcelles au réseau hydrographique pour rendre compte des apports en matériaux sableux depuis les versants.

Nous avons donc établi un modèle qui repose sur les paramètres suivants :

1^{er} – Pentés des versants (P) : calculées à partir d'un MNT d'environ 22 m de résolution (MNT ASTER produit par la NASA). Le coefficient P représente la valeur de pente en m/m.

2^{ème} – Teneur en sables dans les sols (T) : le **tableau 11** présente les coefficients théoriques T appliqués aux sols en fonction de la nature lithologique des roches sous-jacentes (source : carte géologique BRGM au 50 000^{ème}). Le principe d'une évaluation de la teneur en sables en fonction uniquement de la lithologie est discutable. Néanmoins, outre le manque de données sur les sols qui impose une estimation théorique, cette approche repose sur les liens étroits entre la nature de l'altérite produite par l'érosion d'une roche et les sols. Notre évaluation repose essentiellement sur la teneur en quartz des roches : plus une roche est riche en quartz, plus elle est propice à produire une altérite sableuse. Les analyses de sols réalisées dans le cadre des zonages d'assainissement (*Schémas Communaux d'Assainissement* établis sur les communes de Castelnau-Pégayrols, Saint-Beauzély et Montjaux) et de la définition des *Grands Ensembles Morpho-pédologiques de la région Midi-Pyrénées* ont partiellement permis de valider les types de texture rencontrés. Un coefficient nul a été appliqué aux éboulis et aux alluvions récentes, constitués d'un mélange de roches érodées en amont, car leur teneur en sables est variable (en fonction des différentes roches composant les dépôts).

Dénomination BRGM (simplifiée)	Type de roche ou formation	Teneur en quartz	Coefficient T pour la teneur en sables
gneiss œillé	métamorphique	+++	10
granite migmatique	métamorphique	+++	10
migmatite	métamorphique	+++	10
leptynite	métamorphique	+++	10
paragneiss fin	métamorphique	+++	10
grés (et marnes subordonnées) du Trias	sédimentaire	+++	10
gneiss à amphibole	métamorphique	++	6
micaschiste	métamorphique	++	6
shales et grés de l'Autunien	sédimentaire	++	4
éclogite	métamorphique	+	3
éclogite amphibolitisée	métamorphique	+	3
amphibolite	métamorphique	+	3
cornéenne d'Estalane	métamorphique	+	3
dolomies et calcaires dolomitiques de l'Hettangien	sédimentaire	-	1
calcaires et dolomies du Sinémurien	sédimentaire	-	1
basalte	volcanique	-	1
terra rossa (argile de décalcification)	formation superficielle	-	1
éboulis et alluvions récentes	formation superficielle	variable	0

Tableau 11 : coefficient T représentant la teneur en sables des sols en fonction de la nature lithologique des roches sous-jacentes

3^{ème} – Occupation des sols (O) : un coefficient a été fixé aux 7 catégories d'occupation des sols sur la base des taux d'érosion rapportés par divers ouvrages bibliographiques (**tableau 12**) : les taux d'érosion varient généralement d'1 ordre de grandeur lorsque l'on passe d'un couvert forestier dense à un couvert végétal peu dense, et de 2 ordres de grandeur lorsque l'on passe à une surface cultivée. Pour simplifier l'analyse, les surfaces artificielles (2,8% du bassin), très hétérogènes, ont été exclues (coefficient égal à 0).

Occupation des sols	Coefficient O
Boisements denses	1
Boisements peu denses	5
Landes, friches et prairies permanentes	10
Surfaces cultivées	100
Surfaces artificielles	0
Roche nue	0
Plan d'eau	0

Tableau 12 : coefficient O représentant l'influence de l'occupation des sols sur l'exposition des sols à l'érosion

4^{ème} – Connexion au réseau hydrographique : une zone de 100 m de part et d'autre des branches du réseau hydrographique (soit une épaisseur totale de 200 m) a été considérée pour ne retenir que les parcelles dont les produits d'érosion sont susceptibles d'être introduits dans les cours d'eau.

3.2.1.4- Principe de la modélisation

Le principe de la modélisation est présenté dans la **figure 15**. Le premier résultat représente la sensibilité intrinsèque des sols à la production de sables par érosion (**carte n°16**). Dans un deuxième temps, on intègre l'occupation des sols (coefficient O) pour évaluer la production de sables en 1948, 1978 et 2008 (**carte n°17**). Le score obtenu par multiplication des coefficients, P, T et O n'a pas de signification volumétrique : il s'agit d'un indicateur sans unité qui permet de comparer l'intensité de la production de sables entre ces 3 dates. Un score de 1 correspond par exemple à la production d'un sol à faible teneur en sables (T=1), avec un couvert végétal dense (boisement dense soit O=1) sur une pente de 100% (P=1 en m/m). Dans un troisième temps, les surfaces éloignées du réseau hydrographique sont exclues pour évaluer la fourniture sableuse depuis les parcelles connectées au réseau hydrographique (**carte n°18**).

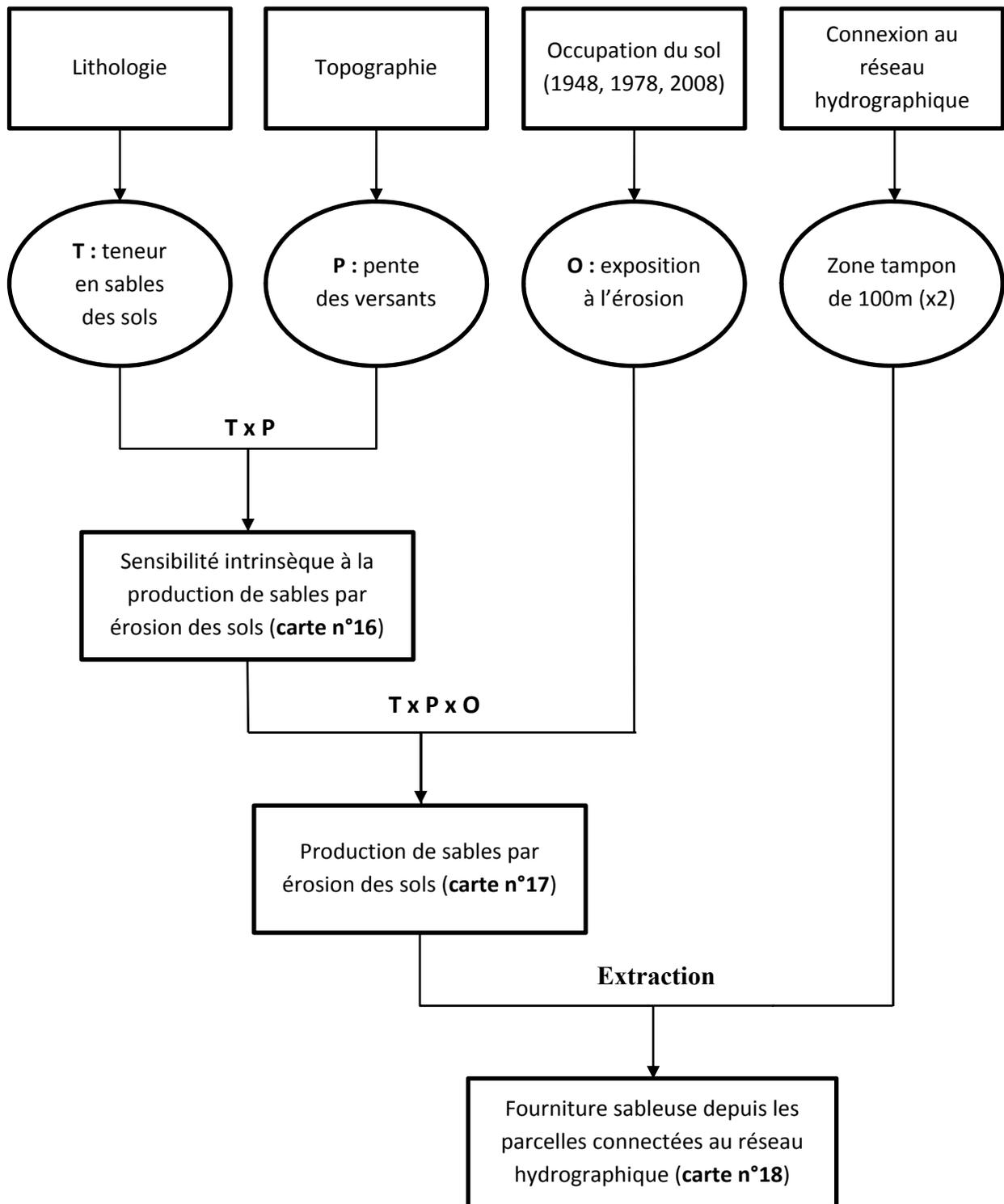


Figure 15 : principe du modèle établi pour évaluer la production et la fourniture sédimentaire sableuse par érosion des sols en 1948, 1978 et 2008

3.2.1.5- Résultats

Les résultats des trois étapes de calcul sont présentés sur les **cartes n°16, 17 et 18** et résumés dans les **tableaux 13 et 14**.

A l'échelle du bassin versant, on observe une diminution progressive du score obtenu par la modélisation, quelle que soit les surfaces considérées (avec ou sans exclusion des parcelles éloignées du réseau hydrographique) (**tableau 13**). En fait, la diminution est plus forte dans les zones situées à proximité des cours d'eau du fait du reboisement important des versants les plus escarpés du bassin versant, qui font la jonction entre les zones de plateaux et les fonds de vallée (cf. paragraphe 2.3). **La tendance globale de ces dernières décennies est donc clairement à la baisse des apports sableux aux cours d'eau par érosion des sols, dans les limites du modèle utilisé.**

La première source d'erreur du modèle réside dans l'évaluation de la teneur en sables des sols et dans l'absence de données relatives à l'érodibilité des sols (ou sensibilité à l'érosion liée à la stabilité texturale des sols). Néanmoins, on peut considérer que ces erreurs sont reproduites de manière analogue sur les 3 dates étudiées, si bien que les estimations sont comparables entre elles. **La deuxième source d'erreur correspond à la non prise en compte des pratiques culturales et autres pressions anthropiques** (prélèvements d'eau, irrigation, drainage, direction des labours, remembrements, cultures en terrasse, construction de routes et de pistes, utilisation d'engrais...) qui modifient à la fois l'érodibilité des sols et la circulation des eaux (voire celle des matériaux solides). Il faut également rappeler que **les données d'occupation des sols obtenues par photo-interprétation ne tiennent pas compte de la conversion de la majorité des prairies permanentes en prairies temporaires entre 1979 et 2000** (Recensement Général Agricole ; cf. paragraphe 2.4), ce qui constitue une troisième source d'erreur.

date / période	Score de production de sables sur l'ensemble du bassin versant *	Score de production de sables pour les parcelles connectées au réseau hydrographique **
1948	55,5	53,2
1978	46,5	41,4
2008	41,7	33,6
1948-1978	-16%	-22%
1978-2008	-10%	-19%
1948-2008	-25%	-37%

Les scores correspondent à une moyenne par pixel ; * évaluation de la production de sables par érosion des sols ; ** évaluation de la fourniture sédimentaire sableuse aux cours d'eau (la plupart des matériaux érodés sur les versants ne parviennent pas au réseau hydrographique)

Tableau 13 : synthèse des résultats de la modélisation de la production de sables par érosion des sols

A l'échelle des sous-bassins, la diminution globale évoquée ci-dessus reste valable dans la majorité des cas. On dénombre seulement 9 sous-bassins qui présentent une augmentation de score durant l'une des périodes étudiées (1948-1978 ou 1978-2008) (**tableau 14**). Seules les parcelles riveraines du ravin de Bouscayrols présentent un solde positif sur les 2 périodes et celui n'est pas significatif (faible augmentation de la production sur un sous-bassin déjà peu producteur). **Quatre ruisseaux montrent néanmoins une augmentation notable durant la dernière période (1978-2008) : Muzette amont (23b),**

Sagette (24b), Muse amont (25) et Coste Cave (23a). Il s'agit donc des principaux affluents de la Muzette et de la Muse en amont de leur confluence.

Sous-bassin	Evolution du score de production de sables sur les parcelles connectées au réseau hydrographique			score moyen en 2008
	1948-1978	1978-2008	1948-2008	
9 - Fouyrouse	-11,7	1,0	-10,7	56,5
17 - Rivaldiès	5,3	-6,9	-1,6	27,3
18 -	5,1	-12,1	-7,0	14,6
19 - Brinhac aval	4,9	-23,4	-18,6	26,9
22 - Bouscayrols	1,7	-1,0	0,7	6,9
23a - Coste Cave	-30,4	5,3	-25,1	101,6
23b - Muzette amont	-18,5	12,3	-6,2	45,9
24b - Sagette	-22,5	8,4	-14,1	64,7
25 - Muse amont	-15,3	4,8	-10,5	51,8
<i>bassin entier</i>	-11,7	-7,8	-19,5	33,6

Les scores correspondent à une moyenne par pixel

Tableau 14 : progression de la production de sables par érosion des sols sur quelques sous-bassins- les valeurs en gras mettent en évidence les augmentations (évolutions positives)

On peut encore s'intéresser plus finement aux évolutions spatiales liées à la nouvelle répartition des catégories d'occupation du sol (cf. paragraphe 2.3). La **carte n°19** permet de localiser les évolutions de la fourniture sableuse dans les différentes parties du bassin. On remarque qu'une partie des secteurs amont des ruisseaux de Brinhac, des Landes et de Rivaldiès montrent une évolution positive entre 1948 et 2008. C'est également le cas des ruisseaux de Sagette, de Fouyrouse, de Falguières, de la Muse amont, de la Muzette amont (et dans une moindre mesure Roubayrolles et Coste cave) sur les 3 dernières décennies (1978-2008).

En définitive, on observe donc **une nette diminution de la production sableuse globale si bien que les apports de sables à la Muse dans sa partie aval sont désormais largement inférieurs aux apports antérieurs.** En revanche, **l'augmentation de l'érosion des terres sur les têtes de bassin versant de la plupart des affluents de rive droite depuis 1978 favorise l'introduction de sédiments fins dans les tronçons amont du réseau hydrographique.**

3.2.2- Analyses statistiques multi-paramètres

Ce travail vise à mettre en évidence par les outils statistiques les paramètres responsables (ou explicatifs) de l'ensablement des affluents. Etant donné l'influence fondamentale de la lithologie, les affluents de rive gauche (peu ensablés) ont été exclus des analyses. Celles-ci reposent donc sur les 43 stations d'ensablement établies sur les affluents de rive droite (à l'ouest), ainsi que sur la Muse amont, Sagette et Roubayrolles (au nord).

Les paramètres examinés sont les suivants :

- la pente du cours d'eau ;
- la pente des versants ;
- la proportion des différentes classes d'occupation des sols ;
- le taux d'évolution des principales classes d'occupation des sols depuis 1978 (reboisement, mise en culture...) ;
- les drains agricoles implantés sur les parcelles connectées au réseau hydrographique (c'est-à-dire en contact direct avec les cours d'eau).

Dans un souci pratique, nous ne détaillerons pas l'ensemble des analyses réalisées mais nous présenterons les résultats les plus significatifs.

*N.B. : il s'est avéré impossible d'obtenir à partir des archives des informations précises sur l'ampleur et la localisation des travaux de drainages réalisés (contacts : Chambre d'Agriculture, Société d'Aménagement Foncier Aveyron-Lot-Tarn, DDT – Service de la Police de l'Eau, Association Départementale de Rénovation Agricole de l'Aveyron). L'intégration des données relatives aux drains repose sur un inventaire de terrain réalisé durant 12 jours en décembre 2010 et janvier 2011 par Céline Delagnes (PNRGC), Jérôme Bussière (PNRGC), Stéphane Sol (Conseil Général de l'Aveyron), Guillaume LECHAT (Agence de l'Eau) et Thibaut DORADO (Agence de l'Eau). **Cet inventaire a été réalisé de manière exhaustive dans les fonds de vallée des affluents de rive droite et sur la partie amont de la Muse, à l'exception des fonds de vallée boisés qui ne sont pas susceptibles d'être drainés, et uniquement sur les parcelles situées à proximité ou en contact direct avec le réseau hydrographique (carte n°21b).***

3.2.2.1- Corrélations simples entre et les caractéristiques des affluents et leur ensablement

a- Analyse graphique

Une première analyse graphique révèle que **quatre paramètres principaux peuvent expliquer le degré d'ensablement des cours d'eau (figure 16)**. Il s'agit de :

- la **pente du cours d'eau** qui contrôle l'énergie des écoulements donc leur capacité à évacuer les sédiments sableux ;
- l'importance des **boisements** (en % de la surface du bassin) qui filtrent les apports de sédiments fins depuis les versants (effet de peigne) ;
- l'importance des **terres cultivées** (en % de la surface du bassin) qui tendent au contraire à favoriser l'introduction de sédiments fins produits par le retournement des sols et leur érosion en phase non végétative (sols nus) ;
- l'importance des **drainages agricoles** (parcelles drainées et connectées au réseau hydrographique en % de la surface du bassin) qui sont suspectés d'accroître les apports de sédiments sableux depuis les terres cultivées, notamment en modifiant l'humidité des sols et donc leur érodibilité.

A mesure que les deux premiers paramètres augmentent, l'ensablement diminue. A l'inverse, les cours associées aux classes d'ensablement 3 et 4 (ensablement important à très important) sont davantage bordées de terres cultivées et de parcelles drainées (**figure 16**).

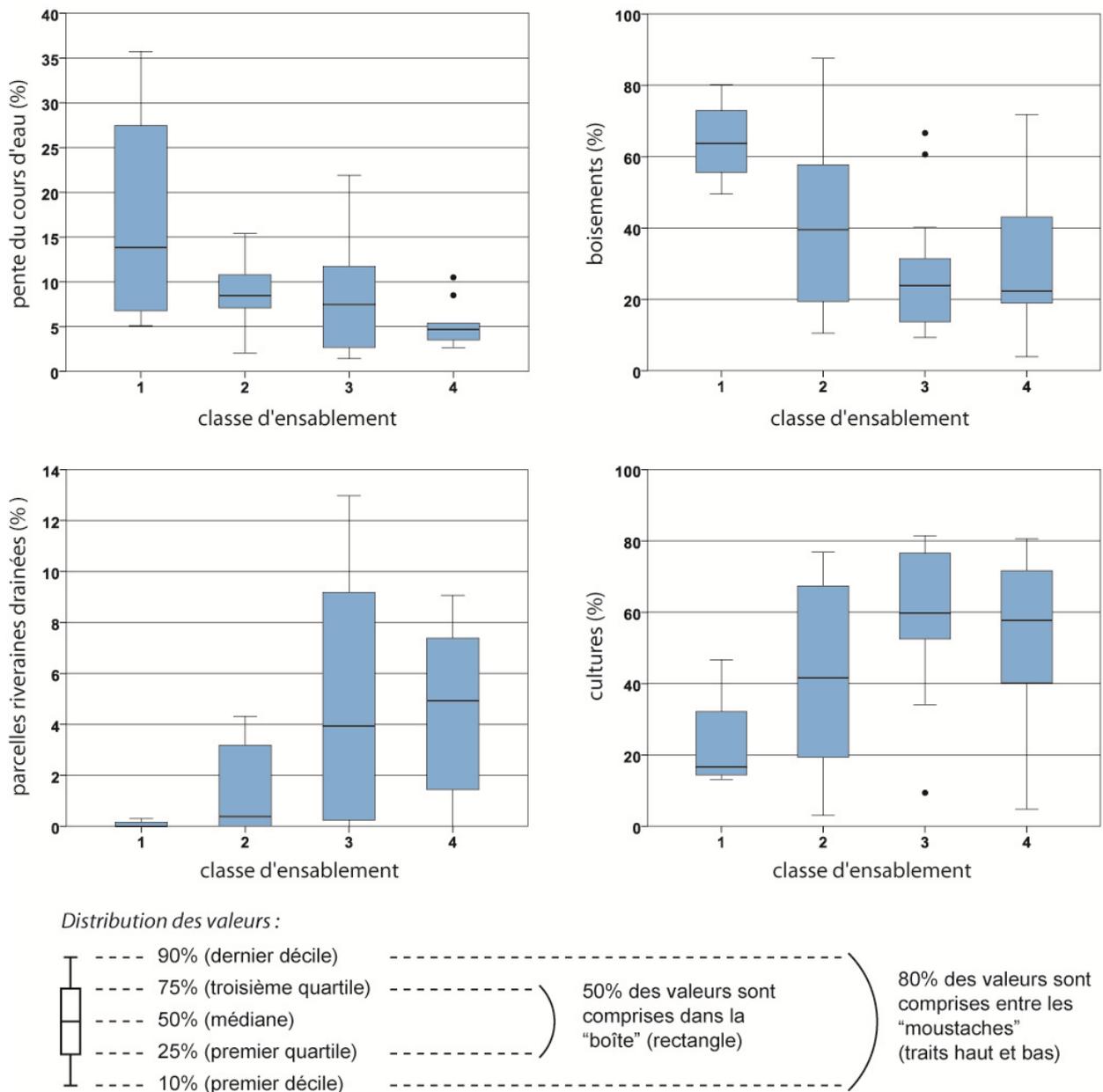


Figure 16 : graphiques en boîtes montrant la dispersion des 4 principaux paramètres explicatifs en fonction de la classe d'ensablement

b- Analyse de variance

Les relations suggérées ci-avant entre ces quatre paramètres et le degré d'ensablement se vérifient par les analyses de variance de Fisher-Snedecor (**tableau 15**). Ces analyses permettent de déterminer si les différences de pente et de versants boisés, cultivés ou drainés sont significatives entre chaque classe d'ensablement.

paramètre explicatif	intensité de la relation (% d'ensablement expliqué)	indice F de Fisher-Snedecor	significativité de la relation (risque d'erreur en %)
pente du cours d'eau	22%	2,87	< 5%
% boisements	25%	3,26	< 5%
% cultures	20%	2,54	< 10%
% drainages	25%	3,27	< 5%

Tableau 15 : résultats des analyses de variance pour les quatre paramètres explicatifs de l'ensablement

Le risque d'erreur associée aux relations simples entre chacun des quatre paramètres précédents et la classe d'ensablement sont faibles (*N.B.* : on accepte généralement un risque d'erreur de 10%). On peut donc conclure que **ces relations sont significatives, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas le fruit du hasard** mais que ces paramètres sont bien statistiquement corrélés à l'ensablement des cours d'eau.

En revanche, l'intensité des relations établies est relativement faible : les variations de pente et du pourcentage de boisements, de cultures et de parcelles drainées n'expliquent individuellement que 20 à 25% des différences d'ensablement observées entre les affluents de rive droite. Cela signifie qu'**aucun de ces paramètres ne permet à lui seul d'expliquer l'ensablement**. Par conséquent, on peut supposer que l'ensablement est contrôlé par l'interaction de plusieurs de ces paramètres, voire par d'autres paramètres non intégrés dans nos analyses (ex. : régime des crues, pratiques culturelles...).

Le paramètre le mieux corrélé à l'ensablement (donc théoriquement la « meilleure explication ») est le pourcentage de parcelles drainées connectées au réseau hydrographique. **Il faut néanmoins souligner que ces 4 paramètres sont étroitement liés entre eux étant donné l'organisation géographique du bassin versant de la Muse** : les zones de plateaux sont à la fois les moins pentues, les plus cultivées et donc les moins boisées ; ce sont également les plus drainées car l'importance des drainages agricoles augmente évidemment lorsque la part des terres cultivées augmente. **Autrement dit, à mesure que l'on descend vers l'aval, ces quatre paramètres évoluent conjointement de manière à limiter l'ensablement**. Les analyses réalisées ci-avant ne permettent donc pas de dissocier l'influence respective de chaque paramètre. Ceci est l'objet du paragraphe suivant.

3.2.2.2- *Corrélations multiples ou complexes*

Nous étudions ici l'influence relative de chacun des paramètres précédents sur l'ensablement.

a- Variance résiduelle

La première série d'analyse est une analyse de variance résiduelle, qui consiste à s'affranchir de l'influence fondamentale de la pente pour examiner l'influence des autres paramètres. Il s'agit de savoir si les effets apparents (d'après les résultats du paragraphe précédent) des boisements, des cultures et des parcelles drainées sont réels ou s'ils ne traduisent pas seulement l'évolution amont-aval de l'ensablement liée à l'augmentation de la pente vers l'aval.

Les résultats présentés dans le **tableau 16** indiquent que les 3 paramètres restants permettent d'expliquer les écarts observés entre les cours d'eau en termes d'ensablement même lorsque l'on élimine l'effet de la pente. Ils nous apportent donc deux informations :

- d'une part, cela confirme que **l'ensablement des cours d'eau dépend effectivement de ces 4 paramètres à la fois** ;
- d'autre part cela nous informe sur l'influence relative des 3 paramètres liés à l'utilisation et à l'occupation des sols : **les drainages expliquent davantage l'ensablement que les boisements et les terres cultivées.**

paramètre explicatif	intensité de la relation (% d'ensablement expliqué)	indice F de Fisher-Snedecor	significativité de la relation (risque d'erreur en %)
% boisements	18%	2,35	< 10%
% cultures	17%	2,16	≈ 10%
% drainages	26%	3,31	< 5%

Tableau 16 : résultats des analyses de variance résiduelle pour les trois paramètres secondaires

b- Régression logistique

La seconde série est une analyse de régression logistique. Elle consiste à établir un modèle de prédiction de l'ensablement (classes 1 et 2 : non ensablé ; classes 3 et 4 : ensablé) en fonction d'un certain nombre de paramètres explicatifs, puis à examiner l'influence de chacun de ces paramètres vis-à-vis de l'ensablement. Le **tableau 17** présente les résultats du meilleur modèle, obtenu en intégrant les 4 paramètres précédents. Cela confirme une fois de plus que l'ensablement est effectivement contrôlé par ces paramètres. Ces résultats montrent également que **le paramètre le plus influent serait l'importance des drainages, suivi de la pente du cours d'eau puis des boisements et enfin des cultures.**

paramètre / modèle	influence relative des paramètres *			qualité du modèle **		
	indice de Wald	significativité (risque d'erreur)	influence	taux de réussite des prédictions	significativité (risque d'erreur)	intensité (% expliqué)
% drainages	4,80	2,8%	forte			
pente	2,46	11%	moyenne			
% boisements	1,24	27%	faible			
% cultures	0,56	45%	faible			
modèle				79,1%	5,8%	45,7%

* l'influence de chaque paramètre est d'autant plus forte que le risque d'erreur (calculé en fonction de l'indice de Wald) est faible ; ** la qualité du modèle est évaluée d'après son taux de réussite (79,1% des observations sont reclassées avec succès dans leur catégorie *ensablé* ou *non ensablé*), sa significativité (estimée d'après le test de Hosmer-Lemeshow) et son intensité (la modèle explique 46% des variations d'ensablement d'après le r^2 de Nagelkerke)

Tableau 17 : résultats du modèle de régression logistique

3.2.2.3- Bilan sur l'approche statistique

Les résultats des analyses statistiques peuvent être résumés et commentés de la manière suivante :

- quatre paramètres permettent d'expliquer les différences d'ensablement des affluents de rive droite : la pente du cours d'eau, le pourcentage des parcelles drainées connectées au réseau hydrographique, le pourcentage du bassin versant boisé et le pourcentage du bassin versant cultivé ;
- l'importance des drainages ressort de chaque analyse comme étant le facteur le plus influent dans le degré d'ensablement des cours d'eau, nettement devant la part des boisements ou des cultures ;
- l'influence de la pente est néanmoins mal représentée par nos résultats car la relation pente-ensablement n'est pas linéaire ou proportionnelle : l'ensablement ne diminue plus ou peu lorsque l'on atteint des pentes très élevées (ex. : peu de différence à occupation du sol égale entre deux tronçons avec une pente de 20% et 30%) ; de plus, à mesure que la pente augmente, la morphologie des cours d'eau tend à s'organiser en séquences chute-cuvette plutôt qu'en séquences radier-mouille ou radier-plat, et les cuvettes favorisent davantage le dépôt des sédiments que les mouilles ou les plats.

Il convient donc de considérer la pente comme le principal facteur de contrôle de l'ensablement, qui traduit la capacité du cours d'eau à transporter ou à stocker les sédiments fournis depuis l'amont et depuis les versants adjacents.

Les drainages agricoles apparaissent comme le deuxième facteur permettant d'expliquer les différences d'ensablement entre les affluents. S'il est statistiquement démontré que les drainages ont un impact négatif sur l'ensablement, il est en revanche impossible d'expliquer pourquoi ou comment. De manière très générale, les sols secs sont néanmoins plus propices au ruissellement et à l'érosion sous l'effet des gouttes de pluie (« effet splash »).

Le taux de boisement et le taux de surfaces cultivées ont une influence plus faible.

Il faut préciser que ces analyses statistiques ne prennent pas en compte l'ensemble des facteurs pouvant influencer l'ensablement des cours d'eau. Aux résultats précédents peuvent donc s'ajouter des impacts liés aux pratiques culturales (irrigation, fréquence et sens des labours...), à un éventuel changement du régime des crues, ou aux exploitations forestières.

3.2.3- Problématique des avens

Les avens sont des cavités qui se forment dans le sous-sol par dissolution des formations calcaires par les eaux souterraines. Ils se développent donc généralement de manière naturelle dans les régions calcaires mais peuvent également être favorisés par certaines pratiques humaines.

Dans le bassin versant de la Muse, un petit aven est récemment apparu sur un affluent de la Muzette en aval de Castries (Saint-Laurent-de-Lévézou ; **figures 17a et 17b**). Celui-ci s'est formé après modification du tracé naturel du cours d'eau. En effet, pour faciliter l'exploitation de la parcelle agricole, le cours d'eau a été déplacé en limite de parcelle (au nord) si bien qu'il ne s'écoule plus dans le thalweg (**figure 17c**). Notons que ce déplacement pourrait être ancien. Toutefois, une partie des eaux s'infiltrer et

s'écoule souterrainement (de quelques décimètres à quelques mètres de profondeur seulement) en direction du thalweg. Ces eaux ont progressivement entraîné la dissolution du sol calcaire qui s'est alors effondré approximativement à mi-distance du chenal actuel (qui s'apparente à un fossé) et du thalweg.

Ce phénomène a donc clairement une origine humaine, récente ou ancienne, qui se répercute désormais à la fois sur la parcelle elle-même et sur le cours d'eau plus en aval. Nombreux témoignages rapportent que depuis la formation de cet aven, les eaux de la Muzette en aval sont très turbides (forte concentration en matières en suspension) après les évènements pluvieux.

Notons qu'il n'existe qu'une solution pour prévenir ou résoudre ce type de problème : respectivement maintenir ou rétablir le tracé naturel du cours d'eau.

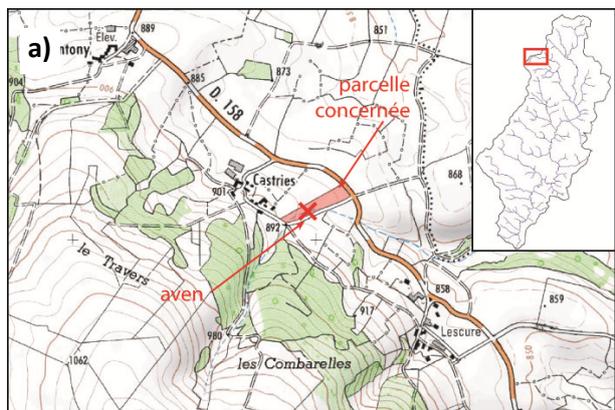
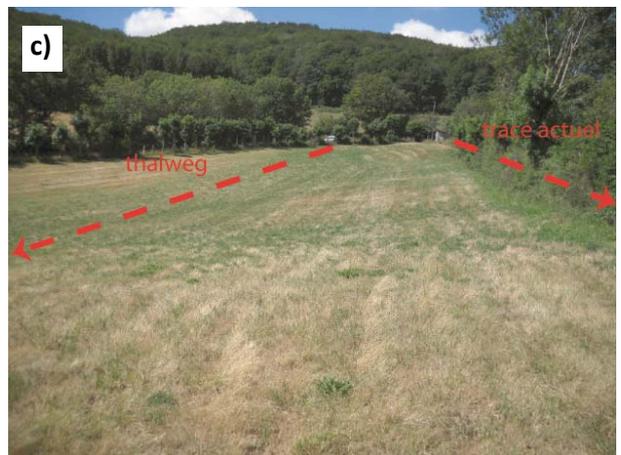


Figure 17 : aven en aval de Castries
a) plan de situation ;
b) l'aven au milieu de la parcelle ;
c) localisation du thalweg et du tracé actuel (le chenal est perché par rapport au thalweg)



ETUDE HYDROLOGIQUE

L'objectif de l'analyse hydrologique est de déterminer l'influence de l'évolution de l'occupation des sols sur l'hydrologie du bassin versant de la Muse. Elle se décompose en deux approches complémentaires :

- caractérisation hydrologique et météorologique du bassin versant ;
- analyse de l'évolution hydrologique du bassin au cours durant les dernières décennies.

1- Caractéristiques hydrométéorologiques du bassin versant

La Muse draine un bassin versant de 112 km², qui s'étend sur 30 km environ depuis le Tarn. L'altitude du bassin versant est comprise entre 325 m, à la confluence avec le Tarn et 1101 m au droit du Plateau du Lévézou (sur le territoire de la commune de Castelnaud-Pégayrols).

La Muse prend sa source en amont de l'étang du Bois du Four.

1.1- Régime hydrologique

La Muse fait l'objet d'un suivi hydrologique, au droit de la station de St Hippolyte (sur la commune de Montjaux). Elle contrôle le débit de la Muse, en aval du bassin versant, au droit du franchissement de la RD47 au lieu-dit Saint Hippolyte, à Montjaux. Au droit de la station, le lit est composé de galets et peut donc être instable, pouvant entraîner des modifications des courbes de tarage en fonction des crues (ce point est confirmé par le service gestionnaire : DREAL Midi-Pyrénées).

Les principales caractéristiques de la station de mesure sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Station de mesure	Gestionnaire	Date de mise en service	Situation actuelle	Période d'observation	Bassin versant contrôlé	Altitude du zéro de l'échelle
La Muse à St Hippolyte	DREAL Midi-Pyrénées	01/01/1968	En service	1968-2010*	99,3 %	~330 mNGF

*1968 et 2010 sont des années incomplètes

Tableau 18 : caractéristiques de la station de la Muse à St Hippolyte

La rivière présente des fluctuations saisonnières des débits assez marquées. Il s'agit d'un régime pluvio-nival avec des périodes de hautes eaux en hiver, du fait des précipitations, et au début du printemps lors de la fonte des neiges et une période de basses eaux en été de juillet à début octobre.

Pour les besoins de l'étude, nous nous sommes procurés via la banque HYDRO :

- les maxima annuels des débits de pointe, soit un échantillon de 41 valeurs ;
- les débits moyens journaliers, soit un échantillon de 14610 valeurs pour les 41 années d'observation.

1.2- Pluviométrie locale

Au droit du bassin versant de la Muse, les seules données pluviométriques disponibles sont des données journalières, observées au droit d'une ancienne station pluviométrique, ouverte entre 1982 et 2000 à Saint-Beauzély. Cette station présente une période d'observation plus réduite que celle de la station hydrométrique.

Quelques stations pluviométriques avec de plus longues périodes d'observations sont situées à proximité du bassin versant de la Muse :

Station	Gestionnaire	Position	Mise en service	Situation actuelle	Période d'observation	Altitude
Saint-Beauzély	Meteo France	BV Muse	1982	Hors service	1982-2000	800 m
Salles-Curan	Meteo France	Ouest du BV	1947	En service	1947-2010	960 m
Vézins de Lévézou	Meteo France	Nord du BV	1953	En service	1953-1976 1976-2010	920 m 980 m
Viala du Tarn	Meteo France	Sud-Ouest du BV	1952	Hors service	1952-2000	295 m
Millau	Meteo France	Est du BV	1964	En service	1964-2010	714 m

Tableau 19 : caractéristiques des stations pluviométriques situées à proximité de la zone d'étude

La station de Vézins de Lévézou a été déplacée en 1976 mais il n'y a pas de discontinuité dans l'enregistrement des précipitations.

Pour la suite de l'étude, nous avons écarté le pluviomètre de Viala du Tarn, positionné à une altitude de 295 m environ, soit à une altitude inférieure à l'ensemble du bassin versant.

1.2.1- Recueil des données pluviométriques

Pour les besoins de l'étude, nous avons acheté auprès de Météo France les données pluviométriques suivantes :

- dans un premier temps, les valeurs maximales annuelles des pluies quotidiennes et le cumul annuel des pluies au droit des stations de Saint-Beauzély (38 valeurs), de Salles-Curan (124 valeurs), de Vézins de Lévézou (116 valeurs) et de Millau (92 valeurs), soit un nombre total de données de 370 ;
- dans un second temps, pour nous permettre d'approfondir l'analyse hydrologique, les pluies journalières au droit du pluviomètre de Vézins de Lévézou, de 1970 à 2009, soit un échantillon de 14 610 valeurs.

L'ensemble de ces données sera remise au PNRGC ainsi qu'aux partenaires financiers en fin d'étude.

1.2.2- Analyse des pluies annuelles et journalières

Nous nous sommes procurés auprès de Météo France les valeurs des maxima saisonniers des précipitations quotidiennes au droit des stations retenues. Des ajustements de Gumbel sur les valeurs

extrêmes journalières a permis d'estimer les pluies journalières pour différentes périodes de retour (**tableau 20**). La pluie journalière centennale n'a pas été estimée au droit du pluviomètre de Saint-Beauzély, du fait du nombre d'années d'observation insuffisant.

Station	Nombre d'années d'observation	Pluie moyenne annuelle (mm)	Pluie journalière décennale (mm)	Pluie journalière centennale (mm)
Saint-Beauzély	19	1102	91	-
Salles-Curan	62	1106	92	134
Vézins de Lévézou	58	1105	87	125
Millau	46	757	81	117

Tableau 20 : estimations des pluies journalières

A l'exception des valeurs obtenues à la station de Millau, les pluies calculées sont sensiblement identiques, à quelques millimètres près, au droit des 3 autres pluviomètres. Pour la suite de l'étude, nous retiendrons comme pluviométrie représentative du bassin versant de la Muse :

- **pluie annuelle moyenne : 1 105 mm ;**
- **pluie journalière décennale : 90 mm ;**
- **pluie journalière centennale : 125 mm.**

1.3- Données Pluviométriques à faible pas de temps

La station la plus proche du bassin versant fournissant des données horaires de précipitation se situe à Millau. Toutefois, la pluviométrie moyenne du bassin versant de la Muse est légèrement supérieure à la pluviométrie moyenne au droit de la station de Millau. Ainsi, les coefficients de Montana ont été ajustés à partir des données de pluie journalière calculées au droit du bassin versant étudié (**tableau 21**).

Période de retour	6 < t < 30 min		t > 30 min	
	a	b	a	b
T = 10 ans	250	-0,47	504	-0,67
T = 100 ans	365	-0,48	721	-0,68

Tableau 21 : coefficients de Montana retenus au droit du bassin versant de la Muse

1.4- Hydrologie de crue

1.4.1- Analyse des données au droit de la station de St Hippolyte

Une analyse statistique des maxima annuels des débits de pointe, par des ajustements de Gumbel, a permis de définir les débits de crue pour différentes périodes de retour. Le **tableau 22** synthétise les estimations obtenues.

Station	Taille de l'échantillon	Débit décennal (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)
La Muse à Saint-Hippolyte	41	40	80

Tableau 22 : débits décennal et centennal au droit de la station à St Hippolyte (estimation par ajustement statistique)

On notera que les différentes courbes de tarage qui se sont succédées depuis 1968 sont extrapolées à partir de débits au-delà de 5,4 m³/s, correspondant au plus fort jaugeage réalisé le 19/02/1969. Ainsi, les courbes de tarage sont peu fiables en crue, les valeurs calculées pour 10 ans et 100 ans sont donc extrapolées fortement.

1.4.2- Utilisation des formules empiriques ou semi-empiriques

Trois méthodes ont été appliquées pour estimer les débits de crues :

- la méthode rationnelle qui consiste à évaluer le débit de pointe en fonction de l'intensité de la pluie et d'un coefficient de ruissellement empirique attribué à chaque type de surface (coefficients en **annexe 1**) ;
- la méthode SCS (*Soil Conservation Service*) qui tient compte, à l'aide de coefficients empiriques, de l'évolution des capacités d'infiltration des sols en fonction de la chronologie de la pluie ;
- la méthode du Gradex, réservée à l'estimation des débits de pointe extrêmes (100 à 1000 ans), qui se base sur les hydrogrammes de crue et de hiérogrammes de pluie mesurés.

1.4.2.1- Détermination du débit décennal

	Méthode rationnelle	SCS
Débit décennal (m ³ /s)	53	49

Tableau 23 : estimations du débit décennal

Le temps de concentration retenu pour l'application de la méthode rationnelle est ~9,5 h. Les différentes formules de temps de concentration utilisées indiquent un temps de concentration comprise entre 7 et 12h, entraînant une variation du débit de 44 à 64 m³/s. Le coefficient de ruissellement pris en compte pour le calcul est celui correspondant à l'occupation des sols datant de 2008, soit 0,24.

1.4.2.2- Détermination du débit centennal

Par application des méthodes rationnelle, SCS et du Gradex, le **tableau 24** ci-dessous récapitule les débits calculés pour la période de retour 100 ans.

	Méthode rationnelle	SCS	Gradex
Débit centennal (m ³ /s)	74	102	153

Tableau 24 : estimations du débit centennal

On remarque un écart important entre les différentes estimations, allant du simple au double. La valeur fournie par l'application de la méthode rationnelle semble sous-estimée. En effet le rapport Q_{100} / Q_{10} est de l'ordre de 1,4, inférieur aux valeurs communément admises, comprises entre 1,5 et 2 pour ce type de bassin versant. Le calcul du débit centennal à partir de la méthode du Gradex conduit souvent à des valeurs de débit élevées. Dans le cas du bassin versant de la Muse, le rapport Q_{100} / Q_{10} est de l'ordre de 3, valeur très élevée pour un bassin versant de cette taille et situé dans cette région. Cette valeur correspond plutôt à des petits bassins versants de l'Arc Méditerranéen. Ainsi, **le débit centennal de la Muse est vraisemblablement compris entre 80 et 100 m³/s.**

2- Evolution du fonctionnement hydrologique du bassin versant

2.1- Influence de l'occupation des sols sur le ruissellement

L'évolution de l'occupation des sols peut se traduire par des modifications de l'imperméabilisation du bassin versant ; celle-ci se matérialise d'un point de vue hydrologique par une aptitude plus ou moins importante au ruissellement. De manière empirique, la méthode rationnelle utilisée comme transformation Pluie-Débit pour l'estimation des débits de crue, prend en compte un coefficient de ruissellement, pouvant être rattaché à un type d'occupation du sol.

2.1.1- A l'échelle du bassin versant

A partir du découpage du bassin versant en classes d'occupation des sols, nous avons pu déterminer un coefficient de ruissellement pour chaque année étudiée : 1948, 1978 et 2008. A chaque classe d'occupation du sol est associé un coefficient. La moyenne de ces coefficients, pondérée par les surfaces des différentes classes, fournit le coefficient de ruissellement estimé du bassin versant (**tableau 25**).

	1948	1978	2008
coefficient de ruissellement	0,266	0,242	0,238

Tableau 25 : coefficient de ruissellement du bassin versant selon la date considérée (en fonction de l'occupation des sols)

Remarque : les surfaces des zones imperméables en 1948 et 1978 sont légèrement sous-estimées, du fait d'une moindre qualité des photographies aériennes. Néanmoins, au regard de l'étendue de ces surfaces par rapport à la superficie totale du bassin versant, cela n'a pas d'impact significatif sur les valeurs du coefficient de ruissellement.

Globalement, l'analyse de l'occupation des sols entre 1948 et 2008 a montré un reboisement du bassin versant de la Muse, au détriment des terres cultivées, des prairies, des landes et des friches. Ainsi, **le coefficient de ruissellement global du bassin versant de la Muse aurait diminué depuis 1948**, avec une variation plus importante entre 1948 et 1978, qu'après 1978. La diminution observée reste tout de même relativement faible, l'augmentation du boisement et la diminution des zones de culture étant compensées par l'augmentation des zones imperméables, notamment l'urbanisation des villages.

Cette diminution théorique du coefficient de ruissellement se traduirait ainsi par une **baisse des débits de pointe** calculés par la méthode rationnelle **de quelques m³/s (tableau 26)**. Cela s'explique physiquement par le fait que le reboisement du bassin versant peut diminuer la quantité d'eau qui ruisselle lors des événements pluvieux, en augmentant l'évapotranspiration et l'infiltration.

	1948	1978	2008
Q ₁₀ (m ³ /s)	59	54	53
Q ₁₀₀ (m ³ /s)	83	75	74

Tableau 26 : évolutions des débits décennaux et centennaux (d'après la méthode rationnelle)

2.1.2- A l'échelle des sous-bassins

L'évolution de certains sous-bassins ne suit pas la tendance globale (cf. p. 11-12). Bien que la surface totale des zones cultivées ait diminué, elles ont également été déplacées et concentrées, entraînant des augmentations de la surface de culture sur certains sous-bassins, et plus particulièrement en tête de bassin versant (**carte n°3**). Pour la période 1948-2008, cela concerne notamment les sous-bassins n°9, 17, 19a, 19b, 23a et 23b. Le **tableau 27** présente l'évolution des surfaces cultivées et du coefficient de ruissellement « théorique » par sous-bassin entre 1948 et 2008.

On remarque que le coefficient de ruissellement « théorique » ne permet pas de mettre en évidence une augmentation de l'aptitude au ruissellement corrélée à l'augmentation des surfaces cultivées (idée communément admise), car cette augmentation semble compensée par le reboisement important des bassins au détriment des landes, friches et prairies.

Comme pour le bassin versant global de la Muse, les coefficients de ruissellement auraient diminué depuis 1948, entraînant une diminution des réponses hydrologique du bassin versant (approche par transformation Pluie-Débit par la méthode rationnelle).

Ces résultats font apparaître les limites de ce type d'analyse qui ne permet pas de prendre en compte la localisation des types de surface sur le bassin versant (repose uniquement sur leur étendue). En effet, d'autres paramètres interviennent à priori dans l'aptitude au ruissellement d'un bassin versant tel que sa géologie, les pentes... Ainsi, **la localisation de surfaces cultivées en tête de bassin versant peut entraîner une aggravation des extrêmes hydrologiques : des crues plus fortes et des étiages plus sévères.**

Le drainage des parcelles agricoles, non pris en compte dans cette analyse, peut également jouer un rôle important dans le comportement hydrologique des bassins versants. En effet, du fait du drainage, les eaux interceptées par le sol retournent plus facilement dans les fossés et ruisseaux. La concentration des eaux vers les exutoires étant plus rapide, on peut s'attendre à une accélération de la cinétique de la genèse des épisodes de crue et à une **augmentation des débits de pointe**, illustrée par la **figure 18**.

bassin	Cultures sur le bassin versant			Coefficient de ruissellement « théorique »		
	Superficies (km ²)		Taux d'évolution (% de la superficie des bassins)	Coefficients		Taux d'évolution
	1948	2008	1948-2008	1948	2008	1948-2008
1	0,03	0,02	-14,1%	0,23	0,19	-18,9%
2	0,03	0,01	-22,9%	0,23	0,16	-30,5%
3	0,05	0,02	-21,0%	0,24	0,18	-26,9%
4	0,02	0,01	-13,6%	0,29	0,23	-19,9%
5	0,05	0,03	-15,1%	0,23	0,17	-25,8%
6	0,02	0,02	-21,7%	0,30	0,24	-19,7%
7	0,02	0,01	-3,8%	0,22	0,19	-13,0%
8	0,06	0,05	-1,6%	0,22	0,19	-15,2%
9	0,43	0,50	8,0%	0,26	0,26	-1,5%
10	0,03	0,01	-27,3%	0,24	0,17	-31,2%
11	0,43	0,29	-17,3%	0,27	0,22	-16,9%
12	0,09	0,05	-22,8%	0,28	0,24	-14,6%
13	0,05	0,04	-6,8%	0,26	0,23	-9,4%
14	0,26	0,17	-17,7%	0,28	0,25	-11,0%
15	0,05	0,04	-12,2%	0,28	0,25	-13,1%
16	0,28	0,25	-4,0%	0,27	0,22	-17,6%
17	0,16	0,18	5,3%	0,24	0,22	-6,5%
18	0,06	0,05	-7,7%	0,27	0,25	-7,6%
19	0,03	0,01	-26,6%	0,23	0,19	-17,3%
19a	0,14	0,16	7,2%	0,25	0,25	-2,0%
19b	0,34	0,40	7,2%	0,26	0,25	-4,3%
20	0,12	0,10	-10,6%	0,27	0,24	-9,9%
21	0,02	0,01	-11,9%	0,26	0,18	-28,1%
22	0,47	0,43	-5,9%	0,29	0,27	-6,2%
23	0,19	0,15	-12,3%	0,27	0,24	-12,5%
23a	0,19	0,19	0,1%	0,30	0,30	-2,1%
23b	0,18	0,19	1,6%	0,26	0,26	-1,9%
24	0,01	0,00	-27,3%	0,27	0,19	-24,4%
24a	0,13	0,10	-15,5%	0,31	0,27	-14,1%
24b	0,17	0,16	-5,6%	0,33	0,31	-5,9%
25	0,48	0,44	-5,2%	0,30	0,29	-3,2%
26	0,41	0,21	-16,0%	0,24	0,19	-17,8%
27	0,24	0,17	-14,3%	0,26	0,23	-12,2%
28	0,34	0,28	-10,0%	0,29	0,28	-5,4%
Muse	5,58	4,76	-7,3%	0,27	0,24	-10,5%

Tableau 27: évolution des surfaces cultivées et du coefficient de ruissellement par sous-bassin versant (la carte n°1 permet de repérer les sous-bassins)

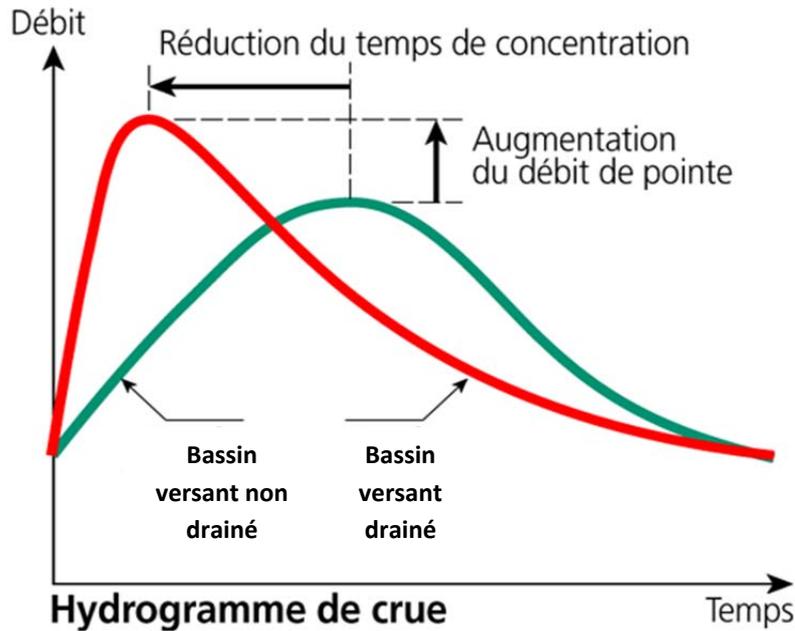


Figure 18 : augmentation du débit de pointe par réduction du temps de concentration

2.2- Evolution des chroniques de débits et de pluie

L'objectif est de pouvoir identifier des changements survenus dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Muse, en analysant les débits enregistrés à St Hippolyte et les pluies enregistrées aux pluviomètres pris comme référence sur le bassin versant. Les données ont été comparées sur les 4 dernières décennies, date de mise en service de la station hydrométrique sur la Muse.

2.2.1- Débit moyen / pluie annuelle

Les débits moyens annuels ont été établis à partir des débits journaliers enregistrés à la station de St Hippolyte et les pluies annuelles à partir des pluies journalières au droit du pluviomètre de Vézins de Lévézou. Ces valeurs ont été calculées par année hydrologique, c'est-à-dire de septembre à aout.

Les données pluviométriques de la station de Saint-Beauzély, implantée dans le bassin versant de la Muse, ne couvrent pas l'intégralité de la période étudiée (seulement de 1982 à 2000). La comparaison des pluies annuelles entre 1982 et 2000 au droit des 3 pluviomètres potentiellement exploitables montrent que les mesures à Vézins de Lévézou sont les plus proches de celles de Saint-Beauzély. C'est pourquoi nous avons étudié les données enregistrées à la station de Vézins de Lévézou, plutôt que celles de Salles-Curan. La chronique des pluies annuelles est représentée sur la **figure 19**.

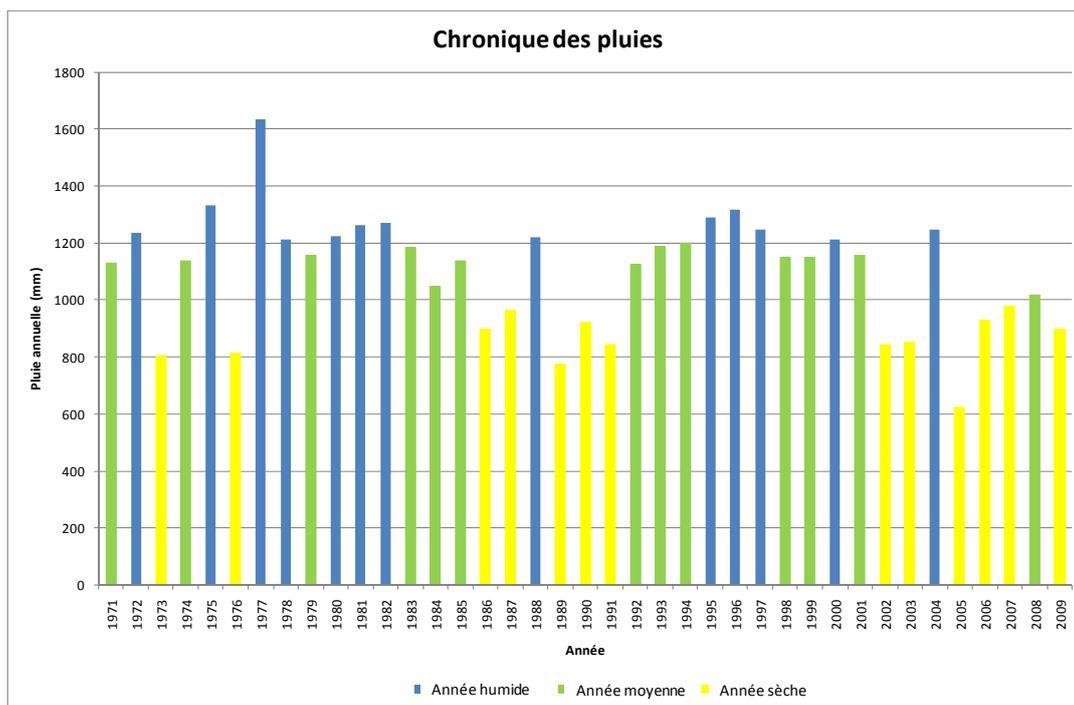


Figure 19 : débits moyens annuels en fonction des pluies annuelles

La figure 20 présente la répartition des débits moyens annuels en fonction des pluies annuelles, par décennie. Globalement, l'ensemble des valeurs est réparti de part et d'autre de la courbe de tendance (déterminée par régression linéaire) : il n'y a donc **pas de tendance d'évolution du débit moyen en fonction de la pluie annuelle**. Toutefois, l'analyse des graphiques montre que :

- **la dernière décennie a été moins arrosée que les précédentes ;**
- les années 2004 et 2005 semblent présenter des anomalies :
 - o 2005 : malgré une pluviométrie très faible (623 mm), le débit moyen reste dans la moyenne interannuelle ;
 - o 2004 : le débit moyen de la Muse est très important (3,5 m³/s) avec une pluviométrie annuelle dans la moyenne (1 250 mm).

Ces anomalies sont également visibles sur la comparaison des lames d'eau écoulées et précipitées (figure 21).

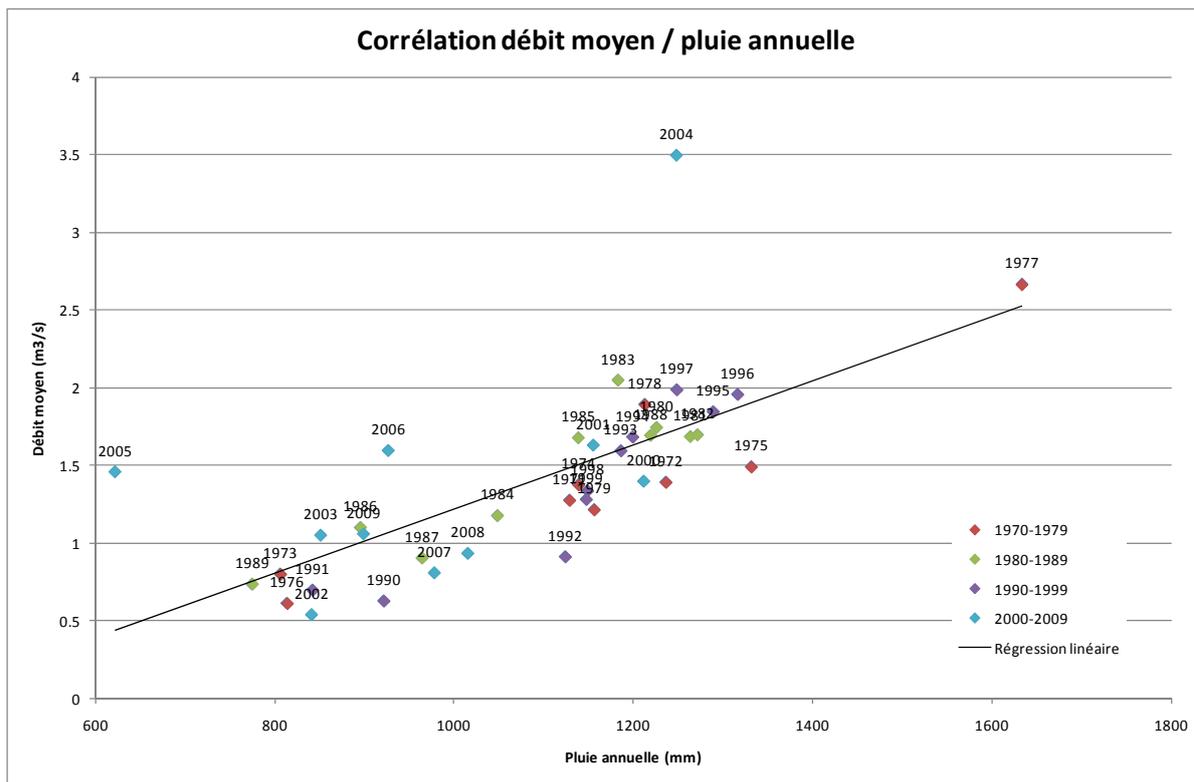


Figure 20 : débits moyens annuels en fonction des pluies annuelles

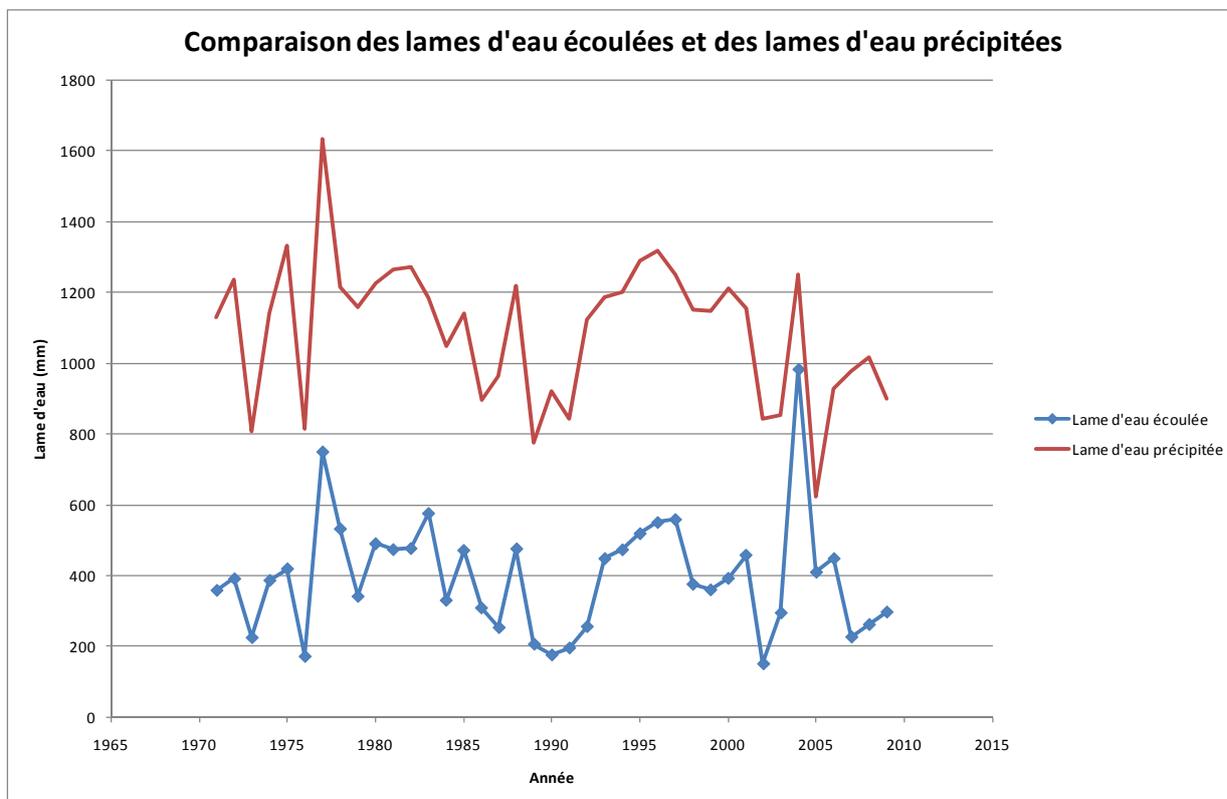


Figure 21 : lame d'eau écoulée au droit de la station de St Hippolyte et lame d'eau précipitée sur le bassin versant

2.2.2- Débits d'étiage

La **figure 22** représente les débits mensuels minimaux annuels (QMNA) enregistrés à la station de St Hippolyte entre 1969 et 2010. Elle montre une **nette tendance à la baisse du QMNA depuis les années 80 environ**, ce qui traduit une aggravation des étiages. Il faut néanmoins préciser que cette tendance est en partie liée aux conditions pluviométriques, l'allure de la **figure 22** étant effectivement proche de celle de lame d'eau précipitée sur la **figure 21**. Autrement dit, il est possible que l'aggravation des étiages soit davantage liée aux récentes conditions pluviométriques plutôt qu'à un changement du fonctionnement hydrologique du bassin versant.

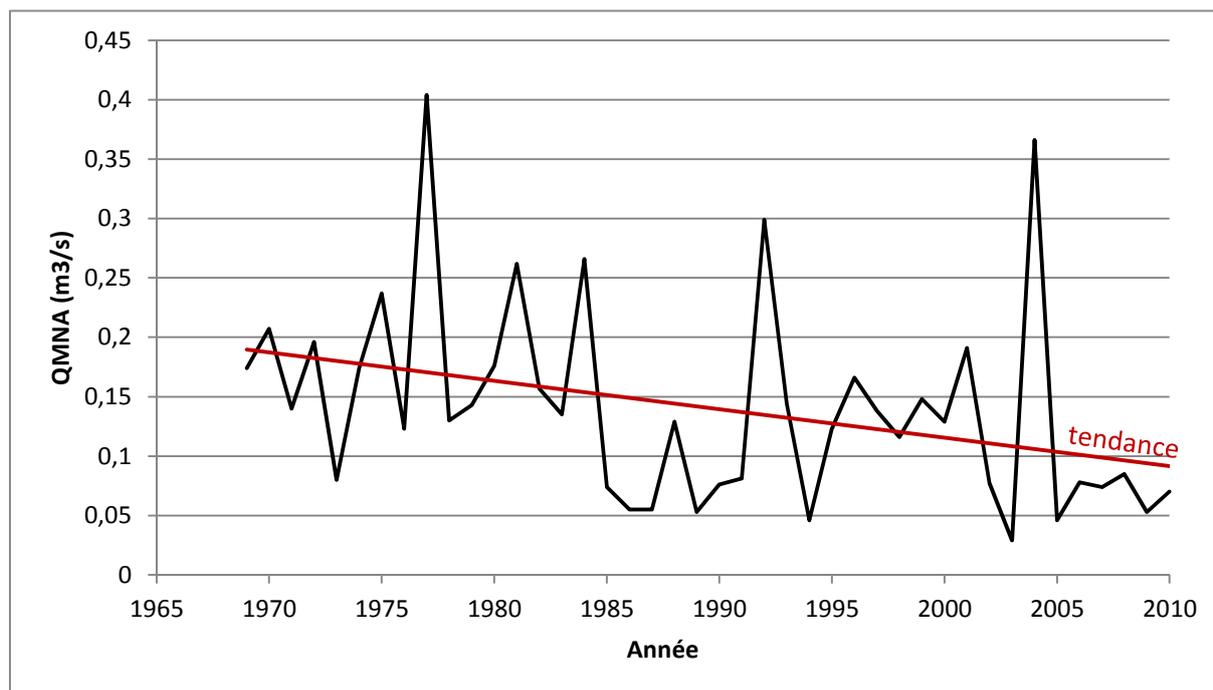


Figure 22 : débits mensuels minimaux annuels (QMNA) à la station de St Hippolyte

2.2.3- Chronique de débits journaliers et de pluies journalières

L'analyse des débits moyens annuels (cf. 2.2.1) n'a pas permis de mettre en évidence de tendance d'évolution dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant. En effet, le pas de temps annuel n'est sans doute pas assez précis pour mettre en évidence une évolution, du fait d'un lissage des extrêmes (crues et étiages). L'analyse des débits mensuels minimaux annuels (cf. 2.2.2) montrent une tendance à l'aggravation des étiages qui est au moins en partie liée aux conditions pluviométriques récentes. Nous avons donc réalisé une troisième analyse afin d'évaluer les changements fonctionnels de l'hydrologie du bassin en étudiant les relations entre les débits et les pluies.

Le Cemagref a développé, depuis les années 1980, des modèles hydrologiques (du Génie Rural – GR) permettant de faire le lien entre la lame d'eau précipitée sur le bassin versant et son débit à l'exutoire (Michel, 1983). Ce type de modèle peut permettre de détecter des changements survenus dans le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant, en identifiant dans la variabilité des séries de débit ce qui vient de la variabilité naturelle des conditions climatiques de ce qui vient de changements des caractéristiques du bassin versant (Andréassian, 2002, Andréassian et al., 2003).

Nous avons donc utilisé le modèle conceptuel global GR4j (Perrin et al., 2003), permettant de réaliser des simulations de débit au pas de temps journalier. C'est un modèle de transformation pluie-débit global à réservoirs, à quatre paramètres optimisables. Ces paramètres n'ont pas de liens directs avec les caractéristiques physiques des bassins versants étudiés et ils sont déterminés par calage du modèle.

2.2.3.1- Principe de modélisation

Il s'agit de découper les chroniques de 40 années, de 1970 à 2009, de débits et de pluies journalières en 4 périodes de 10 ans. On cale le modèle GR4j sur un des échantillons et on le valide sur tous les autres. Cette opération est répétée sur tous les échantillons, ce qui revient à faire tourner GR4j 4 fois en calage et 4x3 fois en validation, soit 16 fois en tout.

Le calage du modèle s'effectue en optimisant les performances du modèle à partir de différents critères permettant de mesurer l'adéquation des débits calculés aux débits mesurés (critère de Nash) et/ou l'erreur entre les volumes calculés et ceux observés (indice des bilans)... On peut également évaluer les performances du modèle à restituer les forts débits et les faibles débits

Le calage du modèle a été réalisé en optimisant le critère de Nash, à savoir l'aptitude du modèle à reproduire les débits observés.

N.B. : Le critère de Nash, critère communément utilisé en hydrologie pour comparer une série calculée à une série observée, est donné par :

$$Nash = 1 - \frac{\sum_1^n (Q_{CAL} - Q_{OBS})^2}{\sum_1^n (\bar{Q} - Q_{OBS})^2}$$

Sa valeur est théoriquement comprise entre $-\infty$ et 100% (100% pour une parfaite concordance)

2.2.3.2- Résultats

Les premiers résultats de calage sur chacune des 4 périodes indiquent que pour la période 2000-2009, les performances du modèle sont moyennes à mauvaises, avec en particulier une mauvaise restitution des forts et des faibles débits. Les anomalies repérées précédemment pour les années 2004 et 2005 sont probablement la cause de l'inaptitude du modèle à reproduire les débits sur cette période. Ainsi, l'échantillon de données de 2000 à 2009 a été tronqué pour la suite de l'analyse permettant d'obtenir de meilleures performances de restitution.

Nous présentons ci-après deux tableaux de résultats : le critère de Nash (**tableau 28**) et l'indice des bilans (**tableau 29**).

Critère de Nash		axe des calibrations					
		70-79	80-89	90-99	00-09		
axe des validations	70-79					-1000 à 20	
	80-89					20 à 50	
	90-99					50 à 70	
	00-09					70 à 80	
						80 à 90	
					90 à 100		

Tableau 28 : critères de Nash en calages / validations croisées, exprimés en pourcentage - Indication de l'aptitude de restitution des débits observés

Le **tableau 28** permet de juger de la capacité d'un modèle calé sur une période à simuler les débits observés sur une autre période. On remarque que les critères de Nash des périodes elles-mêmes (éléments diagonaux) dépassent 80%. On constate également que le modèle calé sur la période 2000-2009 a une moins bonne aptitude à simuler les débits des autres périodes. De même, les modèles calés sur les autres périodes reproduisent moins bien les débits observés entre 2000-2009.

Indice des bilans		axe des calibrations					
		70-79	80-89	90-99	00-09		
axe des validations	70-79					-100 à -50	
	80-89					-50 à -30	
	90-99					-30 à -20	
	00-09					-20 à -10	
						-10 à 11	
					11 à 25		
					25 à 43		
					43 à 100		
					100 à 1000		

Tableau 29 : indices des bilans en calages / validations croisées, exprimés en pourcentage - Indication des écarts entre les volumes calculés et les volumes observés

Le **tableau 29** permet de rendre compte de la qualité des estimations des volumes :

- les bonnes estimations sont représentées en vert ;
- les surestimations des écoulements sont représentées du turquoise au violet ;
- les sous-estimations des écoulements sont représentées du vert clair au rouge.

Il apparaît que les « mauvaises » estimations correspondent à ce qui a été observé sur le critère de Nash, qui se traduisent au niveau des volumes par une très légère surestimation des écoulements de 2000-2009 par presque tous les modèles calés sur les autres périodes (ligne turquoise) et une sous-estimation des écoulements de toutes les autres périodes par les modèles calés sur 2000-2009 (colonne vert clair).

En conclusion, les résultats des simulations et calages du modèle hydrologique tendent à montrer que **le fonctionnement hydrologique du bassin versant s'est modifié principalement dans la dernière décennie, avec une légère tendance à la baisse des débits**. Toutefois, ces résultats sont à utiliser avec précaution. En effet, le choix du mode d'optimisation peut avoir une influence non négligeable sur les résultats, puisqu'il existe une multitude de critères d'optimisation et leurs combinaisons possibles.

On notera que la restitution des faibles débits est relativement bonne, par contre celle concernant les forts débits est moins satisfaisante, plus particulièrement pour la période 2000-2009. Ainsi, **la tendance**

à la baisse concernerait plutôt les étiages et les débits moyens, et il n'est pas possible de s'exprimer quant aux débits de crue.

2.3- Synthèse

L'évolution du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Muse a été analysée à partir de deux méthodes :

- **analyse de son aptitude au ruissellement (coefficient de ruissellement) corrélée à l'occupation des sols**

Globalement, le bassin versant de la Muse s'est reboisé depuis les années 50, au détriment des cultures, prairies, landes et friches. **Cette évolution, à l'échelle du bassin versant total, se traduit par une légère diminution du coefficient de ruissellement « théorique », entraînant une diminution de quelques m³/s des débits de crue estimés par la méthode rationnelle** (méthode de transformation pluie-débit qui tient compte du coefficient de ruissellement).

Une analyse plus fine, à l'échelle des sous-bassins versants, montre que les surfaces cultivées, globalement en recul depuis 1948, se sont déplacées et concentrées sur certains sous bassins versants, notamment en tête de bassin versant. **Le déplacement des surfaces cultivées devrait avoir pour conséquence d'aggraver les extrêmes hydrologiques : des crues plus fortes et des étiages plus sévères.** En revanche, cela ne peut pas apparaître dans l'évolution des coefficients de ruissellement, qui suit la tendance générale du bassin versant, mettant ainsi en évidence les limites de ce type d'analyse.

- **analyse des chroniques de pluies et de débits**

L'analyse des pluies et débits moyens annuels ne permet pas de mettre en évidence une tendance d'évolution à la hausse ou à la baisse des débits moyens. Par contre, il ressort que les années 2004 et 2005 présentent des anomalies, soit en termes de débit, soit en termes de pluviométrie. Il ressort également une nette diminution des débits d'étiage depuis les années 80 environ. Cette dernière tendance est néanmoins liée, au moins en partie, à l'évolution des précipitations.

La mise en œuvre d'un modèle hydrologique a permis une analyse plus fine, en traitant les données au pas de temps journalier. Il ressort que **le comportement hydrologique du bassin versant semble s'être modifié au cours de la dernière décennie, avec une légère tendance à la baisse des débits d'étiage et des débits moyens.** En ce qui concerne les débits de crue, la rareté de ces épisodes et leur non reproductibilité fait qu'il est impossible de conclure sur leur évolution au cours du temps.

En conclusion, les différentes analyses hydrologiques réalisées tendent à montrer que le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Muse a légèrement évolué depuis 1948 et plus particulièrement sur la dernière décennie : une tendance à la baisse des débits d'étiage et des débits moyens ressort, avec une évolution plus nette depuis les années 2000. Concernant les débits de crue, les analyses réalisées ne permettant pas de conclure quant à leur évolution. Toutefois, qualitativement, la position de surfaces cultivées en tête de bassin versant et le développement des drainages laissent supposer que les débits en crue auraient eu tendance à augmenter depuis les années 50.

INVENTAIRE ET DIAGNOSTIC DES CHAUSSEES

Ce chapitre se concentre sur la problématique des seuils artificiels (ou chaussées). Les fiches descriptives de chaque ouvrage sont regroupées dans un rapport annexe. Elles présentent en détail les points suivants :

- Informations générales : localisation (carte et PK), propriétaire, ancienneté ;
- Description : dimensions, matériaux, schémas et illustrations photographiques,
- Fonctionnement et état : état de l'ouvrage vis-à-vis des fuites, affouillements, fissures... état de la végétation riveraine, indice global de désordre ;
- Usage(s) ;
- Impacts et enjeux : remous solide, influence sur le transport solide, la stabilité des berges et la circulation piscicole, enjeux liés aux usages et aux terres riveraines.

La **carte n°20** montre la répartition des ouvrages, ainsi que les hauteurs de chute et possibilités de franchissement correspondantes. Il faut rappeler que la classification de la franchissabilité s'appuie en premier lieu sur la hauteur de chute mais que les aménagements permettant ou améliorant le franchissement sont pris en compte.

1- Localisation et description des chaussées

Les chaussées ont été dans un premier temps localisées lors de la campagne de terrain associée au diagnostic géomorphologique réalisé par DYNAMIQUE HYDRO. Elles ont ensuite fait l'objet d'un examen détaillé réalisé par HYDRETUDES.

Il faut préciser que les 25 chaussées caractérisées par les fiches ouvrages correspondent uniquement aux chaussées localisées sur les branches principales de la Muse et de la Muzette.

Plusieurs ouvrages (chaussées ou passages busés) ont également été découverts sur les affluents du bassin, lors de l'état des lieux de l'ensablement. Ces derniers ne sont indiqués sur la **carte n°20** qu'à titre indicatif (inventaire non exhaustif !), pour illustrer le fait qu'un grand nombre d'ouvrages, généralement à l'abandon, sont implantés sur le bassin versant et constituent des obstacles à la circulation piscicole dans le réseau hydrographique.

2- Recherches en archives et entretiens avec les propriétaires

Des recherches aux archives départementales ont été menées sans succès pour retrouver les propriétaires et dates d'implantation des chaussées. En effet, la plupart des ouvrages mentionnés dans les archives ont été détruits. La recherche des propriétaires a finalement pu aboutir avec le concours des communes du bassin versant.

Des entretiens téléphoniques ont été effectués auprès des propriétaires. Ils ont permis de compléter les observations collectées sur le terrain, notamment sur les points suivants :

- date d'implantation ;
- usage initial et actuel ;
- projet de modification (destruction, restauration, autre) ;
- attachement à l'ouvrage.

Le **tableau 30** synthétise les informations relatives à chaque chaussée.

chaussée	personnes interrogées	Construction	Usage initial	Usage actuel	Attachement	Projet	Commentaires
Mu1	1	< fin 18ème	M	0	Fort	R	moulin existant, canal d'aménagé fonctionnel
Mu2							aucun contact téléphonique
Mu3	1	années 80	P	0	0	0	
Mu4	1	< fin 18ème	M	0	Fort	R	moulin existant, canal d'aménagé comblé
Mu5	1	vieux	I/M ?	0	Fort	0	prise d'eau de l'ancien moulin de castelmus?
Mu6	1	vieux	I	I	Fort	0	
Mu7	1	vieux	I	0	Fort	0	
Mu8	1			0	0	0	
Mu9	1	vieux	I	0	0	0	
Mu10	2	vieux (<années 40)	I	0	ind.	0	
Mu11	1	vieux	I	0	0	D	
Mu12	1	années 70	E	0	0	D	
Mu13							refus
Mu14	1	vieux	I	0	0	0	
Mu15	1	vieux	I	0	Fort	0	
Mu16	2	vieux (<années 40)	I	0	0	0	
Mu17	2	vieux (<années 40)	I	autre	Fort	0	alimente un petit bassin en rive droite
Mu18	0		R	R	-	-	ouvrage de stabilisation de la RD96
Mu19	1	vieux	I	0	ind.	0	
Mu20	1	vieux	I	I	Fort	0	utilisation quand le climat le permet (dernière utilisation il y a 4 ou 5 ans)
Mu21							aucun contact téléphonique
Mz1	1	vieux	I	I	ind.	0	dernière utilisation il y a 8 ans. Souhait d'utiliser à nouveau
Mz2	1	< fin 18ème	M	0	ind.	0	prise d'eau d'un ancien moulin
Mz3	2	vieux	I/M ?	0	0	0	prise d'eau d'un ancien moulin ou irrigation ?
Mz4	1		P	P	Fort	0	moyen d'accès à une parcelle agricole en rive gauche

Légende:

I	Irrigation des parcelles riveraines
M	Prise d'eau d'un moulin
R	Radier (stabilisation d'ouvrage)
P	Passage à gué
E	Production électrique
autre	
Fort	Fort attachement à l'ouvrage
ind.	Indécis
R	Restauration
D	Destruction
0	Aucun usage, attachement ou projet

Tableau 30 : synthèse des résultats des entretiens téléphoniques avec les propriétaires de chaussée

2.1- Historique

La plupart des chaussées recensées ont une origine ancienne, voire très ancienne (antérieur à la fin du 18^{ème} siècle).

Leur usage principal était d'irriguer les prairies ou cultures riveraines des cours d'eau (**figure 24**). Selon les témoignages des riverains et des propriétaires interrogés lors des entretiens téléphoniques, les chaussées destinées à l'irrigation étaient nettement plus nombreuses au début du 20^{ème} siècle. Faute d'entretien, la plupart d'entre elles auraient été détruites par les crues successives durant les dernières décennies.

Quelques-unes constituaient des prises d'eau pour l'alimentation des moulins dont il subsiste quelques témoins, dans des états de conservation variable. La **figure 23** montre que les moulins à eau étaient effectivement fréquents sur le bassin à la fin du 18^{ème} siècle.

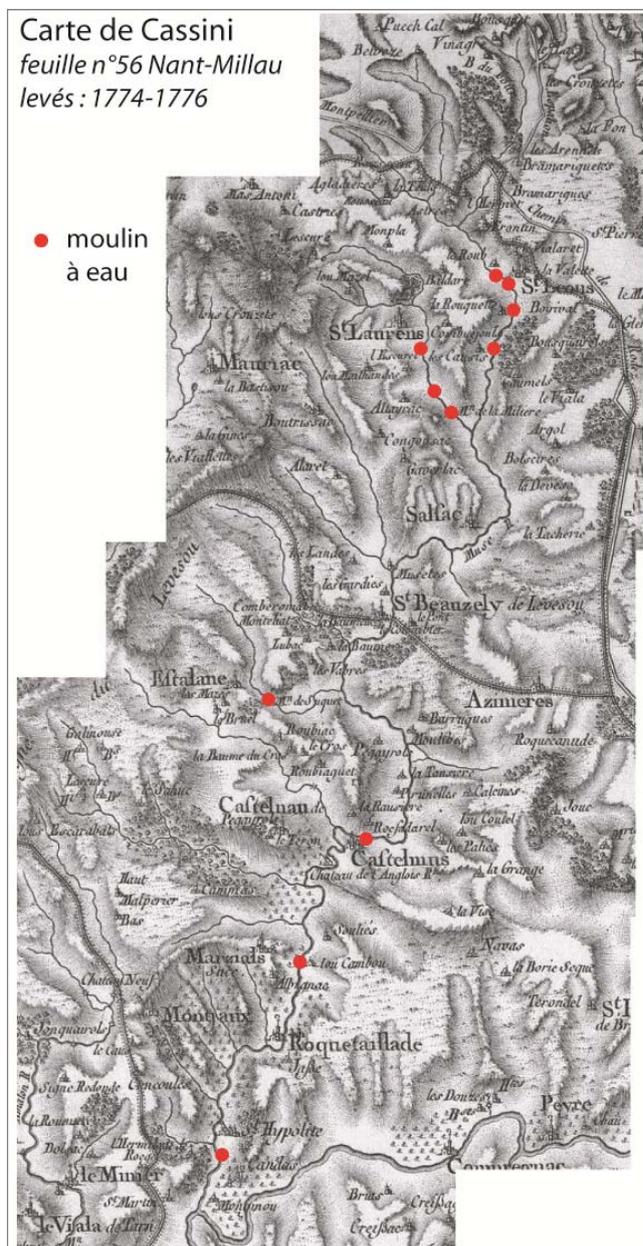


Figure 23 : localisation des moulins à eau inventoriés sur la carte de Cassini à la fin du 18^{ème} siècle

2.2- Usages actuels

La grande majorité des chaussées n'ont plus d'usage fonctionnel : seules 3 chaussées sont encore ponctuellement utilisées pour irriguer les parcelles riveraines (figure 24). En revanche, les propriétaires sont généralement très attachés à leurs ouvrages. Ils souhaitent les maintenir en place, mais assurent rarement leur entretien.

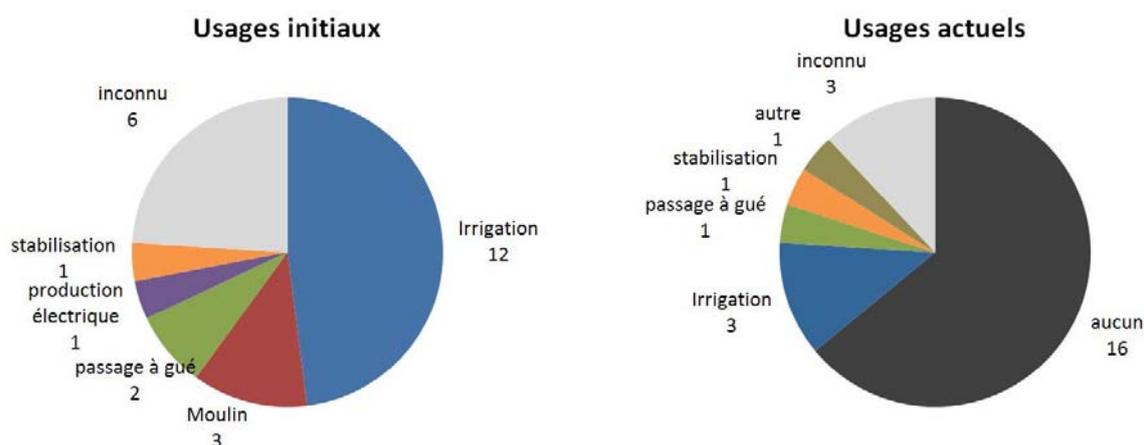


Figure 24 : usages des chaussées

3- Impact des chaussées sur la continuité écologique

3.1- Influence sur la circulation piscicole

La franchissabilité des ouvrages est difficile à évaluer car elle dépend de multiples facteurs. Pour un poisson donné et pour un débit donné, elle dépendra de la hauteur de chute, de la longueur et de la pente de l'ouvrage, de la profondeur et la longueur de la fosse d'appel (au pied de l'ouvrage), du fractionnement éventuel de la chute (ex. : franchissement en 2 sauts) et de la présence d'ouvrage de franchissement. Elle varie encore selon l'espèce et la taille de l'individu, ainsi qu'avec les conditions hydroclimatiques (vitesse des écoulements, hauteur d'eau et température de l'eau). Le classement des ouvrages présente donc une part d'incertitude et doit être considéré comme indicatif. Soulignons également que ce classement représente la franchissabilité à la montaison (sens aval-amont) car, de manière générale, les problèmes de franchissement des ouvrages en dévalaison (sens amont-aval) sont nettement moins importants durant les crues.

Nous nous sommes en grande partie appuyé sur la classification en 6 classes (notées de 0 à 5) du référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE ; ONEMA 2011). La dénomination des classes a néanmoins été légèrement modifiée. Par ailleurs, 8 des 25 ouvrages étaient déjà évalués par ce référentiel : 4 ont conservés la même note, 4 ont été surclassés.

La majorité des chaussées recensées sont infranchissables à difficilement franchissables (tableau 31). Le secteur S3, en amont des gorges de Castelmus (carte n°20), est particulièrement cloisonné. En aval (secteurs S1 et S2), seules deux chaussées constituent un réel obstacle à la circulation piscicole au

niveau de Saint Hippolyte et du Moulin de Cambon. Quelques ouvrages importants sont également présents sur la Muse amont et la Muzette.

Franchissabilité	Nombre d'ouvrages	Hauteur de chute	Nombre d'ouvrages
0 - Absence d'obstacle (ex. : vanne de fond)	1	< 0,5 m	4
1 - Permanente (libre circulation à l'exception des plus petits individus)	3	0,5 à 1 m	5
2 - Limitée (blocage lorsque les conditions hydroclimatiques sont défavorables)	4	1 à 1,5 m	7
3 - Difficile (impact important en conditions moyennes)	7	> 1,5 m	9
4 - Très difficile (franchissable uniquement lors de conditions exceptionnelles)	4		
5 - Infranchissable	6		

Tableau 31 : franchissabilité et hauteur de chute des chaussées recensées

L'impact des chaussées considérées ci-dessus sur la circulation piscicole est donc globalement important. De plus, les quelques ouvrages supplémentaires observés sur les affluents (inventaire non exhaustif) et les obstacles naturels (seuils, chutes et cascades) des portions aval rencontrés sur de nombreux affluents de rive droite viennent encore augmenter le cloisonnement des différentes portions du réseau hydrographique.

3.2- Influence sur le transport solide

Il s'agit d'aménagements anciens qui présentent une pente nulle ou très faible (différence d'altitude entre la crête du seuil et le fond du lit en amont). Du point de vue du transport solide, ils ne piègent donc plus sinon très peu de sédiments. En revanche, leur influence sur la pente de la ligne d'eau (et donc sur l'énergie des écoulements) dans les zones de remous solide (linéaire amont sous de la chute de l'ouvrage l'influence de la ligne d'eau) diminue la capacité de transport des écoulements.

Ces ouvrages n'entraînent pas de déficit sédimentaire significatif qui pourrait engendrer à son tour un phénomène de pavage et/ ou d'armurage du lit ou encore une incision (cf. paragraphe 2.3.2). L'incision du lit est par ailleurs impossible étant donné la fréquence des affleurements rocheux. **En revanche, les sédiments stockés dans les remous solides depuis leur implantation constituent une réserve intéressante pour favoriser davantage la recharge sédimentaire, et potentiellement, la qualité des habitats aquatiques.**

1- Description synthétique

Le bassin versant de la Muse présentent une faible activité érosive, du moins en ce qui concerne la production de matériaux grossiers qui contribuent à recharger le stock alluvionnaire des cours d'eau (graviers et galets constituant la charge de fond et généralement considérés comme les sédiments « utiles » au cours d'eau). Une grande partie du linéaire est bordée par des versants rocheux et/ou par des berges peu érodables qui fixent le tracé en plan des cours d'eau (contrôle horizontal). La dynamique latérale des cours d'eau est donc extrêmement faible, c'est-à-dire que leurs possibilités de divagation sont extrêmement réduites si bien que les érosions de berges le sont également. La fourniture sédimentaire est par conséquent prédominée par les apports des versants (érosion des sols par ruissellement, éboulements, glissements de terrain...) qui fournissent aux cours d'eau des matériaux de toutes tailles. Ces apports sont plus importants dans les fonds de vallée étroits et encaissés où la proximité, la pente et la hauteur des versants favorisent leur érosion et l'introduction des matériaux érodés dans les cours d'eau.

Les volumes de sédiments en transit sont donc relativement faibles. Pour autant, les cours d'eau ne présentent pas de déficit sédimentaire. De plus, il n'y a pas de risque d'incision car la majeure partie des chenaux sont fréquemment ponctués (sinon plus) par des affleurements rocheux qui contrôlent le niveau du lit (contrôle vertical).

En effet, une grande partie du linéaire se rapprochent des cours d'eau dits à lits rocheux : les fonds sont en partie constitués d'affleurements rocheux ou de fragments rocheux (blocs) qui dépassent la compétence des écoulements, et présentent relativement peu d'alluvions meubles ; ils s'agencent en séquences chute-cuvette ou marche-cuvette parfois associées à des rapides. Ces faciès d'écoulement et alternances de faciès permettent de dissiper une partie de l'énergie élevée des écoulements (liée à la pente forte). On retrouve particulièrement ces caractéristiques sur les tronçons intermédiaires des affluents qui font la jonction entre les zones de plateau et le fond de vallée de la Muse et de la Muzette, et sur les extrémités amont de certains affluents de rive droite (en tête des sous-bassins de Brinhac, Caves, Coste Cave, Falguières, Fouyrouse, Landes, Muzette et Rivaldiès). On les retrouve également sur les branches principales, de manière continue sur le secteur S2, de manière discontinue sur les secteurs S3 et S6, et de manière ponctuelle sur le secteur S5.

Ailleurs, les cours d'eau se rapprochent un peu plus des chenaux rectilignes ou peu sinueux à fond mobile avec une énergie modérée : ils s'organisent généralement en séquences seuil-mouille ou radier-plat et présentent un fond de vallée nettement plus alluvial (présence d'alluvions et la fréquence des affleurements rocheux est plus rare) ; leur mobilité latérale reste faible, voire très faible, mais elle est supérieure à celle des tronçons évoqués ci-dessus car ils s'écoulent dans des fonds de vallée plus larges ; leur pente modérée les rend plus sensibles à l'ensablement. On retrouve en fait ces caractéristiques essentiellement sur les cours d'eau du plateau du Lévezou. Dans une moindre mesure, certains tronçons des branches principales du réseau hydrographique se rapprochent également de cette description.

C'est davantage le cas sur le secteur S4 de la Muse et on peut encore observer ponctuellement ces caractéristiques au niveau des secteurs S1, S3, S5 et S6.

Enfin, il faut bien entendu distinguer les affluents de rive droite (parmi lesquels sont inclus les affluents de la Muse amont et de la Muzette, au nord du bassin) qui s'écoulent sur des roches métamorphiques, des affluents de rive gauche associés au système karstique des roches sédimentaires du Causse Rouge. La nature des roches sous-jacentes impose des fonctionnements hydrologiques et géomorphologiques très différents. Les premiers constituent des cours d'eau pérennes, régulièrement en eau et propices à la vie aquatique. Ils sont en revanche plus sensibles à l'ensablement et c'est d'autant plus le cas sur le plateau du Lévezou dont les terrains sont plus propices à la mise en cultures, ce qui favorise la production de sédiments fins. Les seconds sont des cours d'eau intermittents, en eau durant une très courte durée de l'année, qui fonctionnent par pulsations rythmées par les événements pluvieux importants.

2- Synthèse des évolutions

L'évolution de l'occupation du sol du bassin versant au cours de la seconde moitié du vingtième siècle est marquée par un important reboisement. Celui-ci s'est principalement réalisé au niveau des zones de fortes pentes qui font la jonction entre les plateaux et les fonds de vallée de la Muse et des tronçons aval des affluents, ainsi que sur les parties amont des bassins d'Estalane et de Falguières (en partie lié au développement d'exploitations forestières). Les secteurs amont des bassins de Fouyrouse, Brinhac, Rivaldiès, Landes et Coste Cave ont également été mis en cultures entre 1948 et 1978 en remplacement de surfaces classées en *landes, friches et prairies permanentes* qui dominaient toute la bordure ouest du bassin en 1948. Plus récemment, entre 1978 et 2008, ce fut encore le cas sur les bassins de Falguières, Sagette, la Muzette et la Muse amont, et à nouveau sur ceux de Brinhac, Fouyrouse et Rivaldiès. Enfin, la moitié des prairies permanentes ont été converties en prairies temporaires (ou artificielles), ce qui concerne environ 13% de la superficie totale du bassin versant.

D'un point de vue hydrologique, ces évolutions auraient eu pour conséquence de diminuer légèrement les volumes ruisselés et les débits de pointe des crues d'après les résultats de la méthode rationnelle (basée sur l'évolution du coefficient de ruissellement moyen). Toutefois, cette méthode présente deux limites fondamentales. La première réside dans le fait qu'elle n'intègre pas la localisation des types de surface sur le bassin versant. Aussi, les résultats obtenus ne prennent pas en compte l'impact du déplacement d'une partie des surfaces cultivées vers les têtes de bassin versant qui constituent généralement des réservoirs hydriques restituant l'eau progressivement (effet tampon). Une seconde limite réside dans la non prise en compte des drainages des parcelles agricoles, qui se seraient vraisemblablement développés à partir des années 70. Ces aménagements ont une forte influence sur le comportement hydrologique des bassins versants en interceptant une partie des eaux auparavant destinées à alimenter les écoulements souterrains et en accélérant l'évacuation des eaux superficielles du bassin versant. Il est donc nettement plus vraisemblable que l'évolution de l'occupation des sols et des pratiques ait entraîné une aggravation des extrêmes hydrologiques, c'est-à-dire des crues plus intenses et des étiages plus sévères. Il faut souligner que ces évolutions sont plus importantes au niveau des affluents. Le reboisement important du bassin tend à atténuer cet impact sur les secteurs aval de la Muse.

D'un point de vue géomorphologique, la mise en culture des têtes de bassin versant a contribué à l'érosion des sols et à la production de sédiments fins (sables et limons). Ceci a également été favorisé par la conversion d'une grande partie des prairies permanentes en prairies temporaires, qui implique un retournement plus fréquent des sols. De plus, les drainages agricoles ont un impact important sur l'ensablement des cours d'eau. En revanche, si l'influence des drainages est clairement démontrée par les analyses statistiques, il est difficile de préciser pourquoi. L'augmentation de l'érodibilité des sols par assèchement pourrait être une explication car les sols secs sont les plus sensibles à l'érosion. L'impact sur l'ensablement des cours d'eau se concentre sur les tronçons amont et intermédiaires des bassins affectés par ces évolutions de l'occupation des sols et des pratiques culturales (Brinhac, Coste Cave, Falguières, Fouyrouse, Landes, Rivaldiès, Sagette, Muse et Muzette amont) car, plus en aval, la pente importante des cours d'eau permet une évacuation rapide des sables. Ainsi, la plupart des affluents de rive droite du plateau du Lévézou présentent un ensablement important. Dans certains cas, et particulièrement sur le ruisseau d'Estalane, l'ensablement affecte également les tronçons aval qui présentent pourtant une pente élevée.

Enfin, le reboisement des versants les plus escarpés, qui font la jonction entre les plateaux et les fonds de vallée de la Muse et des tronçons aval des affluents, a conduit à une diminution de leur érosion. Il est difficile d'évaluer l'impact de cette évolution sur la fourniture sédimentaire aux cours d'eau, autant d'un point de vue quantitatif (volumes érodés) que qualitatif (type de matériaux). On peut supposer que cela peut avoir réduit la part des apports en matériaux grossiers dans les parties basses du réseau hydrographique (Muse, Muzette et les tronçons aval des affluents) par rapport aux apports en sédiments fins car les sources de sédiments grossiers sont rares.

3- Perturbations hydro-morphologiques, enjeux écologiques et orientations de gestion

3.1- Synthèse à l'échelle du bassin versant

3.1.1- Perturbations et dysfonctionnements

La **carte n°21a** localise les principaux dysfonctionnements ou sources de dysfonctionnement : ensablement, érosion, rupture de la continuité écologique (impact des chaussées vis-à-vis de la circulation piscicole et sédimentaire), drainages agricoles. Les captages d'eaux souterraines ou superficielles ne sont pas inclus car il n'existe pas à ce jour d'inventaire géolocalisé fiable et exhaustif (problèmes d'exhaustivité, de précision et d'ancienneté des bases de données disponibles).

D'un point de vue géomorphologique, **le principal problème rencontré sur le bassin versant de la Muse est l'ensablement des parties amont du réseau hydrographique**. La plupart des affluents de rive droite, à l'ouest du bassin, sont ensablés, et plus particulièrement sur le plateau. C'est également le cas de la Muse amont, de la Muzette et de leurs affluents, au nord du bassin. La pente des cours d'eau, qui traduit leur capacité à transporter ou à stocker les sédiments, constitue le principal facteur de contrôle de l'ensablement. Les analyses statistiques ont également confirmé que l'occupation des sols et certaines pratiques culturales ont un rôle déterminant : les surfaces cultivées favorisent la production et l'introduction de sédiments fins dans le cours d'eau ; les surfaces boisées protègent au contraire les sols

de l'érosion et jouent un rôle de filtre vis-à-vis des sédiments érodés sur les versants lorsqu'elles sont implantées en bordure de cours d'eau ; les analyses statistiques ont particulièrement montré que les drainages agricoles ont un impact encore plus important. Il faut rappeler que la localisation des drainages agricoles ne résulte pas d'un inventaire exhaustif mais qu'il s'est concentré sur les affluents de rive droite et la partie amont de la Muse (**carte n°21b**), et encore uniquement sur les parcelles situées à proximité ou en contact direct avec le réseau hydrographique (cf. page 40).

D'un point de vue hydrologique, de nombreux riverains ont témoigné de la **raréfaction des écoulements dans les cours d'eau de tête de bassin versant**, qui se traduit par de longues périodes d'assecs estivaux. Les drains agricoles favorisent nettement cette tendance. Les captages destinés à l'alimentation en eau potable ou à l'irrigation peuvent également participer à l'assèchement des cours d'eau. On observe également une tendance à l'**aggravation des étiages plus en aval**, à l'exutoire du bassin versant (diminution du QMNA ; **figure 20**). Bien que celle-ci soit en partie liée aux précipitations globalement plus faibles durant les dernières décennies, les différentes analyses pluie-débit révèlent que le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Muse a légèrement évolué depuis 1948, et plus particulièrement sur la dernière décennie, favorisant une diminution des débits d'étiage et des débits moyens.

Ces dysfonctionnements hydrologiques et géomorphologiques ont probablement un impact important sur l'écologie des cours d'eau. Il faut souligner qu'ils affectent principalement les tronçons amont du réseau hydrographique. Plus en aval, il n'y a pas de problème d'ensablement et la diminution des débits d'étiage n'a pas de conséquence aussi grave que sur les petits cours d'eau en amont.

Le suivi thermique des eaux réalisé par la FDPPMA de l'Aveyron (entre 2005 et 2009) met toutefois en évidence des **températures élevées en période estivale sur la Muse en aval de Moulibez** : la température moyenne des 30 jours les plus chauds dépasse ou approche très fréquemment 18°C. C'est donc à partir du secteur S3 (soit au niveau de Moulibez, en amont des gorges de Castelmus) où l'on dénombre 10 chaussées sur 3,5 km que la température constitue un problème pour la vie piscicole. Ces ouvrages contribuent au réchauffement des eaux en ralentissant les écoulements. Plus en amont, le plan d'eau du Bois des Fours est également responsable d'une partie du réchauffement.

Outre l'impact thermique, les chaussées constituent des obstacles à la continuité écologique, c'est-à-dire à la circulation de la faune aquatique et des sédiments. En fait, l'impact sur le transit sédimentaire est faible car les chaussées sont anciennes. Par conséquent, elles ralentissent le transport des sédiments mais elles ne les piègent pas (ou très peu). L'impact sur la circulation piscicole est en revanche nettement plus important car **la majorité des ouvrages recensés sont infranchissables ou difficilement franchissables à la montaison**. Soulignons néanmoins que **les chaussées constituent un problème secondaire au regard des contextes historiques et géomorphologiques du bassin versant**. D'une part, les populations piscicoles étaient réputées abondantes quelques décennies auparavant alors que les chaussées étaient largement plus nombreuses. D'autre part, un certain nombre d'obstacles naturels (cascades, chutes et seuils naturels) cloisonnent naturellement certaines portions du réseau hydrographique.

Enfin, nous signalons une incision régressive au niveau du confluent Muse-Brinhac. L'érosion du lit et des berges en amont reste limitée mais le phénomène pourrait éventuellement progresser.

3.1.2- Enjeux écologiques

La **carte n°22** présente les principaux enjeux écologiques. Elle résulte d'informations externes (données non collectées durant l'étude) :

- les zones humides potentielles (sources : PNRGC, ADASEA) ;
- les ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) ;
- une note globale de qualité des habitats piscicoles sur la Muse établie d'après l'évaluation de la diversité des faciès, de l'abondance des frayères, et de l'abondance des abris et caches à poissons (source des données de base : FDPPMA de l'Aveyron – Schéma Départemental de Vocation Piscicole 1998) ;
- les tronçons proposés pour la révision du classement des cours d'eau au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement, visant à réglementer la mise en place, l'entretien et l'équipement des ouvrages transversaux (source : DDT Aveyron – réunion départementale de concertation à Rodez le 22 octobre 2010) :
 - o la liste 1 correspond aux tronçons considérés en très bon état écologique ;
 - o la liste 2 correspond à des tronçons présentant des enjeux moindres mais tout de même intéressants pour la restauration de la continuité écologique.

Les deux premiers éléments constituent clairement des zones à préserver pour maintenir la biodiversité sur le bassin versant de la Muse. Les zones humides ont également un effet tampon qui permet une restitution progressive des eaux aux cours d'eau, et donc favorable au soutien des étiages. Les deux éléments suivants permettent d'évaluer sommairement ou de comparer l'intérêt écologique des différentes portions du réseau hydrographique.

Les affluents de rive droite présenteraient donc un fort intérêt écologique. Or, comme nous l'avons vu ci-avant, ils sont menacés par l'ensablement. Sur la Muse, les secteurs 2 (entre Castelmus et Roquetaillade) et 4 (entre la Muzette et Estalane) sont probablement les plus intéressants à ce jour d'un point de vue de la qualité des habitats piscicoles. La Muse et la Muzette amont (secteurs 5 et 6) sont en revanche fortement ensablés.

3.2- Dysfonctionnements et orientations de gestion par secteur

RAPPEL : les secteurs sont localisés sur la carte n°1 (annexe 2)

3.2.1- Affluents

Les affluents de rive gauche sont des cours d'eau non pérennes, en eau uniquement pour des événements pluvieux importants, dont la gestion n'apparaît pas pertinente.

Les affluents de rive droite (ainsi que les affluents de la Muse amont et de la Muzette, au nord du bassin), présentent plus d'intérêt d'un point de vue écologique. Certains d'entre eux sont par ailleurs proposés pour le classement en Liste 1 (Très Bon Etat écologique) au titre l'article L214-17 du code de l'environnement et leur gestion pourrait par conséquent constituer un axe majeur d'intervention (**carte n°22**). Ils présentent un ensablement important qui est favorisé par les terres cultivées en général, et par les parcelles drainées en particulier. Il faut souligner que les parcelles connectées au réseau hydrographique (en contact direct avec les cours d'eau) ont un impact plus important. Il est donc recommandé de développer ou de maintenir des zones tampons végétalisées entre le cours d'eau et les

parcelles agricoles. Outre le piégeage des flux de sédiments, ces zones tampons, souvent implantées sous la forme de bandes enherbées, permettent de limiter les apports de polluants (engrais et produits phytosanitaires). Lorsqu'elles sont implantées sous la forme d'un cordon végétal plus large et plus dense, incluant des arbres et arbustes, elles constituent souvent des espaces à fort intérêt écologique (pour la végétation et sur le plan ornithologique), et contribuent à limiter le réchauffement et l'évaporation des eaux.

Concernant le soutien des étiages, il n'y a malheureusement pas de « remèdes miracles » pour prévenir les assècs estivaux. Nous pouvons uniquement recommander de limiter l'implantation des drains agricoles, voire de supprimer les drains existants, et de limiter les prélèvements d'eau dans les cours d'eau ou dans les nappes en période estivale. Ces mesures sont néanmoins très contraignantes, notamment pour les exploitants agricoles.

Une démarche de sensibilisation des acteurs locaux aux problématiques locales de ressource en eau et d'ensablement des cours d'eau pourrait diminuer les pressions humaines sur le milieu naturel.

3.2.2- Secteur 7

Le ruisseau de Brinhac ne présente aucun dysfonctionnement apparent, du moins dans sa partie aval (identifiée comme le secteur S7 sur la **figure 1** et la **carte n°1**). Le lit est tout de même asséché en période estivale dans la partie intermédiaire du ruisseau (en amont, entre le hameau de la Coste et la confluence avec le ruisseau des Landes). L'amélioration des conditions hydrologiques dans ce dernier tronçon dépend du soutien des étiages de ses affluents plus en amont.

3.2.3- Secteurs 5 et 6

Les ruisseaux de la Muzette et de la Muse amont présentent tous deux un ensablement très important du lit qui constitue une altération majeure des habitats aquatiques. Une solution consiste à implanter deux bassins de dessablement (en génie végétal, muni d'un seul seuil de fond sans impact sur la circulation piscicole) à l'amont de ces secteurs pour piéger une grande partie des sables fournis par leurs affluents.

Un problème de deuxième ordre concerne la circulation piscicole, qui est limitée par 2 (Muse amont) et 4 (Muzette) seuils infranchissables ou difficilement franchissables (**carte n°20**). Le dérasement ou l'aménagement de ces ouvrages est donc préconisé.

Enfin, il faut rappeler que les suivis thermiques réalisés en étés 2007, 2008 et 2009 mettent en évidence un important réchauffement des eaux au niveau du plan d'eau du « Bois du Four » : la température moyenne maximale sur 30 jours consécutifs augmente de près de 2°C entre les tronçons amont et aval de ce plan d'eau.

3.2.4- Secteur 4

Ce secteur présente un ensablement important dans sa partie amont (essentiellement entre la Muzette et le ravin de Vayssède), puis retrouve une qualité d'habitat satisfaisante en aval du ruisseau du Rivaldiès. La mise en place des bassins de dessablement proposée ci-dessus bénéficierait également à cette partie du cours d'eau.

Un court tronçon présente une incision régressive (érosion verticale du lit consécutive à la destruction d'une chaussée au confluent Muse-Brinhac) sur la commune de Saint-Beauzély, juste en amont de la

confluence avec le ruisseau de Brinhac. L'incision est actuellement modérée mais récente donc elle pourrait encore progresser. Nous préconisons donc un suivi léger du tronçon pour suivre l'évolution verticale du lit et prévenir des détériorations potentielles sur une passerelle et sur les propriétés riveraines.

3.2.5- Secteur 3

Il s'agit d'un secteur très fortement cloisonné par un grand nombre de chaussées de hauteur importante, infranchissables ou difficilement franchissables. Celles-ci ont donc un impact considérable sur la circulation piscicole entre les secteurs amont et aval du réseau hydrographique. Elles altèrent également les conditions d'habitat en favorisant l'ennoiement d'une portion significative du cours d'eau (environ un quart), ce qui entraîne à la fois un réchauffement des eaux et une diminution de l'abondance des frayères. Ces ouvrages limitent enfin le transit sédimentaire bien que cela ne constitue pas un dysfonctionnement majeur du cours d'eau qui ne présente pas de déficit sédimentaire sur le secteur considéré et qui retrouve plus en aval (secteur S2 en gorges) une dynamique sédimentaire satisfaisante. Le stock de sédiments grossiers mobilisables par dérasement des chaussées constitue néanmoins une réserve intéressante pour augmenter la fourniture sédimentaire des tronçons aval.

En revanche, l'intérêt d'intervenir sur les chaussées de ce secteur doit être considéré globalement : l'aménagement (ex. : fractionnement de la hauteur de chute), l'équipement (passe à poissons) ou le dérasement (effacement total) d'un seul ouvrage présente un intérêt extrêmement limité car il ne permettrait de décloisonner qu'un très court linéaire de cours d'eau. Par conséquent, la restauration de la continuité écologique suppose un projet relativement ambitieux visant à intervenir sur la totalité des chaussées de grandes dimensions de ce secteur (remarque : 9 des 10 ouvrages recensés sont infranchissables ou difficilement franchissables et leur impact sur la température, le transit sédimentaire et la qualité des habitats est globalement d'autant plus fort que les dimensions de l'ouvrage sont importantes).

3.2.6- Secteur 2

Le secteur 2, prédominé par des tronçons encaissés dans les gorges entre Castelmus et Roquetaillade, présente un bon état général.

3.2.7- Secteur 1

Le secteur 1, à l'extrémité aval du bassin, présente deux chaussées de taille importante qui empêchent ou limitent la circulation piscicole. L'aménagement ou le dérasement de ces ouvrages permettraient de décloisonner une grande partie du réseau hydrographique en assurant la libre circulation depuis les gorges de Castelmus jusqu'au Tarn (soit près de 10 km de cours d'eau). Cela permettrait donc de reconnecter, d'un point de vue piscicole, les tronçons aval de la Muse au Tarn. L'intérêt de démanteler la première chaussée (Saint-Hippolyte) est de ce point de vue incertain et pourrait être évalué après avoir vérifié la présence éventuelle du barbeau méridional. Le cas échéant, le maintien de la chaussée de Saint-Hippolyte pourrait s'avérer avantageuse car cela limiterait la concurrence du barbeau fluviatile (ou barbeau commun).

Il faut préciser que ce secteur est proposé pour être classé en Liste 2 pour la révision du classement des cours d'eau au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement, qui prévoit d'imposer l'équipement des ouvrages existants pour restaurer la continuité écologique.

Il faut également souligner que la réduction du nombre de chaussées en amont (notamment au niveau du secteur 3) bénéficierait directement au secteur 1, et dans une moindre mesure au secteur 2, en favorisant un réchauffement moins rapide des eaux.

Géomorphologie et hydraulique

Activité (d'une érosion) et indice d'activité : correspond à l'intensité d'une érosion, qui traduit la quantité approximative de sédiments produits par mètre carré de surface érodée. L'indice d'activité ne permet pas de calculer des mètres cubes de sédiments, mais il permet de comparer qualitativement les productions des différentes érosions recensées sur le réseau hydrographique. L'indice d'activité peut prendre les valeurs de 0,1 (faible), 0,4 (moyenne), ou 1 (forte).

Alluvions : sédiments d'origine fluviatile, qui ont été plusieurs fois transportés, déposés puis remobilisés par le cours d'eau (s'oppose aux colluvions).

Armurage et pavage : l'armurage et le pavage du lit d'un cours d'eau correspondent à la formation à la surface du lit d'une couche de matériaux nettement plus grossiers que les matériaux sous-jacents. L'armure est une forme « normale », fréquemment rencontrée dans les cours d'eau à substrat grossier (constitués de graviers et/ou galets), qui protège de l'érosion les sédiments sous-jacents. L'armure est constituée de sédiments mobilisables et est donc fréquemment remaniée lors des crues. En revanche, le pavage constitue une protection plus résistante à l'érosion (semi-permanente), qui n'est déstabilisée que très rarement, et qui révèle souvent un déficit sédimentaire.

Atterrissement / Banc / Accumulation : ces trois termes désignent un dépôt de matériaux fluviatiles (sédiments) émergeant en basses eaux. Ils se caractérisent par leur volume, leur granulométrie (galets, graviers, sables...) et leur mobilité.

Bande active : désigne l'espace fréquemment remanié par les écoulements (crues fréquentes). La bande active peut éventuellement se déplacer latéralement, se rétracter ou s'élargir. (Terme géomorphologique que l'on peut associer au terme hydraulique *lit moyen*).

Capacité de transport : correspond à la quantité maximale de matériaux (sédiments) qu'un tronçon de cours d'eau est capable de transporter (généralement défini pour un débit donné). La quantité de matériaux réellement transportée ne peut pas être supérieure à la capacité de transport. En revanche, elle peut être inférieure si la disponibilité en sédiments mobilisables (stock de sédiments mobilisables sur place au niveau du lit et des berges, fourniture sédimentaire depuis le tronçon amont, les affluents et les versants adjacents) est insuffisante.

Charge de fond : représente la partie grossière des matériaux en transit dans un cours d'eau, qui se déplace au contact du fond (par charriage ou saltation). La charge de fond s'oppose à la charge en suspension qui est transportée sans contact avec le fond.

Colluvions : sédiments provenant de l'érosion des versants (s'oppose aux alluvions). Contrairement aux alluvions, les colluvions ont généralement été transportées sur de courtes distances. Elles sont également moins triées, c'est-à-dire qu'elles peuvent être très hétérogènes en taille.

Compétence des écoulements : correspond à la taille maximale de particule qu'un tronçon de cours d'eau est capable de transporter (généralement défini pour un débit donné).

Connexion (d'une source sédimentaire au réseau hydrographique) et indice de connexion : qualifie la possibilité des produits d'une érosion à être transportés jusqu'à un cours d'eau. Les surfaces d'érosion pleinement connectées au réseau hydrographique participent donc fortement à la fourniture sédimentaire des cours d'eau. A l'inverse, la fourniture sédimentaire depuis une forme d'érosion située à grande distance du réseau hydrographique sera nulle. Elle sera faible dans le cas d'une érosion partiellement déconnectée par une terrasse, un banc figé, un replat, la végétation (effet de peigne) qui piègent une partie des matériaux produits par l'érosion. L'indice de connexion peut prendre les valeurs de 0,1 (faible), 0.4 (moyenne), ou 1 (forte).

Débits à pleins bords : représente la capacité d'écoulement du lit mineur avant débordement dans la plaine alluviale. Le débit à pleins bords s'écoule dans le chenal à pleins bords, c'est-à-dire que les écoulements occupent la totalité de la largeur (largeur à pleins bords) et de la profondeur (profondeur à pleins bords) du lit mineur.

Dynamique latérale : la dynamique latérale traduit la tendance d'un cours d'eau à divaguer dans son fond de vallée.

Dynamique sédimentaire : terme général qui désigne l'ensemble des processus d'érosion, de transport et de stockage des matériaux solides au sein d'un bassin versant. L'analyse de la dynamique sédimentaire repose sur l'étude des formes d'érosion et des dépôts de sédiments (matériaux en transit), et de leurs interrelations dans le temps et dans l'espace.

Espace de liberté (ou espace de mobilité) : il s'agit d'un concept général qui vise à maintenir en fond de vallée un espace nécessaire aux divagations du ou des chenaux fluviaux pour « permettre une mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement optimum des écosystèmes aquatiques et terrestres (SDAGE RMC). Ce concept n'est applicable qu'aux rivières mobiles à notre échelle de temps (ou potentiellement mobiles si elles sont aménagées) et il n'est pas approprié à tous les types de cours d'eau. En revanche, cette dernière remarque n'exclut pas « la possibilité de définir d'autres enveloppes de préservation, non mobilisables par le cours d'eau, mais qui peuvent présenter d'autres enjeux et que l'on nommera zones tampons. On peut ainsi déterminer des zones tampons hydrologiques (pour garantir l'écrêtement des crues), des zones tampons écologiques (pour conserver des milieux humides annexes), des zones tampons physico-chimiques (ripisylve de 15 à 20 m de large pour permettre le piégeage des nutriments)... » (Agence de l'Eau RMC, 1998).

Fourniture sédimentaire : désigne la quantité de matériaux fournis à un tronçon de cours d'eau. Les matériaux peuvent provenir du tronçon amont (affluents inclus) ou des berges et des versants adjacents. A l'échelle d'un bassin versant, la fourniture sédimentaire désigne la part de matériaux qui est réellement fournie aux cours d'eau. Elle se distingue donc de la production sédimentaire qui désigne l'ensemble des matériaux érodés, qu'ils atteignent ou non le réseau hydrographique.

Incision : il s'agit de l'enfoncement du lit d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau. Une incision est dite progressive si elle se propage vers l'aval, ou régressive si elle se propage vers l'amont. Une incision peut engendrer des dysfonctionnements préoccupants sur le tronçon affecté : déstabilisation des ouvrages et structures riveraines par affouillement, abaissement du niveau piézométrique (et ses impacts sur les captages d'eau potable et sur les peuplements végétaux), altération des faciès d'écoulements et des habitats aquatiques, augmentation de la fourniture sédimentaire vers les tronçons aval.

Indice d'efficacité (des érosions) : cet indice, compris entre 0 et 1, permet d'évaluer l'efficacité de la recharge sédimentaire des érosions. Il correspond au produit de l'indice d'activité et de l'indice de connexion. Il prend donc en compte deux paramètres : l'intensité de la connexion des surfaces d'érosions au lit mineur du cours d'eau, et l'intensité de l'activité des érosions (voir les définitions ci-dessus). Une surface active mais partiellement déconnectée du lit (par un banc, une terrasse...) produit beaucoup de sédiments mais seule une partie d'entre eux est réellement introduite dans le cours d'eau. Une surface peu active mais pleinement connectée (contact direct, ce qui représente la majeure partie des formes d'érosions recensées) produit peu de sédiments mais la totalité d'entre eux est fournie au cours d'eau.

Ordre de Strahler : l'ordination est un moyen de déterminer la position hiérarchique d'une partie de cours d'eau au sein d'un réseau hydrographique. Les changements d'ordre traduisent des changements importants au niveau hydrologique et, par conséquent, au niveau morphologique. La détermination de l'ordre de Strahler consiste à affecter l'ordre 1 aux cours d'eau pérennes de tête de bassin versant, puis à ajouter 1 à chaque confluence de cours d'eau de même rang (ex. : $1+1=2$; $2+2=3$; etc.).

Ralentissement dynamique des eaux : principe de gestion visant à atténuer les crues d'un cours d'eau en freinant les écoulements avant leur arrivée dans le cours d'eau, en favorisant les débordements en lit majeur, ou en stockant temporairement des volumes de crue dans des ouvrages spécifiques.

Remous solide : longueur de cours d'eau sous l'influence hydraulique d'un ouvrage faisant obstacle aux écoulements (ex. : chaussée, barrage). En pratique, la zone de remous solide correspond à la portion de cours d'eau qui présente, en amont de l'ouvrage, une hauteur d'eau relativement élevée et des vitesses d'écoulements faibles.

Ripisylve : le mot ripisylve vient du latin *Ripa* qui signifie rive et de *Sylva* qui signifie forêt. Il désigne une multitude de formations végétales et arborées en bordure de cours d'eau, comme les forêts ripariales, les forêts alluviales, les forêts galeries ou les boisements de berges. Cette diversité de formations traduit les nombreuses organisations possibles de la ripisylve, notamment en fonction de son extension plus ou moins importante dans le lit majeur du cours d'eau. En pratique, on distingue essentiellement deux types de formation :

- les boisements de berges lorsque la ripisylve se limite à un simple liseré limité en bordure de berge ;
- la forêt alluviale lorsque la ripisylve constitue une véritable forêt qui s'étend sur une étendue importante dans la plaine alluviale.

Transport solide et transit sédimentaire : le transport solide désigne le transport des matériaux solides par les cours d'eau. L'analyse du transit sédimentaire consiste à étudier les formes (ex. : localisation, volume, mobilité et granulométrie des atterrissements) et les mécanismes (ex. : modes de transport, vitesse et distance de transport, piégeage des sédiments par divers obstacles) qui participent au transport et au stockage des sédiments. Il faut préciser que, dans le cadre de cette étude, l'analyse des atterrissements sur un tronçon de cours d'eau reflètent à la fois les conditions de transport et de stockage des matériaux. Autrement dit, une grande quantité de matériaux accumulés peut témoigner d'un transit sédimentaire important, de conditions de transport défavorables (ex. : faible pente, nombreux obstacles au transport solide) ou bien des deux.

Unité morphodynamique (ou faciès d'écoulement) : entité fonctionnelle élémentaire d'un cours d'eau, homogène d'un point de vue physique. Les principaux critères de différenciation sont la hauteur d'eau,

la vitesse de l'écoulement et la pente. Grossièrement, on peut considérer que la longueur d'un faciès représente 1 à 10 fois la largeur du lit à pleins bords. On distingue essentiellement deux grandes catégories de faciès :

- les faciès lotiques caractérisés par un faible tirant d'eau, une pente et des vitesses d'écoulement élevées (ex. : chute, cascade, rapide, radier) ;
- les faciès lenticques qui présentent à l'inverse un tirant d'eau important et des vitesses faibles (ex. : mouilles, chenal lentique).

Hydrologie

Coefficient de ruissellement : rapport entre le volume d'eau ruisselé (calculé à partir des débits mesurés à l'exutoire du bassin versant) et le volume d'eau précipité.

Etiage : période de très basses eaux.

Evapotranspiration : ensemble des déperditions biologiques (ex. : absorption de l'eau par le couvert végétal) ou physiques (ex. : évaporation à la surface d'un plan d'eau) d'une surface en vapeur d'eau.

Exutoire : point de sortie des eaux superficielles d'un bassin versant.

Lame d'eau : volume hydrique (en m³) exprimé en unité de hauteur (en mm) en le divisant par la superficie qu'il occupe (ex. : le volume d'eau ruisselé peut être divisé par la superficie du bassin versant pour être comparé à la lame d'eau précipitée).

QMNA : débit mensuel minimal annuel, soit le plus faible débit moyen enregistré durant un mois (généralement en été) pour une année hydrologique.

Temps de concentration : temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée « hydrologiquement » de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

Temps de réponse : intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de crue (ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme de crue).

Pédologie

Erodibilité : représente « la sensibilité d'un sol à l'arrachement et au transport des particules qui le composent sous l'action des gouttes de pluies et/ou de l'écoulement » (Le Bissonais et al. 2005).

Battance : désigne la tendance des sols à se désagréger en surface sous l'action de la pluie puis à former une croûte fine et imperméable. En réduisant les possibilités d'infiltrations, la battance augmente les quantités d'eaux ruisselées en surface et favorise finalement l'érosion de sols.

Pédogénèse : processus de formation et d'évolution des sols.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : occupation du sol du bassin versant de la Muse en 1948, 1978 et 2008 et taux d'évolution moyens.....	10
Tableau 2 : taux d'évolution des principales classes d'occupation du sol (exprimés en % de la superficie des bassins) durant la période 1948-2008 – les valeurs en gras mettent en évidence les augmentations les plus significatives (>10%)	11
Tableau 3 : évolution des principales classes d'occupation du sol définies par le Recensement Général Agricole entre 1979 et 2000 (superficies renseignées pour les exploitations dont le siège se situe sur les communes du bassin versant, quelle que soit la localisation réelle des parcelles).....	13
Tableau 4 : densité des haies sur les terres cultivées en 1948, 1978 et 2008 et évolution.....	14
Tableau 5 : caractéristiques morphologiques moyennes des secteurs identifiés	18
Tableau 6 : synthèse des principaux résultats sur les formes d'érosions recensées sur les branches principales du réseau hydrographique.....	21
Tableau 7 : résultats des analyses granulométriques de 7 atterrissements grossiers (méthode d'échantillonnage surfacique de type grid sampling selon Wolman 1954) – les blocs (diamètre > 512 mm) ne sont pas pris en compte dans le calcul du tri et des diamètres médians et maximums	26
Tableau 8 : synthèse des principaux résultats sur les atterrissements recensés sur les branches principales du réseau hydrographique.....	27
Tableau 9 : synthèse des principaux résultats sur les embâcles et la ripisylve.....	30
Tableau 10 : caractérisation de la mobilité latérale des branches principales du réseau hydrographique	32
Tableau 11 : coefficient T représentant la teneur en sables des sols en fonction de la nature lithologique des roches sous-jacentes.....	37
Tableau 12 : coefficient O représentant l'influence de l'occupation des sols sur l'exposition des sols à l'érosion.....	38
Tableau 13 : synthèse des résultats de la modélisation de la production de sables par érosion des sols	40
Tableau 14 : progression de la production de sables par érosion des sols sur quelques sous-bassins– les valeurs en gras mettent en évidence les augmentations (évolutions positives)	41
Tableau 15 : résultats des analyses de variance pour les quatre paramètres explicatifs de l'ensablement	44
Tableau 16 : résultats des analyses de variance résiduelle pour les trois paramètres secondaires.....	45
Tableau 17 : résultats du modèle de régression logistique	45
Tableau 18 : caractéristiques de la station de la Muse à St Hippolyte	49
Tableau 19 : caractéristiques des stations pluviométriques situées à proximité de la zone d'étude	50

Tableau 20 : estimations des pluies journalières	51
Tableau 21 : coefficients de Montana retenus au droit du bassin versant de la Muse	51
Tableau 22 : débits décennal et centennal au droit de la station à St Hippolyte (estimation par ajustement statistique)	52
Tableau 23 : estimations du débit décennal	52
Tableau 24 : estimations du débit centennal	52
Tableau 25 : coefficient de ruissellement du bassin versant selon la date considérée (en fonction de l'occupation des sols)	53
Tableau 26 : évolutions des débits décennaux et centennaux (d'après la méthode rationnelle).....	54
Tableau 27: évolution des surfaces cultivées et du coefficient de ruissellement par sous-bassin versant (la carte n°1 permet de repérer les sous-bassins).....	55
Tableau 28 : critères de Nash en calages / validations croisées, exprimés en pourcentage – Indication de l'aptitude de restitution des débits observés	61
Tableau 29 : indices des bilans en calages / validations croisées, exprimés en pourcentage – Indication des écarts entre les volumes calculés et les volumes observés.....	61
Tableau 30 : synthèse des résultats des entretiens téléphoniques avec les propriétaires de chaussée...	64

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : sectorisation morphologique des branches principales du réseau hydrographique : découpage en 7 secteurs homogènes du point de vue des caractéristiques fondamentales du cours d'eau et du fond de vallée – le profil en long correspond au linéaire d'ordre 3 à 5 selon Strahler	19
Figure 2 : répartition des superficies érodées par type de processus érosif sur l'ensemble des branches principales du réseau hydrographique.....	22
Figure 3 : exemples d'érosions localisées sur le bassin versant.....	22
Figure 4 : surface efficace des érosions ($S_e.l_e$) et type de processus érosif.....	23
Figure 5 : densité efficace des érosions ($S_e.l_e/L$) et type de processus érosif	23
Figure 6 : surface efficace des érosions ($S_e.l_e$) et type de matériaux produits.....	24
Figure 7 : densité efficace des érosions ($S_e.l_e/L$) et type de matériaux produits	24
Figure 8 : nombre d'érosions par kilomètre de cours d'eau.....	25
Figure 9 : pourcentage surfacique des principales fractions granulométriques et des affleurements rocheux sur les faciès lotiques	26
Figure 10 : volume des atterrissements et type de matériaux stockés	28
Figure 11 : densité des atterrissements et type de matériaux stockés	28
Figure 12 : densité des atterrissements par unité de largeur et type de matériaux stockés	28
Figure 13 : densité des embâcles par catégorie de taille	31
Figure 14 : sensibilité des berges à l'érosion (berges aménagées exclues)	33
Figure 15 : principe du modèle établi pour évaluer la production et la fourniture sédimentaire sableuse par érosion des sols en 1948, 1978 et 2008.....	39
Figure 16 : graphiques en boîtes montrant la dispersion des 4 principaux paramètres explicatifs en fonction de la classe d'ensablement.....	43
Figure 17 : aven en aval de Castries	47
Figure 18 : augmentation du débit de pointe par réduction du temps de concentration.....	56
Figure 19 : débits moyens annuels en fonction des pluies annuelles.....	57
Figure 20 : débits moyens annuels en fonction des pluies annuelles.....	58
Figure 21 : lame d'eau écoulee au droit de la station de St Hippolyte et lame d'eau précipitée sur le bassin versant.....	58
Figure 22 : débits mensuels minimaux annuels (QMNA) à la station de St Hippolyte.....	59
Figure 23 : localisation des moulins à eau inventoriés sur la carte de Cassini à la fin du 18 ^{ème} siècle.....	65
Figure 24 : usages des chaussées	66

BIBLIOGRAPHIE

- Andréassian V., 2002. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants. Thèse de Doctorat. Université de Paris 6, France, 262p.
- Andreassian V., Parent E., Michel C., 2003. A distribution-free test to detect gradual changes in watershed behavior. *Water resources Research*, 39 (9), pp. 12-22.
- Antoni V., Le Bissonais Y., Thorette J., Zaidi N., Laroche B., Barthès S., Daroussin J., Arrouays D., 2006. Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 et confrontation aux enjeux locaux. *Etude et Gestion des Sols*, 13 (3), pp. 201-222.
- Cerdan O., Le Bissonais Y., Souchère V., King C., Antoni V., Surdyk N., Dubus I. Arrouays D., Desprats JF., 2006. Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport n°3 : synthèse et recommandations générales. Rapport BRGM-RP-55104-FR, 85 p.
- Chambre Régionale d'Agriculture, 1995. Les grands ensembles morpho-pédologiques de Midi-Pyrénées. A. Delaunois, C. Longueval, 537 p.
- Desprats JF., Bourguignon A., Cerdan O., Le Bissonais Y., 2006. Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport n°1 : étude de sensibilité sur le département de l'Hérault. Rapport BRGM-RP-55049-FR, 67 p.
- Le Bissonais Y., Dubreuil N., Daroussin J., Gorce M., 2004. Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale. *Etude et Gestion des Sols*, 11 (3), pp. 307-321.
- Office nationale de l'eau et des milieux aquatiques, 2011. Descriptif du contenu du référentiel des obstacles à l'écoulement – version 2. 33p.
- Pauly G., 2006. Soutien d'une population de truites communes (*Salmo Trutta L.*) par alevinages en pré-estivaux. Mémoire de stage, 31 p.
- Perrin C., Michel C., Andréassian,V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 279 (1-4), pp. 275-289.
- Saunier Environnement, 2002. Schéma communal d'assainissement – Commune de Castelnaud-Pégayrols. 26 p. +annexes.
- Saunier Environnement, 2002. Schéma communal d'assainissement – Commune de Montjoux. 26 p. +annexes.
- Saunier Environnement, 2002. Schéma communal d'assainissement – Commune de Saint-Beauzély. 25 p. +annexes.
- Surdyk N., Cerdan O., Dubus I., 2006. Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport n°2 : étude de sensibilité sur le département de l'Oise. Rapport BRGM-RP-55103-FR, 60 p.
- Wolman M.G., 1954. A method of sampling river-bed material. *American Geophysical Union*, 35 (6), pp. 951-956.

ANNEXES

Annexe 1 : Coefficient de ruissellement appliqué pour la méthode rationnelle en fonction du type de surface

Annexe 2 : Atlas cartographique

- Carte n°1 : Présentation du bassin versant de la Muse
- Carte n°2 : Occupation des sols en 1948, 1978 et 2008
- Carte n°3 : Evolution de l'occupation des sols entre 1948 et 2008
- Carte n°4 : Evolution de la densité des haies entre 1978 et 2008
- Carte n°5 : Inventaire des surfaces d'érosion
- Carte n°6 : Inventaire des atterrissements
- Carte n°7 : Mobilité des atterrissements
- Carte n°8 : Inventaire des embâcles
- Carte n°9 : Inventaire des affleurements rocheux
- Carte n°10 : Inventaire des principaux aménagements (chaussées exclues ; cf. carte n°20)
- Carte n°11 : Densité de la ripisylve
- Carte n°12 : Stabilité de la ripisylve
- Carte n°13 : Inventaire des enrochements de berges
- Carte n°14 : Dynamique latérale
- Carte n°15 : Ensablement des cours d'eau
- Carte n°16 : Sensibilité intrinsèque des sols à la production de sables par érosion
- Carte n°17 : Production de sables par érosion des sols
- Carte n°18 : Production de sables sur les versants connectés au réseau hydrographique
- Carte n°19 : Evolution de la fourniture en sables
- Carte n°20 : Inventaire des chaussées
- Carte n°21a: Synthèse des dysfonctionnements
- Carte n°21b: Inventaire des drains agricoles
- Carte n°22 : Synthèse des enjeux écologiques

ANNEXE 1

Coefficient de ruissellement appliqué pour la méthode rationnelle en fonction du type de surface

Type d'occupation des sols	Coefficient de ruissellement
Forêt dense	0,1
Forêt de densité moyenne	0,15
Landes, friches et prairies	0,2
Culture	0,35
Roche à nue	0,5
Surfaces artificielles, zones d'urbanisation	0,5
Plan d'eau	1

ANNEXE 2

Atlas cartographique

- Carte n°1 : Présentation du bassin versant de la Muse
- Carte n°2 : Occupation des sols en 1948, 1978 et 2008
- Carte n°3 : Evolution de l'occupation des sols entre 1948 et 2008
- Carte n°4 : Evolution de la densité des haies entre 1978 et 2008
- Carte n°5 : Inventaire des surfaces d'érosion
- Carte n°6 : Inventaire des atterrissements
- Carte n°7 : Mobilité des atterrissements
- Carte n°8 : Inventaire des embâcles
- Carte n°9 : Inventaire des affleurements rocheux
- Carte n°10 : Inventaire des principaux aménagements (chaussées exclues ; cf. carte n°20)
- Carte n°11 : Densité de la ripisylve
- Carte n°12 : Stabilité de la ripisylve
- Carte n°13 : Inventaire des enrochements de berges
- Carte n°14 : Dynamique latérale
- Carte n°15 : Ensablement des cours d'eau
- Carte n°16 : Sensibilité intrinsèque des sols à la production de sables par érosion
- Carte n°17 : Production de sables par érosion des sols
- Carte n°18 : Production de sables sur les versants connectés au réseau hydrographique
- Carte n°19 : Evolution de la fourniture en sables
- Carte n°20 : Inventaire des chaussées
- Carte n°21a: Synthèse des dysfonctionnements
- Carte n°21b: Inventaire des drains agricoles
- Carte n°22 : Synthèse des enjeux écologiques

Présentation du bassin versant de la Muse



Saint-Laurent-de-Lévézou

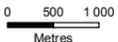
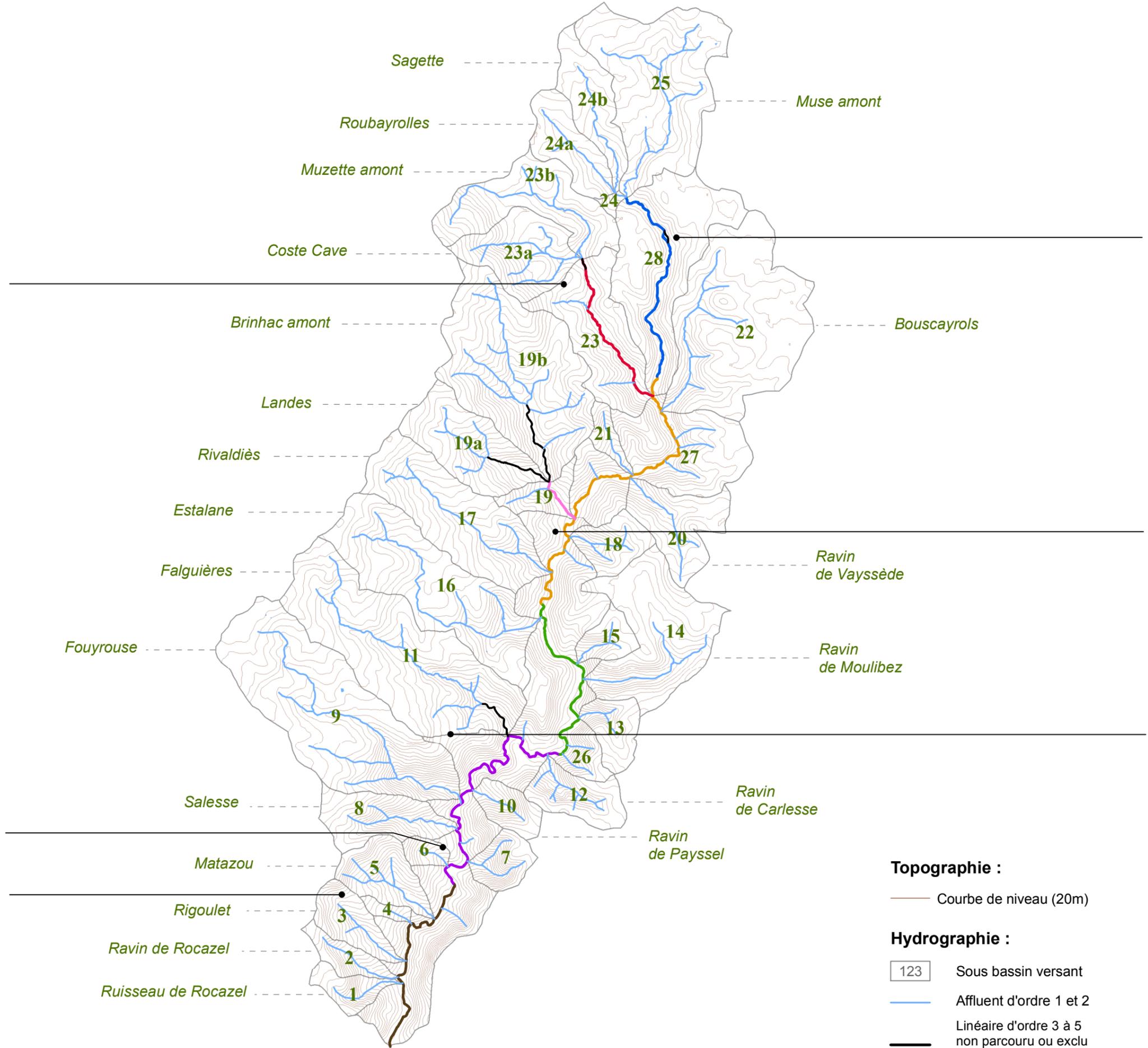
Saint-Léons

Saint-Beauzély

Castelnaud-Pégayrols

Marzials

Montjaux



Source: IGN

Topographie :

— Courbe de niveau (20m)

Hydrographie :

123 Sous bassin versant

— Affluent d'ordre 1 et 2

— Linéaire d'ordre 3 à 5 non parcouru ou exclu de la sectorisation

Sectorisation :

— Secteur 1

— Secteur 2

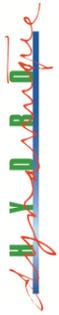
— Secteur 3

— Secteur 4

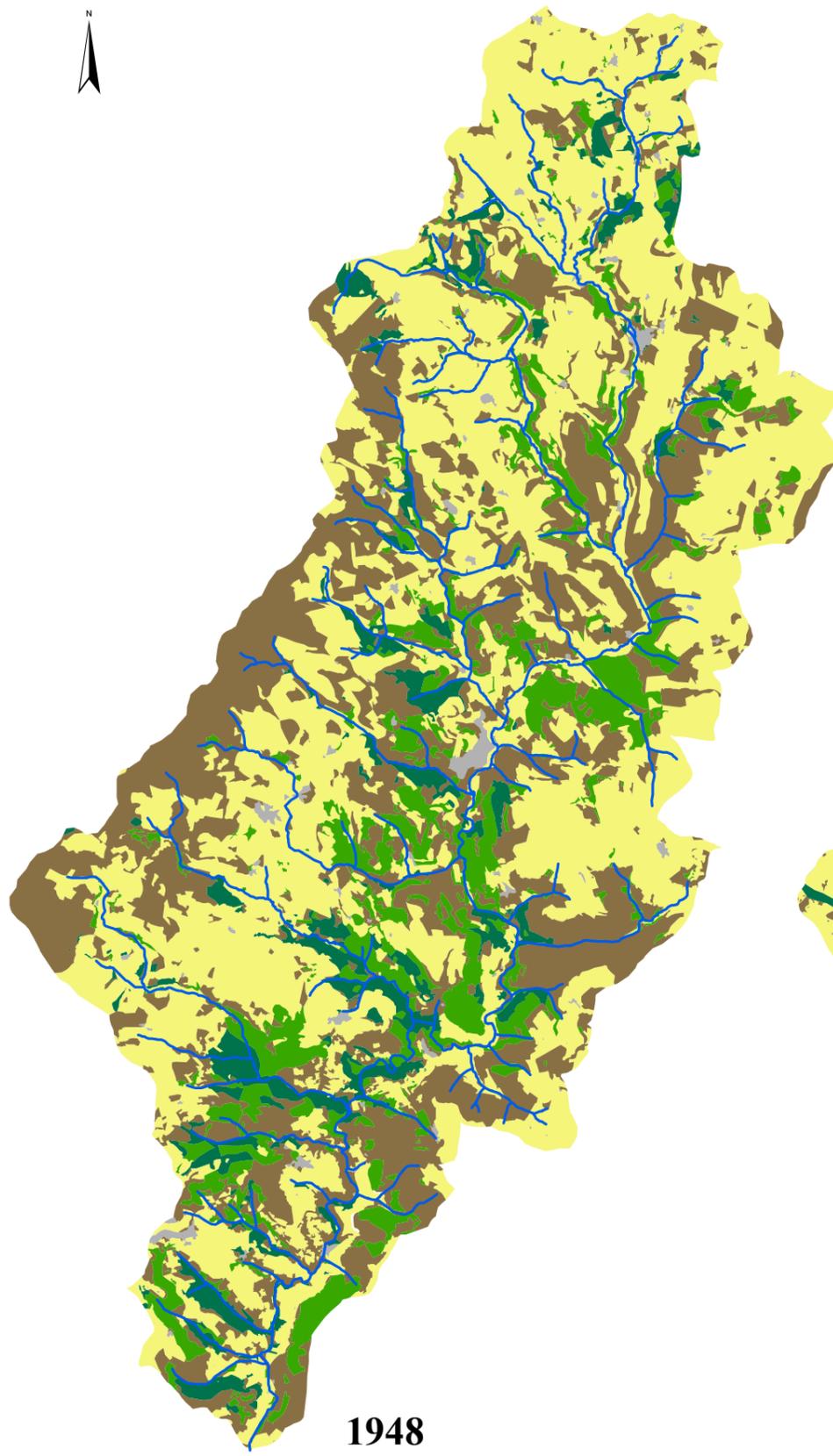
— Secteur 5

— Secteur 6

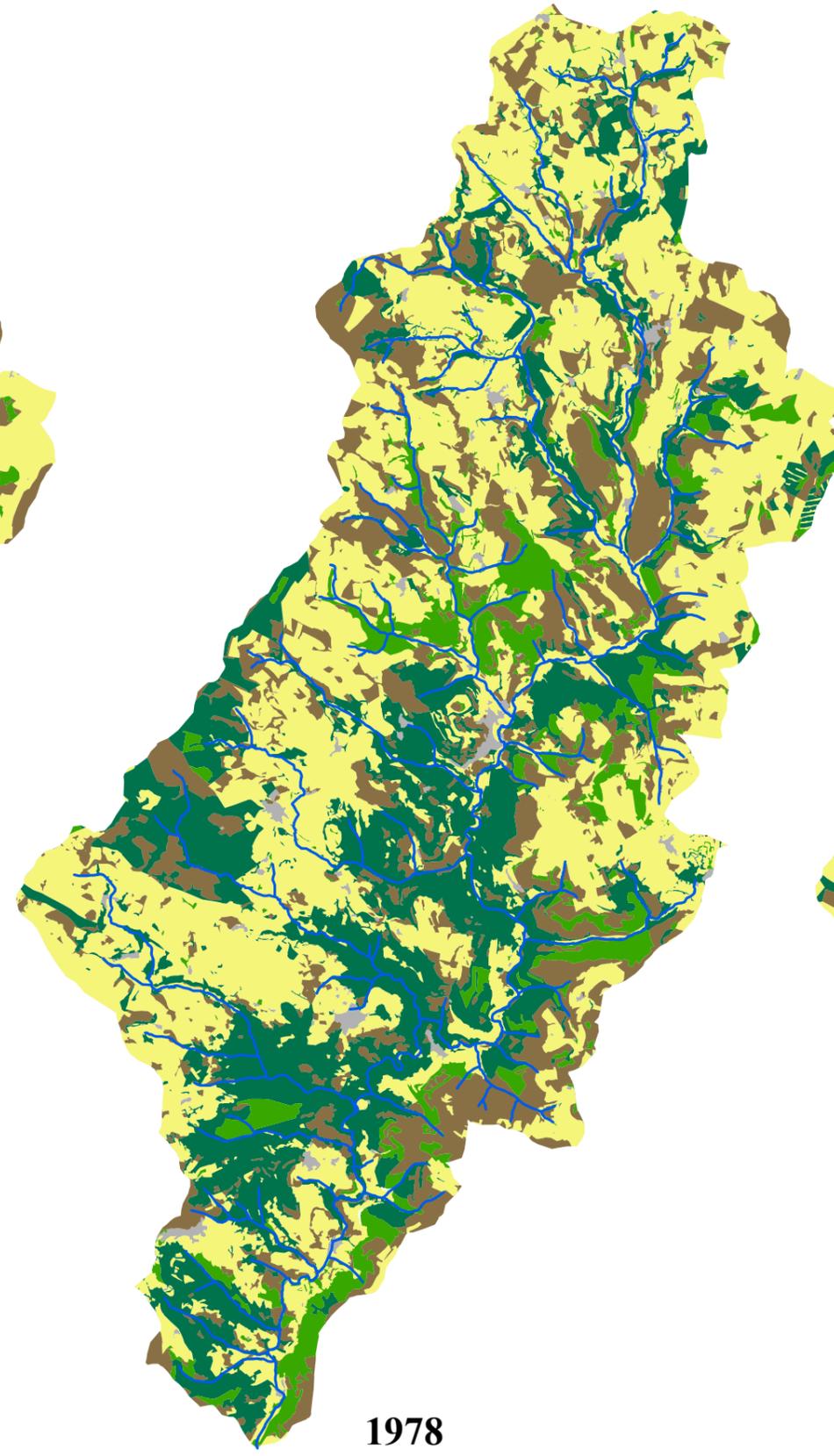
— Secteur 7



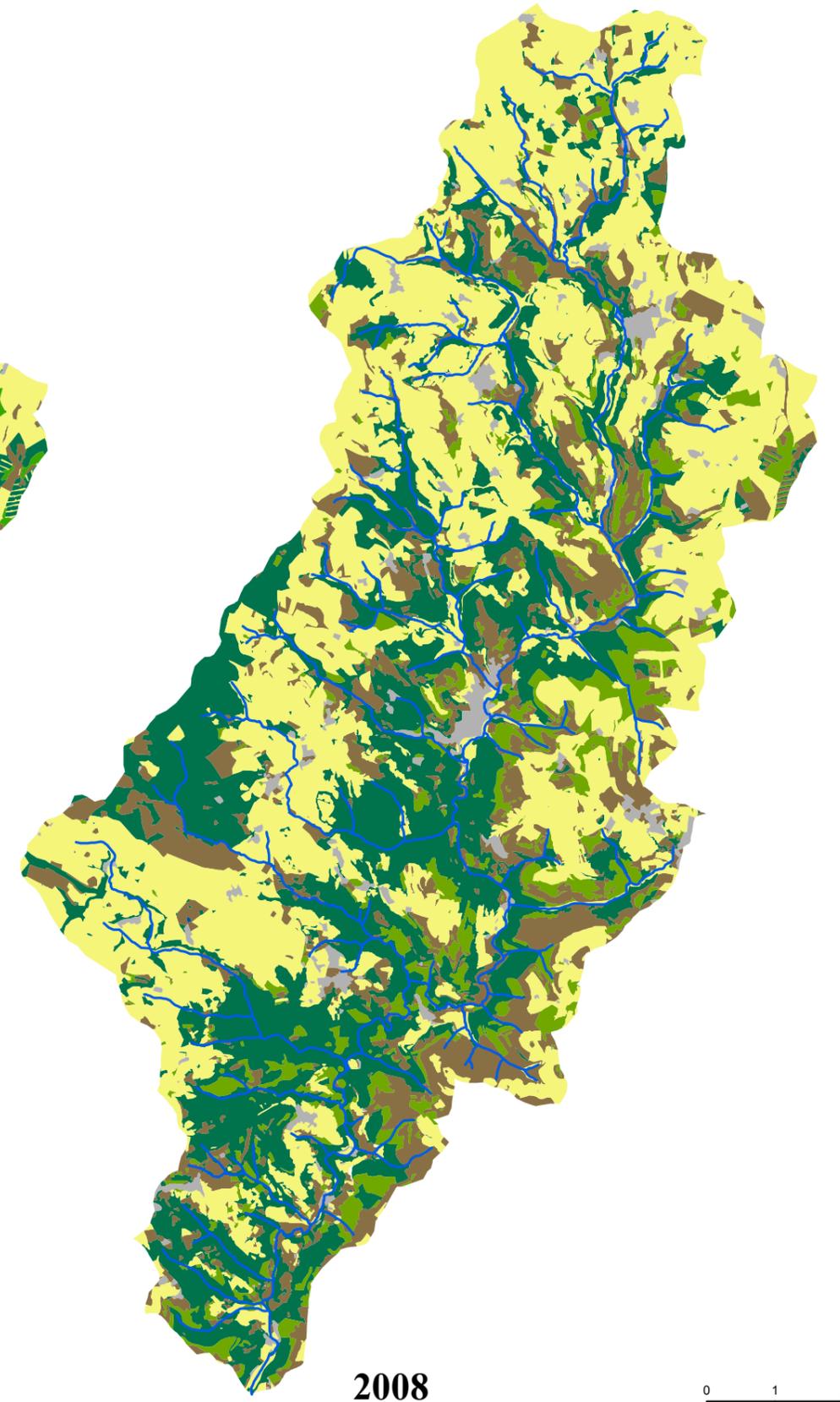
Occupation du sol en 1948, 1978 et 2008



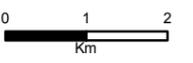
1948



1978

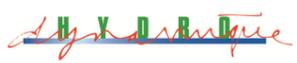


2008

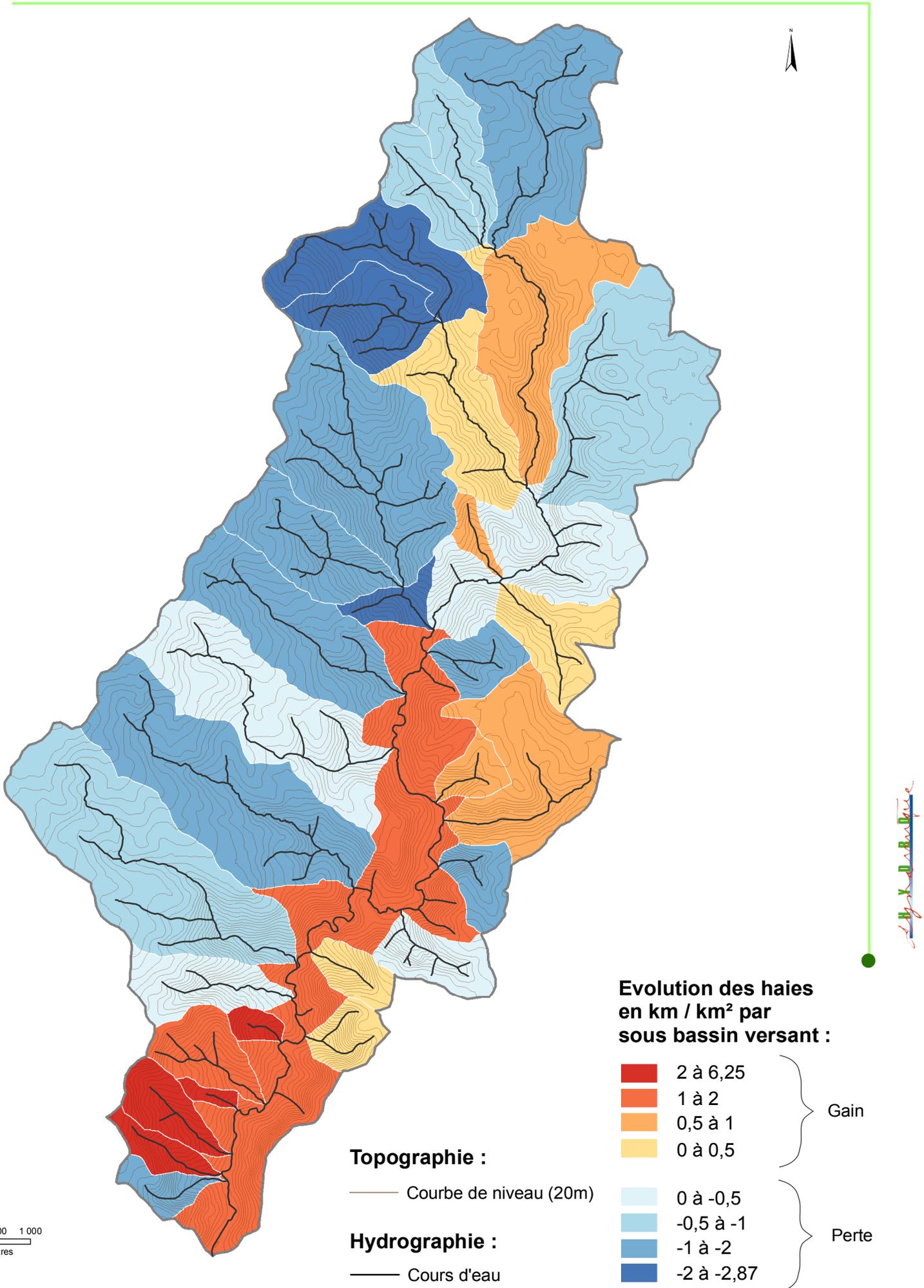


Type d'occupation :

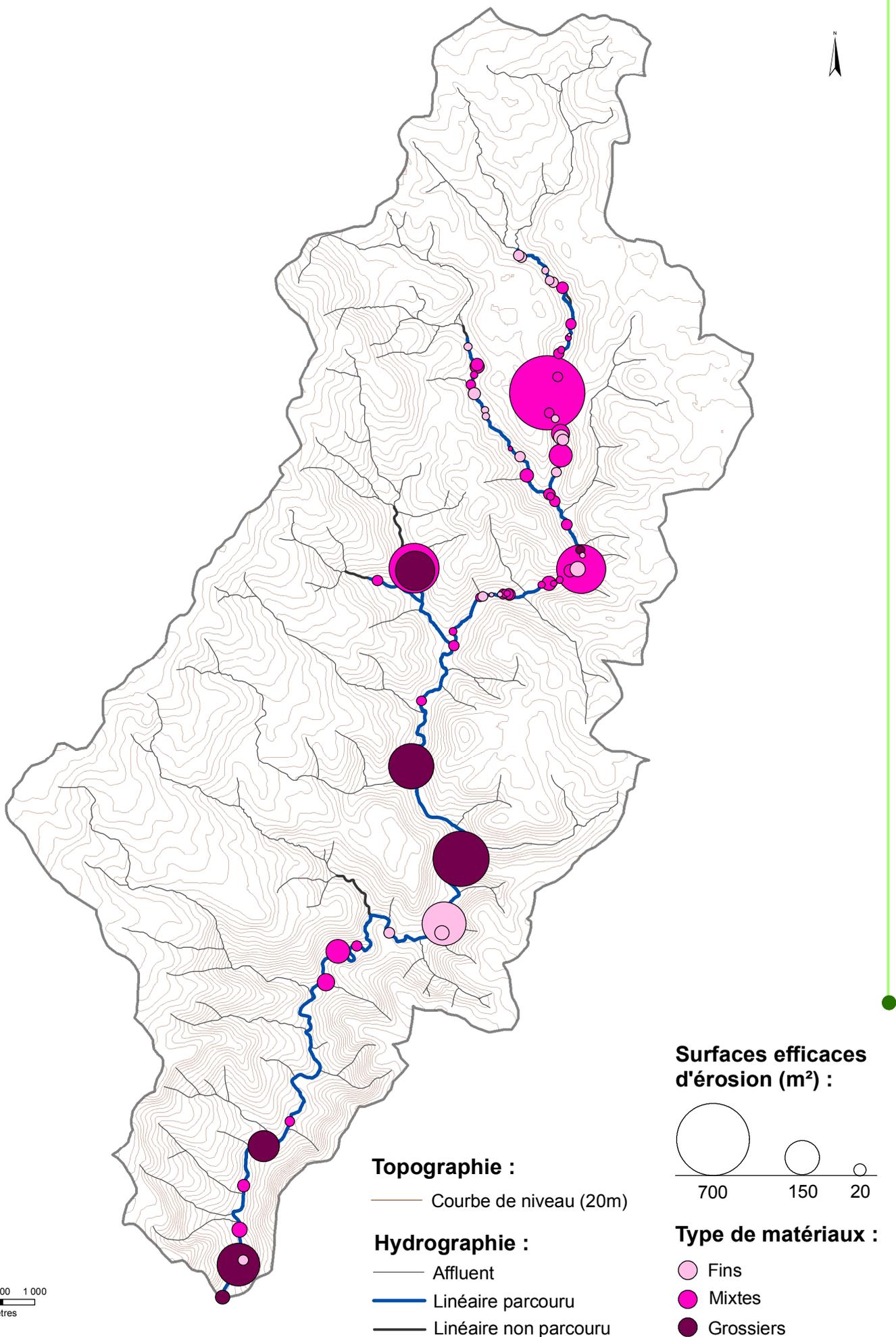
- | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Boisements denses |  Landes, friches et prairies permanentes |  Roches nues |  Plans d'eau |
|  Boisements peu denses |  Cultures (dont prairies temporaires) |  Surfaces artificielles |  Cours d'eau |



Evolution de la densité des haies entre 1978 et 2008



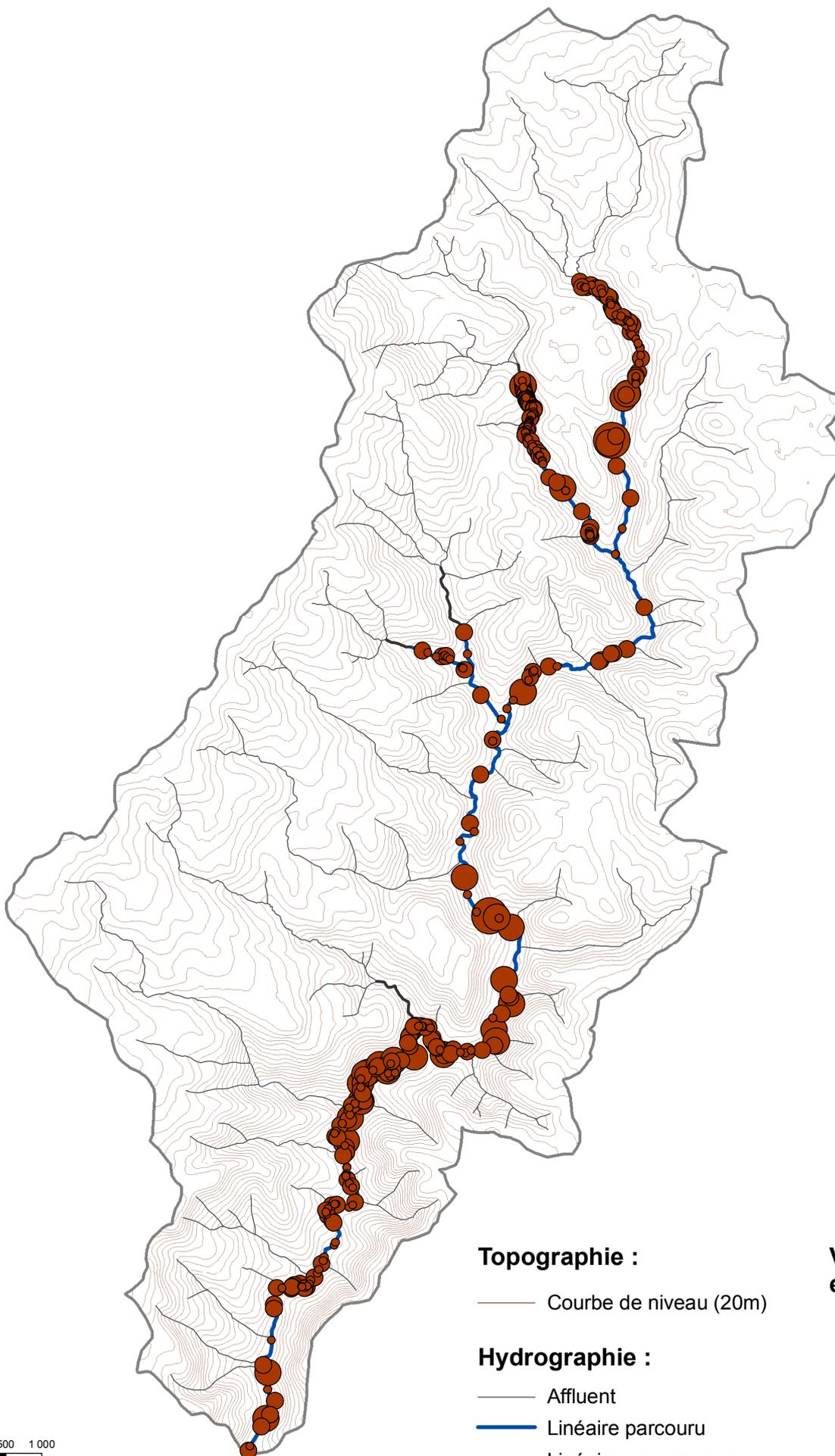
Inventaire des surfaces d'érosions



Hydrographie

0 500 1000
Mètres

Inventaire des embâcles



Topographie :

— Courbe de niveau (20m)

Hydrographie :

— Affluent

— Linéaire parcouru

— Linéaire non parcouru

Volume des embâcles (m³):

● < 1

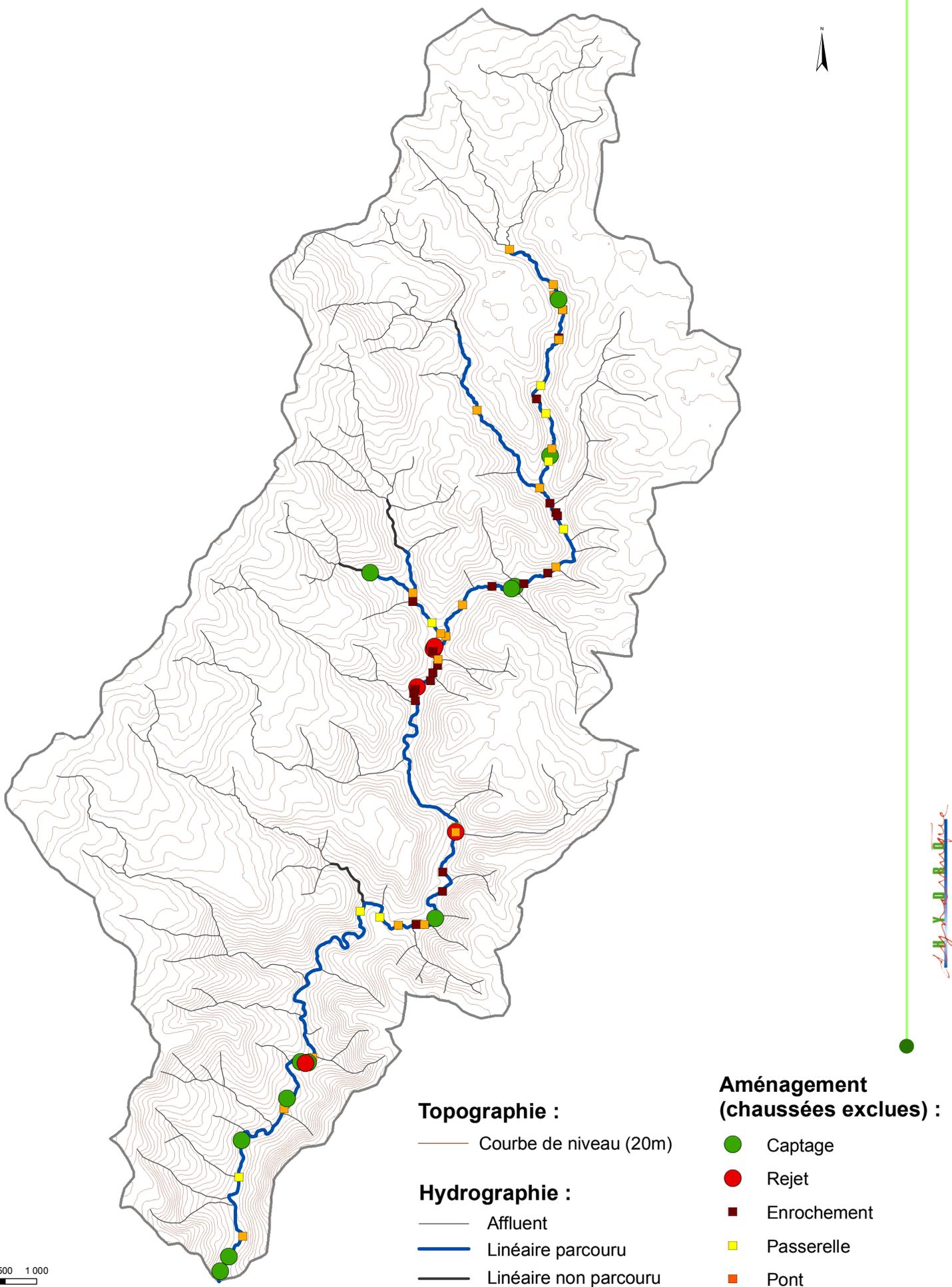
● 1 - 5

● 5 - 10

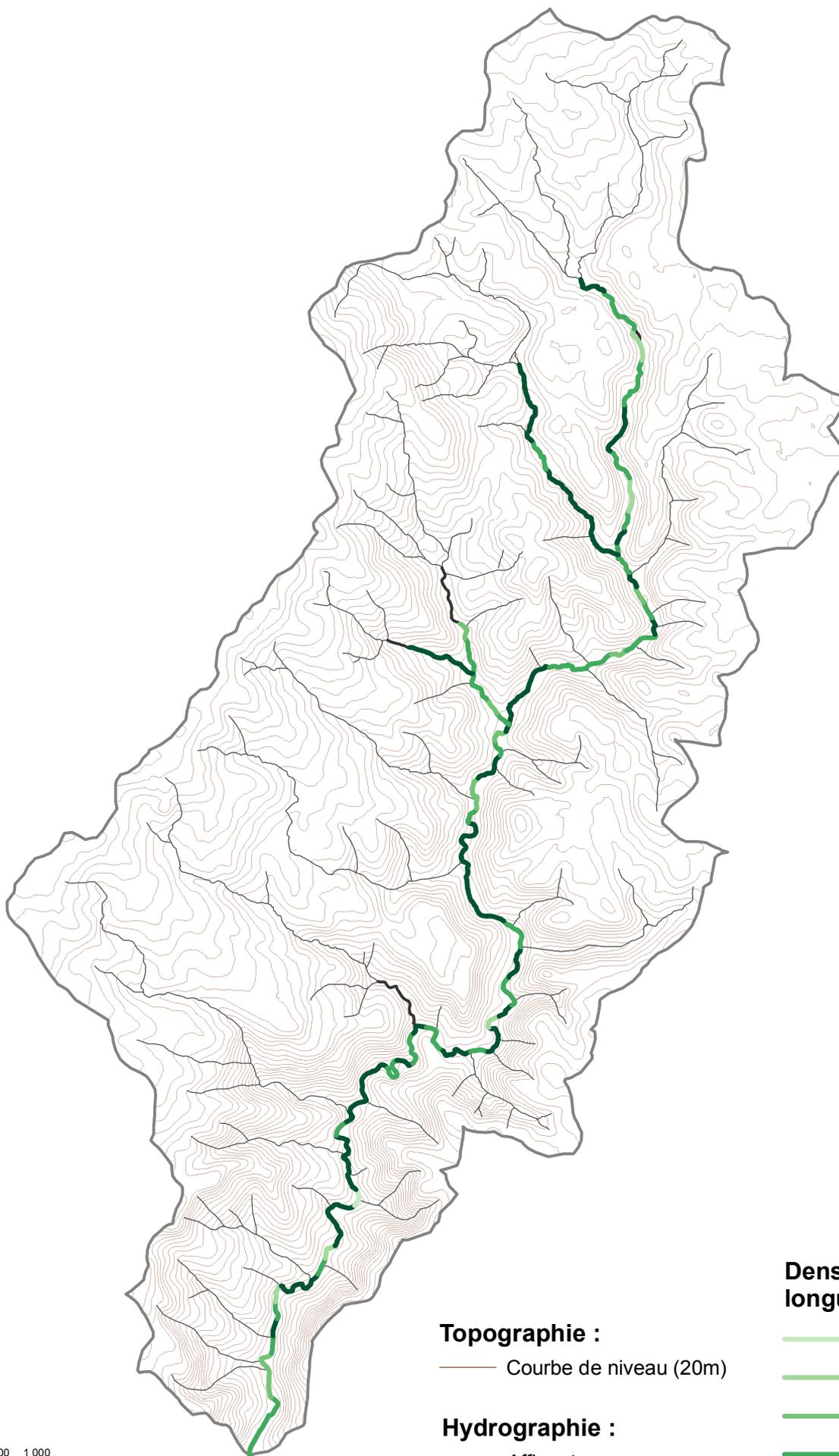
● ≥ 10

0 500 1000
Mètres

Inventaire des principaux aménagements



Densité de la ripisylve



HydroRipisylve

0 500 1 000
Mètres

Topographie :

— Courbe de niveau (20m)

Hydrographie :

— Affluent

— Linéaire non parcouru

Densité (en % de la longueur de rive) :

0 - 20

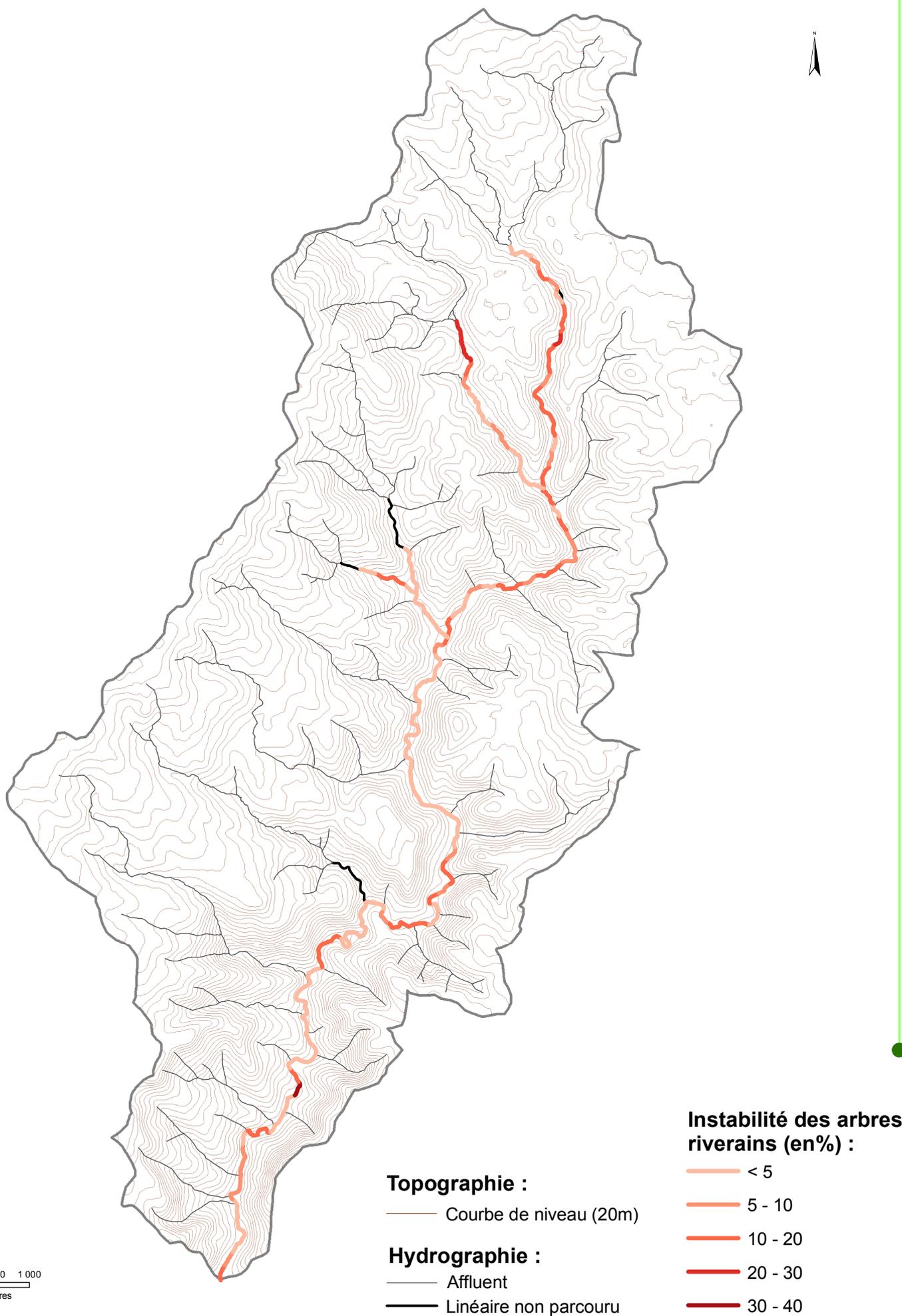
20 - 40

40 - 60

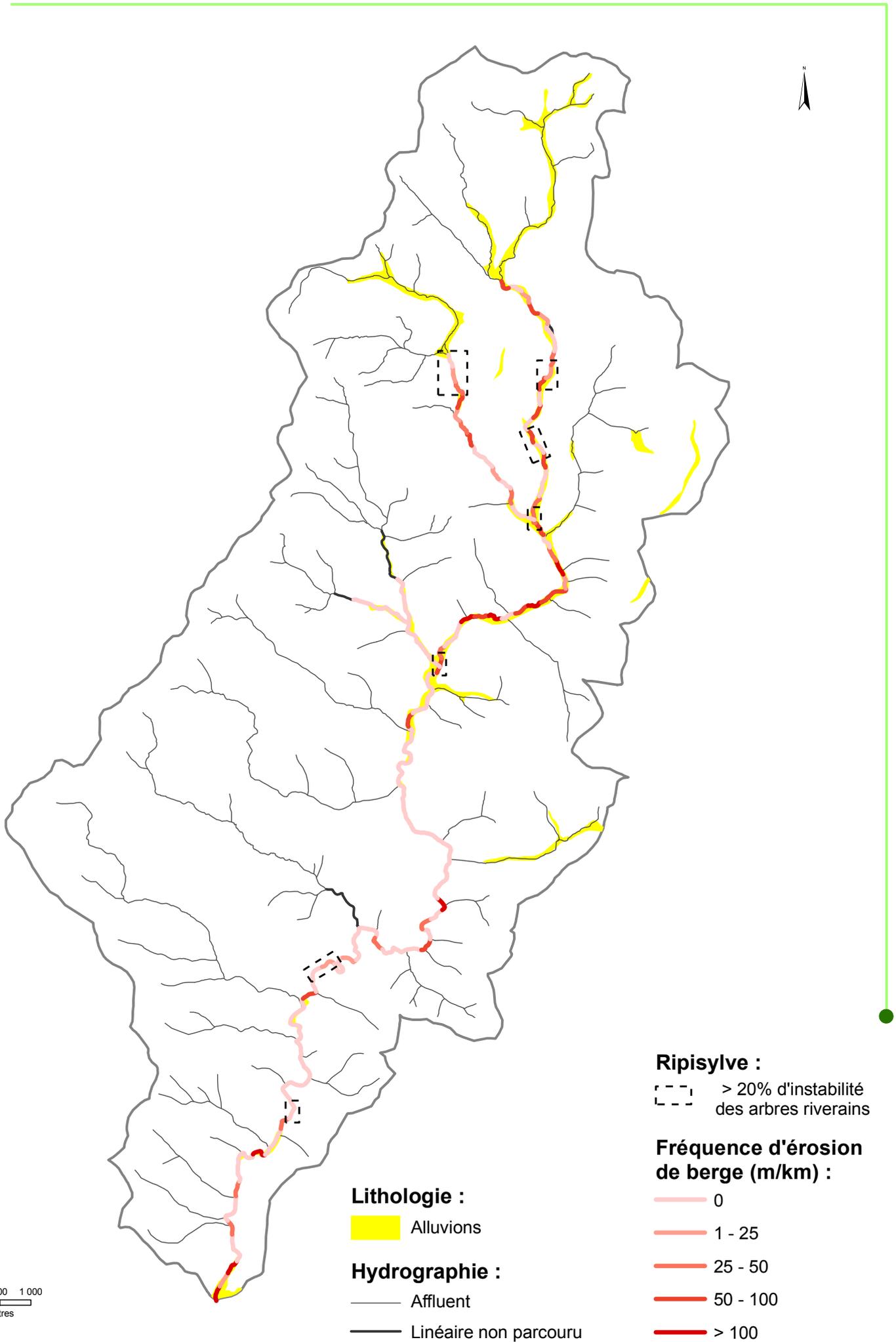
60 - 80

80 - 100

Stabilité de la ripisylve

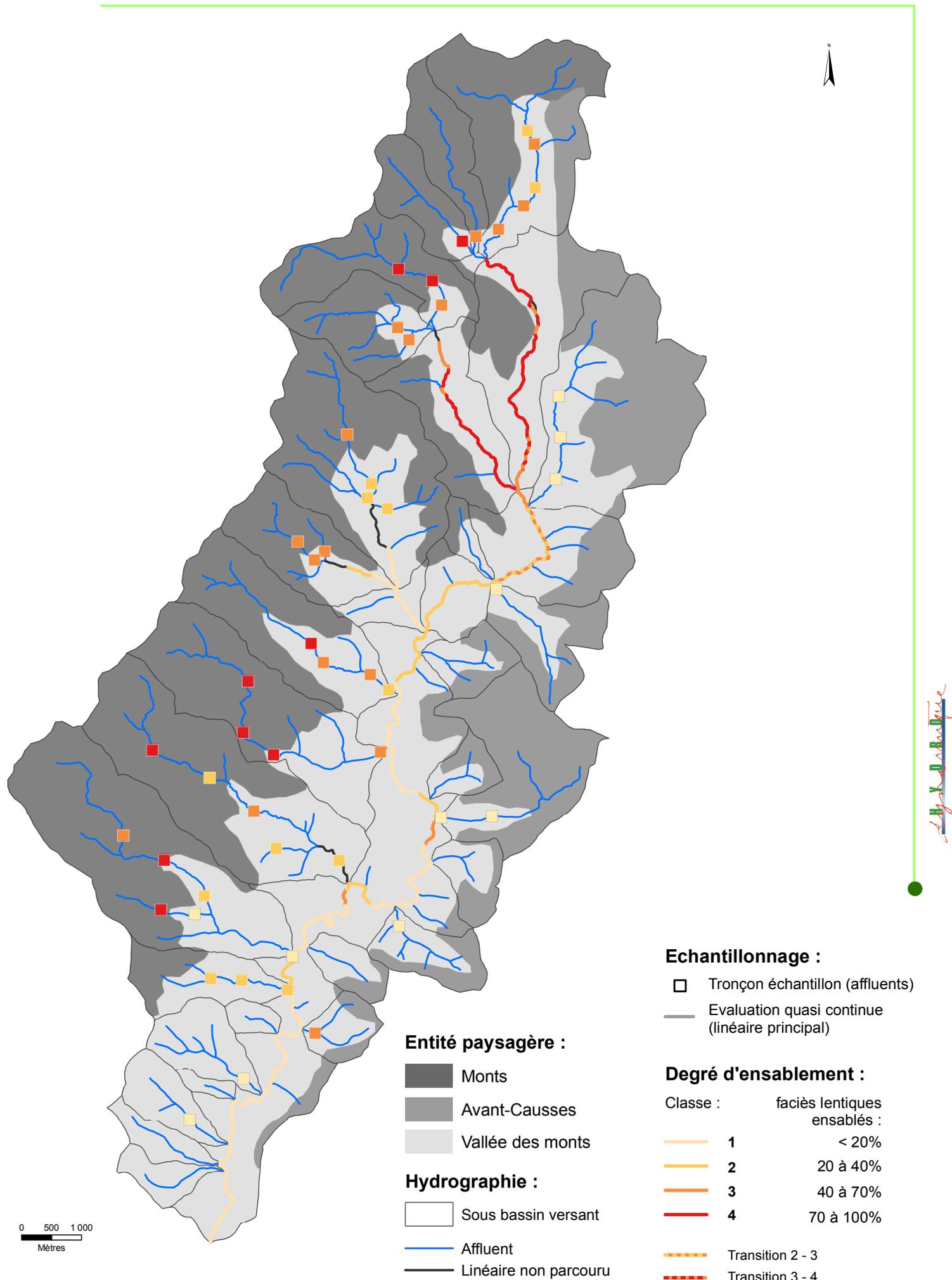


0 500 1 000
Mètres



HydroRipisylve

Ensemblement des cours d'eau



Observatoire
 de l'Hydrologie
 et de la Qualité
 de l'Eau

Echantillonnage :

- Tronçon échantillon (affluents)
- Evaluation quasi continue (linéaire principal)

Entité paysagère :

- Monts
- Avant-Causse
- Vallée des monts

Hydrographie :

- Sous bassin versant
- Affluent
- Linéaire non parcouru

Degré d'ensablement :

- | Classe : | faciès lenticques ensablés : |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1 | < 20% |
| 2 | 20 à 40% |
| 3 | 40 à 70% |
| 4 | 70 à 100% |
| | Transition 2 - 3 |
| | Transition 3 - 4 |

0 500 1000
Mètres

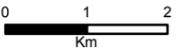
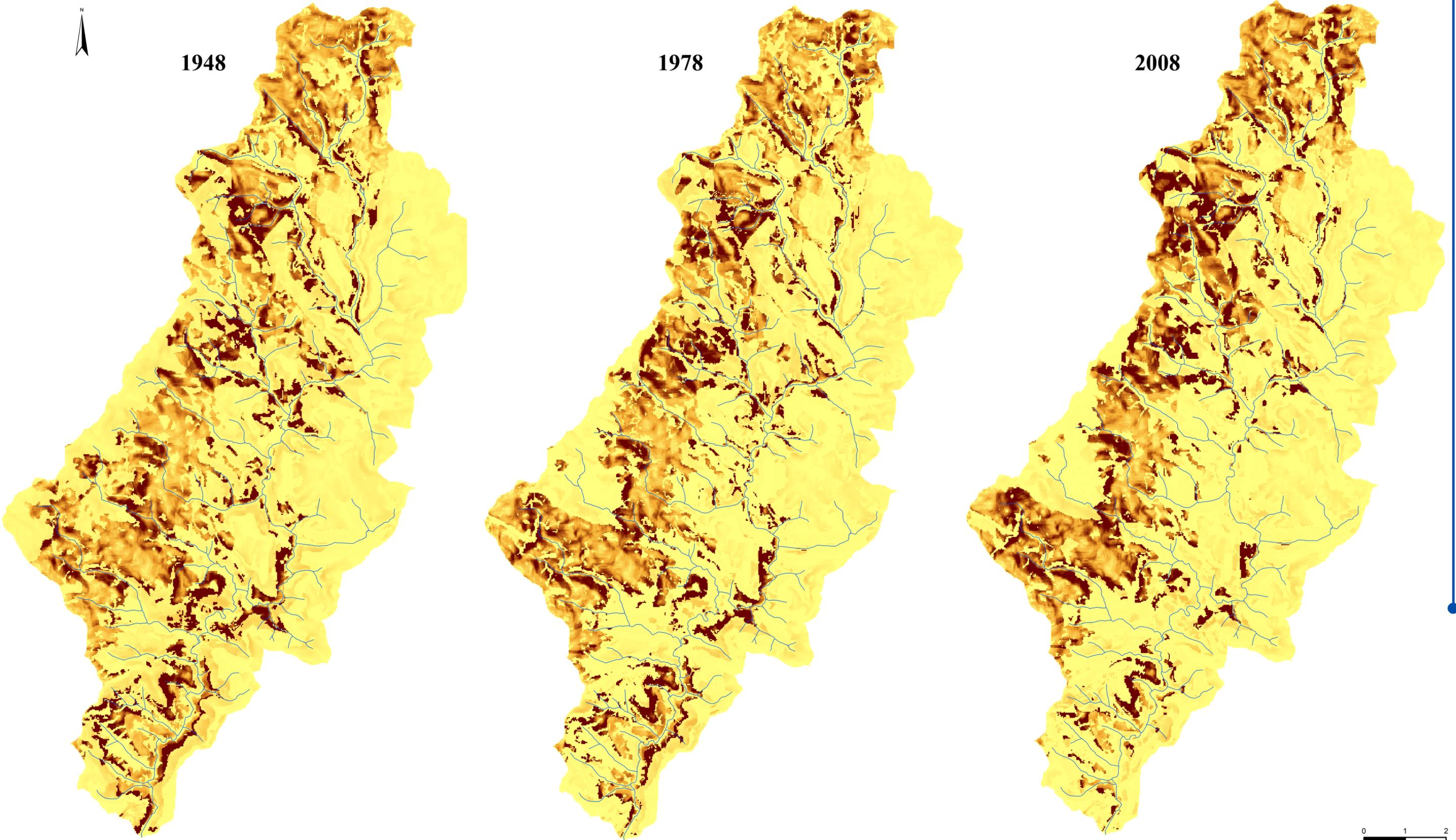
Production de sables par érosion des sols



1948

1978

2008



Score de production de sable :
(P x T x O)



— Cours d'eau

Score = P x T x O

Avec :

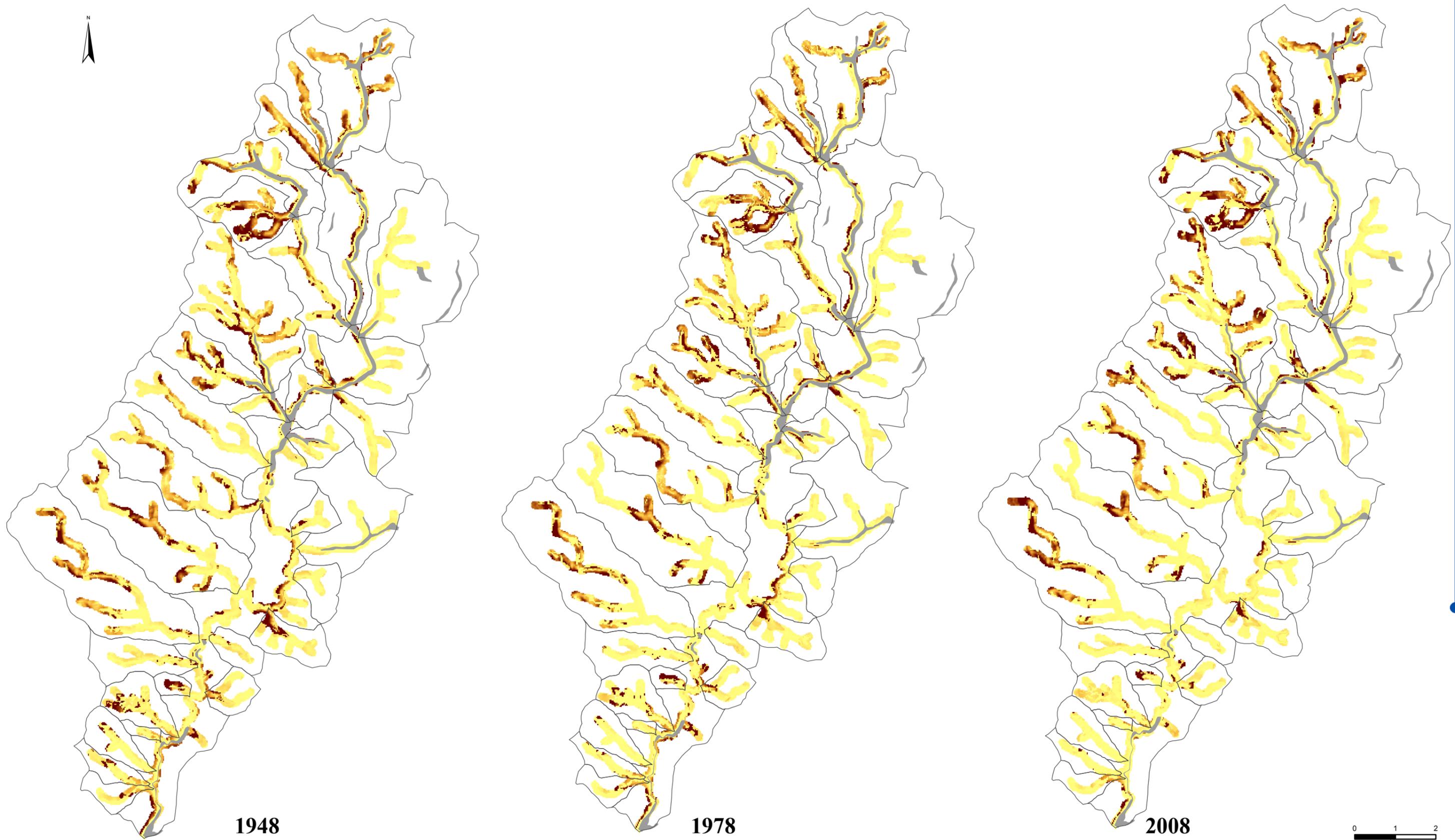
P : pente en m/m

T : coefficient de la teneur des sables des sols

O : coefficient de l'occupation des sols



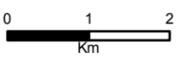
Production de sables sur les versants connectés au réseau hydrographique



1948

1978

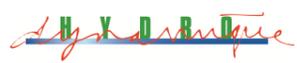
2008



Score de production de sable :
(P x T x O)
0 660

■ Alluvions
□ Sous bassin versant

Score = P x T x O
Avec :
P : pente en m/m
T : coefficient de la teneur des sables des sols
O : coefficient de l'occupation des sols

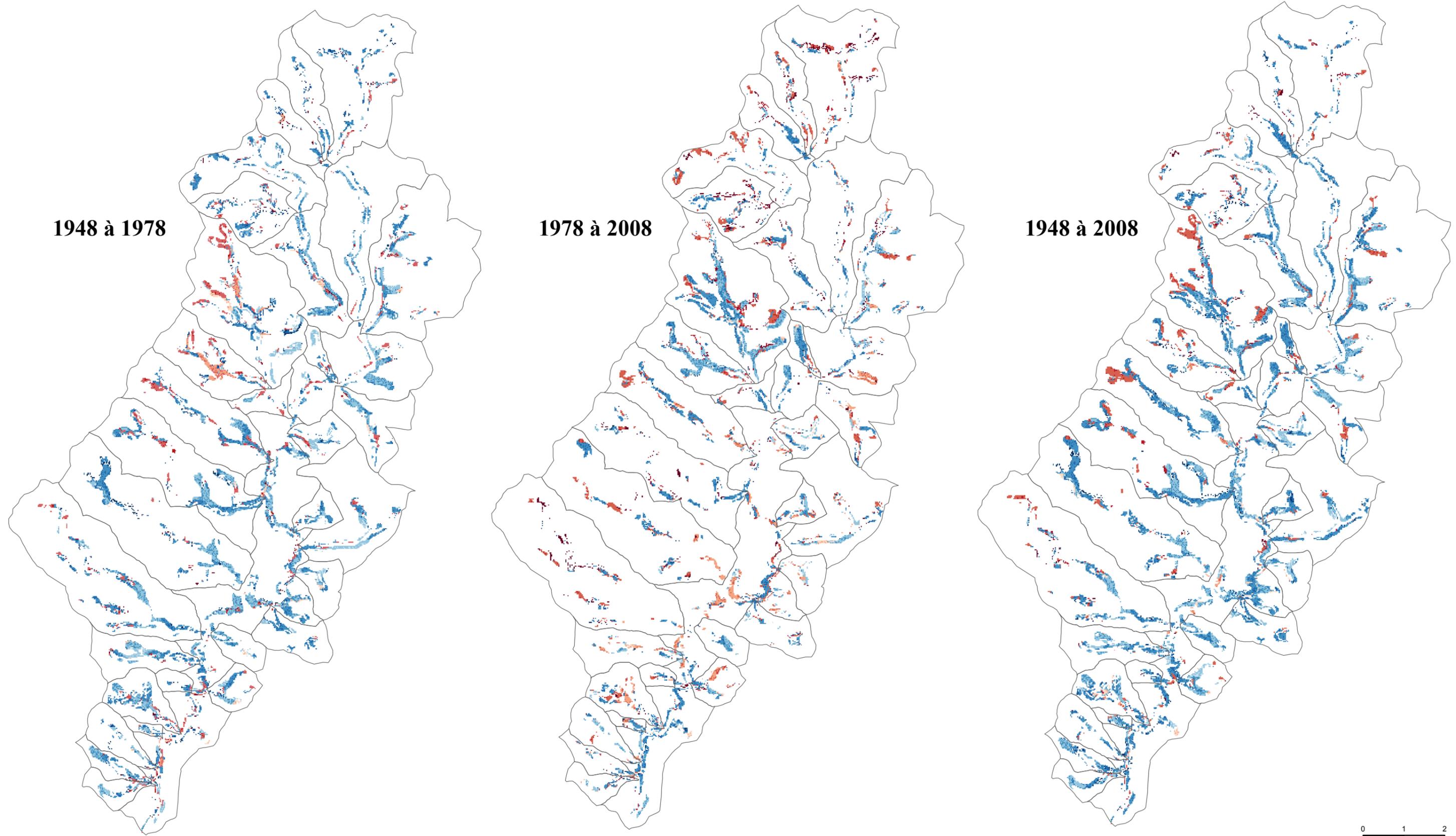


Evolution de la fourniture en sables

1948 à 1978

1978 à 2008

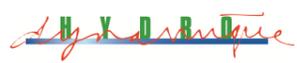
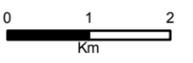
1948 à 2008



Rapport $\frac{\text{score final}}{\text{score initial}}$



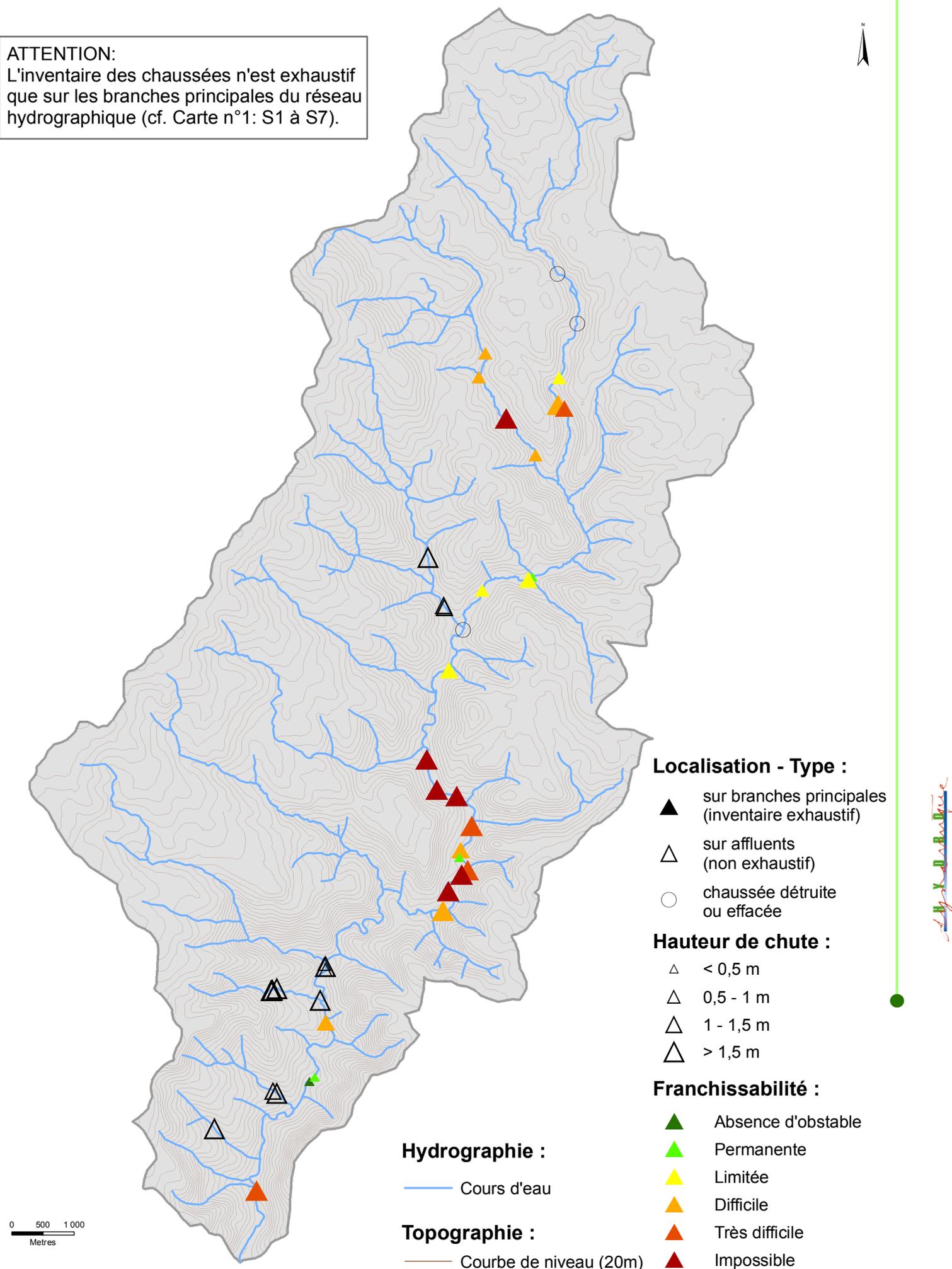
Sous bassin versant



Inventaire des chaussées

ATTENTION:

L'inventaire des chaussées n'est exhaustif que sur les branches principales du réseau hydrographique (cf. Carte n°1: S1 à S7).



0 500 1 000
Metres

Synthèse des dysfonctionnements

Ensemblement :

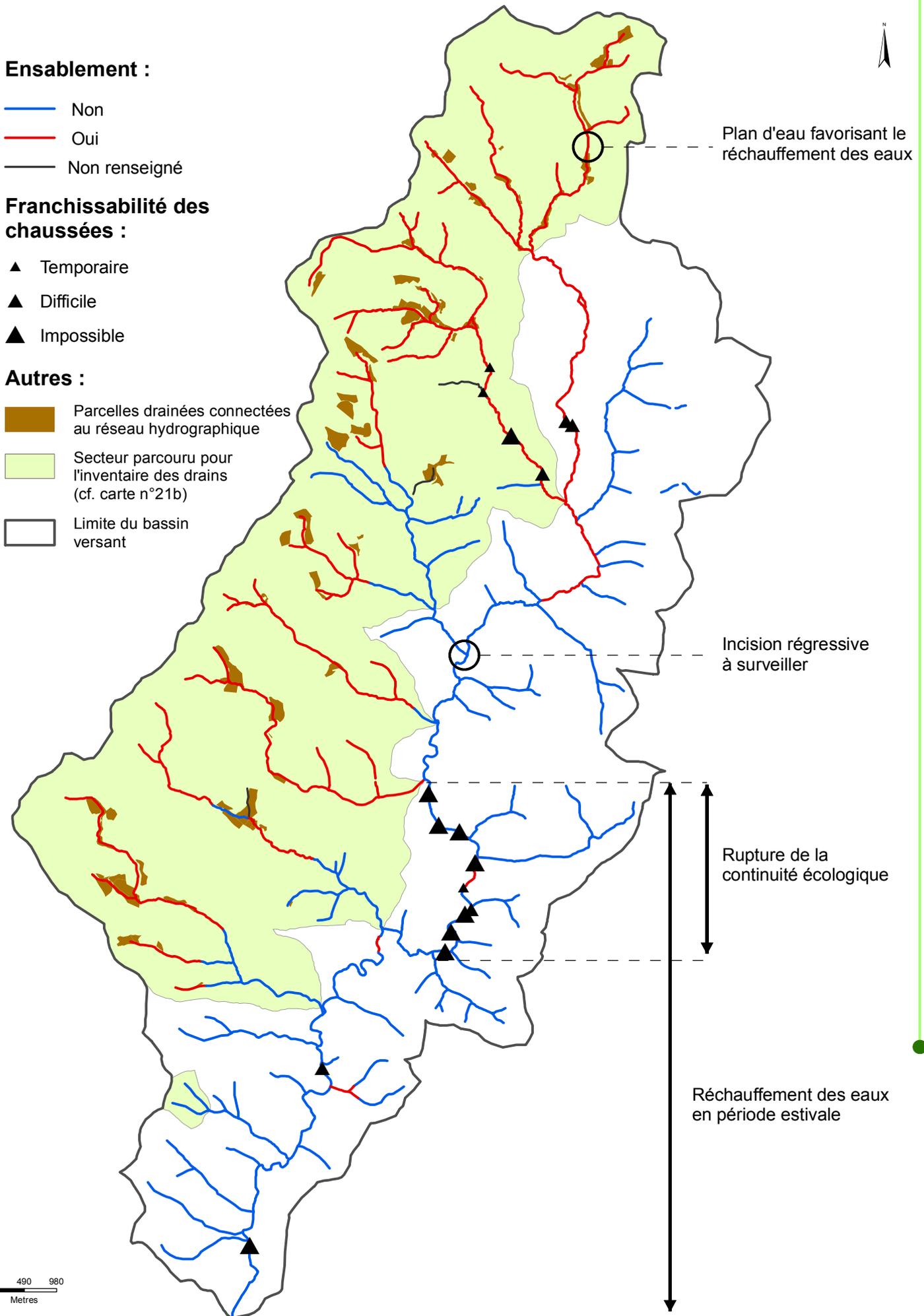
- Non
- Oui
- Non renseigné

Franchissabilité des chaussées :

- ▲ Temporaire
- ▲ Difficile
- ▲ Impossible

Autres :

- Parcelles drainées connectées au réseau hydrographique
- Secteur parcouru pour l'inventaire des drains (cf. carte n°21b)
- Limite du bassin versant



Dynamique Hydro

Synthèse des enjeux écologiques

Révision du classement des cours d'eau (L214-17) :

 Tronçon proposé pour la liste 1 (Très bon état écologique)

 Tronçon proposé en liste 2

Qualité globale des habitats piscicoles :

 Très bon

 Bon

 Moyen

 Faible

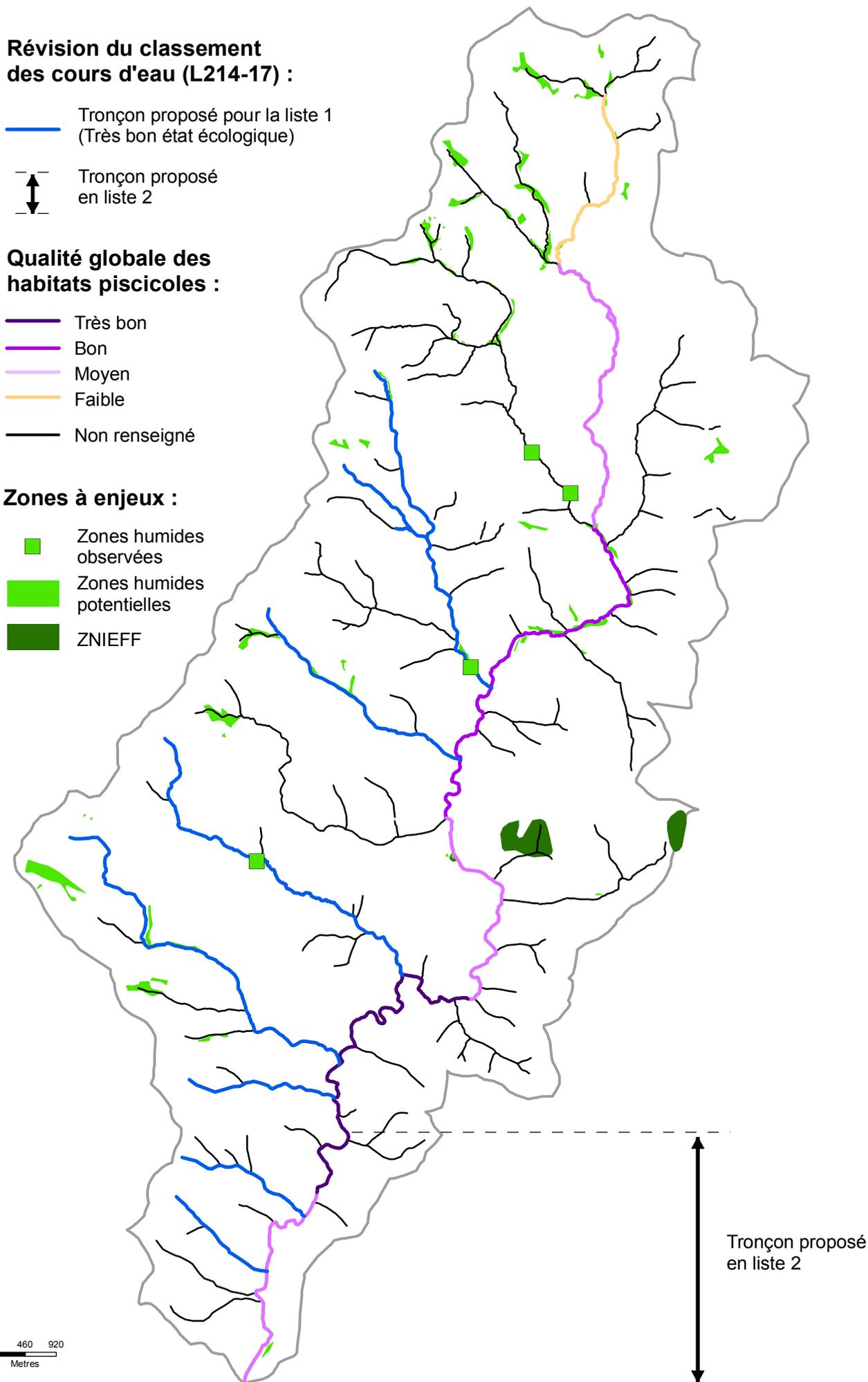
 Non renseigné

Zones à enjeux :

 Zones humides observées

 Zones humides potentielles

 ZNIEFF





Parc naturel régional des Grands Causses

71 boulevard de l'Ayrolle
BP 50126
12101 MILLAU cedex
Tel : 05.65.61.35.50
Fax : 05.65.61.34.80



Avec le soutien de :

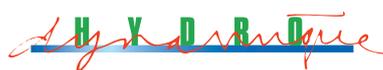


Phase 2

Schéma d'orientation et plan de gestion

Rapport final

Mars 2012



DYNAMIQUE HYDRO
18, Avenue Charles De Gaulle
69370 Saint Didier au Mont d'Or
Tel-Fax : 04.78.83.68.89
contact@dynamiquehydro.fr
www.dynamiquehydro.fr



CALLIGEE Sud Ouest
Le Prologue 2 - BP 2717
31312 Labège cedex
Tel : 05.62.24.36.97
Fax : 05.61.39.07.28
toulouse@calligee.fr



HYDRETUDES-Agence de Toulouse
20, Boulevard de Thibaud
31100 Toulouse
Tel : 05.62.14.07.43 - Fax : 05.62.14.08.95
contact-toulouse@hydretudes.com
www.hydretudes.com

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
INTRODUCTION	5
RAPPEL DU CONTEXTE.....	6
1- <i>Synthèse des évolutions et des dysfonctionnements</i>	6
2- <i>Implications pour la gestion</i>	7
SCHEMA D'ORIENTATION.....	9
1- <i>Orientations générales</i>	9
2- <i>Coordination et communication</i>	11
3- <i>Programmation et maîtrise d'ouvrage</i>	12
3.1- Outil de programmation.....	13
3.2- Structure porteuse pour l'animation des actions.....	14
3.3- Maîtrise d'ouvrage	15
PLAN DE GESTION	17
1- <i>Contenu et limites des fiches actions</i>	17
2- <i>Présentation des fiches actions</i>	18
Fiche action n°1 : Poste d'animateur à 50%.....	19
Fiche action n°2 : Diagnostic des exploitations et accompagnement technique	21
Fiche action n°3 : Inventaire et protection des zones humides	25
Fiche action n°4A : Implantation de bandes riveraines végétalisées.....	29
Fiche action n°4B : Implantation de haies	35
Fiche action n°5 : Inventaire et limitation des drainages agricoles.....	41
Fiche action n°6A : Principe général de gestion des chaussées.....	45
Fiche action n°6B : Arasement partiel ou dérasement de la chaussée de Saint Hippolyte (Mu 1).....	49
Fiche action n°6c : Aménagement d'une rampe au droit de la chaussée de Moulibez (Mu 11).....	59
Fiche action n°6D : Dérasement ou réhabilitation de la chaussée en amont de Moulibez (Mu 12).....	67
Fiche action n°7A : Suivi de l'ensablement des cours d'eau.....	75
Fiche action n°7B : Suivi de la ressource en eau.....	83
Fiche action n°7c : Suivi du confluent Muse-Brinhac	89
3- <i>Vue d'ensemble des actions</i>	93
LISTE DES TABLEAUX	97
LISTE DES FIGURES.....	99
ANNEXES	101

INTRODUCTION

Le Parc naturel régional des Grands Causses réalise une étude du bassin versant de la Muse afin d'établir un plan de gestion permettant d'atteindre le bon état écologique des milieux aquatiques du bassin fixé par la Directive Cadre sur l'Eau. Le S.A.G.E. Tarn Amont définit les objectifs généraux suivants :

- préserver ou rétablir la morphodynamique des cours d'eau ;
- instaurer une logique dans la gestion physique des cours d'eau en tenant compte des aspects écologiques et juridiques ;
- préserver voire restaurer les écosystèmes aquatiques, les zones humides ainsi que leur fonctionnement ;
- maintenir ou améliorer les potentialités piscicoles.

Suite au diagnostic et aux premières propositions de gestion qui ont été discutées lors des comités de pilotage (cf. rapport de phase 1), les préconisations finales pour lutter contre les dysfonctionnements constatés sur le bassin versant de la Muse sont présentées dans ce présent rapport en deux parties :

- un **schéma d'orientation qui présente les orientations générales** (objectifs et types d'action) ;
- un **plan de gestion qui précise les mesures à mettre en œuvre sous la forme de fiches actions.**

Un atlas cartographique au format A3 a été édité dans un rapport annexe pour localiser les propositions relatives à la fiche action n°4B – Implantation de haies.

RAPPEL DU CONTEXTE

Le programme d'action défini dans ce rapport découle d'un diagnostic approfondi qui s'est principalement appuyé sur les éléments suivants :

- analyse diachronique de l'occupation du sol depuis 1948 ;
- inventaire détaillé de l'ensemble des formes fluviales et des pressions anthropiques actuelles : érosions connectées au réseau hydrographique ; atterrissements ; embâcles ; linéaires ensablés ; ouvrages transversaux (chaussées) et protections de berges ; géométrie des chenaux ; granulométrie des fonds et affleurements rocheux ; boisements de berges ;
- étude des conditions hydroclimatiques (pluies et débits) et de leurs évolutions au cours des quatre dernières décennies.

1- Synthèse des évolutions et des dysfonctionnements

L'évolution de l'occupation du sol du bassin versant au cours de la seconde moitié du vingtième siècle est marquée par un important reboisement. Celui-ci s'est principalement réalisé au niveau des versants escarpés entre les plateaux et les fonds de vallée, ainsi que sur les parties amont des bassins d'Estalane et de Falguières. Les secteurs amont de certains sous-bassins en rive droite et au nord de la Muse (plateau du Lévézou) ont également été mis en cultures. Une grande partie de ces cultures ont remplacées les terrains humides, en friches ou en prairies permanentes, qui dominaient encore très largement la bordure orientale du bassin au milieu du 20^{ème} siècle. Par ailleurs, la moitié des prairies permanentes exploitées par les agriculteurs ont été converties en prairies temporaires (ou artificielles) depuis les années 70.

D'un point de vue hydrologique, ce déplacement des terres cultivées vers les têtes de bassin, qui constituaient autrefois des réservoirs hydriques restituant l'eau progressivement, a un impact fort sur les débits des cours d'eau. Cela se traduit par une aggravation des extrêmes hydrologiques, et notamment par des étiages plus sévères. Cette tendance est encore accentuée par les drainages agricoles qui se sont développés à partir des années 70. Les débits des cours d'eau en période estivale ont donc nettement diminués. Il faut préciser que ces évolutions n'entraînent pas les mêmes problèmes dans tout le bassin versant :

- les déficits hydrologiques sont plus importants sur les affluents en rive droite et au nord du bassin, où se sont déroulés les principales évolutions, et où l'on observe de plus en plus fréquemment des assecs estivaux ;
- aucun changement significatif n'est visible sur les affluents de rive gauche qui drainent les terrains calcaires, et qui constituent naturellement des cours d'eau intermittents en eau uniquement après les évènements pluvieux importants ;

- sur la Muse, la station de Saint Hippolyte a bien enregistré une diminution des débits d'étiage depuis les années 80 mais les impacts hydrologiques sont tout de même amoindris par effet de « dilution » à mesure que l'on s'éloigne des sources de perturbations, notamment du fait du reboisement important du bassin versant.

D'un point de vue géomorphologique, la mise en culture des têtes de bassin, le retournement plus fréquent des sols dans les prairies temporaires, et l'assèchement des sols par drainage, ont tous contribué à augmenter l'érosion des sols et la production de matériaux fins (sables et limons). Cela se traduit par une introduction excessive de matériaux fins dans les tronçons à faible énergie d'écoulement. C'est le cas des secteurs amont et intermédiaires de la plupart des affluents en rive droite et au nord du bassin qui présentent un ensablement important.

Enfin, ces évolutions se répercutent sur la qualité écologique des cours d'eau. L'ensablement du lit et la diminution des débits d'étiage constituent indéniablement les deux principales perturbations de la qualité des habitats aquatiques. Outre les assecs estivaux des cours d'eau de têtes de bassin, la diminution des débits d'étiage se traduit par un réchauffement prononcé des eaux qui affecte également la Muse. En période estivale, la température de l'eau est particulièrement élevée en aval de Moulibez. Cette dernière perturbation est encore favorisée par les chaussées qui ralentissent les écoulements. Ces ouvrages ont également un impact sur la capacité d'accueil des cours d'eau principaux (Muse et Muzette), notamment en réduisant la circulation piscicole. Ils constituent néanmoins une source de perturbation secondaire au regard du contexte historique et géomorphologique du bassin : d'une part, les populations piscicoles étaient réputées abondantes quelques décennies auparavant alors que les chaussées étaient largement plus nombreuses ; d'autre part, un certain nombre d'obstacles naturels (cascades, chutes et seuils naturels) cloisonnent naturellement certaines portions du réseau hydrographique.

2- Implications pour la gestion

Les principales perturbations se situent sur les affluents qui drainent les terrains métamorphiques, en rive droite et au nord de la Muse. C'est plus particulièrement le cas dans les secteurs amont de ces cours d'eau. Pour remédier aux problèmes constatés, **il convient d'intervenir principalement au niveau des surfaces drainées par ces cours d'eau, c'est-à-dire sur le plateau du Lévézou**. Ces secteurs constituent donc une zone prioritaire d'intervention, qui a guidé la définition et la localisation des actions proposées ci-après dans le rapport.

Contrairement aux études hydrogéomorphologiques « classiques », généralement axées sur la gestion des dynamiques fluviales qui interviennent strictement dans le cours d'eau et son fond de vallée (restauration de la mobilité latérale, de la recharge sédimentaire, de la capacité hydraulique...), le diagnostic établi sur le bassin de la Muse conduit davantage à **mettre en œuvre des mesures de gestion en amont des secteurs perturbés, c'est-à-dire sur les versants**. Il convient notamment d'encourager une évolution des pratiques culturelles pour limiter l'impact du ruissellement, des drainages et de l'érosion des sols sur les cours d'eau. La préservation des zones humides est une priorité car il s'agit de milieux particulièrement riches d'un point de vue écologique, qui participent également à la régulation hydrologique du bassin versant et donc au soutien des étiages. Le développement de zones tampons végétalisées, sur les versants et en bordure de cours d'eau, permettrait encore de soutenir les étiages et

de réduire l'ensablement des cours d'eau en limitant le ruissellement et/ou l'introduction des produits de l'érosion des sols dans les cours d'eau.

Soulignons que cela suppose des efforts particuliers car la gestion des versants implique des coûts généralement élevés et soulève parfois des problèmes délicats vis-à-vis des enjeux socio-économiques liés à l'utilisation des sols. Par ailleurs, les outils techniques et/ou administratifs existants ne sont pas toujours adaptés à ce type de gestion. Les versants ne constituent notamment pas un terrain d'intervention habituel pour les gestionnaires de cours d'eau. Il conviendra donc d'élaborer des méthodes innovantes voire de développer des partenariats/collaborations inédites pour mettre en œuvre les actions nécessaires à l'amélioration des fonctions hydrologiques, géomorphologiques et écologiques des cours d'eau du bassin.

SCHEMA D'ORIENTATION

1- Orientations générales

Sept grandes actions ont été retenues (**tableau 1**). Elles sont essentiellement orientées vers le maintien et la restauration des conditions d'habitat aquatiques, et plus particulièrement vers la lutte contre les problèmes liés à la ressource quantitative en eau et à l'ensablement des cours d'eau de tête de bassin versant.

L'action n°1 est une action transversale visant à animer et à coordonner l'ensemble des mesures à mettre en œuvre.

Les quatre actions suivantes sont prioritaires :

- l'action n°2 consiste à améliorer les pratiques des exploitations agricoles pour réduire les impacts sur les habitats aquatiques. Précisons d'emblée que les entretiens individuels réalisés avec les exploitants bénéficieront également à d'autres types d'action (prise de contact et collecte de diverses informations comme les haies existantes, les zones humides...);
- l'action n°3 vise à la préservation des zones humides, du fait de leur intérêt écologique majeur et de leur influence positive sur le régime hydrologique des cours d'eau ;
- les actions n°4 et 5 consistent à intervenir sur les parcelles agricoles pour soutenir les étiages et limiter l'ensablement des cours d'eau de faible rang, et plus particulièrement sur les affluents drainant les monts cristallophylliens en rive droite de la Muse et au nord du bassin versant.

Les deux dernières correspondent à des enjeux moindres :

- l'action n°6 vise à réduire l'impact des chaussées sur la circulation piscicole ;
- l'action n°7 correspond aux suivis de l'évolution des milieux aquatiques.

Action		Objectifs	Mesure(s)
1	Animation	animer et coordonner les actions précédentes	1 - Poste d'animateur à 50%
2	Amélioration des pratiques culturales pour lutter contre l'érosion des sols	identifier les pratiques agricoles susceptibles de favoriser l'érosion des sols et l'ensablement consécutif des cours d'eau (dans le cadre d'un diagnostic plus large) et encourager à l'évolution de ces pratiques	2 - Diagnostic des exploitations et accompagnement technique (sous-actions A2-2.1 et A-2.2 du contrat de rivière)
3	Préservation et reconquête des zones humides	réguler la ressource en eau ; maintien de la biodiversité (faune et flore) et des micro-paysages typiques du plateau du Lévézou	3A - Inventaire des zones humides 3B - Suivi 3C - Mesures de protection 3D - Sensibilisation du grand public et des exploitants agricoles et forestiers
4	Développement de bandes végétalisées	lutter contre l'ensablement ; diminuer les apports en polluants divers ; limiter le réchauffement et l'évaporation des eaux ; favoriser la richesse écologique des corridors fluviaux réguler la ressource en eau ; lutter contre l'ensablement ; autres (cf. fiche action 3b)	4A - Implantation de zones tampons riveraines végétalisées (en bordure des cours d'eau) 4B - Implantation de haies sur les versants
5	Traitement des drainages agricoles	limiter l'impact des drainages agricoles sur les débits et sur l'ensablement des cours d'eau de tête de bassin versant	5A - Inventaire des drainages 5B - Eviter l'implantation de nouveaux drains et supprimer les drains existants
6	Intervention sur les chaussées	restaurer la circulation piscicole ; améliorer les conditions d'habitat aquatique	6 - Aménagement de certaines chaussées (fiches actions n°6A à 6D)
7	Suivis	évaluer l'évolution de l'ensablement du lit des cours d'eau évaluer l'évolution des débits d'étiage et de la température de l'eau surveiller l'impact morphologique de la destruction récente d'une chaussée au confluent Brinhac-Muse et prévenir les dégâts éventuels	7A - Suivi morphologique annuel 7B - Suivi hydrologique et thermique en continu 7C - Suivi morphologique annuel et après chaque crue importante

Tableau 1 : schéma d'orientation

2- Coordination et communication

Comme évoqué ci-avant et détaillé plus loin dans la fiche action n°1, la mission prioritaire de l'animateur ou technicien-animateur sera de coordonner les actions entreprises par leur(s) maître(s) d'ouvrage respectif(s) et de les assister dans le montage technique et financier de l'action. Cela supposera notamment d'organiser des réunions de cadrage avec les différents partenaires de l'étude pour finaliser la définition des modalités administratives et financières de chaque intervention.

De manière plus générale, **la communication « publique » sera un élément déterminant pour l'application des mesures** proposées. Elle peut être organisée autour de trois types d'intervention :

- des **entretiens individuels** avec les riverains et les exploitants agricoles :
 - o dans le cadre des diagnostics d'exploitation (cf. fiche action n°2) qui, au-delà de l'évaluation des pratiques culturales, permettent également d'obtenir certaines informations complémentaires utiles à d'autres actions (ex. : localisation et pratique d'entretien des haies existantes, des zones humides, des drains) ;
 - o dans le cadre de l'élaboration au stade d'avant-projet de certaines actions (ex. : implantations de haies, contractualisation pour la préservation d'une zone humide) ;
- des **réunions collectives d'information et de concertation** avec les principaux acteurs concernés autour du diagnostic (ex. : inventaire des zones humides) et des solutions à mettre en œuvre (ex. : présentation des mesures entreprises ailleurs, comme sur le bassin versant du Cône, et débat sur les solutions innovantes envisageables sur le bassin de la Muse) ;
- des **communications étendues** à l'ensemble des habitants du bassin versant (ex. : diffusion par courrier d'une plaquette d'information, communiqués de presse...) pour les sensibiliser aux enjeux et/ou les informer de l'avancement du projet.

En ce sens, la mission de l'animateur ou technicien-animateur est primordiale et doit s'étendre à l'organisation de la communication sous diverses formes, avec les acteurs publics et/ou privés, pour l'atteinte des objectifs fixés.

3- Programmation et maîtrise d'ouvrage

La mise en œuvre opérationnelle du programme d'actions relève de quatre aspects intervenant à deux niveaux distincts :

- la programmation globale de l'ensemble des actions :
 - mise en place d'un outil de programmation globale ;
 - identification d'une ou plusieurs structures porteuses pour assurer l'organisation générale des actions sur le bassin versant ;
- le montage de chacune des actions :
 - identification d'un ou plusieurs maîtres d'ouvrages spécifiques pour chacune des actions à mettre en œuvre ;
 - financement des actions par ce(s) maître(s) d'ouvrage, éventuellement soutenu(s) par un ou plusieurs partenaires financiers.

Les paragraphes suivants présentent de manière synthétique les différentes solutions envisageables concernant ces trois premiers aspects, qui s'appuient notamment sur les discussions tenues lors des comités de pilotage de l'étude.

3.1- Outil de programmation

Cinq outils (ou modes de gestion) sont envisageables pour la programmation des actions sur le bassin versant (**tableau 2**).

Mode de gestion	Avantage(s)	Inconvénient(s)
1 Intégration au Contrat de Rivière <i>Tarn amont</i>	<ul style="list-style-type: none"> intégration des actions dans le cadre opérationnel actuel 	
2 Contrat de Bassin	<ul style="list-style-type: none"> outil multithématique, adapté à la taille du bassin et aux objectifs visés 	<ul style="list-style-type: none"> superposition avec le contrat de rivière => risque de refus
3 Plan d'Action Territorial *	<ul style="list-style-type: none"> outil adapté aux mesures orientées vers la gestion des pratiques agricoles 	<ul style="list-style-type: none"> bassin non éligible au titre des aides du 9^{ème} programme de l'Agence de l'Eau
4 Plan pluriannuel de gestion *	<ul style="list-style-type: none"> outil adapté aux mesures proposées pour le lit et les berges des cours d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> déconnexion avec les mesures proposées sur les versants (plus nombreuses)
5 Organisation sans contrat de programmation	<ul style="list-style-type: none"> possibilité de partager les responsabilités 	<ul style="list-style-type: none"> moins de financement public possible absence de programmation

* outils complémentaires à mettre en place simultanément

Tableau 2 : les différents modes de gestion envisageables

Parmi ces derniers, une solution est plus pertinente étant donné la nature des actions programmées, l'importance de ces actions et la taille du bassin versant : **l'intégration des actions au contrat de rivière *Tarn amont*** (avec ou sans avenant).

3.2- Structure porteuse pour l'animation des actions

Trois structures porteuses sont envisageables pour assurer l'animation des actions programmées sur le bassin versant (**tableau 3**).

Organisme	Avantage(s)	Inconvénient(s)
1 Structures porteuses du contrat de rivières <i>Tarn Amont</i> (Parc naturel régional des Grands Causses, Syndicat Mixte des Gorges du Tarn, de la Jonte et des Causses)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ territoire intégré ▪ existence d'un comité de pilotage et d'une assemblée délibérante 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ moyens humains à renforcer ▪ compétences à vérifier
2 Une communauté de communes (convention à établir avec l'autre collectivité)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ territoire semi-intégré 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ montage administratif complexe (co-maîtrise d'ouvrage à organiser avec délégation de compétences)
3 Communes		<ul style="list-style-type: none"> ▪ possible manque de cohérence des actions (gestion non intégrée) ▪ compétences à vérifier

Tableau 3 : les différentes structures porteuses envisageables

En toute logique, **si les actions sont intégrées au contrat de rivière *Tarn Amont*** (cf. § 3.1), leur animation devrait être assurée par la **cellule d'animation du contrat de rivière** et donc conjointement par le Parc naturel régional des Grands Causses et le Syndicat des Gorges du Tarn, de la Jonte et des Causses.

3.3- Maîtrise d'ouvrage

Par ailleurs, la maîtrise d'ouvrage de chacune des actions pourrait être confiée à des acteurs différents. Les solutions envisageables sont donc multiples.

Le Parc naturel régional des Grands Causses et le Syndicat des Gorges du Tarn, de la Jonte et des Causses ne disposent pas *a priori* des compétences nécessaires à la maîtrise d'ouvrage d'actions comportant des travaux (source : BD ASPIC du ministère de l'Intérieur).

En revanche, il ressort des comités de pilotage successifs que la communauté de communes Tarn et Muse (Castelnau-Pégayrols, Montjoux et Saint-Beuzély), qui représente environ 80% des habitants du bassin et les 2/3 de sa superficie (66%) et qui dispose notamment de la compétence « *Autres actions environnementales* » (source : BD ASPIC du ministère de l'Intérieur), pourrait porter une partie des actions sur l'ensemble du bassin versant, c'est-à-dire sur son territoire et au-delà. Le cas échéant, il serait nécessaire d'établir une ou des conventions de délégation de compétence (délégation de maîtrise d'ouvrage) :

- soit avec les communes voisines (Saint-Léons et Saint-Laurent-de-Lévézou) ;
- soit avec la communauté de communes Lévézou-Pareloup à laquelle elles sont rattachées.

Le choix entre l'une ou l'autre de ces deux dernières solutions repose sur la répartition des compétences entre ces deux communes et leur groupement. Cette dernière solution semble pouvoir être écartée dans la mesure où les compétences déléguées à la communauté de communes de Lévézou- Pareloup sont réduites et ne concernent pas les travaux à vocation environnementale et/ou d'aménagement de l'espace (source : BD ASPIC du ministère de l'Intérieur).

N.B. : il faut préciser que les compétences des différentes communes et groupements intercommunaux du bassin ne sont pas clairement établies, leur dénomination laissant une certaine place à l'interprétation.

La maîtrise d'ouvrage de certaines actions peut également être confiée à des organisations professionnelles agricoles ou forestières et à des associations locales, notamment en ce qui concerne certaines actions spécifiques (ex. : chambre d'agriculture pour les diagnostics exploitation).

Enfin, la détermination de la participation financière et du taux de financement de chaque acteur constitue l'étape ultime du montage de chaque action. De préférence, la contribution des différents partenaires devrait être négociée simultanément à l'évaluation de l'enveloppe financière attribuée à chacune des actions.

PLAN DE GESTION

Dans ce chapitre, nous développons sous forme de fiches actions les aspects techniques, financiers et réglementaires pour chacune des grandes actions définies précédemment (**tableau 1**).

Soulignons que les actions peuvent correspondre à des zones d'intervention distinctes :

- la fiche action n°1 correspond à un poste d'animation de l'ensemble des actions ;
- **les fiches n°2, 3, 4B et 5 concernent les versants**, principalement ceux des sous-bassins sensibles à l'ensablement (affluents à l'ouest et au nord de la Muse) ;
- **les fiches n°4A, 6A, 6B, 6C, 6D, 7A, 7B et 7C concernent certains tronçons de cours d'eau.**

1- Contenu et limites des fiches actions

Le niveau de détail des fiches actions est variable dans la mesure où une partie des informations nécessaires pour la définition de certaines modalités techniques et/ou aux estimations financières sont encore inconnues (ex. : inventaire des zones humides).

Les interventions sur les chaussées nécessiteront notamment :

- des missions complémentaires de maîtrise d'œuvre pour préciser leurs modalités techniques (niveau projet ou avant-projet) ;
- la constitution d'un dossier de déclaration ou de demande d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau (DLE) ;
- et éventuellement la constitution d'un dossier de Déclaration d'Intérêt Général (DIG) en cas de financements publics.

Il est vivement recommandé de regrouper ces missions pour diminuer leurs coûts et pour favoriser la cohérence des dossiers.

Il faut également préciser qu'une partie des actions consistent en des missions de suivi ou d'inventaire qui pourraient être réalisées par le technicien-animateur si bien que :

- **les montants estimatifs des fiches actions ne se cumulent pas totalement** (les estimations liées aux suivis) ;
- **la quotité de travail et la durée du contrat du technicien-animateur, ainsi que la nature même de son poste, devront être ajustées en fonction de l'option des actions programmées.**

2- Présentation des fiches actions

Le numéro des fiches actions correspondent aux mesures présentées dans le **tableau 1**.

N° 1

ACTION : ANIMATION

Priorité : 1

MESURE : POSTE D'ANIMATEUR À 50%Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Structures porteuses du
contrat de rivière Tarn Amont****140 000 €****5 ans**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Les actions définies ci-après doivent être coordonnées pour faciliter leur mise en œuvre et pour assurer une programmation cohérente vis-à-vis des objectifs de gestion définis ci-avant et des orientations définies à un niveau supérieur (SAGE et SDGAE).

Etant donné la lourdeur de certaines opérations, cela nécessite ***a minima*** un poste à temps partiel de 50%. Cette quotité de travail sera à ajuster en fonction des actions programmées.

DESCRIPTIF



La mission prioritaire concerne l'**animation des actions**. Il s'agit principalement :

- d'organiser et d'encadrer les réunions préalables nécessaires pour finaliser la définition des modalités administratives et financières de chaque intervention (réunions de concertation avec les élus, les partenaires techniques et financiers, et les éventuels usagers concernés...);
- d'assister les maîtres d'ouvrages dans le montage et le suivi des actions ;
- de faire le lien avec l'ensemble des partenaires impliqués dans le montage des actions ;
- d'organiser la communication autour des actions mises en œuvre auprès des riverains, des exploitants agricoles et des habitants de la vallée.

Il pourrait également prendre en charge tout ou partie des actions présentées par la suite :

- état des lieux et/ou suivi des bandes riveraines végétalisées : fiche action n°4A ;
- inventaire étendu des drainages agricoles sur les versants des affluents de rive droite et au nord du bassin versant : fiche action n°5 ;
- suivi morphologique du lit et des berges après interventions sur les chaussées : fiches action n°6B, 6C et 6D ;
- suivis de l'évolution des milieux :
 - suivi de l'ensablement des cours d'eau : fiche action n°7A ;
 - suivi du niveau d'eau et de la température de l'eau : fiche action n° 7B ;
 - suivi morphologique du confluent Muse-Brinhac : fiche action n°7C.



ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COUT ANNUEL	COUT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Masse salariale ⁽¹⁾	5	Année de travail à 50%	18 000	90 000
II. Frais annexes ⁽²⁾	5	Forfait annuel	10 000	50 000
TOTAL				140 000

¹ la masse salariale correspond approximativement à un salaire mensuel de 2 000 euros bruts (charges patronales incluses) ; ² il s'agit d'une ESTIMATION BASSE car, en fonction de ces attributions, le technicien-animateur pourrait avoir à effectuer de nombreux déplacements (et le matériel de terrain spécifique à certaines mesures n'est pas inclus)

PHASAGE PREVISIONNEL

ACTIONS/ OPERATIONS	ECHANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I. Masse salariale		18 000	18 000	18 000	18 000	18 000		
II. Frais annexes		10 000	10 000	10 000	10 000	10 000		

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

TYPE DE CHARGES	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
I. Masse salariale	90 000	50 *	5		20		
II. Frais annexes	50 000				100		

* taux en vigueur modifiable fin 2012, valable sur une base maximale de 80 000 € et sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration

N° 2

ACTION : AMELIORATION DES PRATIQUES CULTURALES

Priorité : 1

MESURE : DIAGNOSTIC DES EXPLOITATIONS ET ACCOMPAGNEMENT TECHNIQUE

Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation

Chambre d'agriculture

80 000 €

4 ans

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE

Les pratiques culturales favorisant l'érosion des sols contribuent à l'ensablement des cours d'eau. Un certain nombre de mesures peuvent être encouragées pour réduire les impacts sur les habitats aquatiques ([tableau 4](#)).

Comme le préconise le contrat de rivière *Tarn Amont*, la prise en compte du risque d'érosion des sols et l'incitation à des mesures préventives peuvent être réalisées dans le cadre d'un **accompagnement technique des exploitants agricoles** (sous-action **A2-2.2** du contrat de rivière), précédé de **diagnostics globaux des exploitations** intégrant à la fois les dimensions économiques, agronomiques et environnementales des exploitations agricoles (sous-action **A2-2.1** du contrat de rivière).

DESCRIPTIF

Les diagnostics individuels d'exploitation visent essentiellement à déterminer les procédés utilisés par l'exploitant (pratiques culturales, gestion de la fertilisation, matériels et produits phytosanitaires utilisés, mise aux normes des installations...) ainsi que les caractéristiques des parcelles exploitées (drainages, présence de haies, de plan d'eau ou de cours d'eau mitoyens...). Ils permettent ainsi d'identifier les éventuelles sources de problèmes pour la ressource en eau et l'environnement en général puis les améliorations possibles, qui peuvent se traduire par la mise en place de contrats à vocation agro-environnementale (les diagnostics sont notamment obligatoire pour l'adhésion à un programme de MAET), de formations ou de travaux spécifiques.

Le **contenu détaillé des entretiens individuels devra être adapté aux problématiques locales**, notamment pour collecter un maximum d'informations sur les problèmes d'érosions des sols, les drainages et les zones humides.

Sur le bassin versant de la Muse, 113 exploitations sont recensées dans le Registre Parcellaire Graphique de 2010 (RPG) ([tableau 5](#)). Le nombre réel d'exploitations pourrait donc être légèrement plus élevé : 120 voire 130. Les exploitations recensées présentent des tailles très variables ([tableau 5](#)). Par ailleurs, la durée et le coût des diagnostics exploitations sont relativement indépendants de la taille des exploitations. Il pourrait donc être judicieux d'organiser les diagnostics et l'accompagnement technique en priorité sur les exploitations de grande taille.

Au regard des montants initialement prévus dans le contrat de rivière Tarn amont 2010-2014 (*cf.* ci-après FINANCEMENT ET PROGRAMMATION), seule une partie des exploitations peuvent actuellement faire l'objet de ces diagnostics (exploitations de plus de 100 ha par exemple). Un

financement supplémentaire devrait donc être apporté pour étendre ces diagnostics (aux exploitations de plus petite dimension par exemple).

MESURE	DESCRIPTION	OBJECTIF
Orienter favorablement les lignes de cultures	Travailler le sol perpendiculairement à la pente sinon en oblique	limite l'intensité et la vitesse du ruissellement
Couvrir les sols	En période d'interculture : semis d'herbes sur la parcelle En période d'interculture : laisser en place les résidus végétaux En période de culture: semis d'herbes dans l'inter-rang En période de culture: semis sous mulch (résidus végétaux de la culture précédente)	favorise l'interception des eaux de pluies par la végétation et l'effet peigne sur le ruissellement
Limiter le tassement des sols	Utiliser des pneus basse pression (plus larges) Utiliser des effaceurs de traces de roues Biner le sol dès qu'il est battu (plus particulièrement quand la végétation est basse, c'est-à-dire juste après la récolte, dans les premières semaines après le semis ou à l'interculture) Affiner le moins possible les sols (laisser des mottes en surface)	créé des ornières moins profondes évite le tassement des sols après passage de l'engin casse la croûte de battance (*) qui se crée sur les sols limoneux et argileux après un orage laisse la surface du sol plus rugueuse, donc moins sensible à la battance et qui permet de freiner le ruissellement
Renforcer la résistance à l'érosion des zones de passage des eaux	Ne jamais travailler les secteurs de passages des eaux (thalweg, dépression, chemin d'accès...) Végétaliser (enherbement) les thalwegs et les zones de ruptures de pente Tasser les zones de passage des engins agricoles après labour et/ou semis (passage avec les outils relevés pour favoriser le tassement par les roues de l'engin)	favorise la résistance à l'érosion des zones où la concentration des eaux de ruissellement peut entraîner une érosion linéaire (formation d'une rigole, ou d'une ravine)

* pellicule imperméable lisse et cohérente à la surface du sol qui empêche l'infiltration des eaux et qui accélère le ruissellement des eaux

Tableau 4 : quelques recommandations pour lutter contre l'érosion des sols à l'échelle de la parcelle

Néanmoins, d'autres critères peuvent s'avérer plus pertinents que la taille des exploitations en pratique : l'acceptation des exploitants en premier lieu, et encore par exemple le pourcentage de parcelles de l'exploitation localisées sur le bassin versant de la Muse.

CLASSE DE SUPERFICIE	NOMBRE D'EXPLOITATIONS	SUPERFICIE TOTALE ha	POURCENTAGE SURFACIQUE %
> 100 ha	23	3 194	47,76%
20 à 100 ha	60	3 282	49,07%
5 à 20 ha	20	188	2,81%
< 5 ha	10	24	0,36%
TOTAL	113	297 492	100%

Tableau 5 : caractéristiques des exploitations recensées dans le RPG 2010 (les superficies correspondent uniquement aux parcelles situées sur le bassin versant de la Muse)

FINANCEMENT et PROGRAMATION



ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION PAR CLASSE DE TAILLE	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE € HT	COÛT TOTAL € HT	MONTANT PROVISIONNE DANS LE CONTRAT DE RIVIERE * € HT
2A. Diagnostics exploitations					
> 100 ha	23	Forfait	500	11 500	10 000
20 à 100 ha	60			30 000	
5 à 20 ha	20			10 000	
< 5 ha	10			5 000	
2B. Accompagnement technique	nr			nr	42 000
TOTAL				56 500	52 000

* pour mémoire ; source : Plan de financement prévisionnel du contrat de rivière Tarn amont 2010-2014 (janvier 2011)

Pour les raisons évoquées ci-avant, il n'est pas nécessaire (et voire impossible) de procéder au diagnostic de l'ensemble des exploitations présentes sur le bassin versant. Pour l'accompagnement technique, nous pouvons envisager un montant semblable à celui initialement prévu, ce qui conduirait à la partition suivante :

- **établissement des diagnostics : 40 000 € ;**
- **accompagnement technique : 40 000 €.**

PHASAGE PREVISIONNEL

La programmation prévisionnelle du contrat de rivière *Tarn amont 2010-2014* (janvier 2011) ne pourra être tenue. Pour mémoire, elle prévoyait :

- établissement des diagnostics de 2011 à 2012 ;
- accompagnement technique de 2012 à 2014.

Il est donc envisagé la programmation suivante :

- **établissement des diagnostics en 2013 ;**
- **accompagnement technique de 2014 à 2016.**

La programmation précise des opérations devra nécessairement être affinée au fur et à mesure de l'avancement, en fonction de la participation des acteurs agricoles et des besoins émergeant des diagnostics.

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

TYPE DE CHARGES	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION			
		Agence de l'Eau %	Europe via LEADER %	Acteurs agricoles %	Autres %
2A. Diagnostics exploitations	40 000	50 ⁽²⁾	30 ⁽³⁾	20	
2B. Accompagnement technique ⁽¹⁾	40 000	50 ⁽²⁾	30 ⁽³⁾	20	

¹ financement dans le cadre du poste animation ; ² taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration ; ³ jusqu'à fin 2013

Pour mémoire, le plan de financement du contrat de rivière *Tarn amont 2010-2014* (janvier 2011) prévoyait le montage suivant :

- Europe : 30% ;
- Acteurs agricoles : 70%.

N° 3ACTION : **PRESERVATION DES ZONES HUMIDES**Priorité : **1****MESURE : INVENTAIRE ET PROTECTION
DES ZONES HUMIDES**Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**PNRGC
Organisations professionnelles****23 000 €****3 à 5 ans**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE

Les zones humides constituent des milieux particulièrement riches d'un point de vue écologique. Elles participent également à la régulation hydrologique du bassin versant. Les zones humides ont notamment un effet tampon favorable au soutien des étiages car elles permettent une restitution progressive des eaux aux cours d'eau. Il convient donc de préserver ces écosystèmes, ce qui suppose de dresser au préalable un état des lieux préalable des zones humides existantes.

Un pré-inventaire des zones humides existantes est actuellement en cours de réalisation (PNRGC). Il sera suivi de prospections terrain en 2012 et 2013 pour finaliser l'inventaire (ADASEA).

DESCRIPTIF

3A- INVENTAIRE

Il convient de **mener à terme l'inventaire en cours**, en intégrant dans la mesure du possible les anciennes zones humides aujourd'hui disparues. Une analyse géomorphologique essentiellement basée sur la topographie des versants (localisation des replats et cuvettes) pourrait également préciser les limites spatiales originelles des zones humides anciennes et actuelles.

L'importance et la localisation des anciennes zones humides permettront d'évaluer l'impact des drainages récents. Les zones humides existantes pourront faire l'objet de mesures particulières pour garantir leur préservation et/ou pour restaurer leur extension spatiale initiale en cas de rétraction.

3B- SUIVI

Un **suivi du fonctionnement hydrologique des zones humides** pourra être mis en œuvre pour analyser les évolutions récentes et pour anticiper leurs implications à court et moyen termes sur les fonctions écologiques et hydrologiques de ces milieux. Le protocole de suivi devra être élaboré sur la base des résultats de l'inventaire : caractérisation pédologique et floristique.

3C- PROTECTION

A titre d'exemples, les zones humides existantes pourront être protégées par :

- des mesures semblables à la Mesure Agro-Environnementale Territorialisée (MAET) « *Maintien de l'équilibre agri-écologique d'une prairie naturelle en faveur des zones humides et de leurs services rendus* » (DRAAF Midi-Pyrénées 2011 ; **annexe 1**) ;
- et/ou par des arrêtés de protection de biotope ;
- et/ou par des acquisitions foncières des terrains concernés (ou des échanges de terrain).

3D- SENSIBILISATION

Enfin, sur la base des éléments de connaissance existants (bibliographie nationale) et des résultats de l'inventaire (cartes et données locales), une **campagne de sensibilisation des habitants et des exploitants agricoles** pourrait être réalisée, en ciblant notamment :

- les secteurs les plus vulnérables car pourvus de zones humides à forte valeur/intérêt écologique ;
- les secteurs les plus sensibles du fait d'une pression urbaine, forestière et agricole importante.

Cette campagne de sensibilisation pourrait notamment s'appuyer sur des interventions de spécialistes dans le cadre de **réunions collectives d'informations spécifiques aux zones humides**. Soulignons également l'importance des **entretiens individuels avec les exploitants agricoles** qui pourraient être initiés dans le cadre des diagnostics d'exploitations (cf. fiche action n°2) puis entretenus par la suite.

Par ailleurs, la campagne de sensibilisation pourrait également être **élargie aux grandes thématiques économiques, agronomiques et environnementales**, où seraient publiquement abordés :

- les problèmes hydro-géomorphologiques observés sur le bassin versant (érosion des sols, ensablement des cours d'eau, raréfaction des écoulements et de la ressource quantitative en eau, réchauffement des eaux) ;
- les enjeux économiques (développement touristique, débouchés pour la vente en circuit-court des produits agricoles, alimentation en eau, gestion cohérente des pratiques agronomiques avec les évolutions climatiques à moyen terme...);
- ainsi que les solutions envisagées pour y remédier (implantation de haies, protection et restauration des zones humides...).

FINANCEMENT et PROGRAMATION



ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE € HT	COÛT TOTAL € HT
3A. Inventaire *	52	Jour agent	250	13 000
3B. Suivi				
3C. Protection				
3D. Sensibilisation	1	Forfait	10 000	10 000
TOTAL				23 000

* ESTIMATION BASSE ne tenant pas compte de l'ensemble des frais annexes, calculée sur la base de l'estimation du temps nécessaire à l'inventaire sur l'ensemble de la zone de prospection de terrain du massif du Lévézou (150 j pour 318 km²) au prorata de la superficie du bassin versant de la Muse (112 km² soit 35%) ; **les frais déjà mobilisés pour le pré-inventaire (analyse cartographique) ne sont pas pris en compte**

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
3A. Inventaire	13 000							
3B. Suivi								
3c. Protection								
3D. Sensibilisation			5 000	5 000				

PLAN DE FINANCEMENT

OPERATION	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
3A. Inventaire	13 000	déjà financé (ADASEA et PNRGC)					
3B. Suivi		50 ⁽¹⁾					
3c. Protection		50 ⁽¹⁾					
3D. Sensibilisation⁽²⁾	10 000	déjà financé (PNRGC)					

¹ taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration ; ² campagne de sensibilisation financée à travers les actions en cours portées par le Parc naturel des Grands Causses dans le cadre de l'inventaire des zones humides (édition d'un guide technique, plaquette grand public)

N° 4A

ACTION : DEVELOPPEMENT DE BANDES VEGETALISEES

Priorité : 1

MESURE : IMPLANTATION DE BANDES RIVERAINES VEGETALISEESMaître d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Agriculteurs
Organisations professionnelles
Associations****7 500 € ou +****5 ans ou +**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Les affluents du bassin versant connaissent deux perturbations majeures qui altèrent fortement les conditions d'habitat aquatique : diminution des débits d'étiage (assecs estivaux) et ensablement du lit. Le développement de zones tampons végétalisées en bordure de cours d'eau doit permettre de **réduire leur ensablement en piégeant une partie des matériaux érodés provenant des versants adjacents**.

En outre, lorsqu'elles sont denses (végétation arbustive et arborée), les bandes riveraines constituent des habitats particulièrement riches, qui contribuent à la diversité écologique au-delà des corridors fluviaux. Elles permettent également de piéger une partie des polluants provenant des parcelles adjacentes (fixés sur les matières en suspension), favorisent directement ou indirectement la formation d'habitats piscicoles (abris sous berge, introduction de bois mort) et limitent le réchauffement des eaux (ombrage).

DESCRIPTIF



Le couvert végétal des bandes tampons peut être implanté ou spontané. Deux grandes catégories de zones tampons sont notamment envisageables :

- la bande enherbée régulièrement entretenue (**figure 1a**) ;
- le cordon rivulaire dense, véritable ripisylve constituée de différentes strates de végétation spontanée (herbacée, arbustive et arborée ; **figure 1b**).

Les bandes enherbées réduisent la superficie des surfaces en cultures mais n'entraînent pas de perte de la surface « fonctionnelle » des parcelles (ex. : possible passage des engins agricoles, fauchage, broyage et pâturage autorisés sous certaines conditions). Les cordons rivulaires sont nettement plus bénéfiques et ne nécessitent pas d'entretien particulier. Ils entraînent une perte de la surface « fonctionnelle » des parcelles agricoles mais remplissent d'autres fonctions semblables aux haies (production de fourrage et de bois, auxiliaires de cultures... ; cf. fiche action n°4B).

Pour lutter en priorité contre l'ensablement des affluents du bassin versant (Muse amont, Muzette, affluents en rive droite et au nord de la Muse ; cf. **carte n°21a** du rapport de phase 1), **près de 42 km de cours d'eau pourraient faire l'objet d'implantation de bandes riveraines végétalisées (tableau 6)** dans la mesure où :

- ils sont ensablés ou situés en amont d'un tronçon ensablé (**figure 2**) ;
- ils sont mitoyens d'une ou deux parcelles cultivées (au moins 1 des 2 rives).

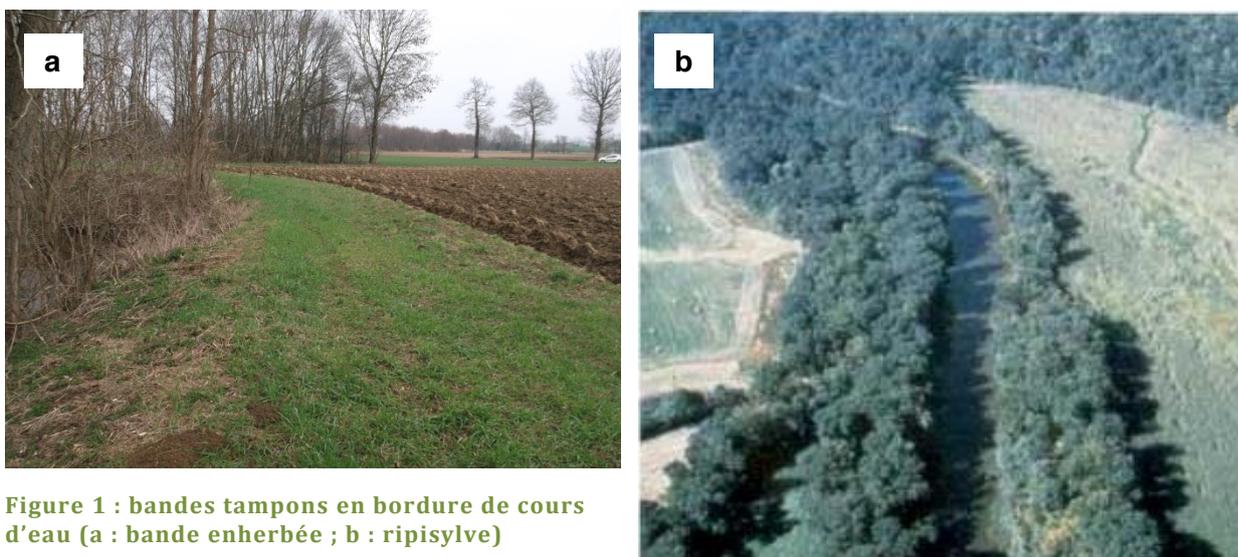


Figure 1 : bandes tampons en bordure de cours d'eau (a : bande enherbée ; b : ripisylve)

CATEGORIE DE COURS D'EAU	LINEAIRE ⁽¹⁾	
	m	%
Cours d'eau « sensibles » (ensablés ou en amont d'un tronçon ensablé)	68 820	45,3
➤ dont 1 des 2 parcelles adjacentes (1 des 2 rives) est cultivée ⁽²⁾	<u>41 863</u>	27,6
▪ dont cours d'eau permanents ou nommés sur la carte IGN (bandes tampons obligatoires en cas d'aides communautaires)	30 026	19,8
▪ dont cours d'eau temporaires non nommés sur la carte IGN (exclus de la conditionnalité)	11 837	7,8
➤ dont aucune rive n'est bordée par des terres cultivées ⁽²⁾	26 958	17,7
Autres cours d'eau	83 080	54,7
TOTAL	151 900	100

¹ à multiplier par 2 pour obtenir la longueur de berges correspondantes ; ² d'après la cartographie de l'occupation du sol basée sur les photographies aériennes de 2008 (carte n°2 du rapport de phase 1)

Tableau 6 : longueur des cours d'eau en fonction de leur statut, de leur ensablement et de l'occupation des terres riveraines

Précisons que les parcelles agricoles sujettes à la conditionnalité (ensemble de règles imposées pour l'attribution des aides de la politique agricole commune ; **annexe 2**) doivent respecter un certain nombre de conditions agro-environnementales (BCAE), parmi lesquelles figurent le **maintien d'une bande tampon d'au moins 5 m de large en bordure des cours d'eau (annexe 3)**. Actuellement, les BCAE s'imposant aux parcelles agricoles subventionnées dans le département de l'Aveyron sont régies par l'arrêté préfectoral du 11 juillet 2011 (**annexe 4**).

Cours d'eau "sensibles" et dont au moins une rive est mitoyenne de parcelles cultivées

- cours d'eau pérenne ou intermittent et nommé sur la carte IGN
- cours d'eau intermittent et non nommé sur la carte IGN

Autres cours d'eau



Occupation du sol

- parcelles recensées dans le RPG 2010
- parcelles cultivées non recensées dans le RPG 2010

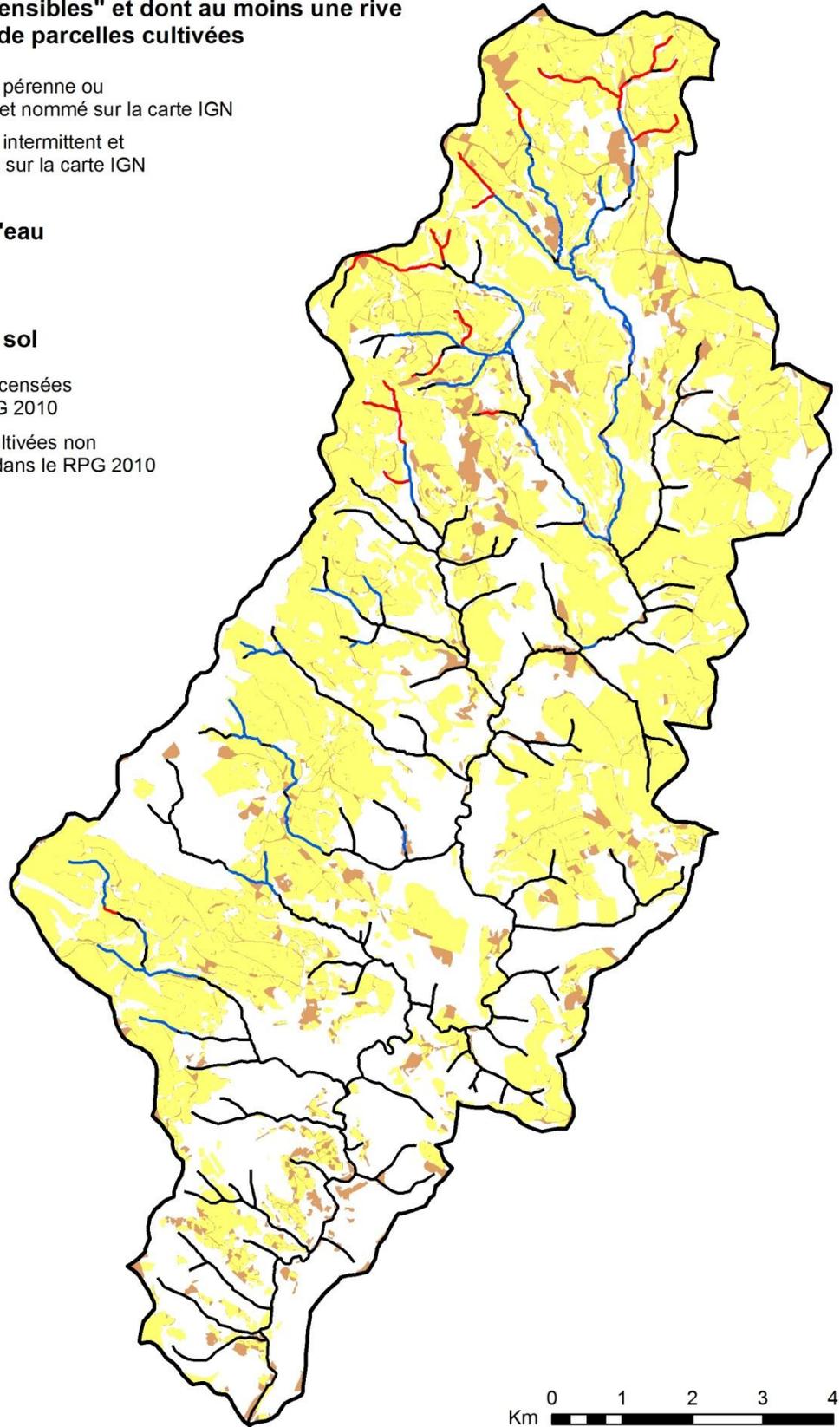


Figure 2 : localisation des tronçons potentiellement concernés par l'implantation de bandes riveraines végétalisées

Conformément aux prescriptions nationales, cet arrêté stipule que les bandes tampons sont obligatoires le long des cours d'eau :

- qui figurent en trait bleu continu sur la carte IGN au 25 000^{ème} la plus récente (cours d'eau considérés comme pérennes) ;
- ou qui figurent en trait bleu pointillé (cours d'eau intermittents) s'ils sont nommés sur la carte IGN au 25 000^{ème} la plus récente.

Sur le bassin versant de la Muse, une première analyse réalisée à partir des données disponibles montre que :

- **près de 90% des terres cultivées sont déclarées au Registre Parcellaire Graphique (RPG) de 2010 ;**
- **près des ¾ des cours d'eau mitoyens d'une ou deux parcelles cultivées (environ 30 km sur 42 km ; **tableau 6**) correspondent à des cours d'eau pérennes ou intermittents nommés sur la carte IGN au 25 000^{ème}, sur lesquels s'appliquent donc les règles décrites ci-avant dès lors que les parcelles sont soumises à la conditionnalité.**

Aussi, l'application des règles communautaires devrait conduire à l'implantation de bandes riveraines végétalisées le long de la plupart des cours d'eau identifiés comme « sensibles » dans le **tableau 6** (et dans l'ensemble du bassin versant de manière plus générale).

Dans un premier temps, il convient d'**établir un état des lieux pour identifier les tronçons dépourvus de bandes riveraines et d'évaluer la nécessité d'intervenir**. Un **suivi ultérieur** pourrait également être envisagé pour évaluer la mise en application de ces règles. Celui-ci pourrait par exemple être effectué sur environ la moitié du linéaire concerné chaque année.

FINANCEMENT et PROGRAMATION



ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE € HT	COÛT TOTAL € HT
I. Etat des lieux Parcours des 41,8 km, inventaire et mise en forme (cartographie et rapport)	10	Jour agent	250	2 500
II. Suivi annuel Parcours d'environ 20 km, inventaire et mise en forme (cartographie et rapport)	20 (5 par an)	Jour agent	250	5 000
TOTAL				7 500

N.B. : ces travaux peuvent éventuellement être effectués par le technicien-animateur (fiche n°1). Le cas échéant, les coûts présentés dans ce tableau ne se cumulent pas à ceux de la fiche action n°1.

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHEANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I. Etat des lieux		2 500						
II. Suivi annuel			1 250	1 250	1 250	1 250		

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

OPERATION	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION ⁽¹⁾					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
I et II. Masse salariale	7 500	50 ⁽²⁾	5		20		

¹ financement à travers le poste d'animation (fiche action n°1) et les frais de communication généraux du PAT ;

² taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration

N° 4B

ACTION : DEVELOPPEMENT DE BANDES VEGETALISEES

Priorité : 1

MESURE : IMPLANTATION DE HAIESMaître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Agriculteurs
Organisations professionnelles
Associations****120 000 €****8 ans**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Les affluents du bassin versant connaissent deux perturbations majeures qui altèrent fortement les conditions d'habitat aquatique : diminution des débits d'étiages (assecs estivaux) et ensablement du lit. La **mise en place de haies sur les parcelles agricoles** doit permettre :

- de **soutenir les étiages** en ralentissant le ruissellement et en favorisant les infiltrations ;
- de **réduire l'ensablement** des cours d'eau en limitant l'érosion des sols et en piégeant les matériaux érodés (dépôt en bordure des haies).

En outre, les haies peuvent remplir de nombreuses fonctions agro-environnementales favorables à la biodiversité et aux exploitations agricoles (association *Arbres, Haies et Paysages d'Aveyron*) :

- atténuation des effets du climat (froid, soleil) ;
- abris du bétail et des cultures contre le vent sur une distance égale à 15 fois la hauteur de la haie ;
- absorption des nitrates ;
- obstacle à la dispersion de produits phytosanitaires par le vent ;
- habitat pour une flore et une faune riches ;
- réservoir d'auxiliaires de culture régulant la pression des ravageurs ;
- production de bois de chauffe, de fruits et de fourrages ;
- maintien de variétés arborées anciennes.

Par ailleurs, il convient également de **protéger les haies existantes** (cf. MESURE COMPLEMENTAIRE à la fin de cette fiche action).

DESCRIPTIF



MISE EN ŒUVRE TECHNIQUE

Les haies doivent être implantées de manière perpendiculaire à la pente.

Il existe plusieurs types de haies (**figure 3**) mais il n'y a **pas de modèle universel applicable à l'ensemble du territoire**. La composition et la structure des haies doit s'adapter :

- aux conditions topographiques, pédologiques et microclimatiques locales (exposition, pente, type et épaisseur de sols...) ;

- aux exigences du propriétaire de la parcelle (usages et possibilités d'entretien notamment) et aux éventuels propriétaires des parcelles voisines (cas des haies mitoyennes).

De manière générale, nous pouvons néanmoins formuler les recommandations générales suivantes (source : association Arbres, haies et paysages d'Aveyron) :

- planter un arbre par mètre linéaire (généralement des plants de 2 ans) ;
- prévoir une largeur minimale de 2 m pour assurer le bon développement des plants ;
- utiliser des essences adaptées aux conditions locales, en favorisant les essences locales (ex. : alisier, chêne, frêne, merisier, noisetier, prunellier, sorbier) et la diversité des essences ;
- installer une clôture, au moins à titre temporaire, si les parcelles adjacentes sont destinées au pâturage ;
- réaliser un paillage après plantation ;
- prévoir un suivi de 2 ans pour remplacer les plants morts.

Pour la problématique de la lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols, les spécificités suivantes peuvent être indiquées (sources : association Arbres, haies et paysages d'Aveyron ; FDAPPMA de l'Aveyron) :

- aménager un talus à la base de la haie pour accroître l'efficacité de rétention de la haie (haie talutée) ;
- aménager une rigole au pied du talus pour drainer les eaux piégées par ce dernier, ce qui a pour effet de mieux répartir ces eaux le long de la haie et de favoriser la croissance des végétaux durant les premières années ;
- implanter dans les endroits stratégiques (très forte érosion des sols potentielle) des haies à double rang de végétaux, quitte à diminuer le linéaire de haies à implanter ailleurs.

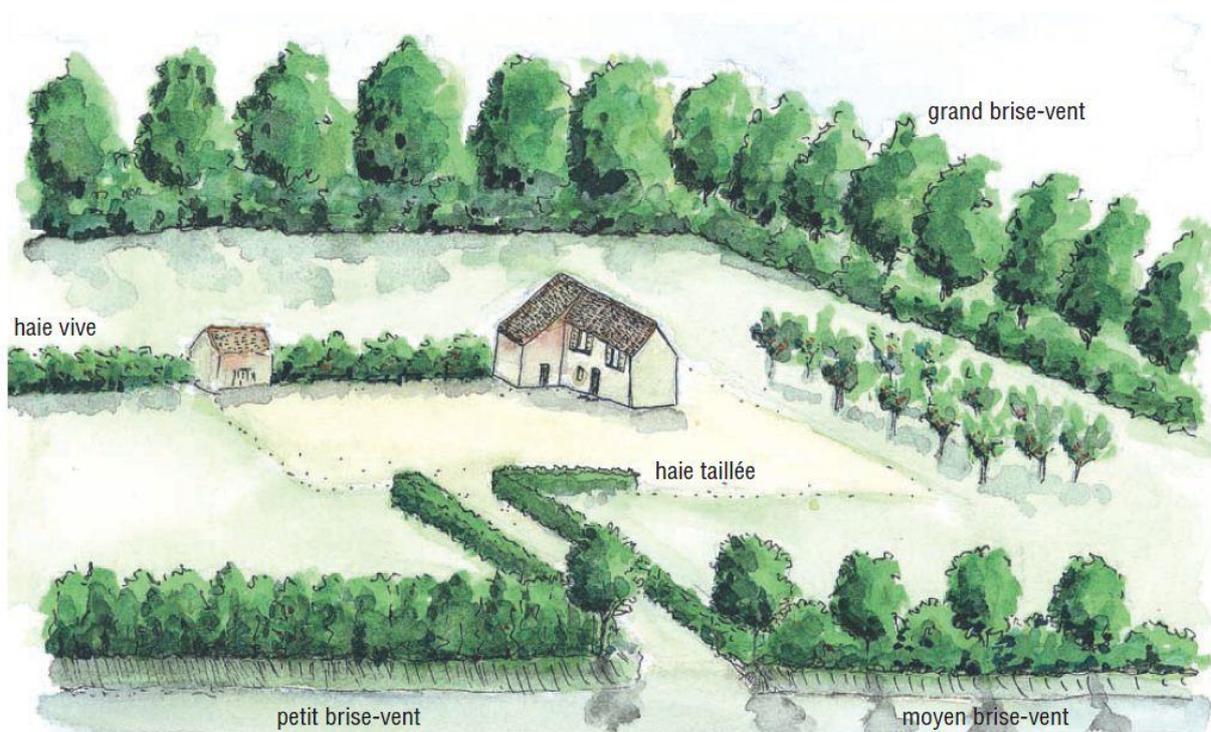


Figure 3 : exemples de types de haies (Parc naturel régional du Vexin)

LOCALISATION DES HAIES

Les sites potentiels pour l'implantation de haies sont présentés dans l'atlas cartographique joint au rapport, qui contient 2 cartes générales du bassin versant (vue d'ensemble et plan d'assemblage des planches détaillées) et 25 planches au 10 000^{ème}.

Ces plans d'implantation ont été réalisés à partir des données cartographiques disponibles : photographies aériennes ortho-rectifiées de 2008, courbes de niveau de 5 m, occupation du sol et sensibilité à l'érosion (voir le rapport de phase 1 pour la méthodologie et la carte de sensibilité correspondante – § 3.2.1 et carte n°16). Ces données présentent des limites en termes de précision.

Dans la pratique, la localisation des haies devra donc être ajustée en fonction :

- de la **topographie précise** des parcelles concernées (les propositions actuelles reposent sur la lecture des courbes de niveau, et le sens de la pente peut être mal évalué dans certains secteurs) ;
- de l'**existence éventuelle de haies non recensées**. D'une part, des liserés fins inférieurs à 2 m de largeur environ (ex. : talus recouverts de broussailles) ont pu échapper au repérage cartographique basé sur les photographies aériennes de 2008 ; d'autre part, l'implantation des haies pourrait évoluer après cette dernière date ;
- des **contraintes liées à l'exploitation des parcelles**.

CRITERES DE LOCALISATION

L'occupation du sol et la longueur des parcelles dans le sens de la pente constituent deux premiers facteurs influençant la vitesse du ruissellement et l'intensité de l'érosion des sols. Seules les parcelles à vocation agricole, identifiées comme des surfaces cultivées (97% des haies) voire des prairies permanentes (3%), ont été retenues. Un seuil approximatif de **200 m dans le sens de la pente** a été retenu pour identifier les parcelles susceptibles d'accueillir une haie (longueur maximale proposée par une plaquette d'information éditée en 2008 par l'association AREAS et les chambres d'agriculture de l'Eure et de la Seine Maritime).

Dans la majorité des cas, les haies ont été localisées à mi-distance de la pente (ex. : à 150 m du point haut de la parcelle si celle-ci mesure 300 m) et de manière perpendiculaire à la pente. Néanmoins, pour limiter les contraintes sur les exploitations, la configuration particulière des parcelles a également été prise en compte :

- dans la mesure du possible, les haies mitoyennes (entre deux parcelles distinctes) ont été privilégiées pour limiter le morcellement des parcelles agricoles ;
- lorsque les haies doivent être implantées au sein d'une même parcelle de forme irrégulière, les haies ont été localisées dans les zones les moins larges de la parcelle ;
- l'orientation des haies par rapport à la pente a été adaptée en fonction de l'agencement des parcelles pour favoriser ces deux derniers critères (ex. : orientation à 80° au lieu de 90° pour planter la haie entre deux parcelles distinctes).

HIERARCHISATION DES HAIES

Le ruissellement et l'érosion des sols sont d'autant plus intenses que la pente est élevée et que la couverture végétale au sol est faible, ce dernier point dépendant de l'occupation du sol. La production de sables par érosion des sols dépend également de leur teneur en sables. Une priorité a donc été attribuée à chaque linéaire de haie **en fonction de la propension des sols à produire des**

sables par érosion, estimée à partir du produit P.T.O (cf. rapport final de phase 1, figure 15). Cet indicateur est construit à partir :

- de la **pente P** (exprimée en m/m) ;
- de l'**indice T de teneur en sables des sols** ;
- et de l'**indice O attribué aux différentes catégories d'occupation des sols**.

Pour rappel, le produit P.T.O n'a pas de signification volumétrique. Il s'agit d'un indicateur sans unité qui permet de comparer l'intensité de la production de sables par érosion des sols : plus sa valeur est élevée, plus les sols sont susceptibles de produire du sable. Un score de 100 correspond par exemple à la production d'un sol à forte teneur en sables (T=10), occupé par une surface cultivée (cultures diverses et prairies temporaires ; O=100) sur une pente de 10% (P=0,1 en m/m).

Quatre classes ont ainsi été définies, qui, dans l'ordre décroissant de priorité d'implantation, sont les suivantes :

- priorité 1 : P.T.O > 100 ;
- priorité 2 : 60 > P.T.O > 100 ;
- priorité 3 : 12 > P.T.O > 60 (à l'exclusion des haies localisées sur les affluents de rive gauche, déclassées en priorité 4) ;
- priorité 4 :
 - o P.T.O < 12 ;
 - o ainsi que l'ensemble des haies implantées sur les versants des affluents de rive gauche (terrains calcaires) car ceux-ci sont naturellement moins ensablés, et surtout moins propices à la vie aquatique car très rarement en eau. L'implantation de haies sur ces versants représente donc un intérêt minime, et probablement quasi-nul.

Les limites entre les classes de priorité correspondent essentiellement aux seuils de **1,2 / 2 / 6 / 10%** de pente. En effet, une haie à planter sur une parcelle cultivée (O=100) :

- sera en classe 3 :
 - o si la pente dépasse **1,2%** (soit 0,012) sur terrain sableux (T=10),
 - o ou si la pente dépasse **2%** (soit 0,02) sur terrain moyennement sableux (T=6) ;
- sera en classe 2 :
 - o si la pente dépasse **6%** sur terrain sableux (T=10),
 - o ou si la pente dépasse **10%** sur terrain moyennement sableux (T=6) ;
- sera en classe 1 :
 - o si la pente dépasse **10%** sur terrain sableux (T=10),
 - o ou si la pente dépasse **16,7%** sur terrain moyennement sableux (T=6).

Du point de vue de l'ensablement, la proximité des parcelles aux cours d'eau aurait pu constituer un critère supplémentaire pour évaluer l'intérêt de chaque haie. En effet, de manière générale, plus la parcelle est proche d'un cours d'eau, plus les produits de l'érosion des sols seront facilement introduits dans ce dernier. Cependant, le traitement des parcelles les plus éloignées du cours d'eau concourent davantage à l'objectif de soutien des étiages. Ce critère n'a donc pas été intégré.


PRECISIONS PREALABLES

Deux remarques importantes peuvent être formulées :

- le coût dit « minimal » correspond à une haie arborée plantée volontairement ; Pour réduire les coûts, **une solution alternative consiste à laisser se développer spontanément une « haie buissonnante »** (essentiellement composée de broussailles) qui présente un coût largement moins élevé : ce dernier correspondra uniquement à la perte de surface utile de la parcelle et aux frais d'entretiens. Rappelons qu'il est également possible de former un petit talus qui optimisera le ralentissement des eaux de ruissellement et la rétention des matériaux érodés ;
- le montant global de l'opération est élevé et la priorité 1 correspond à près de la moitié des haies proposées. Les classes inférieures (priorité 2 à 4) pourraient donc théoriquement être écartées. Néanmoins, **dans la pratique, les opportunités d'implantation** (acceptation par l'exploitant) **constitueront le principal facteur limitant de ces opérations**. De plus, le produit P.T.O utilisé pour hiérarchiser les haies est entaché d'une incertitude.

ESTIMATION DES COUTS PAR ORDRE DE PRIORITE

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COUT UNITAIRE * € HT	COUT MINIMAL € HT	COUT MAXIMAL € HT
Priorité 1	20 041	m	7 - 10	140 286	200 408
Priorité 2	9 315			65 207	93 153
Priorité 3	4 006			28 040	40 057
Priorité 4	9 137			63 960	91 371
TOTAL	42 499			297 492	424 989

* coûts moyens d'après l'association Arbres, Haies et Paysages d'Aveyron

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHEANCIER *							
	2012 € HT	2013 € HT	2014 € HT	2015 € HT	2016 € HT	2017 € HT	2018 € HT	2019 € HT
Objectif annuel de haies à implanter : <u>1500 m</u>	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000

* pour un coût unitaire moyen de 10 €/m de manière à pallier aux difficultés éventuelles.

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

OPERATION	COUT UNITAIRE HT €/m	CONTRIBUTION						
		Agence de l'Eau %	Conseil Régional %	Conseil Général %	Structures porteuses %	Com. de communes %	Europe via LEADER %	Acteurs agricoles %
préparation du sol, mise en place et entretien		à la charge du propriétaire ou de l'exploitant						
fourniture du paillage	~1-3 ⁽¹⁾	50 ⁽³⁾			0-100 ⁽⁴⁾		30 ⁽⁵⁾	20
conception, fourniture des plants et suivi sur 2 ans ⁽²⁾	~1	50 ⁽³⁾					30 ⁽⁵⁾	20
clôtures (dans certaines conditions)	~5 (1 coté)	50 ⁽³⁾					30 ⁽⁵⁾	20

¹ coût unitaire variable selon le matériau utilisé (1 à 1,5 €/m pour de l'écorce broyé ; environ 3,2 €/m pour de la toile tissée) ; ² prestation effectuée par l'association Arbres, haies et paysages d'Aveyron ; ³ taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration et en fonction du montage financier ; ⁴ source de financement soumise à condition (participation du porteur de projet à l'achat des plants) et négociée chaque année dans le cadre du programme d'action du Parc ; ⁵ jusqu'à fin 2013

MESURE COMPLEMENTAIRE



Il est également possible de **préserver les haies existantes**. Pour cela, il existe de manière générale deux solutions réglementaires :

- pour les communes dotées d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU), les haies peuvent être identifiées comme « *éléments de paysage [...] à protéger, à mettre en valeur ou à requalifier pour des motifs d'ordre culturel, historique ou écologique* » (article L.123-1-7° du Code de l'urbanisme) ;
- pour les communes dépourvues de PLU (couverte par une carte communale ou soumise au Règlement National d'Urbanisme), les haies peuvent être identifiées comme élément « *présentant un intérêt patrimonial ou paysager* » lors d'une délibération du conseil municipal prise après enquête publique (article R.421-23i du Code de l'urbanisme).

Dans les deux cas, tous travaux, installations ou aménagements pouvant modifier ou supprimer les éléments de paysage recensés doivent faire l'objet d'une **déclaration préalable déposée auprès de la mairie**. Autrement dit, il s'agit davantage d'une mesure contraignante que d'une mesure de protection.

En complément, et **dans le seul cas où la commune est couverte par un PLU**, il est possible de définir des **prescriptions de nature à protéger les éléments identifiés**. La replantation des arbres peut notamment être imposée après abattage (si par exemple des travaux nécessitent la suppression temporaire de la haie).

N° 5

ACTION : TRAITEMENT DES DRAINAGES AGRICOLES

Priorité : 1

MESURE : INVENTAIRE ET LIMITATION
DES DRAINAGES AGRICOLESMaître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammationStructures porteuses du
contrat de rivière Tarn Amont

3 750 €

1 an

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Les drainages agricoles aggravent les sécheresses en réduisant les infiltrations et en accélérant l'évacuation des écoulements. De plus, sur les affluents nord et ouest de la Muse, ils contribuent à l'ensablement du lit. Ces aménagements constituent donc une grave atteinte à la qualité des habitats aquatiques sur ces derniers affluents.

DESCRIPTIF



Les deux actions suivantes (3A et 3B) pourraient concerner uniquement les **parcelles cultivées situées dans les sous-bassins « sensibles » à l'ensablement et/ou aux étiages sévères, qui représentent 33 km² (figure 4)**. Le secteur du plateau du Lévézou, qui correspond aux parties amont de ces sous-bassins, est à traiter en priorité car il s'agit du territoire le plus propice aux zones humides et qu'il constitue un réservoir hydrique qui régule fortement les écoulements.

5A- INVENTAIRE

Un inventaire des drainages agricoles implantés dans les fonds de vallée des affluents de rive droite (au nord et à l'ouest) a été réalisé par les techniciens de l'Agence de l'eau, du PNRGC et du Conseil Général (cf. rapport de phase 1, page 40). Cet inventaire ne tient compte que des parcelles situées à proximité ou en contact direct avec le réseau hydrographique (**carte n°21b** du rapport de phase 1). Il pourrait être étendu aux parcelles plus éloignées pour rendre compte du degré d'artificialisation des sous-bassins versants (densité de drainage) et ainsi orienter les efforts vers les sous-bassins les plus impactés. Précisons que **cet inventaire étendu n'a d'intérêt que dans le cadre d'une politique volontaire de suppression des drains**.

5B- EVITER L'IMPLANTATION DE NOUVEAUX DRAINS ET SUPPRIMER LES DRAINAGES EXISTANTS

A minima, il conviendrait de **limiter voire d'interdire l'implantation de nouveaux drains**, du moins à proximité des zones humides identifiées (après l'inventaire en cours). A cet effet, il convient notamment de rappeler l'engagement du SAGE du Tarn amont à ne pas soutenir par des financements publics « *toute opération concernant les milieux aquatiques et concourant à la disparition d'habitats ou d'espèces d'intérêt patrimonial* » (mesure F5 du volet Milieux aquatiques).

Dans la mesure du possible, la suppression d'une partie des drains existants pourrait également être envisagée pour remédier aux problèmes d'ensablement des cours d'eau les plus affectés (ex. : ruisseau d'Estalane). Dans la pratique, cela revient davantage à **ne pas entretenir les drains existants** qu'à programmer leur enlèvement volontaire.

Inventaire des parcelles riveraines

(réalisé en déc. 2010 et janv. 2011)

- linéaire parcouru pour l'inventaire des parcelles drainées adjacentes
- linéaire non parcouru

Inventaire à compléter

- zone de prospection des drainages (bassins sensibles à l'ensablement et/ou aux étiages sévères)
- dont terres cultivées (33 km²)

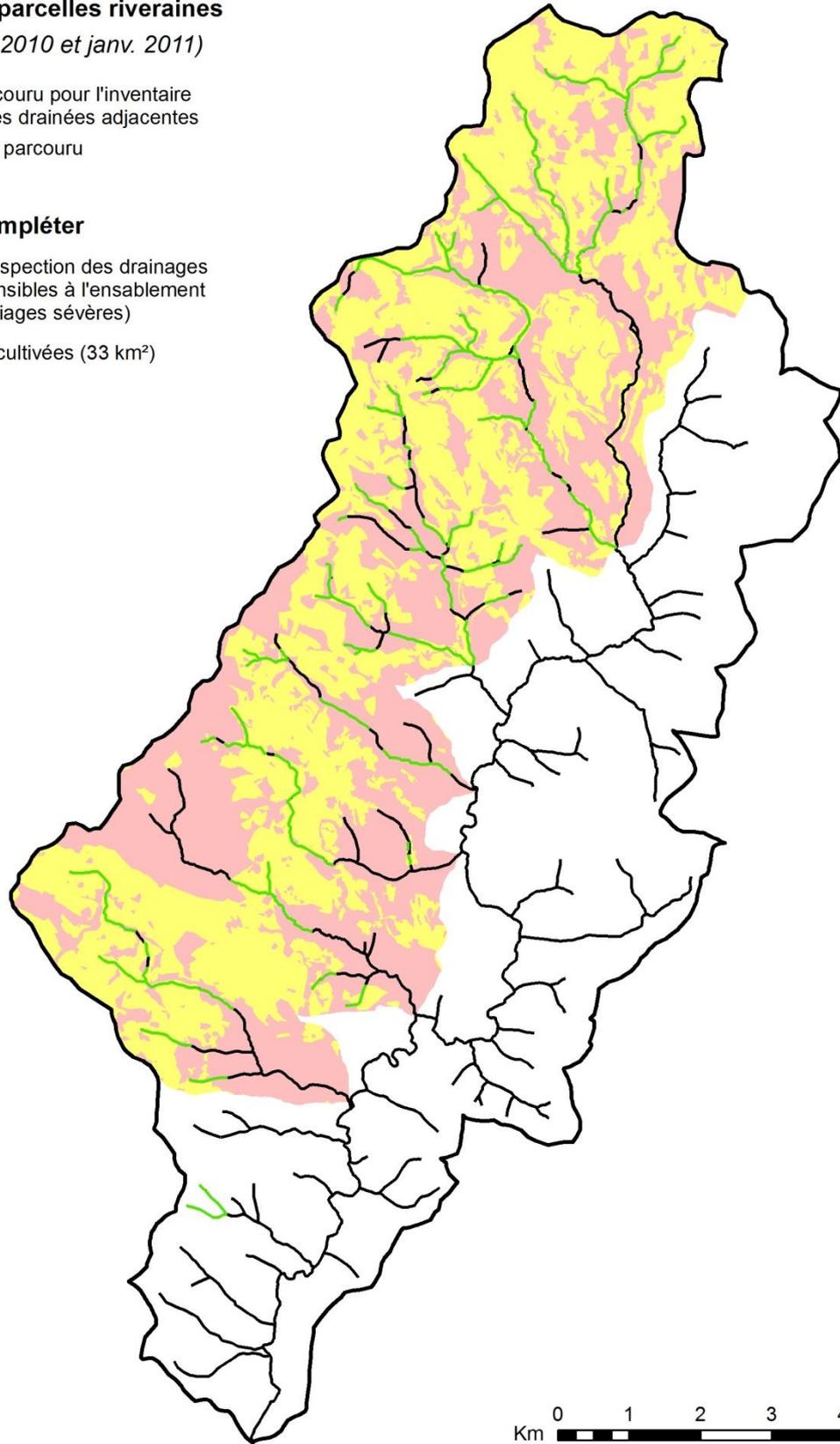


Figure 4 : secteurs prioritaires pour l'inventaire et la limitation/suppression des drainages agricoles

Plusieurs actions sont envisageables pour limiter l’emprise des drainages agricoles :

- **intégrer dans le règlement du SAGE Tarn amont une prescription interdisant les drainages** dans les secteurs considérés comme sensibles (solution envisageable mais difficile à réaliser) ;
- **inscrire également cette prescription dans les documents locaux d’urbanisme** (Plan Local d’Urbanisme, cartes communales) **et de planification** (Plan d’Actions Opérationnel Territorialisé...);
- **inciter les exploitants agricoles au non-entretien des drains existants** en leur démontrant par exemple l’intérêt économique des zones humides et la diminution significative de la ressource en eau attendue du fait du réchauffement climatique.

Pour information, les obligations réglementaires liées à l’implantation de drains dans le cadre de la Loi sur l’Eau sont les suivantes :

- RUBRIQUE 3.3.1.0 : assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais, la zone asséchée ou mise en eau étant :
 - o supérieure à 0,1 ha et inférieure à 1 ha : **déclaration** ;
 - o supérieure à 1 ha : **autorisation**.
- RUBRIQUE 3.3.2.0 : réalisation de réseaux de drainage permettant le drainage d’une superficie :
 - o supérieure à 20 ha et inférieure à 100 ha : **déclaration** ;
 - o supérieure à 100 ha : **autorisation**.

FINANCEMENT et PROGRAMATION



ESTIMATION DES COUTS ET PHASAGE PREVISIONNEL (POUR L’INVENTAIRE)

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COUT UNITAIRE € HT	COUT TOTAL € HT
5A. Inventaire Parcours des 30 km ² , identification des parcelles drainées et mise en forme (cartographie et rapport)	15	Jour agent	250	3 750

N.B. : cet inventaire peut éventuellement être effectué par le technicien-animateur (fiche n°1). Le cas échéant, les coûts présentés dans ce tableau ne se cumulent pas à ceux de la fiche action n°1.

PHASAGE PREVISIONNEL (POUR L'INVENTAIRE)

OPERATION	ECHEANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
5A. Inventaire		3 750						

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE (POUR L'INVENTAIRE)

TYPE DE CHARGES	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION ⁽¹⁾					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
Masse salariale	3 750	50 ⁽²⁾	5		20		

¹ financement à travers le poste animation (fiche action n°1) ; ² taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration

N° 6A

ACTION : INTERVENTION SUR LES CHAUSSEES

Priorité : 2

MESURE : PRINCIPE GENERAL DE GESTION
DES CHAUSSEESMaître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation

/

/

/

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Les chaussées (ou seuils artificiels) constituent de manière générale un obstacle à la continuité du transport solide et de la circulation piscicole. Elles contribuent également au réchauffement des eaux en période estivale.

Sur le bassin versant de la Muse, les chaussées sont très anciennes : la plupart existaient déjà au début du 20^{ème} siècle, et une bonne partie d'entre elles ont été implantées avant la fin du 18^{ème} siècle. Par conséquent, leur impact sur la continuité écologique est relativement mineur par rapport à d'autres cours d'eau. D'une part, les remous solides en amont de chaque ouvrage sont, d'une manière générale, désormais comblés par les dépôts alluviaux accumulés au fil des décennies si bien que ces ouvrages ne constituent plus des pièges à sédiments bien qu'ils ralentissent le transit sédimentaire en dissipant l'énergie des écoulements (réduction de la pente de la ligne d'eau en amont de l'ouvrage et dissipation au pied de l'ouvrage). D'autre part, les communautés vivantes aquatiques se sont plus ou moins « adaptées » à cette contrainte. Les truites étant des migrateurs partiels, les obstacles à leur circulation ne constituent une contrainte forte que dans les secteurs dégradés où le nombre et la diversité des habitats nécessaires aux différents cycles de la vie piscicole sont faibles : alimentation, reproduction, refuge... (N.B. : l'espèce repère sur le bassin versant de la Muse est la truite fario).

En revanche, le réchauffement des eaux à l'étiage, en période estivale, est un problème avéré qui affecte principalement les secteurs aval, entre Moulibez et le Tarn (cf. **carte n°21a** du rapport de phase 1). De plus, étant donné la « récente » dégradation des habitats (colmatage du lit, aggravation des étiages... ; Schéma Départemental de Vocation Piscicole 1998 - FDPPMA de l'Aveyron), les conditions ne sont pas optimales si bien que ces ouvrages, en cloisonnant le réseau hydrographique principal (Muse et Muzette), nuisent significativement aux populations piscicoles. C'est particulièrement le cas entre Estalane et Castelmus où l'on dénombre 10 chaussées sur 3,5 km (cf. **cartes n°20 et 21a** du rapport de phase 1). Leur impact pourrait d'ailleurs s'accroître avec le réchauffement climatique attendu.

En définitive, les chaussées constituent une **atteinte non négligeable aux écosystèmes aquatiques** mais il ne s'agit pas de la principale source de dysfonctionnement. Il s'agit en quelque sorte d'une **perturbation secondaire**, ou encore d'un facteur aggravant les perturbations traitées dans les fiches actions précédentes (faiblesse des débits d'étiage et ensablement), d'où une priorité d'intervention de second rang.

Précisons qu'un très grand nombre de chaussées étaient encore présentes sur le bassin versant au début du siècle et que la plupart d'entre elles ont été détruites lors des dernières décennies faute d'entretien (⅓ à ⅔ des ouvrages n'ont désormais plus d'usage fonctionnel ; cf. p. 66 du rapport de phase 1).



La **figure 5** présente synthétiquement le mode de gestion préconisé sur les 25 chaussées recensées sur la Muse et la Muzette.

Réseau hydrographique

- branches principales (inventaire exhaustif de terrain)
- affluents

Gestion des chaussées

- Ouvrage faisant l'objet d'une fiche action spécifique
- Possibilité de démanteler l'ouvrage à moindre coût
- Possibilité de remplacer l'ouvrage par un pont cadre
- Non entretien

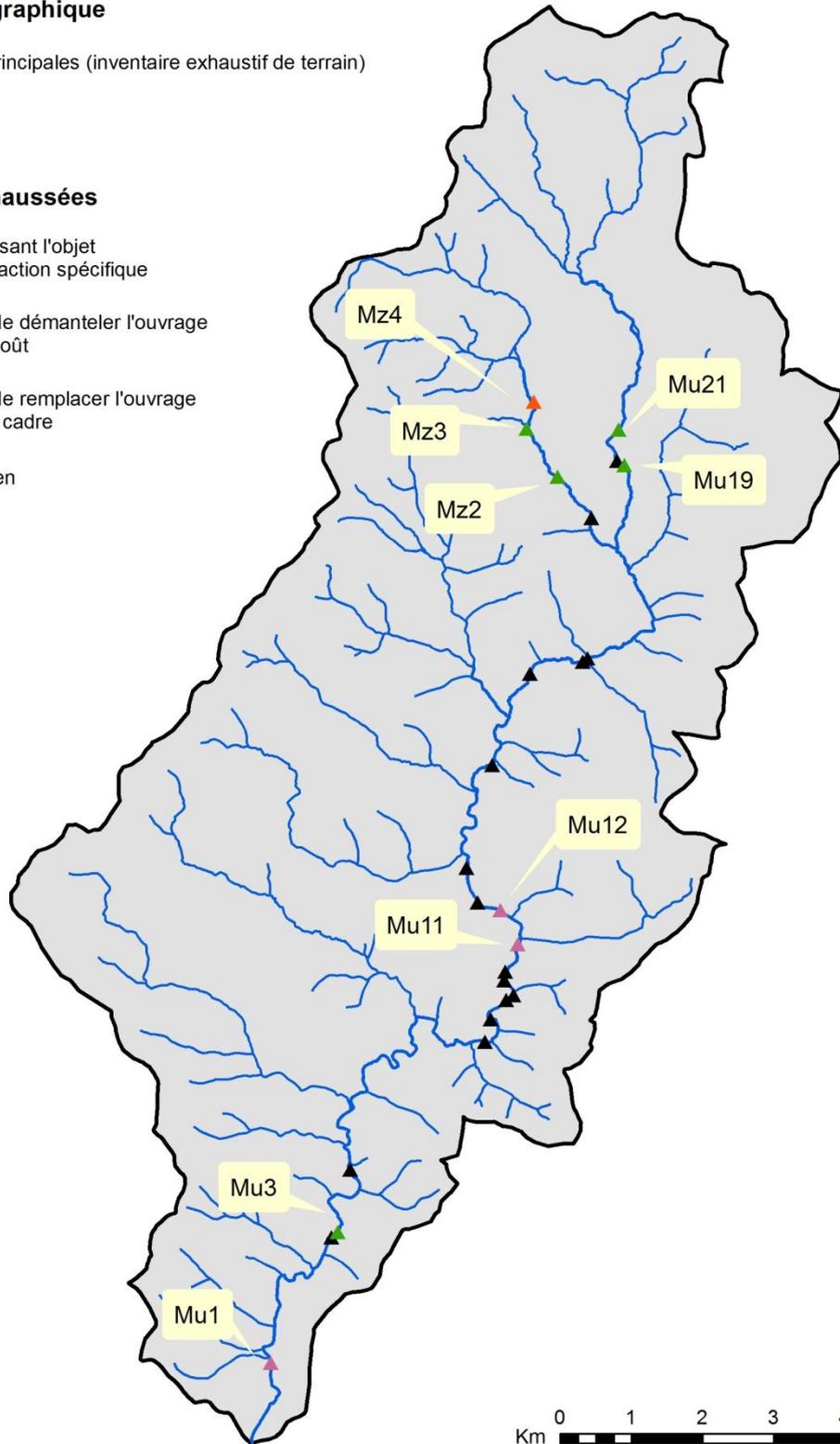


Figure 5 : gestion des chaussées – principes et localisation

PRINCIPE GENERAL

Le principe général préconisé sur l'ensemble du bassin versant vis-à-vis des chaussées est le **non entretien des ouvrages existants** et, bien entendu, la préservation des tronçons non équipés. Le non entretien devrait conduire à moyen terme à une diminution significative du nombre d'ouvrages infranchissables et de leur impact sur la température de l'eau. Outre un moindre coût, cela permet également de réguler l'évolution des milieux. En effet, l'arasement de ces ouvrages (diminution de la hauteur de chute), qu'il soit spontané ou volontaire, entraîne une érosion régressive du lit (évoluant de l'aval vers l'amont) qui se traduit par l'érosion des berges en amont et par un déstockage de sédiments vers l'aval. La détérioration lente des ouvrages entraînera donc un ajustement plus progressif de la morphologie du lit et des berges et les évolutions consécutives des habitats aquatiques seront également progressives.

CAS PARTICULIERS

Certaines chaussées pourront faire l'objet d'un traitement spécifique au regard des enjeux particuliers qui s'y rattachent. C'est le cas de :

- la **chaussée de Saint Hippolyte (Mu 1)**, premier ouvrage en amont de la confluence avec le Tarn et situé dans un secteur proposé pour être classé en liste 2 dans le cadre de la révision du classement des cours d'eau au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement. Ce classement impose les travaux nécessaires à la restauration de la continuité écologique sur les ouvrages existants ;
- la **chaussée de Moulibez (Mu 11)**, qui est notamment responsable de l'ensablement du lit sur plus de 100 m ;
- la **chaussée située en amont de Moulibez (Mu 12)**, le plus grand ouvrage recensé sur le bassin, dont l'échelle à poisson présente des dysfonctionnements majeurs.

Les actions spécifiques à ces ouvrages sont décrites dans les fiches actions suivantes : n°6B, 6C et 6D.

Quatre catégories d'interventions sont envisageables pour réduire ou supprimer VOLONTAIREMENT l'impact d'un ouvrage transversal sur la circulation piscicole :

- le dérasement qui consiste à supprimer totalement l'aménagement (ou du moins à l'araser jusqu'au niveau du lit en aval, en préservant les fondations de l'ouvrage) ;
- l'arasement qui consiste à diminuer la hauteur de l'ouvrage à un niveau suffisamment faible pour permettre la montaison des espèces piscicoles ;
- l'équipement de l'ouvrage par une échelle à poissons (ou un tronçon artificiel de court-circuitage) ;
- le fractionnement de l'ouvrage en une succession de chutes de faible hauteur.

Ces deux dernières interventions entraînent une augmentation de l'emprise des ouvrages artificiels et supposent des coûts élevés pour les travaux et pour l'éventuel entretien des équipements installés (ex. : échelle). Elles sont donc réservées aux secteurs où les enjeux en berges sont importants (ex. : risque de déstabilisation d'une route ou d'un bâtiment, exploitation de l'ouvrage). Dès lors que le besoin d'intervenir sur un ouvrage émerge, il convient donc de **privilégier tant que possible les deux premières solutions.**

Enfin, outre l'intervention sur l'ouvrage lui-même, il est également possible d'intervenir à différents degrés sur le lit et les berges pour limiter les impacts de la suppression de l'ouvrage sur les habitats aquatiques, la ripisylve et les ouvrages riverains.

AUTRES OPPORTUNITES

Un **certain nombre de chaussées**, généralement de faibles dimensions (donc peu d'impact morphologique à attendre), sans enjeu important sur les terres riveraines (absence de risque de déstabilisation d'un ouvrage ou d'une infrastructure) et sans usage fonctionnel, **pourraient être avantageusement démantelées « à moindre coût »**. C'est notamment le cas dans les secteurs amont de la Muse et de la Muzette.

Ces chaussées n'ont pas fait l'objet d'une fiche action spécifique et détaillée. De manière pragmatique, **leur effacement peut être amorcé en déstructurant l'ouvrage**, c'est-à-dire en déplaçant les pierres maîtresses (ou éventuellement en créant une petite brèche dans l'ouvrage). Cela pourrait être réalisé en quelques heures seulement à l'aide d'une pelle mécanique (voire manuellement à l'aide d'une barre métallique). L'effacement de l'ouvrage progresserait alors davantage lors des crues suivant l'intervention.

N° 6B

ACTION : INTERVENTION SUR LES CHAUSSEES

Priorité : 2

MESURE : ARASEMENT PARTIEL ou DERASEMENT
DE LA CHAUSSEE DE SAINT HIPPOLYTE (Mu 1)Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammationStructures porteuses du CR
Collectivités
Propriétaires

23 100-29 200 €

aucune

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



La chaussée de Saint Hippolyte (code ouvrage Mu 1 ; **figure 6**) présente une hauteur de chute d'environ 2,5 m en basses eaux. Elle est antérieure à la fin du 18^{ème} siècle et présente une pelle quasi-nulle (dénivelé entre le fond du lit et la ligne d'eau à l'amont immédiat de l'ouvrage). Elle freine donc modérément le transport solide du fait d'une diminution de la pente de la ligne d'eau mais ne piège pas les matériaux transportés depuis l'amont. En revanche, elle n'est franchissable qu'à titre exceptionnel à la montaison (en crue, lorsque la chaussée est noyée, et pour les individus les plus puissants).

Il s'agit de la dernière chaussée aval de la Muse, implantée à 1,3 km en amont de la confluence avec le Tarn. Aussi, elle contribue à isoler les populations piscicoles amont des celles du Tarn. Cet isolement pourrait être bénéfique à la spécificité des populations de la Muse s'il s'avérait que le barbeau méridional (*Barbus meridionalis*) est présent en amont de la chaussée car ce dernier souffrirait moins de la compétition avec le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*) présent dans le Tarn. **L'intérêt d'intervenir sur cet ouvrage pourrait donc être mieux évalué après vérification de la présence du barbeau méridional.**

Enfin, précisons que l'ouvrage se situe sur un **tronçon proposé pour être classé en liste 2 pour la révision du classement des cours d'eau au titre de l'article L214-17** du code de l'environnement. Ce classement impose les travaux nécessaires à la restauration de la continuité écologique sur les ouvrages existants.



Figure 6 : vue depuis l'aval de la chaussée de Saint Hippolyte



Toute modification des propriétés hydrauliques du cours d'eau entraîne un ajustement morphologique (ici une augmentation de la pente et une érosion régressive par abaissement du niveau de base en aval). Et il convient d'élaborer la solution la moins préjudiciable pour les riverains et pour les communautés aquatiques.

Deux solutions sont retenues pour réduire ou supprimer l'impact de la chaussée de Saint Hippolyte sur la circulation piscicole :

1. **Dérasement : suppression totale de l'ouvrage**
2. **Arasement partiel : diminution de la hauteur de chute à 25 cm sur la moitié de la largeur de l'ouvrage**

Outre l'ampleur des modifications apportées à l'ouvrage, ces deux solutions diffèrent surtout vis-à-vis de leur impact :

- sur la morphologie du lit et des berges environnantes ;
- sur la franchissabilité piscicole (totale ou partielle).

COMPARAISON DES DEUX SOLUTIONS RETENUES

Les avantages et inconvénients de ces deux solutions sont indiqués dans le **tableau 7** ci-après.

La première solution est la plus élémentaire car elle consiste à un simple effacement de l'ouvrage. La dynamique fluviale « naturelle » du tronçon (érosion, transport et dépôt des sédiments) reprendra alors spontanément son cours mais cela se traduira dans un premier temps par une intense incision régressive (abaissement du lit qui se propage de l'aval vers l'amont) qui bouleversera la morphologie du lit en amont (érosion des berges en rive droite) et en aval de l'ouvrage (dépôts importants, qui entraîneront notamment le comblement de la fosse située à l'aval immédiat de l'ouvrage, voire un colmatage important du lit par les sables et limons déstockés).

La seconde solution repose sur la prise en compte des particularités du site et sur les enjeux spécifiques à cet ouvrage, à savoir l'éventuel impact de son dérasement sur le barbeau méridional. Elle consiste en une modification partielle de l'ouvrage et une redistribution anticipée des sédiments au niveau du tronçon, ce qui **présente de nombreux avantages**. En particulier, elle permet de limiter les ajustements morphologiques du lit et des berges qui auront des impacts sur les terres et la végétation riveraines (en rive droite uniquement du fait du versant rocheux en rive gauche) ainsi que sur les habitats piscicoles (disparition de la fosse à l'aval immédiat de l'ouvrage). Elle permet également de maintenir le cloisonnement des secteurs amont de la Muse avec le Tarn pour les poissons blancs, du moins en conditions de basses eaux. En effet, une **hauteur de chute de 25 cm sera maintenue pour permettre le franchissement des truites adultes et pour empêcher le franchissement des autres espèces**.

Soulignons que le surcoût lié à cette dernière solution provient de la redistribution anticipée d'une partie des sédiments stockés en amont de l'ouvrage. C'est en grande partie cette mesure qui permettra de limiter les impacts sur les habitats aquatiques en aval.

	SOLUTION N°1 DERASEMENT	SOLUTION N°2 ARASEMENT PARTIEL
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Retour à l'état « naturel » antérieur (absence d'ouvrage) ▪ Coût moins élevé 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incision régressive limitée, ce qui réduit : <ul style="list-style-type: none"> - l'intensité et la longueur des érosions de berges en amont de l'ouvrage - l'importance des atterrissements en aval de l'ouvrage ▪ Franchissement sélectif : ouvrage franchissable par les truites adultes mais infranchissables pour les poissons blancs (barbeau) ▪ Maintien de la fosse en aval de l'ouvrage (abri piscicole) du fait de la faible chute et de la partie préservée de l'ouvrage (en rive droite)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forte incision régressive entraînant : <ul style="list-style-type: none"> - une érosion de la rive droite en amont de l'ouvrage - des atterrissements importants du lit en aval de l'ouvrage ▪ Risque d'attribuer une mauvaise image des dérasements de chaussées qui nuirait à d'éventuelles interventions ultérieures dans le bassin versant 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possible dégradation de l'ouvrage (l'avantage de la chute de 25 cm serait alors réduit voire supprimé) ▪ Les ajustements morphologiques du lit et des berges listés pour la solution n°2 (érosion en amont de l'ouvrage, dépôts en aval) seront réduits mais tout de même présents ▪ Coût plus élevé (surcoût lié au déplacement des sédiments retenus par le seuil)
Autres	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Libre circulation piscicole pour toutes les espèces sur les 4 km aval de la Muse 	

Tableau 7 : comparaison des deux solutions pour restaurer la franchissabilité de la chaussée de Saint Hippolyte

SOLUTION N°1 : DERASEMENT TOTAL

Cette solution consiste à démanteler entièrement l'ouvrage existant, qui représente selon nos estimations **environ 110 m³ de pierres sèches, fondations incluses**.

L'ouvrage étant constitué de pierres sèches, son démantèlement pourra être réalisé à l'aide d'une pelle mécanique et les matériaux pourront être laissés sur place. **Ces matériaux pourront être déposés en aval de l'ouvrage tous les 8 m** (distance équivalente à la largeur moyenne du lit à pleins bords) **en petits monticules d'environ 5 m³**. Les dépôts s'étaleront alors approximativement sur 180 m mais on distingue **deux modes d'implantation** le long de ce tronçon (**figure 7**) :

- **sur les 120 m amont, les dépôts seront réalisés uniquement en rive droite** où les berges sont relativement plus sensibles à l'érosion du fait de la présence d'un versant rocheux en rive gauche (berges insensibles à l'érosion et impossibles d'accès) ;
- **sur les 60 m aval, les dépôts seront réalisés de manière alternée**, ce qui permettra de créer une certaine sinuosité favorisant la diversité des écoulements.

Il convient également d'**abattre les arbres de moyenne et de grande taille sur les deux rives sur environ 70 m** (**figure 7**) afin de limiter les risques liés à leur chute (déstabilisation des berges et débordements accrus par les embâcles) et de permettre un rétablissement plus rapide de la végétation riveraine en favorisant le développement des individus plus jeunes.

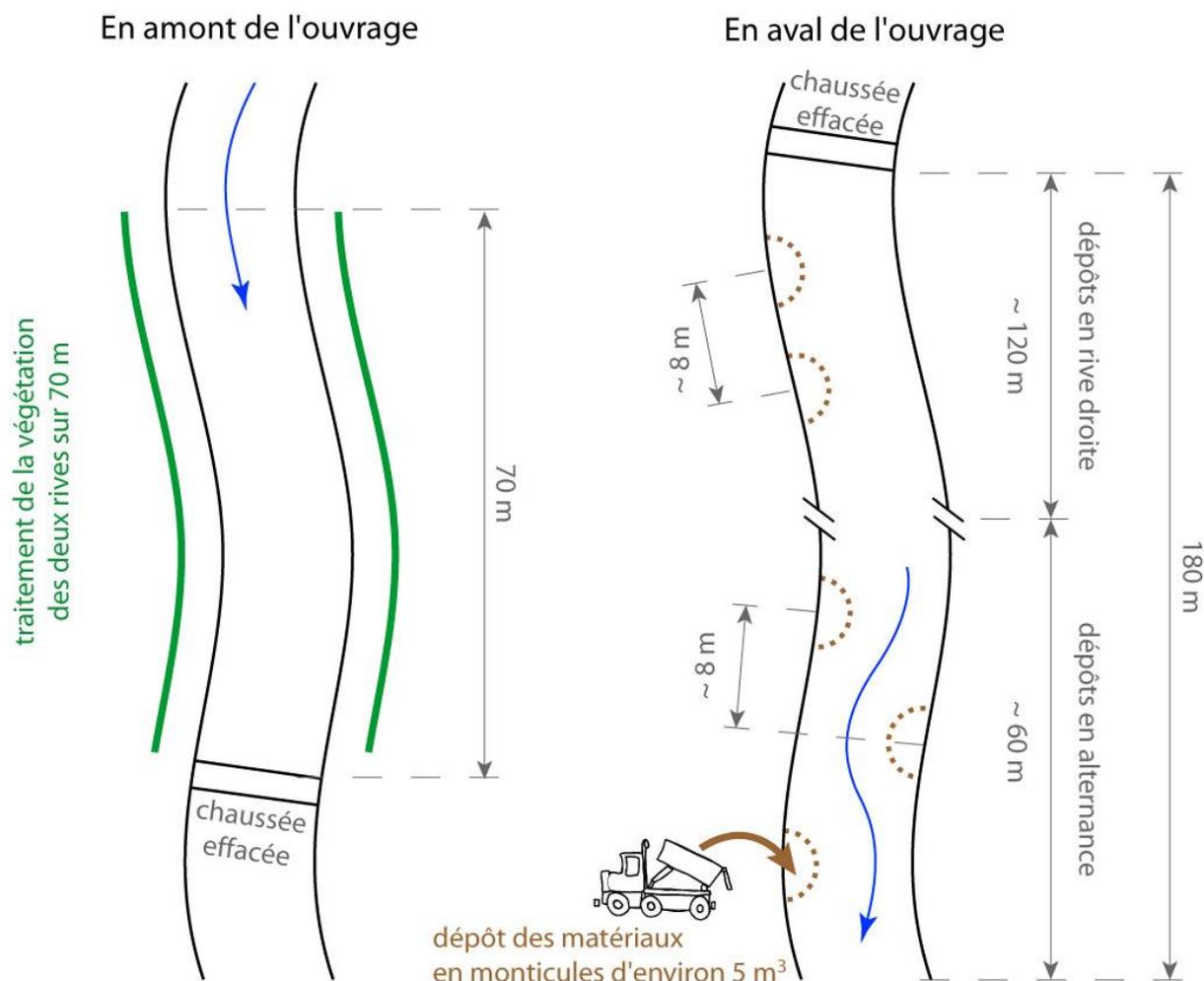


Figure 7 : solution n°1 pour la chaussée de Saint Hippolyte : dérasement total (vue en plan)

SOLUTION N°2 : ARASEMENT PARTIEL

Comme le montre la **figure 8a**, cette solution consiste à ramener la hauteur de chute de l'ouvrage à 25 cm sur sa moitié rive gauche (à droite sur la photo). Cela revient à aménager une brèche de 5,5 m de large en moyenne (5 m à la base, 6 m en crête) sur 2,25 m de haut. Cette brèche représente environ **25 m³ de matériaux grossiers** (pierres sèches).

Pour éviter que les matériaux piégés en amont de l'ouvrage soient transportés massivement en aval de manière trop rapide, une partie d'entre eux **seront extraits à la pelle mécanique pour reconstituer une pente régulière en amont de la brèche de l'ouvrage (figure 8b)** :

- au droit de l'ouvrage, **le niveau du lit sera calé sur la crête de la brèche**, soit à 25 cm au-dessus de la ligne d'eau aval ;
- **et il rattrapera le fond actuel à 28 m en amont de l'ouvrage.**

N.B. : les volumes déblayés seront ainsi d'environ 225 m³ et la pente du lit en amont de la brèche de l'ouvrage sera (provisoirement) d'environ 8%.

Cette estimation des volumes à extraire en amont de l'ouvrage constitue une valeur maximale : dans la pratique, il n'est plus nécessaire de creuser (dans la dimension verticale) une fois que le fond du lit constitué de matériaux grossiers (blocs, galets ou graviers) est atteint par la pelle mécanique. En revanche, il serait judicieux dans ce cas d'étaler les extractions vers l'amont (dans la dimension longitudinale) pour obtenir une pente plus faible.

L'ensemble des matériaux extraits (250 m³) pourra être déposé en aval de l'ouvrage tous les 8 m (distance équivalente à la largeur moyenne du lit à pleins bords) **en petits monticules d'environ 5 m³**. Les dépôts seront donc effectués sur un tronçon de 400 m mais on distingue deux modes d'implantation le long de ce tronçon (**figure 8b**) :

- **sur les 120 m amont, les dépôts seront réalisés uniquement en rive droite** où les berges sont relativement plus sensibles à l'érosion du fait de la présence d'un versant rocheux en rive gauche (berges insensibles à l'érosion et impossibles d'accès) ;
- **sur les 280 m aval, les dépôts seront réalisés de manière alternée**, ce qui permettra de créer une certaine sinuosité favorisant la diversité des écoulements.

Au fur et à mesure des crues ultérieures aux travaux, la forte pente du tronçon en amont de l'ouvrage entraînera une incision régressive, c'est-à-dire un abaissement du lit dans le remous solide de l'ouvrage qui est estimé à 90 m. Cela se manifestera par :

- le déstockage des matériaux vers l'aval, qui sera néanmoins moins brutal que si la totalité des sédiments piégés (environ 300 m³) étaient laissés en place, limitant ainsi le comblement de la fosse relativement profonde à l'aval immédiat de l'ouvrage ;
- la déstabilisation des berges en amont de l'ouvrage et uniquement en rive droite (devenues trop verticales) car le cours d'eau est bordé par un versant rocheux en rive gauche ;
- le dépérissement des arbres matures sur les deux rives du fait d'un changement des conditions d'alimentation en eau consécutif à l'abaissement du niveau d'eau.

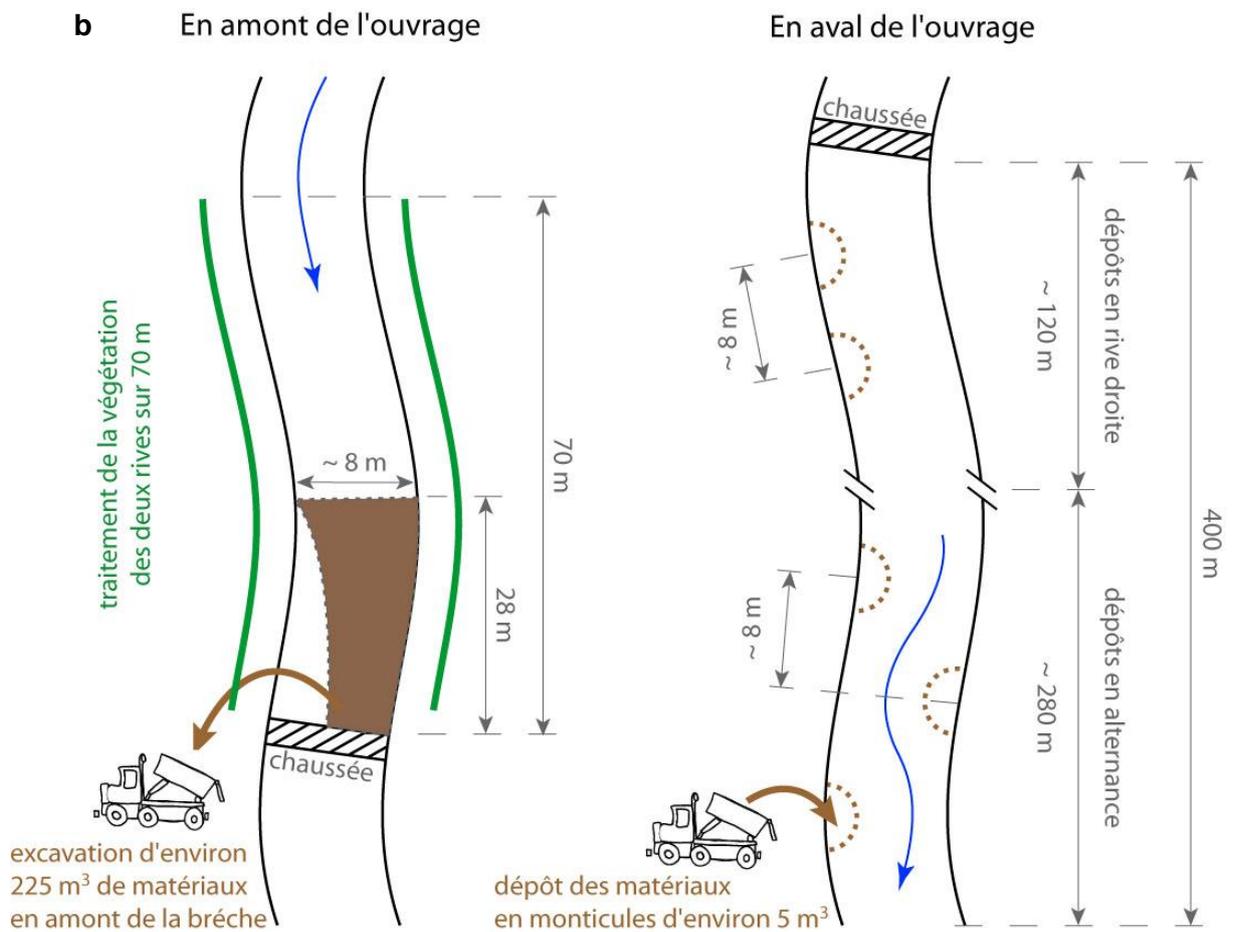
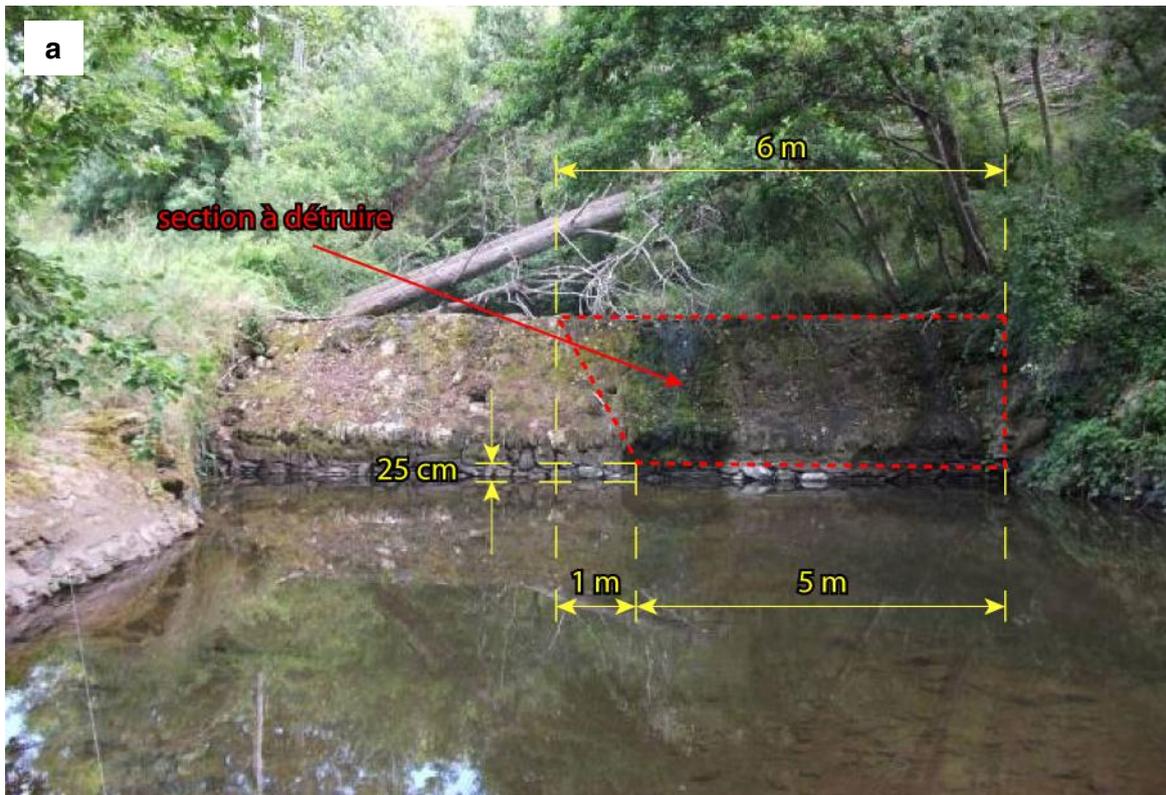


Figure 8 : solution n°2 pour la chaussée de Saint Hippolyte : arasement partiel (a- vue depuis l'aval ; b- vue en plan)

Nous ne préconisons pas de protection de berges dans la mesure où les enjeux en rive droite sont faibles. De plus, le maintien d'une partie de l'ouvrage sur cette rive devrait permettre de limiter les ajustements morphologiques.

En revanche, il convient d'**abattre les arbres de moyenne et de grande taille sur les deux rives sur environ 70 m (figure 8b)**. Cela limitera les risques liés à la chute de ces arbres (déstabilisation des berges et débordements accrus par les embâcles) et permettra un rétablissement plus rapide de la végétation riveraine en favorisant le développement des individus plus jeunes.

SUIVIS

Quelle que soit la solution adoptée, un suivi morphologique devra être réalisé pour analyser l'évolution du tronçon et remédier aux éventuels dysfonctionnements constatés. Ce suivi portera plus précisément :

- sur l'évolution verticale du lit, depuis l'amont du remous solide actuel de la chaussée (environ 90 m) et sur une centaine de mètres en aval ;
- sur l'évolution latérale du lit et des berges sur ce même linéaire, en privilégiant le tronçon en amont de l'ouvrage (incision régressive).

Ce suivi devra donc comporter :

- un levé du profil en long de 200 m centré sur l'ouvrage (100 m de part et d'autre) ;
- levés de 5 profils en travers répartis sur ce dernier linéaire dont :
 - o 3 en amont de l'ouvrage ;
 - o 2 en aval de l'ouvrage.

En complément, un éventuel suivi de la qualité des habitats aquatiques (distribution des faciès d'écoulement, granulométrie du lit) pourrait être réalisé à l'aval de l'ouvrage pour évaluer l'impact du transfert de matériaux. Cette option n'est pas chiffrée dans les estimations suivantes.

FINANCEMENT et PROGRAMATION



PRECISIONS PREALABLES

- l'estimation des volumes de matériaux mis en œuvre pour la solution n°2 (déblaiement en amont de l'ouvrage et dépôts en aval) devra être évaluée avec une meilleure précision pour ajuster au mieux les modalités techniques et le coût de l'opération ;
- l'identification des arbres à abattre devra être précisée lors de la mission de maîtrise d'œuvre ;
- une ou plusieurs conventions devront être établies avec les propriétaires riverains pour permettre les accès au chantier ;
- la revalorisation des pierres sèches constituant la chaussée pourrait permettre une légère diminution des coûts ;
- la déclaration d'intérêt public n'est nécessaire que si des fonds publics sont investis dans l'opération ;
- la fréquence du suivi pourra être ajustée en fonction des crues successives après les travaux (une visite régulière du site après les crues significatives permettra au maître d'ouvrage de fixer la date des levés).

ESTIMATION DES COÛTS

SOLUTION N°1

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE	COÛT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Maîtrise d'œuvre	1	Forfait	2 500	2 500
II. Dossier Loi sur l'Eau	1	Forfait	5 000	5 000
III. Déclaration d'intérêt général	1	Forfait	2 000	2 000
IV. Préparation et démarrage du chantier	1	Forfait	3 000	3 000
V. Démantèlement total de l'ouvrage et dépôt des matériaux en aval (~110 m ³)	2	Jour engin	700	1 400
VI. Abattage et évacuation des arbres	~15	Arbre	80	1 200
VII. Suivi (état après travaux et suivi annuel de 3 ans)	1	Forfait annuel	2 000	8 000
TOTAL				23 100

SOLUTION N°2

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE	COÛT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Maîtrise d'œuvre	1	Forfait	3 500	3 500
II. Dossier Loi sur l'Eau	1	Forfait	7 000	7 000
III. Déclaration d'intérêt général	1	Forfait	2 000	2 000
IV. Préparation et démarrage du chantier	1	Forfait	4 000	4 000
V. Démantèlement partiel de l'ouvrage, excavation de matériaux en amont et dépôts en aval (~250 m ³)	5	Jour engin	700	3 500
VI. Abattage et évacuation des arbres	~15	Arbre	80	1 200
VII. Suivi (état après travaux et suivi annuel de 3 ans)	1	Forfait annuel	2 000	8 000
TOTAL				29 200

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHEANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I à III. Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires			9 500-12 500					
IV à VI. Travaux				5 600-8 700				
VII. Suivi				2 000	2 000	2 000	2 000	

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Propriétaire
		%	%	%	%	%	%
SOLUTION N°1	23 100	80 ⁽¹⁾	0 ?	11,2 ⁽²⁾		0 ?	10 ?
SOLUTION N°2	29 200	25 à 50 ⁽¹⁾	20 ?	11,5 ⁽²⁾		20 ?	20 ?

¹ taux en vigueur modifiable fin 2012 ; ² sur la base de taux maximaux de 10% pour la tranche étude et 15% pour la tranche travaux ET soumis à conditions (intervention sur l'ensemble des ouvrages prévus, suivi ultérieur, maîtrise foncière et/ou convention d'entretien avec le propriétaire riverain)

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES



Au titre de la Loi sur l'Eau :

- RUBRIQUE 3.1.2.0 : installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau (à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0) ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau :
 - o **déclaration** (longueur de cours d'eau inférieure ou égale à 100 m)
- RUBRIQUE 3.1.5.0 : installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères :
 - o **déclaration** si destruction de moins de 200 m² de frayères
 - o **autorisation** si destruction de plus de 200 m² de frayères
- RUBRIQUE 3.2.1.0 : entretiens de cours d'eau ou de canaux [...] :
 - o **déclaration** si le volume des sédiments extraits est inférieur à 2000 m³ (au cours d'une année) ET si la teneur des sédiments est inférieure au niveau de référence S1
 - o **autorisation** si la teneur des sédiments est inférieure au niveau de référence S1

Au titre de l'article 211-17 du code de l'Environnement :

- DECLARATION D'INTERÊT GENERAL en cas d'intervention publique

N° 6c

ACTION : INTERVENTION SUR LES CHAUSSEES

Priorité : 2

MESURE : AMENAGEMENT D'UNE RAMPE AU DROIT DE LA CHAUSSEE DE MOULIBEZ (Mu 11)Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Structures porteuses du CR
Collectivités
Propriétaires****25 550-26 600 €****aucune**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



La chaussée de Moulibez (code ouvrage Mu 11 ; **figure 9**) présente une hauteur de chute de 2,1 m en basses eaux et une pente quasi-nulle (dénivelé entre le fond du lit et la ligne d'eau à l'amont immédiat de l'ouvrage). Elle freine donc modérément le transport solide du fait d'une diminution de la pente de la ligne d'eau mais ne piège plus les matériaux transportés depuis l'amont. Elle est néanmoins responsable de l'ensablement du lit sur plus de 100 m. De plus, elle n'est franchissable qu'à titre exceptionnel à la montaison (en crue, lorsque la chaussée est noyée, et pour les individus les plus puissants).



Figure 9 : vue depuis la rive gauche de la chaussée de Moulibez

DESCRIPTIF



Deux solutions sont retenues pour réduire ou supprimer l'impact de la chaussée de Moulibez sur la circulation piscicole. Elles consistent toutes deux à « coucher » l'ouvrage actuel pour créer, à partir des matériaux en place (à l'exclusion du béton qui sera évacué), une rampe franchissable. La seule différence technique entre ces deux solutions réside dans la portion de l'ouvrage qui sera modifiée (dans la dimension latérale ; **figure 11b**) :

- 1. Aménagement d'une rampe sur la largeur totale du lit**
- 2. Aménagement d'une rampe en rive gauche**

Dans les deux cas, nous préconisons néanmoins de **supprimer la crête en béton sur toute la largeur de l'ouvrage.**

Notons que la suppression totale de l'ouvrage nécessiterait d'évacuer l'ensemble des matériaux constitutifs et engendrerait un abaissement du niveau du lit à peu près deux fois plus important. Ceci augmenterait considérablement les ajustements morphologiques du lit et des berges et pourrait entraîner la déstabilisation des installations riveraines (**figure 10**) :

- pont de la D96 en amont (**figure 10a**) ;
- système d'assainissement autonome en rive gauche (**figure 10b**) ;
- mur de soutènement de la route D96 en rive gauche (**figure 10c**).

Outre le surcoût lié à l'évacuation de l'ensemble des matériaux, **la suppression totale de l'ouvrage nécessiterait alors de lourds travaux pour garantir la stabilité de ces installations !**

Les deux solutions envisagées permettent essentiellement de limiter l'enfoncement du lit en amont de l'ouvrage et les dégâts éventuels sur ces installations.

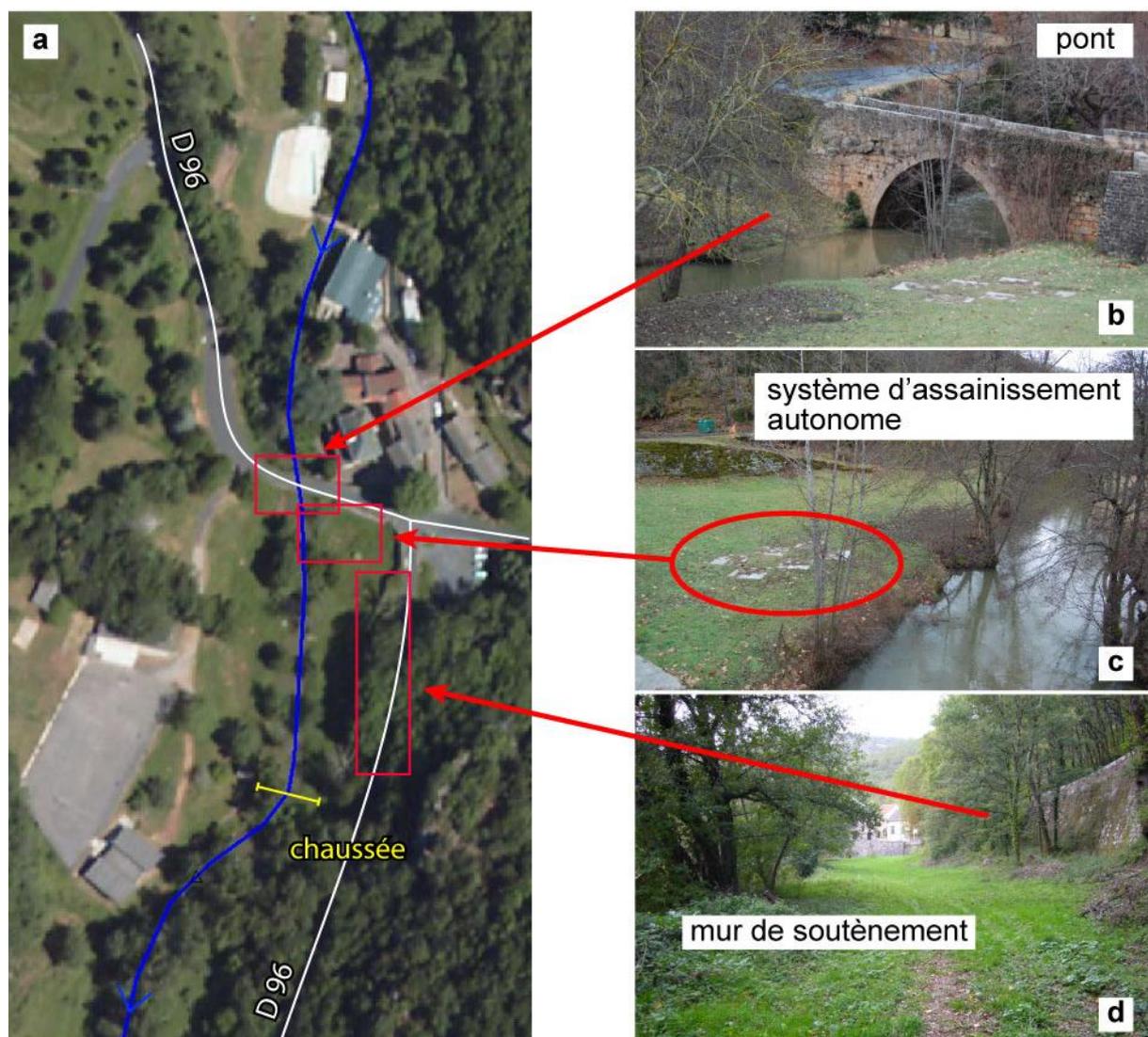


Figure 10 : enjeux à proximité de la chaussée de Moulibez potentiellement menacés en cas d'incision régressive importante

a) vue aérienne du site

b, c, d) les trois enjeux localisés en amont de l'ouvrage et potentiellement menacés par l'érosion régressive

COMPARAISON DES DEUX SOLUTIONS RETENUES

Les avantages et inconvénients de ces deux solutions sont indiqués dans le **tableau 8** ci-après.

	SOLUTION N°1 RAMPE SUR TOUTE LA LARGEUR	SOLUTION N°2 RAMPE EN RIVE GAUCHE
Avantages	<ul style="list-style-type: none">▪ Quasi-disparition de l'ouvrage (seul subsiste une rampe aménagée à partir des pierres sèches)	<ul style="list-style-type: none">▪ Meilleure stabilité de la berge en rive droite en amont de l'ouvrage▪ Moindre déstockage de matériaux, ce qui réduit l'importance des atterrissements en aval de l'ouvrage▪ Coût moins élevé
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">▪ Déstockage de matériaux par incision régressive plus important▪ Coût plus élevé	<ul style="list-style-type: none">▪ Vestige apparent de l'ancienne chaussée en rive droite

Tableau 8 : comparaison des deux solutions pour restaurer la franchissabilité de la chaussée de Moulibez

Outre son coût légèrement moins élevé, **la seconde solution permet de préserver davantage la stabilité de la rive droite à l'amont immédiat de l'ouvrage et de limiter les volumes déstockés en aval.**

SOLUTION N°1 : AMENAGEMENT D'UNE RAMPE SUR TOUTE LA LARGEUR DE L'OUVRAGE

Cette solution consiste à **démanteler la partie supérieure de l'ouvrage existant de berge à berge (figures 11a et 11b)**. La marche située à l'aval de la surverse constitue un repère visuel pour caler le niveau d'arasement de l'ouvrage (**figure 11c**). Le béton devra être évacué alors que **les pierres sèches situées sur la partie supérieure de l'ouvrage seront redispesées en aval pour reconstituer une rampe en pente douce** comme le montre la **figure 11d**. Le volume de matériaux à remanier représente selon nos estimations **environ 40 m³ de pierres sèches (blocs) et 5 m³ de béton**.

Par ailleurs, il convient de préserver les extrémités latérales de l'ouvrage, qui correspondent aux canaux de décharge implantés en berges (**figures 11a et 11b**). Ces derniers stabiliseront les berges au droit de la rampe.

SOLUTION N°2 : AMENAGEMENT D'UNE RAMPE EN RIVE GAUCHE

Cette solution consiste à **démanteler la partie supérieure de l'ouvrage existant sur la seule portion de l'ouvrage comprise entre les deux blocs (figures 11a et 11b)**. Cette portion est effectivement déjà fragilisée au niveau de la surverse alors qu'en rive droite le parement aval de l'ouvrage est encore très bien structuré.

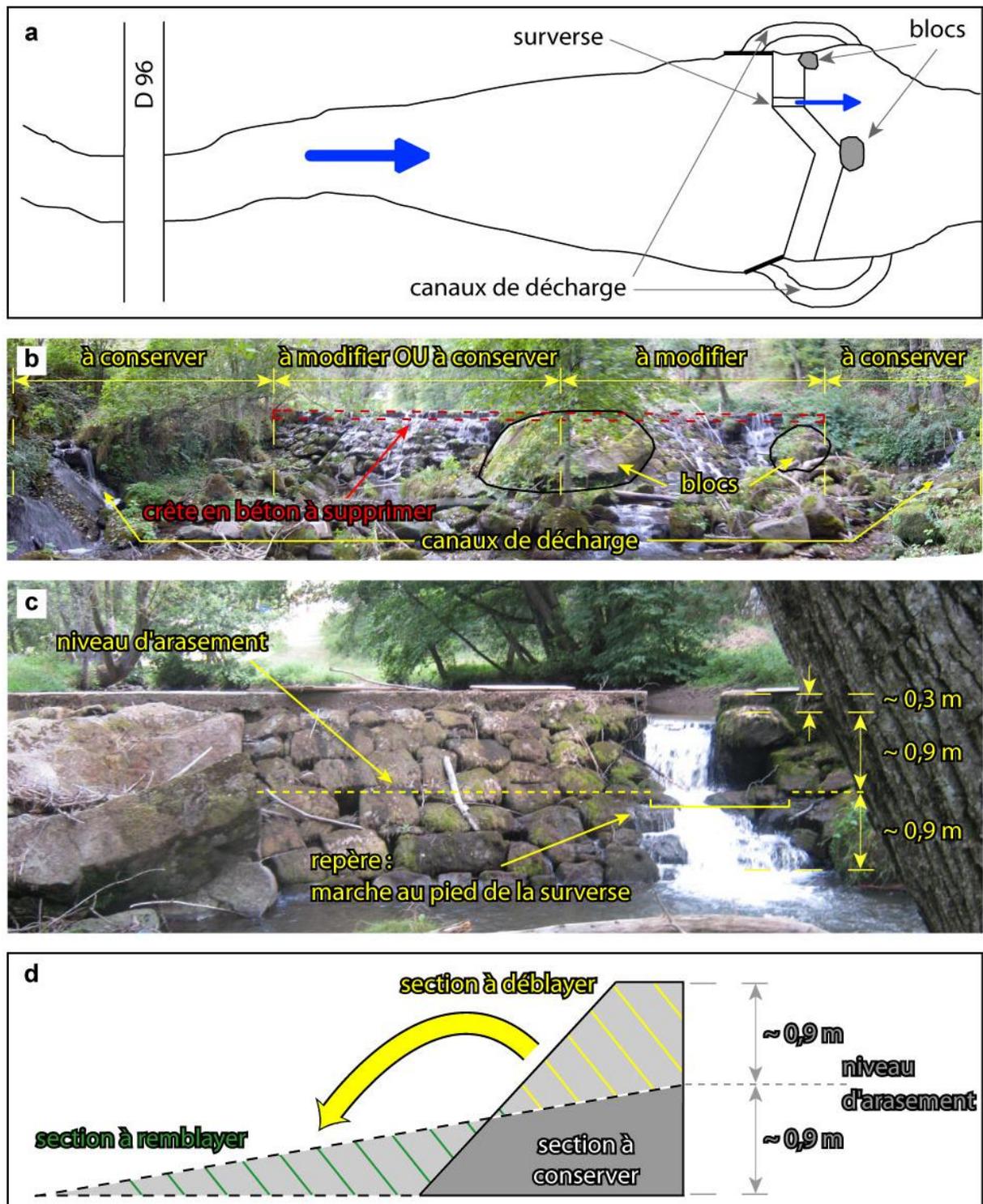


Figure 11 : interventions sur la chaussée de de Moulibez : arasement de l'ouvrage et aménagement d'une rampe

a) vue en plan : localisation de l'ouvrage et des deux blocs qui délimitent la portion de rive gauche à aménager pour la solution n°2

b) vue depuis l'aval : localisation des portions à modifier en fonction de la solution adoptée - les extrémités latérales de l'aménagement, liées aux canaux de décharge implantés en berges, sont à conserver

c) vue depuis l'aval de la portion de rive gauche (entre les deux blocs) : repères altimétriques pour l'arasement de la chaussée

d) coupe longitudinale schématique : principe de restructuration de l'ouvrage pour constituer une rampe à partir des blocs constituant la chaussée

La marche située à l'aval de la surverse constitue un repère visuel pour caler le niveau d'arasement de l'ouvrage (**figure 11c**). Le béton devra être évacué alors que **les pierres sèches situées sur la partie supérieure de l'ouvrage seront redispesées en aval pour reconstituer une rampe en pente douce** comme le montre la **figure 11d**. Le volume de matériaux à remanier représente selon nos estimations **environ 20 m³ de pierres sèches (blocs) et 5 m³ de béton**.

Par ailleurs, il convient de préserver les extrémités latérales de l'ouvrage, qui correspondent aux canaux de décharge implantés en berges (**figures 11a et 11b**). Ces derniers stabiliseront les berges au droit de la rampe.

COMPLEMENTS COMMUNS AUX DEUX SOLUTIONS

Quelle que soit la solution adoptée, l'arasement de l'ouvrage va provoquer une incision régressive, c'est-à-dire un abaissement du lit dans le remous solide de l'ouvrage qui est estimé à environ 100 m. Cette incision sera nettement moins brutale que si l'ouvrage avait été totalement démantelé. Néanmoins, elle est susceptible de provoquer :

- le déstockage d'une quantité significative d'alluvions vers l'aval (environ 200 m³, dont une majorité de sables et de limons) ;
- la déstabilisation des berges riveraines en amont de l'ouvrage ;
- le dépérissement des arbres matures sur les deux rives du fait d'un changement des conditions d'alimentation en eau consécutif à l'abaissement du niveau d'eau.

Il est donc préférable de **procéder à l'enlèvement et à l'évacuation des sédiments fins** stockés en amont de l'ouvrage au-dessous du niveau d'arasement.

Il convient également d'**abattre les quelques arbres de moyenne et de grande taille sur les deux rives sur environ 90 m** (entre la chaussée et le pont) afin de limiter les risques liés à leur chute (déstabilisation des berges et débordements accrus par les embâcles) et de permettre un rétablissement plus rapide de la végétation riveraine en favorisant le développement des individus plus jeunes.

SUIVI

Un suivi morphologique devra donc être réalisé pour analyser l'évolution du tronçon et remédier aux éventuels dysfonctionnements constatés. Ce suivi portera plus précisément :

- sur l'évolution verticale du lit, depuis l'amont du remous solide actuel de la chaussée (environ 100 m) et sur une centaine de mètres en aval ;
- sur l'évolution latérale du lit et des berges sur ce même linéaire, en privilégiant le tronçon en amont de l'ouvrage (incision régressive).

Ce suivi devra donc comporter :

- un levé du profil en long de 250 m débutant à 150 m en amont de l'ouvrage ;
- levés de 5 profils en travers répartis sur ce dernier linéaire dont :
 - o 3 en amont de l'ouvrage ;
 - o 2 en aval de l'ouvrage.

En complément, un éventuel suivi de la qualité des habitats aquatiques (distribution des faciès d'écoulement, granulométrie du lit) pourrait être réalisé à l'aval de l'ouvrage pour évaluer l'impact du transfert de matériaux. Cette option n'est pas chiffrée dans les estimations suivantes.



PRECISIONS PREALABLES

- les frais éventuels de mise en décharge du béton et/ou des sédiments fins ne sont pas pris en compte ;
- l'identification des arbres à abattre devra être précisée lors de la mission de maîtrise d'œuvre ;
- une ou plusieurs conventions devront être établies avec les propriétaires riverains pour permettre les accès au chantier ;
- la déclaration d'intérêt public n'est nécessaire que si des fonds publics sont investis dans l'opération ;
- la fréquence du suivi pourra être ajustée en fonction des crues successives après les travaux (une visite régulière du site après les crues significatives permettra au maître d'ouvrage de fixer la date des levés).

ESTIMATION DES COUTS

SOLUTION N°1

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COUT UNITAIRE	COUT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Maîtrise d'œuvre	1	Forfait	2 000	2 500
II. Dossier Loi sur l'Eau	1	Forfait	5 000	5 000
III. Déclaration d'intérêt général	1	Forfait	2 000	2 000
IV. Préparation et démarrage du chantier	1	Forfait	2 000	2 000
V. Arasement et restructuration de l'ouvrage (~40 m ³)	3	Jour engin	700	2 100
VI. Evacuation du béton (~5 m ³)	1	Jour engin	700	700
VII. Extraction et évacuation des sédiments fins (~200 m ³)	5	Jour engin	700	3 500
VIII. Abattage et évacuation des arbres	~10	Arbre	80	800
IX. Suivi (état après travaux et suivi annuel de 3 ans)	1	Forfait annuel	2 000	8 000
TOTAL				26 600

SOLUTION N°2

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE	COÛT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Maîtrise d'œuvre	1	Forfait	2 000	2 500
II. Dossier Loi sur l'Eau	1	Forfait	5 000	5 000
III. Déclaration d'intérêt général	1	Forfait	2 000	2 000
IV. Préparation et démarrage du chantier	1	Forfait	2 000	2 000
V. Arasement et restructuration de l'ouvrage (~20 m ³)	1,5	Jour engin	700	1 050
VI. Evacuation du béton (~5 m ³)	1	Jour engin	700	700
VII. Extraction et évacuation des sédiments fins (~200 m ³)	5	Jour engin	700	3 500
VIII. Abattage et évacuation des arbres	~10	Arbre	80	800
IX. Suivi (état après travaux et suivi annuel de 3 ans)	1	Forfait annuel	2 000	8 000
TOTAL				25 550

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I à III. Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires			9 500					
IV à VIII. Travaux				8 050-9 100				
IX. Suivi				2 000	2 000	2 000	2 000	

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau %	Conseil Régional %	Conseil Général %	Structures porteuses %	Com. de communes %	Proprié- taire %
SOLUTION N°1	26 600	25 à 50 ⁽¹⁾	20 ?	11,7 ⁽²⁾		20 ?	20 ?
SOLUTION N°2	25 550	25 à 50 ⁽¹⁾	20 ?	11,6 ⁽²⁾		20 ?	20 ?

¹ taux en vigueur modifiable fin 2012 ; ² sur la base de taux maximaux de 10% pour la tranche étude et 15% pour la tranche travaux ET soumis à conditions (intervention sur l'ensemble des ouvrages prévus, suivi ultérieur, maîtrise foncière et/ou convention d'entretien avec le propriétaire riverain)

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES



Au titre de la Loi sur l'Eau :

- RUBRIQUE 3.1.2.0 : *installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau (à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0) ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau :*
 - o **déclaration** (longueur de cours d'eau inférieure ou égale à 100 m)
- RUBRIQUE 3.1.5.0 : *installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères :*
 - o **déclaration** si destruction de moins de 200 m² de frayères
 - o **autorisation** si destruction de plus de 200 m² de frayères
- RUBRIQUE 3.2.1.0 : *entretiens de cours d'eau ou de canaux [...] :*
 - o **déclaration** si le volume des sédiments extraits est inférieur à 2000 m³ (au cours d'une année) ET si la teneur des sédiments est inférieure au niveau de référence S1
 - o **autorisation** si la teneur des sédiments est inférieure au niveau de référence S1

Au titre de l'article 211-17 du code de l'Environnement :

- DECLARATION D'INTERÊT GENERAL en cas d'intervention publique

N° 6D

ACTION : INTERVENTION SUR LES CHAUSSEES

Priorité : 2

MESURE : DERASEMENT ou REHABILITATION
DE LA CHAUSSEE EN AMONT DE MOULIBEZ (Mu 12)Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Structures porteuses du CR
Collectivités
Propriétaires****33 900-67 000 €****aucune**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



La chaussée située en amont de Moulibez était initialement destinée à la production hydroélectrique (code ouvrage Mu 12 ; **figure 12**). Elle présente une hauteur de chute de 3,7 m en basses eaux et une pelle nulle (dénivelé entre le fond du lit et la ligne d'eau à l'amont immédiat de l'ouvrage). Elle freine donc modérément le transport solide du fait d'une diminution de la pente de la ligne d'eau mais ne piège plus les matériaux transportés depuis l'amont. Elle est néanmoins responsable de l'ensablement du lit sur près de 100 m. De plus, elle est infranchissable à la montaison comme à la dévalaison (du moins en basses eaux) car son échelle à poisson présente un dysfonctionnement majeur.

Les principales causes du dysfonctionnement de l'échelle à poisson sont les suivantes :

- appel d'eau en aval de la surverse (problème d'attractivité lors de certaines conditions hydrauliques) ;
- absence de panneaux sur le casier amont et sur le casier aval ;
- casier aval positionné trop haut (possible enfoncement du lit après l'implantation de l'ouvrage) ;
- nombre insuffisant de casiers (dénivelé d'environ 35 cm entre les casiers avec une pente moyenne de l'ordre de 35%).



Figure 12 : vue depuis l'aval de la chaussée en amont de Moulibez (Mu 12)

a) vue depuis l'aval : absence de panneau sur le casier aval, qui est par ailleurs positionné trop haut

b) vue depuis l'amont : absence de panneau sur le casier amont



Deux solutions sont envisageables pour réduire ou supprimer l'impact de la chaussée sur la circulation piscicole :

1. **Dérasement partiel : formation d'une brèche pour amorcer l'effacement de l'ouvrage**
2. **Réhabilitation : restructuration de la chaussée avec une passe à poisson fonctionnelle et rénovation de la microcentrale hydroélectrique**

COMPARAISON DES DEUX SOLUTIONS RETENUES

Les avantages et inconvénients de ces deux solutions sont indiqués dans le **tableau 9** ci-après.

	SOLUTION N°1 DERASEMENT	SOLUTION N°2 REHABILITATION
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Retour à l'état « naturel » antérieur (absence d'ouvrage) ▪ Coût moins élevé 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Production hydroélectrique
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Franchissabilité indéterminée (présence d'affleurements rocheux à la base de l'ouvrage dont la hauteur n'est pas connue) ▪ Forte incision régressive entraînant un déstockage considérable de sédiments en aval de l'ouvrage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût plus élevé ▪ Nécessaire entretien : <ul style="list-style-type: none"> - de l'échelle à poisson - du dégrilleur et du canal d'aménagé - de la micro-centrale
Autres		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Envisageable que dans le cadre d'un projet de rénovation de la centrale hydroélectrique

Tableau 9 : comparaison des deux solutions pour restaurer la franchissabilité de la chaussée en amont de Moulibez

La première solution est la plus élémentaire car elle consiste à un simple effacement de l'ouvrage. La dynamique fluviale « naturelle » du tronçon (érosion, transport et dépôt des sédiments) reprendra alors spontanément son cours mais cela se traduira dans un premier temps par une intense incision régressive (abaissement du lit qui se propage de l'aval vers l'amont) qui bouleversera la morphologie du lit en amont et en aval de l'ouvrage. La chaussée étant située dans un secteur confiné entre deux versants rocheux, et sans enjeux, les érosions de berges seront minimales et n'auront aucuns impacts significatifs. En revanche, le déstockage des matériaux stockés en amont de l'ouvrage, qui sont de l'ordre de 1 000 m³, entraînera d'importants dépôts en aval et, provisoirement, un colmatage important du lit par les sables et limons. Enfin, il faut préciser que cet ouvrage repose sur un affleurement rocheux dont les dimensions sont inconnues. **Il est donc possible que l'ouvrage laisse place à un obstacle naturel à la circulation piscicole.**

La seconde solution, qui consiste en une réhabilitation quasi-intégrale de l'ouvrage, dépasse la problématique de gestion des milieux aquatiques car elle **ne peut être envisagée que dans le cadre d'un projet public ou privé d'exploitation énergétique**. Les coûts de cette intervention, auxquels s'ajoutent les frais d'entretien régulier de l'ouvrage (**tableau 9**) sont largement plus élevés et doivent être appréciés en fonction des bénéfices liés à l'exploitation de l'ouvrage.

SOLUTION N°1 : DERASEMENT DE L'OUVRAGE

Cette solution consiste à **démanteler et à évacuer les éléments métalliques et bétonnés de l'ouvrage** (environ 15 m³) et à **créer une brèche pour amorcer sa déstructuration** (**figure 13**).

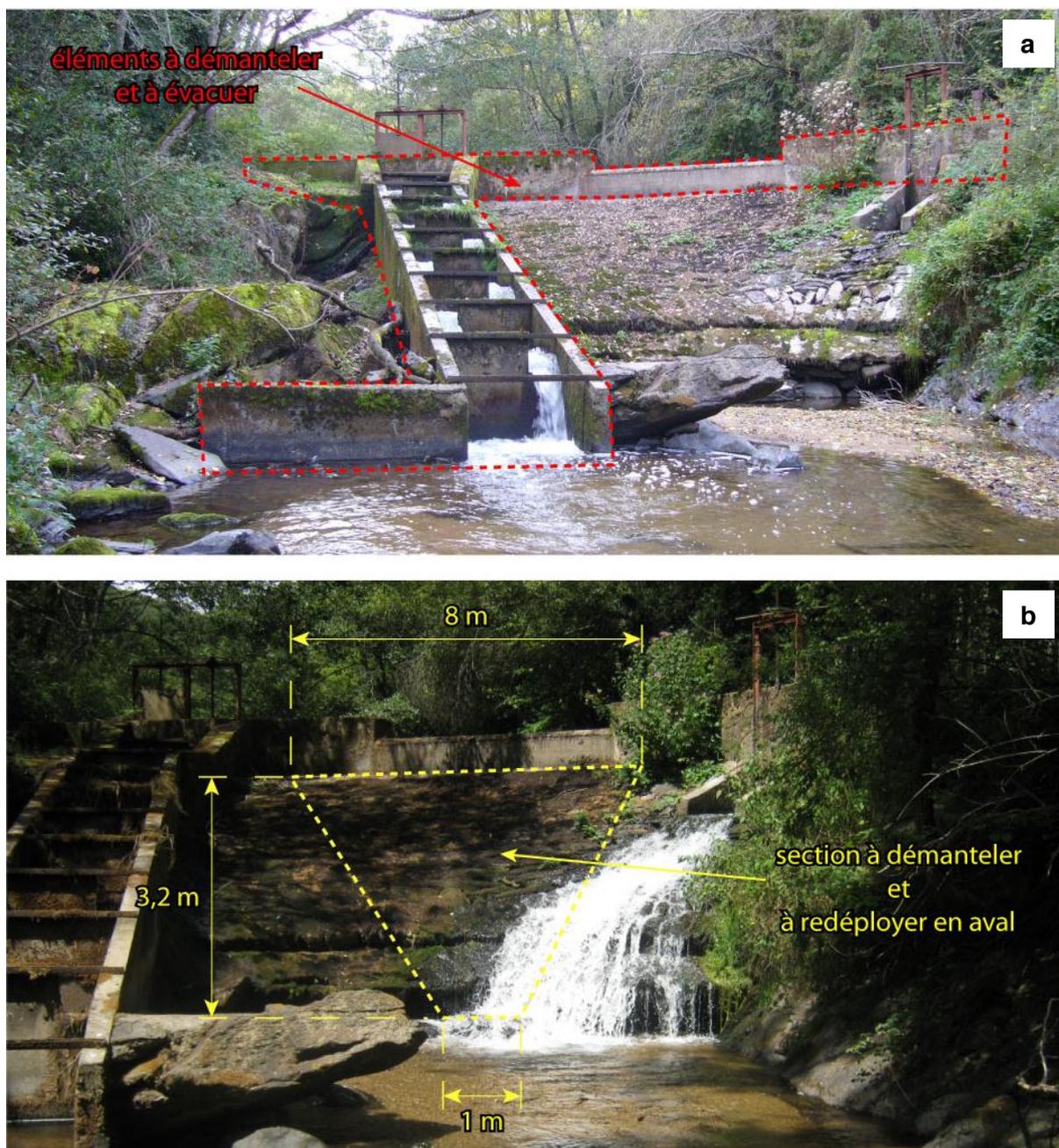


Figure 13 : solution n°1 pour la chaussée en amont de Moulibez - démantèlement des éléments béton et métalliques (a) et création d'une brèche (b)

Les matériaux restants (pierres sèches) ne présentant pas de problèmes pour le cours d'eau, cette solution permet de limiter les coûts liés à leur enlèvement volontaire et à leur évacuation ou déplacement en aval. **Ces matériaux propres seront redispuestos à plat sur le lit en aval de l'ouvrage.** La destruction totale de l'ouvrage s'effectuera progressivement au fur et à mesure des crues ultérieures aux travaux.

En revanche, étant donné les volumes considérables d'alluvions stockés en amont de l'ouvrage (environ 1 000 m³), il est préférable de **déblayer les sédiments fins (sables et limons) et de les évacuer** (mise en décharge, valorisation ou rejet dans le Tarn) pour limiter l'impact sur les habitats aquatiques de l'export vers l'aval. Le volume correspondant est grossièrement estimé à 200 m³.

Il convient également d'**abattre les arbres de moyenne et de grande taille sur les deux rives sur environ 100 m** en amont de l'ouvrage afin de limiter la formation probable d'embâcles et l'encombrement du lit au droit de leur chute ou plus en aval.

Enfin, comme indiqué précédemment, cet ouvrage repose sur un affleurement rocheux qui pourrait constituer un obstacle à la circulation piscicole une fois la chaussée effacée. Aussi, il est vivement recommandé de procéder à un **sondage géotechnique préalable** pour déterminer la profondeur de l'affleurement au droit de l'ouvrage et ainsi évaluer l'intérêt de l'intervention.

SOLUTION N°2 : REHABILITATION DE L'OUVRAGE

Cette solution consiste :

- d'une part, à remplacer l'échelle à poisson existante ;
- d'autre part, à rénover la microcentrale hydroélectrique et les équipements associés (prise d'alimentation, canal d'aménagé).

Le dimensionnement précis de l'échelle à poisson nécessite une étude complémentaire. Nous pouvons néanmoins émettre les recommandations suivantes :

- étant donné le dénivelé et la pente de l'ouvrage (fruit du parement aval), l'échelle devra être composée de 2 ou 3 sections rectilignes distinctes de manière à former un « C ». Ceci permet d'augmenter la longueur de l'échelle afin :
 - o de diminuer la hauteur de chute entre les casiers ;
 - o de positionner l'entrée de l'échelle au niveau de la surverse aval pour favoriser l'appel ;
- à titre indicatif, les dimensions des casiers devront respecter les conditions suivantes :
 - o profondeur minimale de 1 m ;
 - o longueur minimale de 1,2 m ;
 - o dénivelé maximale de 30 cm ;
 - o pente maximale entre les casiers (dénivelé/longueur) de 20%.

Outre le remplacement de l'échelle et des vannes, plusieurs modifications devront également être restaurées à l'ouvrage, (**figure 14a**) :

- prolongement de l'ouvrage d'environ 1,5 m pour contrer l'affouillement constaté à la base aval (**figure 14b**) et pour faciliter l'implantation de l'échelle (contrainte de longueur pour diminuer sa pente) ;
- restauration du canal d'aménagé et du parement aval (quelques pierres à repositionner).

Les modalités techniques spécifiques à la rénovation de la microcentrale hydroélectrique et les coûts correspondant ne sont pas décrits.

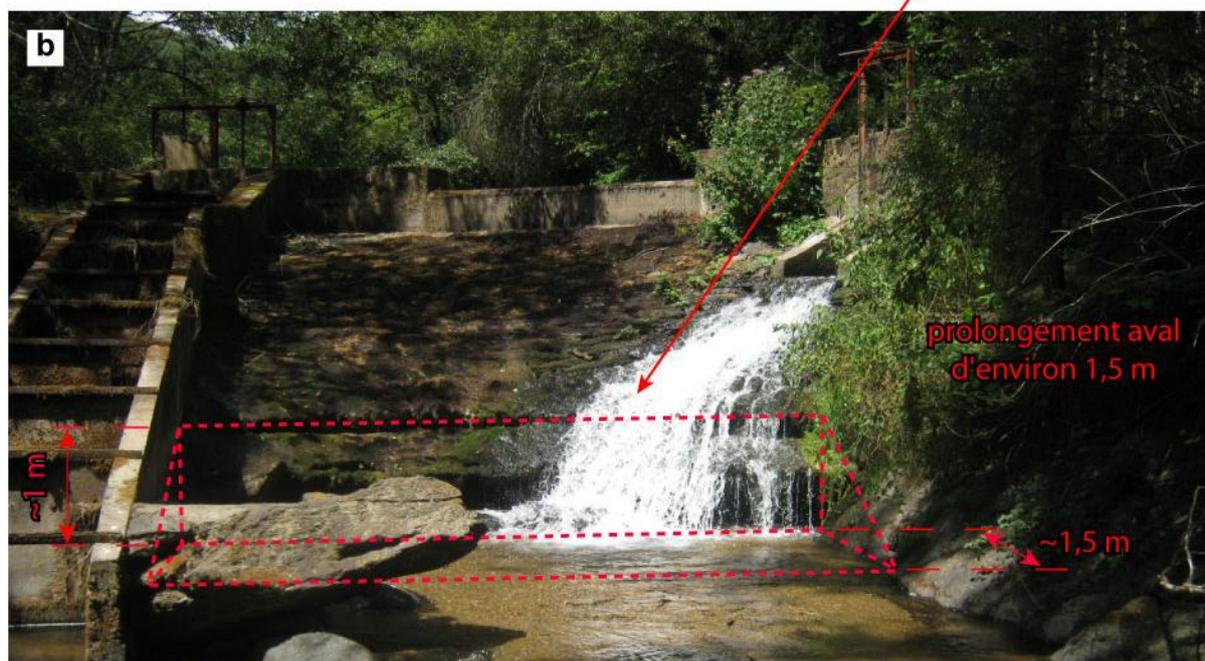
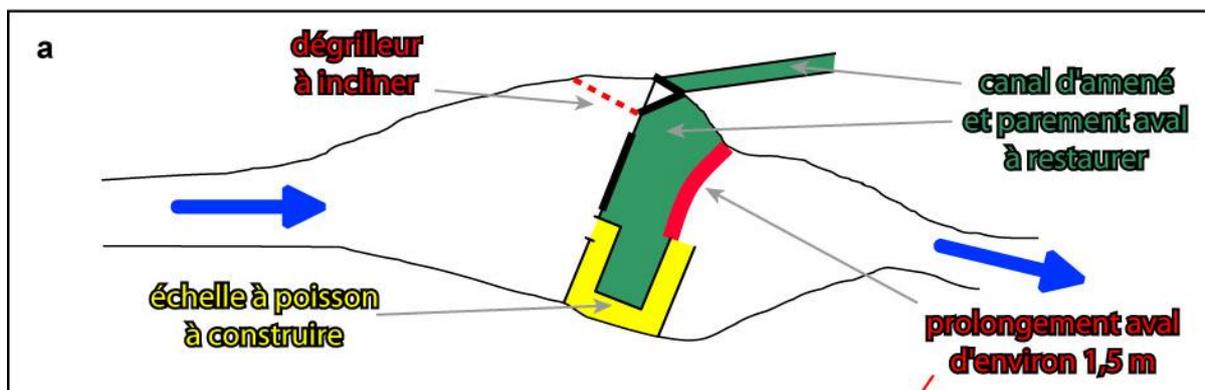


Figure 14 : solution n°2 pour la chaussée en amont de Moulibez - réhabilitation de l'ouvrage
 a) vue en plan : principales modifications à apporter à l'ouvrage
 b) vue depuis l'aval : prolongement vers l'aval pour conforter la base de l'ouvrage

Suivi

Si le dérasement de l'ouvrage est programmé (solution n°1), un suivi morphologique devra être réalisé pour analyser l'évolution du tronçon et remédier aux éventuels dysfonctionnements constatés. Ce suivi portera plus précisément :

- sur l'évolution verticale du lit, depuis l'amont du remous solide actuel de la chaussée (150 m) et sur une centaine de mètres en aval ;
- sur l'évolution latérale du lit et des berges sur ce même linéaire, en privilégiant le tronçon en amont de l'ouvrage (incision régressive).

Ce suivi devra donc comporter :

- un levé du profil en long de 250 m débutant à plus de 150 m en amont de l'ouvrage (ex. : 160 m) ;
- levés de 5 profils en travers répartis sur ce dernier linéaire dont :
 - o 3 en amont de l'ouvrage ;
 - o 2 en aval de l'ouvrage.



PRECISIONS PREALABLES

- étant donné les **difficultés d'accès au site**, la maîtrise d'œuvre devra préciser les frais de préparation et de démarrage du chantier ;
- **les frais éventuels de mise en décharge du béton et/ou des sédiments fins extraits en cas de dérasement de l'ouvrage (solution n°1) ne sont pas pris en compte ;**
- si le dérasement de l'ouvrage est programmé (solution n°1), l'identification des arbres à abattre devra être précisée lors de la mission de maîtrise d'œuvre ;
- une ou plusieurs conventions devront être établies avec les propriétaires riverains (en rive gauche) pour permettre les accès au chantier ;
- la déclaration d'intérêt public n'est nécessaire que si des fonds publics sont investis dans l'opération ;
- la fréquence du suivi (solution n°1) pourra être ajustée en fonction des crues successives après les travaux (une visite régulière du site après les crues significatives permettra au maître d'ouvrage de fixer la date des levés).

ESTIMATION DES COUTS

SOLUTION N°1

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COUT UNITAIRE	COUT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Maîtrise d'œuvre	1	Forfait	3 500	3 500
II. Dossier Loi sur l'Eau	1	Forfait	5 000	5 000
III. Déclaration d'intérêt général	1	Forfait	2 000	2 000
IV. Préparation et démarrage du chantier (évaluation minimale)	1	Forfait	5 000	5 000
V. Démantèlement et évacuation des éléments en béton et métalliques (~15 m ³)	4	Jour engin	700	2 800
VI. Création d'une brèche et dépôt des matériaux propres à l'aval de l'ouvrage (~50 m ³)	2	Jour engin	700	1 400
VII. Extraction et évacuation des sédiments fins (~200 m ³)	6	Jour engin	700	4 200
VIII. Abattage et évacuation des arbres	~25	Arbre	80	2 000
IX. Suivi (état après travaux et suivi annuel de 3 ans)	1	Forfait annuel	2 000	8 000
TOTAL				33 900

SOLUTION N°2

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE	COÛT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Maîtrise d'œuvre *	1	Forfait	6 000	6 000
II. Dossier Loi sur l'Eau et étude d'impact	1	Forfait	7 000	7 000
III. Déclaration d'intérêt général	1	Forfait	2 000	2 000
IV. Préparation et démarrage du chantier (<u>évaluation minimale</u>)	1	Forfait	5 000	5 000
V. Démantèlement et évacuation des éléments en béton et métalliques (~15 m ³)	4	Jour engin	700	2 800
VI. Restructuration de l'ouvrage (nouvelle échelle à poisson, configuration de la prise d'eau, réfection du parement aval et de la base de l'ouvrage)	1	Forfait	40 000	40 000
VII. Extraction et évacuation des sédiments fins (~200 m ³)	6	Jour engin	700	4 200
TOTAL				67 000

* hors maîtrise d'œuvre pour la rénovation de la microcentrale hydroélectrique et de son canal d'aménagé

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I à III. Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires			10 500- 15 000					
IV à VIII. Travaux				15 400- 52 000				
IX. Suivi				0- 2 000	0- 2 000	0- 2 000	0- 2 000	

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau %	Conseil Régional %	Conseil Général %	Structures porteuses %	Com. de communes %	Proprié- taire %
SOLUTION N°1	33 900	25 à 50 ⁽¹⁾	20 ?	12,3 ⁽²⁾		20 ?	20 ?
SOLUTION N°2	67 000	25 à 50 ⁽¹⁾	20 ?	13,9 ⁽²⁾		20 ?	20 ?

¹ taux en vigueur modifiable fin 2012 ; ² sur la base de taux maximaux de 10% pour la tranche étude et 15% pour la tranche travaux ET soumis à conditions (intervention sur l'ensemble des ouvrages prévus, suivi ultérieur, maîtrise foncière et/ou convention d'entretien avec le propriétaire riverain)

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES



Au titre de la Loi sur l'Eau :

- RUBRIQUE 3.1.2.0 : *installations, ouvrages, remblais ou épis dans le lit mineur d'un cours d'eau constituant un obstacle à l'écoulement des crues ou un obstacle à la continuité écologique* :
 - o **autorisation** (différence de niveau supérieure à 50 cm)
- RUBRIQUE 3.1.2.0 : *installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau (à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0) ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau* :
 - o **autorisation** (longueur de cours d'eau supérieure à 100 m)
- RUBRIQUE 3.1.5.0 : *installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères* :
 - o **déclaration** si destruction de moins de 200 m² de frayères
 - o **autorisation** si destruction de plus de 200 m² de frayères
- RUBRIQUE 3.2.1.0 : *entretiens de cours d'eau ou de canaux [...]* :
 - o **déclaration** si le volume des sédiments extraits est inférieur à 2000 m³ (au cours d'une année) ET si la teneur des sédiments est inférieure au niveau de référence S1
 - o **autorisation** si la teneur des sédiments est inférieure au niveau de référence S1

Au titre de l'article 211-17 du code de l'Environnement :

- DECLARATION D'INTERÊT GENERAL en cas d'intervention publique

N° 7A

ACTION : SUIVIS

Priorité : 2

MESURE : SUIVI DE L'ENSABLEMENT DES COURS D'EAU

Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Structures porteuses du contrat de rivière Tarn Amont****18 000 € ou +****5 ans ou +**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



La plupart des actions proposées ci-avant ont en partie pour objectif de réduire l'ensablement des cours d'eau de tête de bassin (en rive droite de la Muse et au nord du bassin), de la Muzette et des tronçons amont de la Muse (cf. **carte n°15** du rapport de phase 1). Aussi, un **suiti du degré d'ensablement de ces cours d'eau** doit être réalisé pour évaluer le succès des mesures mises en œuvre et pour les ajuster afin d'optimiser leur efficacité.

DESCRIPTIF



PRINCIPE

Pour suivre l'évolution de l'ensablement des cours d'eau, nous proposons de **mesurer régulièrement le taux de comblement des faciès lentiques** (défini plus loin), plutôt que d'utiliser la méthode appliquée lors de l'état des lieux (cf. pages 31 et 32 du rapport de phase 1). Pour rappel, cette dernière méthode reposait essentiellement sur une identification visuelle du degré d'ensablement des faciès lentiques en fonction de la proportion de « *sables* » (sédiments fins essentiellement constitués de sables) à la surface du lit. Elle permet donc de rendre compte de la distribution des dépôts sableux en excès vis-à-vis de la qualité des habitats physiques, considérée du point de vue du degré d'homogénéisation des sédiments de surface du lit (faible variabilité granulométrique). Elle est également relativement rapide, ce qui nous a permis de l'appliquer sur la totalité du réseau hydrographique principal et sur 51 tronçons répartis sur les cours d'eau secondaires. En revanche, la détermination de l'état ensablé ou non ensablé est subjective. Les résultats pourraient donc varier d'un opérateur à un autre, ce qui conduirait à une mauvaise évaluation de l'évolution du degré d'ensablement du lit.

La méthode de suivi que nous proposons s'inspire des travaux de Lisle et Hilton (1992, 1999) et de Hilton et Lisle (1993). Ces derniers auteurs présentent un mode opératoire précis pour évaluer la **proportion du volume d'un faciès de type lentique** (généralement une mouille) **occupée par les dépôts de sédiments fins**, que l'on désigne sous le terme de **taux de comblement**. Leur méthode s'appuie sur un levé minutieux (**figure 15**) et sur des calculs relativement complexes. Nous proposons donc une méthode simplifiée qui aboutit à des résultats semblables : l'écart entre les taux de comblement mesurés par ces deux méthodes est en moyenne de 6% (comparaison réalisée sur dix faciès de type mouille, plat lentique ou plat courant).

Selon Lisle et Hilton (1992, 1999), le taux de comblement moyen des faciès lentiques sur un tronçon de cours d'eau constitue un **indicateur de la fourniture sédimentaire amont**. L'augmentation du taux de comblement révèle :

- soit une augmentation de la proportion de sédiments fins dans la charge solide en transit ;

- soit une augmentation en valeur absolue de la charge solide en transit (sans modification de sa distribution granulométrique).

Contrairement à la méthode utilisée lors de l'état des lieux, **le suivi du taux de comblement des faciès lenticques permet donc d'évaluer de manière objective l'évolution des dynamiques géomorphologiques des tronçons.**

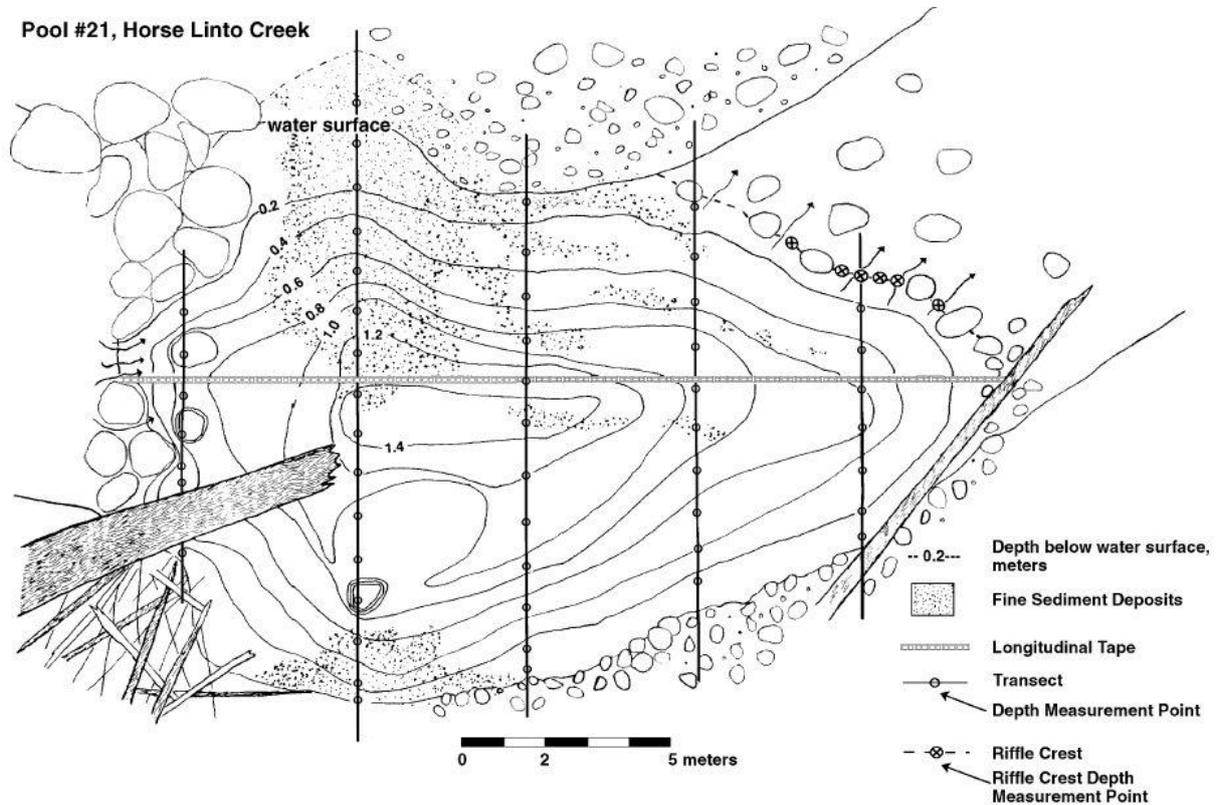


Figure 15 : organisation de la mesure des profondeurs pour le calcul du taux de comblement sur une mouille montrant la localisation des points de mesures (le long de transects perpendiculaires à la direction générale des écoulements) d'après la méthode de Hilton et Lisle (1993)

MODE OPERATOIRE

Il s'agit de mesurer, sur chaque tronçon sélectionné pour le suivi, le taux de comblement d'une **quinzaine de placettes**, une « *placette* » correspondant à un faciès de type lenticque clairement identifiable sur le terrain. **Le taux de comblement d'une placette est calculé comme le rapport entre l'épaisseur moyenne de sable et la profondeur moyenne totale** (somme du tirant d'eau et de l'épaisseur de sable) sur la base d'une trentaine de points de mesure.

Sur chaque placette, il convient donc :

- **de localiser les limites du faciès lenticque** pris en considération :
 - o les extrémités latérales correspondent généralement aux berges du cours d'eau mais, en cas de présence de bancs exondés, il est préférable d'effectuer les mesures uniquement dans la zone en eau ;
 - o les extrémités amont et aval peuvent être localisées à partir de l'allure de la ligne d'eau, les brisures de la ligne d'eau (ondelettes à la surface de l'eau) marquant les extrémités des faciès lotiques en amont et en aval (**figure 16**) ;

- de mesurer en chaque point (figure 16) :
 - o l'épaisseur de sédiments fins ;
 - o la profondeur totale = tirant d'eau + épaisseur de sédiments fins ;
- de répéter cette opération sur **une trentaine de points globalement répartis sur la surface du faciès étudié (figure 17) ;**
- de calculer le taux de comblement à l'aide la formule suivante :

$$\frac{\text{moyenne des épaisseurs de sédiments fins}}{\text{moyenne des sommes (tirant d'eau + épaisseur de sédiments fins)}}$$

Les mesures peuvent être effectuées à l'aide d'une tige métallique graduée. La limite entre les sédiments fins et le fond grossier du lit est alors facilement repérable : la résistance à l'enfoncement de la tige augmente très fortement.

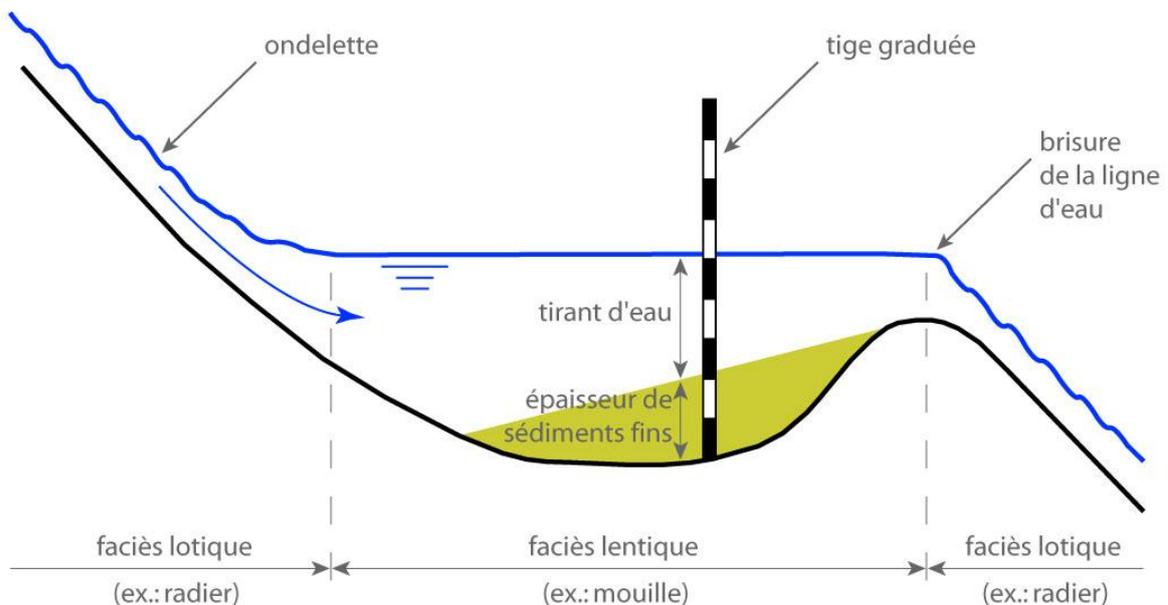


Figure 16 : plan en coupe d'un faciès lentique

Les recommandations suivantes permettent d'assurer la précision des levés et la comparaison entre les campagnes de suivi :

- sélectionner des faciès facilement identifiables : identification aisée du type de faciès, de sa localisation dans le tronçon et de ses extrémités amont et aval ;
- écarter les faciès dont la morphologie est perturbée par un élément extérieur (ex. : obstruction par un embâcle, situé dans le remous solide d'un seuil artificiel...) ;
- préférer les faciès les faciès relativement rectilignes ;
- préférer les faciès clairement lenticques : mouille, chenal lentique ou plat lentique. La méthode de détermination de Malavoi et Souchon (2002) peut être utilisée à cet effet (annexe 5) ;

- adapter le nombre de points de mesure à la taille et à la complexité du faciès. Il est notamment recommandé d'augmenter la densité des points au niveau des zones les plus hétérogènes ;
- **toujours effectuer les levés en période de basses eaux et à niveau d'eau à peu près égal ;**
- toujours effectuer les levés à une même période de l'année pour s'affranchir d'une éventuelle variabilité saisonnière des taux de comblement (une plus grande quantité de sables est susceptible d'être piégée dans les faciès lenticles après une longue période sans crues, et inversement) ;
- idéalement, la comparaison des résultats de deux campagnes de mesure (ou plus) devrait être effectuée à débit strictement égal car les résultats dépendent fortement du niveau d'eau. Une solution alternative consiste à suivre le taux de comblement des mêmes faciès localisés durablement sur le terrain à l'aide de piquets en berges et/ou d'un point GPS assorti d'une description sommaire (type de faciès, longueur, commentaires divers) et de quelques photographies (figure 17). Dans ce cas, les taux de comblement peuvent être déterminés en fonction des mesures initiales de hauteur d'eau (effectuées lors de la 1ère campagne de mesure). Précisons que la mesure des tirants d'eau lors des campagnes ultérieures n'est pas inutile car elle permet d'évaluer l'évolution morphologique et donc d'apprécier la comparabilité des résultats.

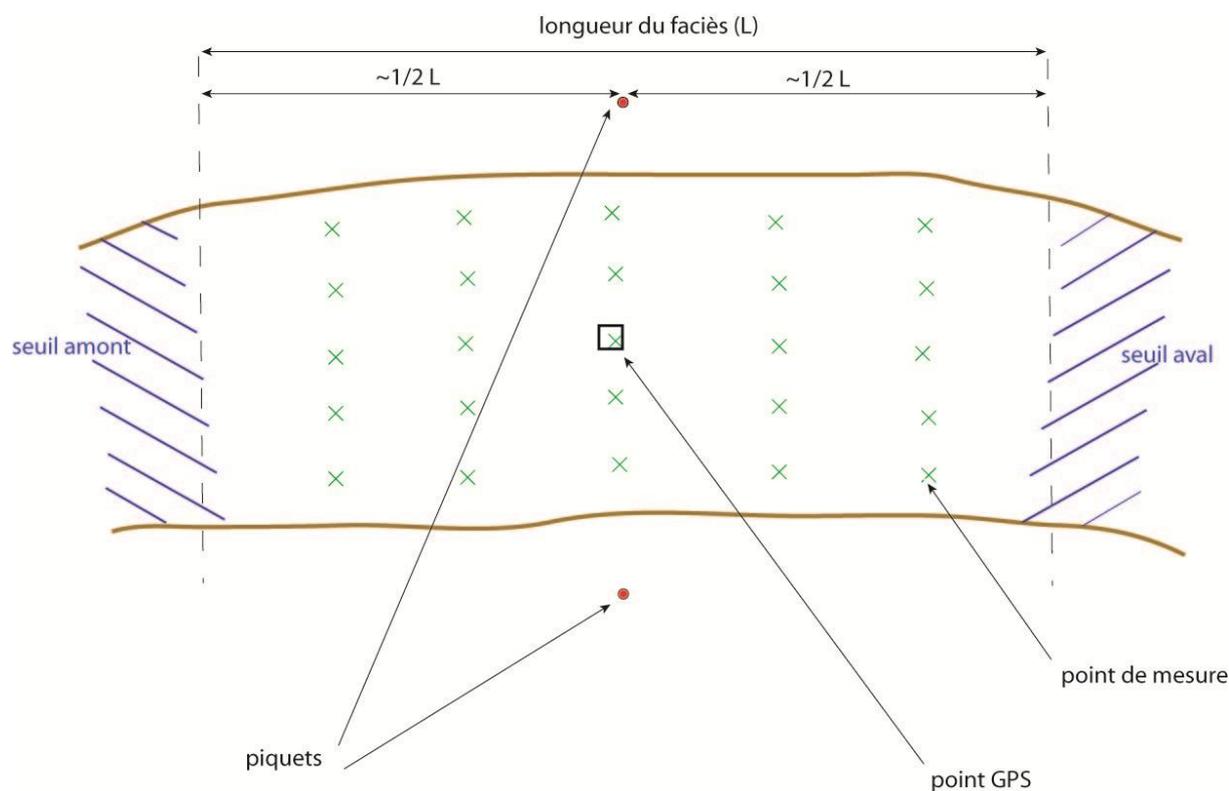


Figure 17 : vue en plan d'un faciès lenticle et répartition des points de mesure

N.B. : la localisation des faciès étudiés par le biais d'un point GPS, de piquets en berges et par la mesure de la longueur du faciès est facultative. Assorti à une description sommaire et de quelques photographies, elle permet néanmoins d'augmenter la comparabilité des résultats entre les campagnes de suivi.

Ensablement

- cours d'eau ensablé
- cours d'eau non ensablé
- non renseigné

Bassins sensibles à l'ensablement et/ou aux étiages sévères



Suivi de l'ensablement

- station de suivi (tronçon constitué de 10 à 20 placettes)

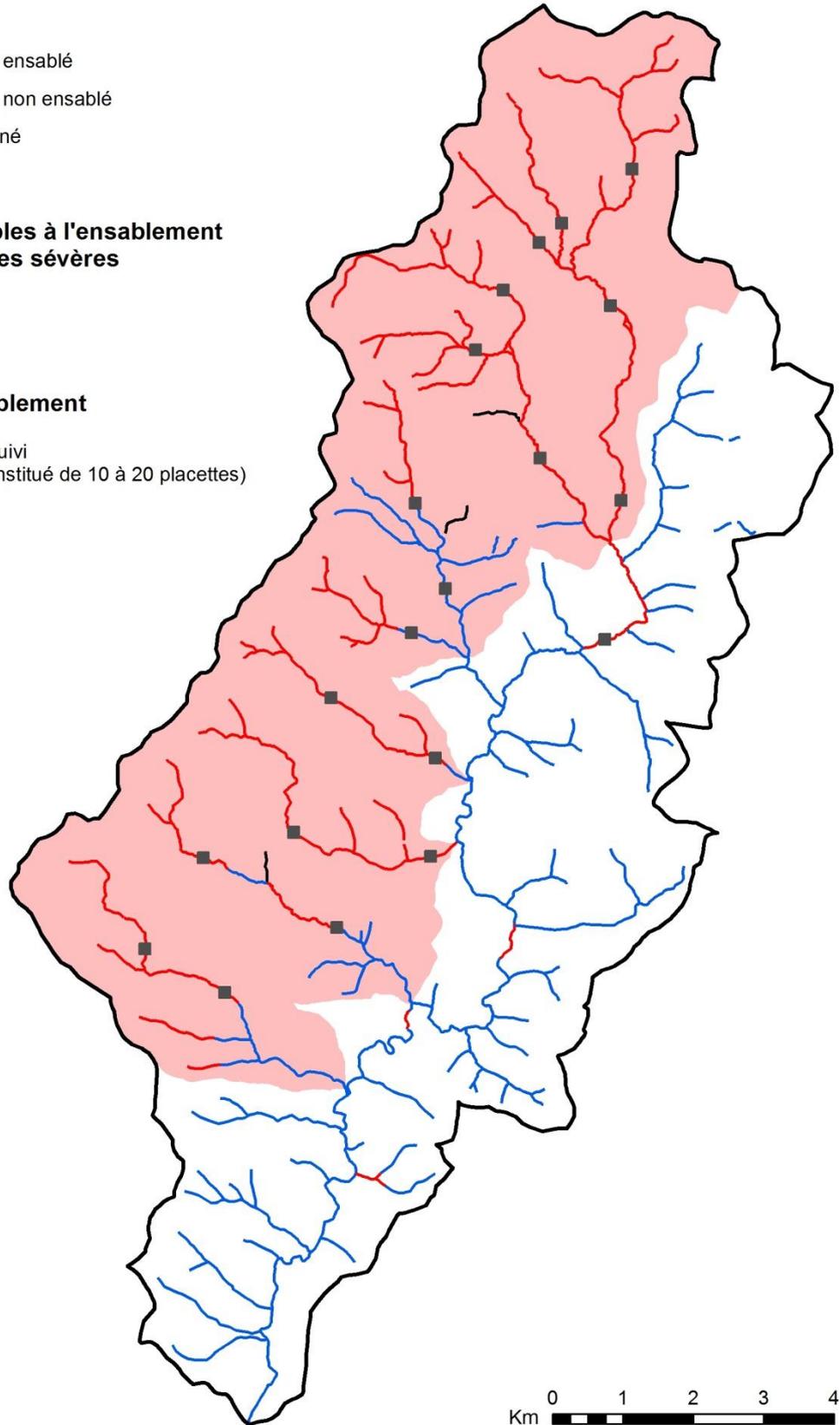


Figure 18 : tronçons proposés pour la réalisation de l'état initial du suivi ensablement

ORGANISATION DU SUIVI ET SELECTION DES TRONÇONS

La détermination de la fréquence du suivi, du nombre de tronçons à suivre et de leur localisation doit être adaptée aux actions entreprises sur le bassin versant. Aussi, l'état initial (1^{ère} campagne de mesure) doit être appliqué à un grand nombre de tronçons pour pouvoir ultérieurement sélectionner les tronçons les plus pertinents au regard des objectifs du suivi. Par exemple, l'implantation d'un grand nombre de haies dans un secteur particulier du bassin versant pourrait conduire à un suivi fréquent des cours d'eau concernés par ces travaux (fréquence annuelle). En revanche, les autres tronçons pourraient être suivis moins fréquemment, par exemple tous les 3 ans.

La **figure 18** propose une **première sélection de 20 tronçons** répartis sur l'ensemble des cours d'eau sensibles à l'ensablement.

FINANCEMENT et PROGRAMATION



ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE € HT	COÛT TOTAL € HT
I. Etat des lieux réalisé sur 20 tronçons (ex. : figure 18)	20	Jour agent	250	5 000
II. Suivi annuel réalisé sur 10 tronçons (5 tronçons suivis annuellement, 5 tronçons suivis tous les 3 ans)	40 (10 par an)	Jour agent	250	10 000
III. Analyse des données et interprétation	4	Jour agent	250	1 000
IV. Matériel de terrain GPS, appareil photo, décamètre, piquets et bombes de peinture	1	Forfait	2 000	2 000
TOTAL				18 000

N.B. : le suivi peut éventuellement être effectué par le technicien-animateur (fiche n°1). Le cas échéant, les coûts correspondant à la masse salariale (I à III) présentés dans ce tableau ne se cumulent pas à ceux de la fiche action n°1.

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHEANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I. Etat des lieux *		5 000						
II. Suivi			2 500	2 500	2 500	2 500		
III. Analyse des données et interprétation						1 000		
IV. Matériel de terrain		2 000						

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

TYPE DE CHARGES	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
I et II. Masse salariale ⁽¹⁾	16 000	50 ⁽²⁾	5		20		
IV. Matériel de terrain	2 000	50 ⁽²⁾			50		

¹ financement de la masse salariale à travers le poste animation (fiche action n°1) ; ² taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration

N° 7B

ACTION : SUIVIS

Priorité : 2

MESURE : SUIVI DE LA RESSOURCE EN EAU

Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammation**Structures porteuses du CR
PNRGC (seul)****110 000 € ou +****5 ans ou +**

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Une grande des partie des actions proposées ci-avant ont en partie pour objectif de soutenir les étiages des cours d'eau, en particulier sur les affluents en rive droite de la Muse et au nord du bassin). Par ailleurs, les faibles débits à l'étiage entraînent également le réchauffement des eaux dans l'ensemble du bassin versant. Un **suivi hydrologique et thermique** permettrait d'évaluer le succès de ces mesures et de les ajuster afin d'optimiser leur efficacité.

DESCRIPTIF



DISPOSITIF DE MESURE

Pour s'affranchir de la variabilité temporelle des conditions (fonction des variations saisonnières et des crues antérieures), il convient de réaliser un suivi en continu. Une **série de stations de mesure limnimétrique et thermique** devrait donc être implantée pour suivre les hauteurs d'eau et la température des eaux.

Pour le suivi hydrologique, 5 types de sondes sont envisageables, dont les principaux avantages ou inconvénients sont présentés ci-dessous :

- par sonde piézométrique (mesure de la pression hydrostatique proportionnelle à la hauteur d'eau) :
 - ☺ : faible coût, faible encombrement, installation simple ;
 - ☹ : durée de vie limitée (~ 5 ans), sensibilité au gel (pas de problème si sonde immergée en hiver) et à l'envasement, altération de la mesure avec le temps (dérive qui nécessite un étalonnage régulier) ;
- par flotteur (mesure de la hauteur d'eau) :
 - ☺ : fiabilité, en particulier pour les faibles hauteurs d'eau ;
 - ☹ : encombrement, installation lourde, risque de blocage du flotteur en décrue par les dépôts de fines particules ;
- par bulle à bulle (mesure de la pression hydrostatique proportionnelle à la hauteur d'eau) :
 - ☺ : fiabilité, précision ;
 - ☹ : maintenance lourde, nécessité d'un apport d'énergie ou d'une batterie dans un coffret extérieur, prix élevé ;
- capteur ultrasons (mesure du tirant d'air et déduction de la hauteur d'eau) ;
 - ☹ : peu discret, sensible à la température, au vent et à l'humidité, prix très élevé ;
- capteur radar (mesure du tirant d'air et déduction de la hauteur d'eau) :
 - ☹ : peu discret, prix élevé.

Pour faciliter l'installation et l'entretien du dispositif, tout en minimisant les coûts, nous recommandons l'emploi d'une sonde multifonction équipée à la fois d'un capteur de pression et d'une sonde thermique. Comme l'indique la **figure 19**, chaque station pourra ainsi être composée des éléments suivants :

- une **sonde multifonction équipée d'un capteur piézométrique et d'un capteur thermique** ;
- une **centrale d'acquisition autoalimentée** (munie d'une batterie interne) pour l'enregistrement et la récupération des données ;
- un **câble de liaison** entre ces deux derniers appareils permettant l'alimentation de la sonde, le transfert des données vers la centrale d'acquisition et la mise à pression atmosphérique du capteur piézométrique ;
- un **tube métallique** (voire en PVC) pour fixer et protéger l'ensemble du dispositif.

Il est recommandé d'installer le dispositif au droit d'une section chenalisée (radier et berges fixes) pour éviter les problèmes de détarage liées à l'évolution géométrique de la section en travers du lit.

Il faut également prévoir des visites régulières des stations pour :

- la récupération des données, qui nécessite :
 - o un **ordinateur portable** ;
 - o un **logiciel de contrôle** des appareils de mesure et d'acquisition ;
- l'entretien du dispositif, qui consiste notamment à :
 - o un contrôle général de l'installation ;
 - o le nettoyage et l'étalonnage des sondes piézométrique et thermique ;
 - o l'éventuel remplacement ou la remise en charge des batteries (en fonction du matériel utilisé).

Précisons que les enregistrements piézométriques permettront de suivre le niveau d'eau et non pas le débit des cours d'eau. Pour convertir les hauteurs d'eau en débit, il est nécessaire de réaliser des campagnes de jaugeage. Les mesures du niveau d'eau permettront néanmoins d'évaluer qualitativement les évolutions hydrologiques.

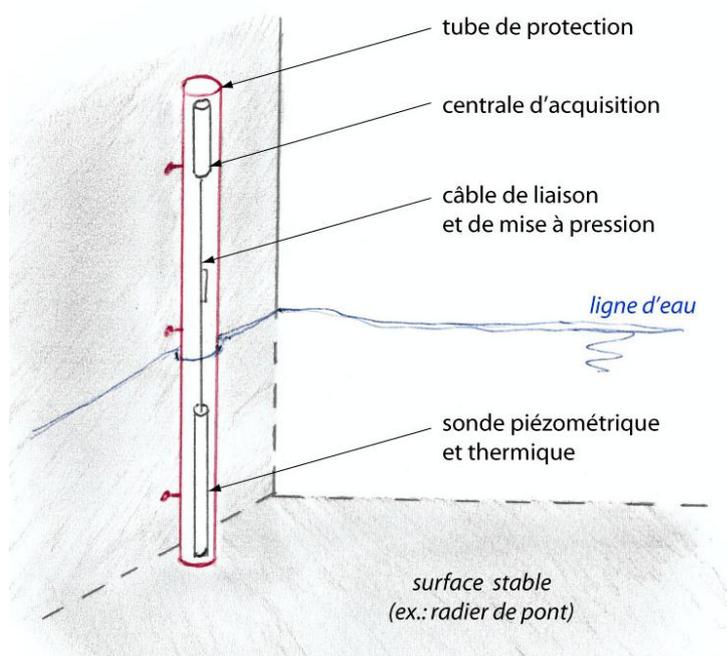


Figure 19 : schéma de principe pour l'installation d'une station de suivi limnimétrique et thermique

N.B. : il est préférable de placer la centrale d'acquisition et le boîtier de mise à pression suffisamment hauts pour éviter leur immersion. Il existe néanmoins des centrales d'acquisition immersibles.

LOCALISATION DES STATIONS

Les **figures 20 et 21** proposent **10 sites** pour l'implantation de stations de suivi hydrologique et thermique sur les principaux affluents sensibles aux étiages. Le nombre et la localisation des stations seront à adapter en fonction des ressources disponibles et des mesures entreprises sur le bassin.

Ensemblement

- cours d'eau ensablé
- cours d'eau non ensablé
- non renseigné

Bassins sensibles à l'ensablement et/ou aux étiages sévères



Suivi hydrologique et thermique

- station de suivi

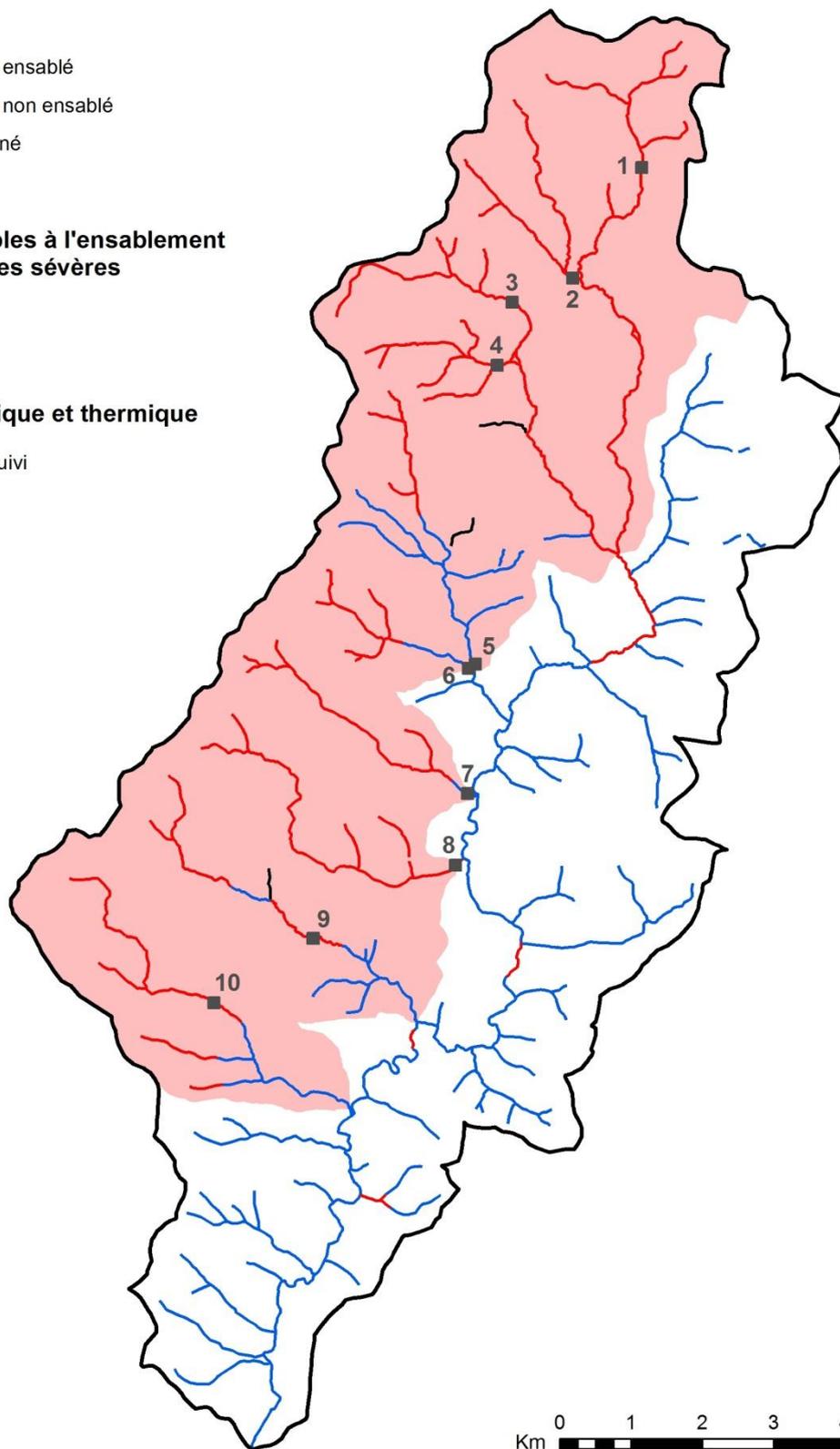


Figure 20 : sites proposés pour l'implantation de stations de suivi hydrologique et thermique (vue d'ensemble)

Dans tous les cas, il est préférable d'implanter les stations :

- le plus à l'aval possible des affluents pour intégrer le fonctionnement hydrologique d'une plus grande partie du bassin versant ;
- dans des endroits facilement accessibles et où l'installation du matériel est facilitée par la présence de radiers et de berges stables : les ponts constituent à cet égard des sites privilégiés.

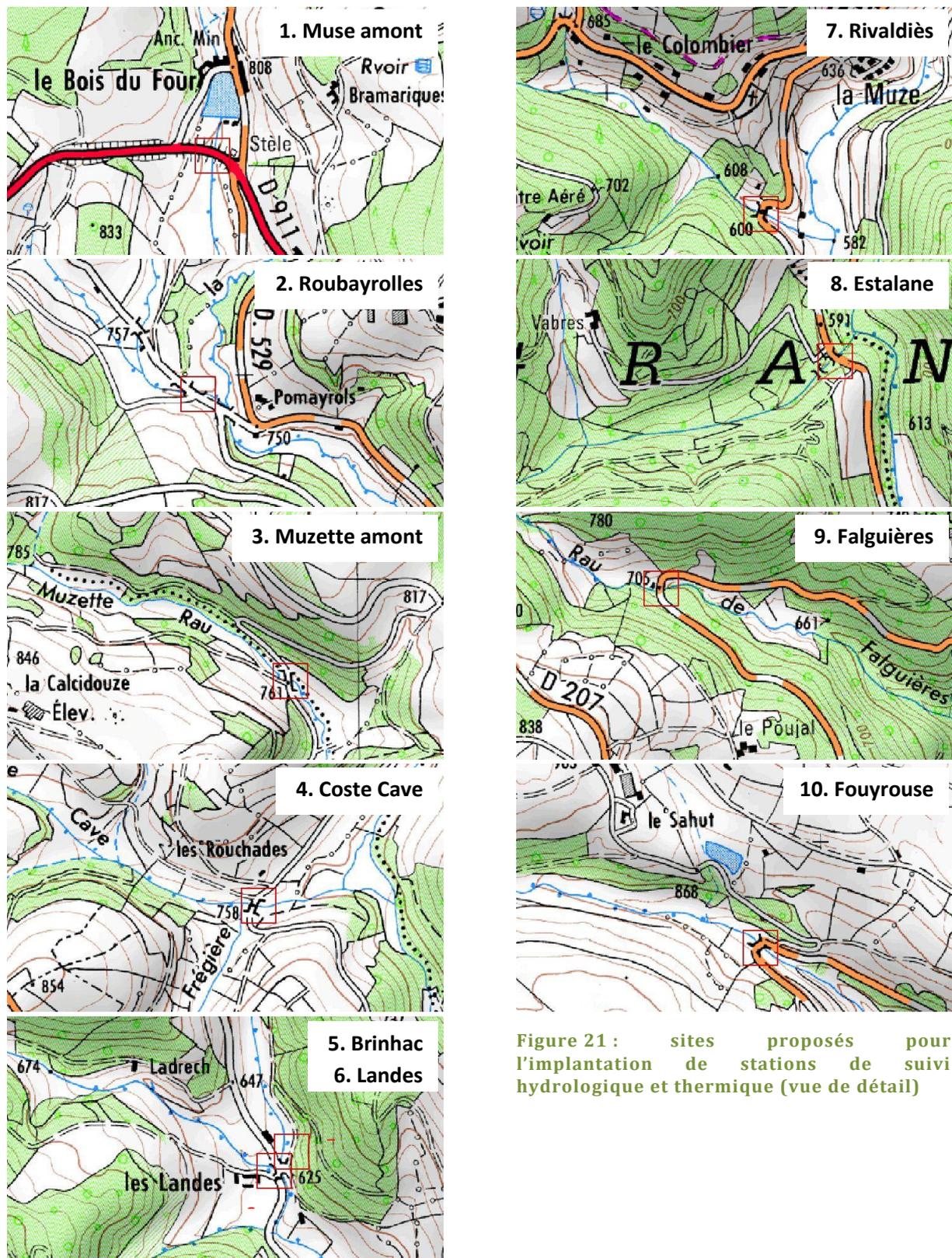


Figure 21 : sites proposés pour l'implantation de stations de suivi hydrologique et thermique (vue de détail)



ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE	COÛT TOTAL
			€ HT	€ HT
I. Matériel des stations	10	Forfait	2 000	20 000
II. Frais d'installation	10	Forfait	1 000	10 000
III. Matériel de collecte	1	Forfait	1 000	1 000
IV. Frais annexes (pièces de rechange)	4	Forfait annuel	1 000	4 000
V. Collecte et analyse des données, entretien des stations *	300 (60 par an)	Jour agent	250	75 000
TOTAL				110 000

N.B. : estimations réalisées pour un total de 10 stations et 4 visites d'entretien par an et par station

* la collecte et l'analyse des données ainsi que l'entretien des stations peuvent éventuellement être effectués par le technicien-animateur (fiche n°1). Le cas échéant, les coûts liés à la masse salariale (V) ne se cumulent pas à ceux de la fiche action n°1

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHEANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
I. Matériel des stations		20 000						
II. Frais d'installation		10 000						
III. Matériel de collecte		1 000						
IV. Frais annexes (pièces de rechange)			1 000	1 000	1 000	1 000		
V. Collecte et analyse des données, entretien des stations *		15 000	15 000	15 000	15 000	15 000		

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

TYPES DE CHARGES	COUT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
I à IV. Investissement matériel	35 000	50 ⁽²⁾			50		
V. Masse salariale ⁽¹⁾	75 000	50 ⁽²⁾	5		20		

¹ financement de la masse salariale à travers le poste d'animateur-technicien (fiche action n°1) ; ² taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration

N° 7c

ACTION : SUIVI MORPHOLOGIQUE

Priorité : 2

MESURE : SUIVI DU CONFLUENT MUSE-BRINHAC

Maître(s) d'ouvrage potentiel(s)MontantProgrammationStructures porteuses du CR
Commune de Saint-Beauzély

500 €

2 ans

CONTEXTE/PROBLEMATIQUE



Un court tronçon de la Muse présente une incision régressive (érosion verticale du lit qui progresse de l'aval vers l'amont) sur la commune de Saint-Beauzély, juste en amont de la confluence avec le ruisseau de Brinhac (figure 22). Cette incision est consécutive à la récente destruction d'une chaussée au confluent (en 2005). L'abaissement du niveau du lit a eu relativement peu d'impacts jusqu'ici, mais il pourrait augmenter lors de crues ultérieures et menacer la stabilité des berges, des arbres et des aménagements riverains. Nous préconisons donc de suivre l'évolution du tronçon pour prévenir des détériorations potentielles sur une passerelle (figure 23a) et sur les propriétés riveraines (figure 23b), et pour éviter la chute d'arbres.

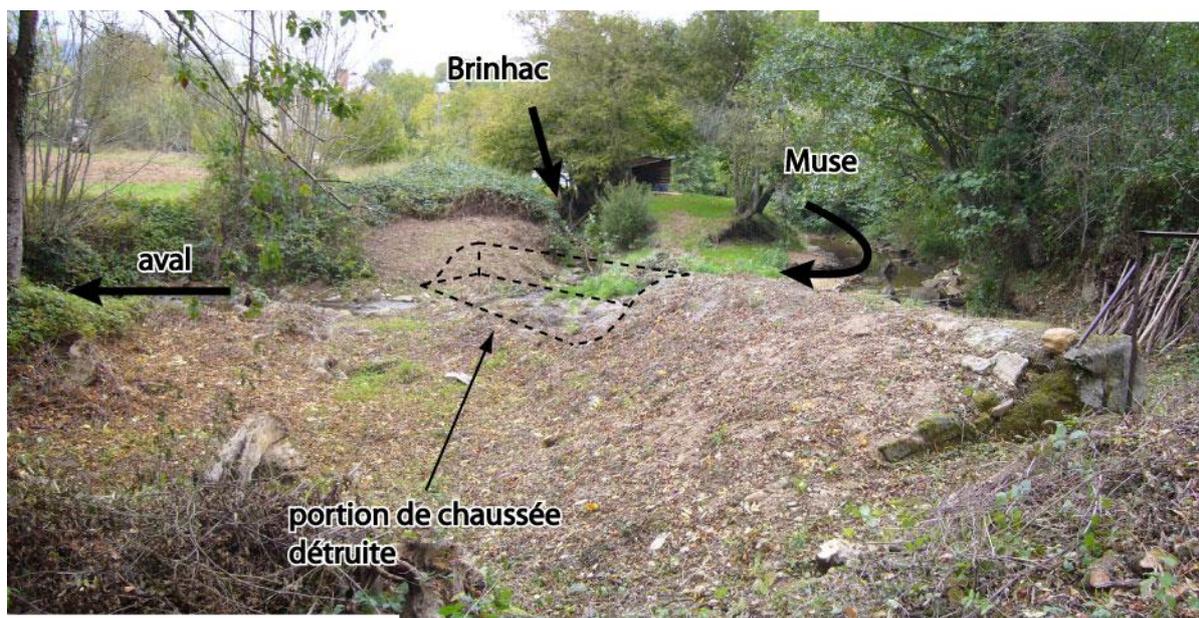


Figure 22 : chaussée détruite au confluent Muse-Brinhac

DESCRIPTIF



La méthode de suivi proposée s'approche de celle préconisée à titre général après démantèlement de tout ouvrage transversal (suivi de l'incision régressive), mais avec un moindre niveau de détail. En effet, **une partie des ajustements du lit se sont ici déjà opérés**, le niveau actuel du lit en amont de la chaussée détruite étant largement inférieur à celui de la crête de l'ouvrage. Il est donc possible de

mettre en place un suivi « léger » car les impacts liés aux érosions en amont de l'ouvrage et au déstockage de sédiments vers l'aval seront désormais probablement faibles.

Des visites du site à intervalle de temps réguliers, **après chaque crue importante et à minima une fois par an**, sont nécessaires. Lors de chaque visite, il s'agit d'évaluer l'évolution du lit :

- **dans la dimension verticale** : la semelle en béton au pied de la passerelle en rive gauche (**figure 23a**) constitue un bon repère pour mesurer l'évolution de l'enfoncement du lit. En octobre 2010, elle se situait 55 cm au-dessus du fond du lit ;
- **dans la dimension horizontale** : l'enfoncement du lit augmente la hauteur et la verticalité des berges, donc leur instabilité. Il convient donc d'évaluer l'état général des berges entre l'ancienne chaussée et cette passerelle de manière qualitative (visuellement).



Figure 23 : incision régressive en amont qui entraîne et un affouillement de la passerelle en rive gauche (a) et une érosion de la berge en rive droite (b)

En cas d'évolution significative (ex. : abaissement du lit à environ 80 cm de la semelle en béton), il conviendrait :

- d'abattre les arbres sur les berges de la Muse entre l'ancienne chaussée et la passerelle, ainsi que sur le Brinhac sur une vingtaine de mètres en amont du confluent, ou de **les tailler à une hauteur suffisante pour que leur chute ne présente pas de risque pour la sécurité des personnes et des biens environnants** ;
- de **conforter la stabilité de la passerelle** (risque de déstabilisation de la culée en rive gauche).

FINANCEMENT et PROGRAMATION



Le suivi sera réalisé en interne par le maître d'ouvrage. Les frais éventuels liés aux interventions sur la végétation ou sur les ouvrages en berges sont à la charge des propriétaires riverains.

ESTIMATION DES COÛTS

OPERATION	QUANTITE	UNITE	COÛT UNITAIRE € HT	COÛT TOTAL € HT
Suivi sur 2 ans	2 (1 par an)	Jour agent	250	500

N.B. : estimation réalisée en considérant deux visites d'une demi-journée par an ; le suivi peut éventuellement être effectué par le technicien-animateur (fiche n°1). Le cas échéant, les coûts correspondant à la masse salariale (I) présentés dans ce tableau ne se cumulent pas à ceux de la fiche action n°1.

PHASAGE PREVISIONNEL

OPERATION	ECHANCIER							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT	€ HT
Masse salariale	250	250						

PLAN DE FINANCEMENT POSSIBLE

TYPES DE CHARGES	COÛT TOTAL € HT	CONTRIBUTION					
		Agence de l'Eau	Conseil Régional	Conseil Général	Structures porteuses	Com. de communes	Autres
		%	%	%	%	%	%
Masse salariale ⁽¹⁾	500	50 ⁽²⁾	5		20		

¹ financement de la masse salariale à travers le poste animation (fiche action n°1) ; ² taux en vigueur modifiable fin 2012, sous condition d'établissement d'un Plan d'Action Territorial (PAT) validé par le conseil d'administration

3- Vue d'ensemble des actions

La **figure 24** et le **tableau 10** récapitulent les montants prévisionnels estimés.

Lorsque deux solutions ont été proposées pour une même action, une fourchette de valeur est prise en compte (**tableau 10**). C'est le cas des interventions sur les chaussées Mu 1, Mu 11 et Mu 12. Pour la chaussée de Saint-Hyppolite, on retrouve par exemple :

- un coût estimatif minimum de 23,1 k€ pour la première solution d'arasement ;
- un coût estimatif maximum de 29,2 k€ pour la seconde solution.

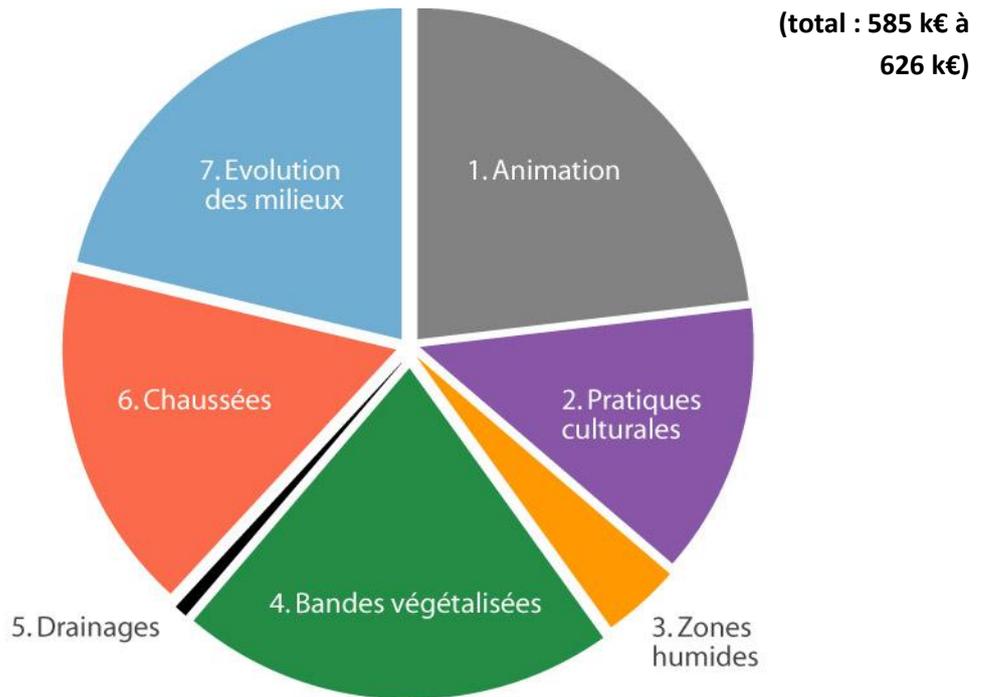
La **figure 24** représente la répartition des coûts moyens par action (moyenne calculée à partir des deux estimations dans le cas d'une fourchette de valeur). Le but de cette figure est de donner une vue d'ensemble des actions.

Le coût total des actions serait donc compris entre 585,3 et 626,6 k€ H.T.

Il faut néanmoins préciser :

- qu'il ne s'agit que de **montants estimatifs conformes aux propositions présentées dans les fiches actions**. Ils n'ont donc fait l'objet d'aucune validation et peuvent/doivent vraisemblablement être ajustés ;
- que **les montants totaux** (585,3 et 626,6 k€) **sont sous-évalués** car une partie des actions n'est pas chiffrée (suivi et protection des zones humides) ;
- qu'une partie des missions d'inventaire et/ou de suivi pourrait être confiée au technicien-animateur, mais que cet élargissement de poste pourrait conduire à une augmentation de sa quotité de travail (voire une prolongation du contrat dans certaines conditions), si bien que l'on peut globalement considérer que les montants alloués à ces missions seraient à peu près équivalents.

COUT GLOBAL PAR OBJET et OBJECTIF



DETAIL DES MESURES

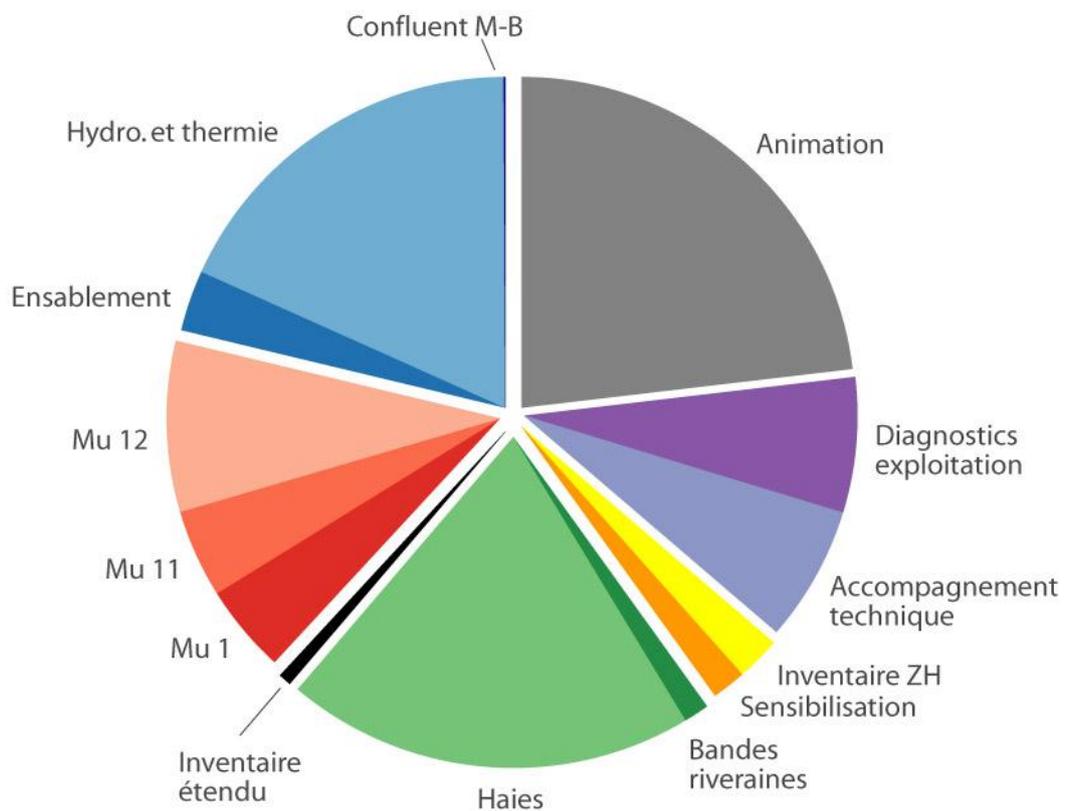


Figure 24 : répartition des coûts moyens par action - les 1^{ère} et 2^{ème} lignes correspondent respectivement aux colonnes « Objectif » et « Mesure(s) » du tableau 10

Objectif		Mesure(s)	Coût (k€)	Priorité	Localisation principale
1	Animer les actions	1 - Poste d'animateur à 50%	140	1	ensemble du bassin
2	Améliorer les pratiques culturelles	2A - Diagnostic des exploitations	40	1	versants
		2B - Accompagnement technique	40	1	versants
3	Préserver et reconquérir les zones humides	3A - Inventaire	13	1	versants
		3B - Suivi	-	1	versants
		3C - Protection	-	1	versants
		3D - Sensibilisation	10	1	ensemble du bassin
4	Lutter contre l'ensablement et réguler la ressource en eau	4A - Implantation de bandes riveraines végétalisées	7,5	1	affluents (rives)
		4B - Implantation de haies (<i>MIN=priorité 1 ; MAX=toutes classes</i>)	120	1	versants
5	Limitier l'impact des drainages agricoles	5A - Inventaire des drainages	3,75	2	versants
		5B - Eviter l'implantation de nouveaux drains et supprimer les drains existants	0	1	versants
6	Améliorer la circulation piscicole et les conditions d'habitat aquatique	6B - Intervention sur la chaussée de Saint Hippolyte (Mu 1)	23-29	2	cours principaux
		6C - Intervention sur la chaussée de Moulibez (Mu 11)	25-27	2	cours principaux
		6D - Intervention sur la chaussée en amont de Moulibez (Mu 12)	34-67	2	cours principaux
7	Suivre l'évolution des milieux	7A - Suivi de l'ensablement	18	2	affluents
		7B - Suivi hydrologique et thermique	110	2	affluents
		7C - Suivi du confluent Muse-Brinhac	0,5	2	cours principaux

Tableau 10 : vue d'ensemble des actions (coût, priorité et zone géographique par mesure et grand objectif)

LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1 : schéma d'orientation	10
Tableau 2 : les différents modes de gestion envisageables.....	13
Tableau 3 : les différentes structures porteuses envisageables	14
Tableau 4 : quelques recommandations pour lutter contre l'érosion des sols à l'échelle de la parcelle ..	22
Tableau 5 : caractéristiques des exploitations recensées dans le RPG 2010.....	23
Tableau 6 : longueur des cours d'eau en fonction de leur statut, de leur ensablement et de l'occupation des terres riveraines.....	30
Tableau 7 : comparaison des deux solutions pour restaurer la franchissabilité de la chaussée de Saint Hippolyte	51
Tableau 8 : comparaison des deux solutions pour restaurer la franchissabilité de la chaussée de Moulibez.....	61
Tableau 9 : comparaison des deux solutions pour restaurer la franchissabilité de la chaussée en amont de Moulibez.....	68
Tableau 10 : vue d'ensemble des actions (coût, priorité et zone géographique par mesure et grand objectif)	95

LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1 : bandes tampons en bordure de cours d'eau (a : bande enherbée ; b : ripisylve)	30
Figure 2 : localisation des tronçons potentiellement concernés par l'implantation de bandes riveraines végétalisées	31
Figure 3 : exemples de types de haies (Parc naturel régional du Vexin)	36
Figure 4 : secteurs prioritaires pour l'inventaire et la limitation/suppression des drainages agricoles.....	42
Figure 5 : gestion des chaussées – principes et localisation	46
Figure 6 : vue depuis l'aval de la chaussée de Saint Hippolyte	49
Figure 7 : solution n°1 pour la chaussée de Saint Hippolyte : dérasement total.....	52
Figure 8 : solution n°2 pour la chaussée de Saint Hippolyte : arasement partiel	54
Figure 9 : vue depuis la rive gauche de la chaussée de Moulibez.....	59
Figure 10 : enjeux à proximité de la chaussée de Moulibez potentiellement menacés en cas d'incision régressive importante	60
Figure 11 : interventions sur la chaussée de de Moulibez : arasement de l'ouvrage et aménagement d'une rampe	62
Figure 12 : vue depuis l'aval de la chaussée en amont de Moulibez (Mu 12)	67
Figure 13 : solution n°1 pour la chaussée en amont de Moulibez – démantèlement des éléments béton et métalliques (a) et création d'une brèche (b)	69
Figure 14 : solution n°2 pour la chaussée en amont de Moulibez – réhabilitation de l'ouvrage	71
Figure 15 : organisation de la mesure des profondeurs pour le calcul du taux de comblement sur une mouille montrant la localisation des points de mesures (le long de transects perpendiculaires à la direction générale des écoulements) d'après la méthode de Hilton et Lisle (1993)	76
Figure 16 : plan en coupe d'un faciès lentique	77
Figure 17 : vue en plan d'un faciès lentique et répartition des points de mesure	78
Figure 18 : tronçons proposés pour la réalisation de l'état initial du suivi ensablement.....	79
Figure 19 : schéma de principe pour l'installation d'une station de suivi limnimétrique et thermique	84
Figure 20 : sites proposés pour l'implantation de stations de suivi hydrologique et thermique (vue d'ensemble).....	85
Figure 21 : sites proposés pour l'implantation de stations de suivi hydrologique et thermique (vue de détail)	86

Figure 22 : chaussée détruite au confluent Muse-Brinhac	89
Figure 23 : incision régressive en amont qui entraîne et un affouillement de la passerelle en rive gauche (a) et une érosion de la berge en rive droite (b)	90
Figure 24 : répartition des coûts	94

ANNEXE 1

Appel à projet pour la mise en œuvre en Midi-Pyrénées de la mesure agroenvironnementale territorialisée « *Maintien de l'équilibre agri-écologique d'une prairie naturelle en faveur des zones humides et de leurs services rendus* »

ANNEXE 2

Fiche technique générale sur la conditionnalité 2011 du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire

ANNEXE 3

Fiche technique spécifique aux bandes tampons imposées par la conditionnalité 2011 (fiche BCAE 1) du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire

ANNEXE 4

Arrêté préfectoral n°2011192-0007 du 11 juillet 2011 fixant les normes usuelles et les règles relatives aux bonnes conditions agricoles et environnementales des terres du département de l'Aveyron

ANNEXE 5

Clef de détermination pour l'identification des principaux faciès d'écoulement en rivières

ANNEXE 1

Appel à projet pour la mise en œuvre en Midi-Pyrénées de la mesure agroenvironnementale territorialisée « *Maintien de l'équilibre agri-écologique d'une prairie naturelle en faveur des zones humides et de leurs services rendus* »

Source : DRAAF Midi-Pyrénées

APPEL A PROJET

**DESTINE
AUX OPERATEURS DE TERRITOIRE**

**POUR LA MISE EN ŒUVRE
EN MIDI-PYRENEES
DE LA MESURE AGROENVIRONNEMENTALE
TERRITORIALISEE**

**« Maintien de l'équilibre agri-écologique
d'une prairie naturelle
en faveur des zones humides
et de leurs services rendus »**

**DANS LE CADRE DU
PLAN NATIONAL D'ACTION ZONES HUMIDES**

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
I - Le dossier de candidature	4
II - Dispositions relatives au financement.....	5
Le montant de la mesure territorialisée	5
L'élaboration et l'animation du projet de territoire	5
III - Calendrier de dépôt et de sélection des projets.....	5
Dépôt des projets agro-environnementaux.....	5
Validation technique de la liste d'espèces indicatrices.....	6
Notification de la recevabilité des projets	6
IV - Critères de sélection des dossiers.....	6
V - Le calendrier de mise en œuvre de la mesure	6
VI - Le cahier des charges de la mesure.....	7
ANNEXES.....	8
CONTACTS.....	9

Le Plan de national d'action en faveur des zones humides (PNA ZH) présenté en février 2010 par le ministère en charge de l'écologie prévoit, conjointement avec le ministère en charge de l'Agriculture, de développer une agriculture durable dans les zones humides en lien avec les acteurs de terrain.

Le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire (MAAPRAT) mène déjà diverses actions agroenvironnementales sur les zones humides dites emblématiques au travers des Mesures Agro-Environnementales Territorialisées (MAET).

Le MAAPRAT a décidé de proposer en collaboration avec le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), une MAET destinée à compléter l'offre existante sur l'enjeu de protection des zones humides afin d'augmenter les superficies contractualisées. Cette MAET spécifique sera cofinancée à hauteur de 7M€, pour l'ensemble du territoire national, par le MAAPRAT et le FEADER.

Le MAAPRAT apportera un premier niveau d'aide qui pourra être complété par d'autres financeurs (Agence de l'Eau Adour-Garonne, collectivités territoriales, Parc National des Pyrénées...)

La Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) Midi-Pyrénées est chargée de l'appel à projets agro-environnemental régional. Elle centralisera les dossiers de candidature qui devront être déposés, avant le 12/09/2011. Elle les transmettra pour information aux autres financeurs publics potentiels.

Les dossiers de candidature seront examinés par un comité régional de sélection en vue de leur présentation, pour avis, à la COREAM EDD (Commission Régionale de l'agriculture et du monde rural - Commission thématique «environnement et développement durable de l'agriculture») du 04/10/2011.

A l'issue de cette COREAM, la DRAAF notifiera, à chaque porteur de projets, les modalités d'accompagnement de chaque projet retenu.

L'appel à projets porte sur la mise en œuvre, sur des territoires précis, de la MAET « Maintien de l'équilibre agri-écologique d'une prairie naturelle en faveur des zones humides et de leurs services rendus ». Cette MAET est construite sur les engagements unitaires « Socle relatif à la gestion des surfaces en herbe » (Engagements Unitaires SOCLEH01 à 03) et « Maintien de la richesse floristique d'une prairie naturelle » (Engagement Unitaire HERBE_07).

Cette MAET a pour objectifs :

- le maintien des surfaces en prairies permanentes en zones humides¹,
- le maintien d'une exploitation durable de ces milieux,
- la préservation des fonctions environnementales des prairies permanentes en zones humides riches en espèces :
 - la régulation de l'eau (stockage de l'eau en cas de crues, recharge des nappes phréatiques),
 - l'épuration de l'eau (fixation et dégradation des polluants),
 - la préservation de la biodiversité ordinaire et remarquable (faune et flore),
 - la préservation des paysages remarquables...

L'engagement HERBE_07 fixe aux contractants, un objectif de résultats en terme de diversité floristique.

L'Agence de l'Eau Adour Garonne (AEAG) est associée à cet appel à projet ainsi qu'au comité de sélection afin de favoriser la prise en compte des fonctionnalités liées à l'eau citées ci-dessus.

¹ le présent appel à projet fait référence à la définition et identification « classique » de la zone humide selon loi sur l'eau de 1992 (article L.211-1 code de l'environnement : « (...) on entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire; la végétation quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».)

I - Le dossier de candidature

(cf. annexe H)

Les porteurs de projet doivent identifier des territoires sur lesquels il est pertinent de mettre en oeuvre cette MAET.

Pour chaque territoire, les porteurs de projet doivent déposer un dossier comportant :

- la présentation du porteur de projet (document n°1 du dossier de candidature),
- la présentation du territoire et des zones d'action pressenties (document n°2 du dossier de candidature),
- le programme de contractualisation pour 2012 et 2013 (document n°3 du dossier de candidature),
- le programme de l'animation ainsi que son coût pour 2012 et 2013 (document n°4 du dossier de candidature),
- le contenu technique du cahier des charges à compléter, notamment par la liste territoriale proposée des plantes indicatrices du bon état agri-écologique des prairies, les modalités de contrôle d'atteinte des objectifs (période optimale de contrôle), d'évaluation de la mesure ainsi que les prescriptions en terme d'élimination des refus et des rejets ligneux ² (document n°5 du dossier de candidature),.
- une carte de localisation des zones humides et des prairies permanentes au sein du territoire, à l'échelle 1/25 000,
- la numérisation graphique du contour global du territoire éligible, avec un niveau de précision correspondant à une échelle au 1/5000ème sur le fond des orthophotographies aériennes ©IGN, de manière à être compatible avec le registre parcellaire graphique sur lequel doivent être localisés tous les éléments engagés dans la mesure. Seul le contour global du territoire est numérisé (dans le respect des consignes figurant dans le document n°6 du dossier de candidature).
- la fiche de synthèse du projet agro-environnemental (modèle en annexe I)

L'opérateur déterminera les besoins financiers nécessaires pour une souscription 2012 et 2013 et ce, pour les 5 ans de la durée de l'engagement. Cette précision est importante : elle devra être très proche de la contractualisation finale attendue afin d'éviter de mobiliser des crédits qui ne seraient pas utilisés au final.

Pour établir le programme de contractualisation, il convient de respecter les conditions d'éligibilité ci-dessous :

Les surfaces éligibles

Les surfaces éligibles sont les prairies permanentes non drainées³ situées hors zone NATURA 2000 et hors zone de captage prioritaire Grenelle.

Les bénéficiaires éligibles

Les conditions d'éligibilité sont celles définies dans la circulaire annuelle des Mesures agro-environnementales (MAE).

2 Il conviendra de veiller au maintien de la biodiversité ordinaire et remarquable (ex: maintien de jonchaies ou cariçaias au sein de la parcelle)

3 Non drainées par des systèmes enterrés ou aériens. Seuls seront tolérés les fossés déjà existants et anciens dont la profondeur reste compatible avec le ressuyage des eaux de surface sans affecter le comportement hydraulique de la prairie.

II - Dispositions relatives au financement

Le montant de la mesure territorialisée

Cette MAET est financée directement aux exploitants sur une durée d'engagement de 5 ans à hauteur maximale de **165 €/ha/an** auxquels s'ajoute le coût induit du diagnostic d'exploitation qui a un montant forfaitaire maximal annuel de **96 €/an/exploitation** plafonné à 20% du montant total de la mesure et au plafond communautaire à l'hectare. (voir paragraphe VI)

L'élaboration et l'animation du projet de territoire

Des crédits d'animation sont prévus au plan national afin d'accompagner l'opérateur pour le montage du projet et notamment pour la création de la liste d'espèces indicatrices du bon état agri-écologique des prairies, en lien avec le conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP) qui communiquera, au besoin et sur demande spécifique, des éléments bibliographiques et méthodologiques.

Seuls les projets retenus par le comité de sélection pourront être financés au titre de leur élaboration et de leur animation.

L'imprimé de demande de subvention est fourni en annexe M.

Les demandes de subvention devront être déposées à la DRAAF avant le 15 juin 2011.

Elles seront fournies sous forme informatique (word, pdf ou open office) à l'adresse mail suivante :

anne-marie.develay@agriculture.gouv.fr

Un récépissé de dépôt de demande d'aide sera adressé au demandeur.

L'original de la demande de subvention et les pièces constitutives du dossier de demande d'aide devront être adressées par voie postale à l'adresse suivante :

Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF)

Service Régional du Développement durable des Territoires Ruraux

Bd Armand Duportal – 31074 TOULOUSE cedex 4

Pour tout porteur de projets bénéficiant déjà d'aides publiques à l'animation, la demande de subvention au titre de la mesure 323D du PDRH ne devra porter que sur les interventions spécifiques au présent appel à projets (ex : CATZH bénéficiant d'aides publiques pour l'animation territoriale et conseils techniques aux gestionnaires de zones humides).

III - Calendrier de dépôt et de sélection des projets

Dépôt des projets agro-environnementaux

Les dossiers doivent être déposés à la DRAAF, avant le 12 septembre 2011, et être complets.

Ils seront fournis sous forme informatique (word, pdf ou open office) à l'adresse suivante :

anne-marie.develay@agriculture.gouv.fr

Un accusé de réception sera retourné pour confirmer le dépôt des pièces adressées.

Il n'est pas nécessaire d'adresser une copie papier par voie postale.

Par ailleurs, la liste de plantes indicatrices accompagnée de leur guide d'identification, de leur référentiel photographique, de la proposition de la meilleure période d'observations seront transmis, en copie, avant la même date limite du 12 septembre 2011, au Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP)

Validation technique de la liste d'espèces indicatrices

Chaque liste de plantes accompagnée de leur guide d'identification, de leur référentiel photographique, ainsi que la meilleure période d'observations feront l'objet d'une validation par le comité de sélection, sur proposition du Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP).

Notification de la recevabilité des projets

Les candidats retenus pour cette mesure seront informés par la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) à l'issue de la consultation de la COREAM-EDD du 04/10/2011.

IV - Critères de sélection des projets

Seront prioritaires les projets :

- dont les zones humides sont inventoriées par des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) approuvés ou en cours de révision et/ou en Zones humides d'intérêt écologique particulier (ZHIEP),
- dont les zones humides sont situées dans les territoires de Parc Nationaux ou de Parcs Naturels Régionaux,
- dont les zones humides sont situées dans le périmètre d'intervention des Cellules d'Assistance Techniques Zones Humides (CATZH) et /ou concernées par d'autres opérations territoriales de préservation des zones humides (ex : Espaces Naturels Sensibles...)
- dont les zones humides sont situées dans les zonages officiels milieux naturels hors site Natura 2000 (ex. : Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope, Réserve Naturelle, ZNIEFF,...)
- dont les zones humides abritent une ou des espèces végétales protégées⁴ (ex. : Jacinthe de Rome) et/ou des espèces animales protégées et menacées (selon les critères UICN)
- dont les prairies relèvent des habitats naturels décrits dans le manuel d'identification de la végétation des zones humides du bassin Adour-Garonne

De plus, les projets seront évalués selon les critères suivants :

- projet complet et bien argumenté,
- projet ayant une approche territoriale satisfaisante (taux de contractualisation du territoire attendu, nombre d'agriculteurs inscrits dans cette démarche, cohérence du projet par rapport à la zone humide ...),
- projet dont le démarrage peut intervenir dès la campagne 2012 (dépôt des dossiers bénéficiaires aux 15 mai 2012).

V - Le calendrier de mise en œuvre de la mesure

La MAET est souscrite pour une durée de 5 ans selon les modalités décrites dans la circulaire annuelle des MAE (cf. annexe A).

Tranche 2012 : dépôt des demandes d'engagement au 15 mai 2012

Tranche 2013 : : dépôt des demandes d'engagement au 15 mai 2013

⁴ La liste rouge régionale de la flore vasculaire de Midi-Pyrénées est en cours de révision; c'est pourquoi pas indiqué le terme « menacées » pour les espèces végétales

VI - Le cahier des charges de la mesure

La mesure proposée aux exploitants est intitulée : 'Maintien de l'équilibre agri-écologique d'une prairie naturelle en faveur des zones humides et de leurs services rendus '

Elle résulte de la combinaison des engagements unitaires nationaux suivants :

- SOCLE Herbe selon la typologie des surfaces concernées au titre de la PHAE
 - > SOCLEH01 pour les surfaces en herbe éligibles à la PHAE2 (76 €)
 - > ou SOCLEH02 pour les surfaces en herbes peu productives éligibles à la PHAE2-ext (76€x spp)
 - > ou SOCLEH03 pour les surfaces en herbe peu productives engagées par une entité collective éligibles à la PHAE2-GP1, GP2 ou GP3 (76 €* spp)
- HERBE_07 : maintien de la richesse floristique naturelle d'une prairie naturelle (89 €)

Les montants sont indiqués par hectare et an. La mesure peut donc se décliner de 3 façons différentes.

ZH1 = SOCLEH01 + HERBE_07

ZH2 = SOCLEH02 + HERBE_07

ZH3 = SOCLEH03 + HERBE_07

L'opérateur se rapprochera de la DDT pour connaître les coefficients spp à considérer pour les EU Socle Herbe.

Le cahier des charges de la mesure résulte de la combinaison des cahiers des charges des engagements unitaires la composant, figurant en annexes D à G. Les versions notices sont destinées aux exploitants. L'opérateur devra établir un document fusionné pour chaque mesure ZH1 à 3. Les versions 'services' sont destinées aux opérateurs. Elles explicitent les points à détailler au niveau du projet de territoire.

L'exploitant s'engage à réaliser, avant le dépôt de la demande d'aide, un diagnostic d'exploitation, de manière à assurer la cohérence de l'engagement de l'exploitant avec ceux des autres exploitants du territoire et avec le diagnostic de territoire réalisé en amont. Ce diagnostic correspond à l'engagement unitaire Ci4 (figurant en annexes B et C). Ce diagnostic d'exploitation devra aboutir à un plan d'ensemble des parcelles désignant, pour chaque parcelle, son intérêt environnemental et paysager et précisant l'ancienneté des prairies permanentes et la présence éventuelle d'espèces végétales protégées.

L'exploitant s'engage à respecter le cahier des charges de la MAET durant les 5 années d'engagement :

- L'exploitant s'engage au respect des Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE).
- L'exploitant s'engage au respect du cahier des charges parcellaire de la Prime herbagère agroenvironnementale 2 (PHAE-2) décrit dans la circulaire nationale des MAE.
- L'exploitant s'engage au respect du cahier des charges de l'Engagement unitaire (EU) « Maintien de la richesse floristique d'une prairie naturelle » décrit dans le catalogue national des EU annexé à la circulaire annuelle des MAE :
 - L'exploitant s'engage à maintenir la parcelle en état de prairie permanente (non retournement), par fauche et/ou pâture. La fréquence d'utilisation doit être faible (2 fauches annuelles et 2 à 3 passages du troupeau).
 - En cas de pâturage, celui-ci devra être raisonné afin d'éviter le surpâturage.
 - L'exploitant s'engage à utiliser la parcelle tardivement et à limiter la fertilisation totale (minérale et organique) conformément aux préconisations du diagnostic d'exploitation.

ANNEXE 2

Fiche technique générale sur la conditionnalité 2011 du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire

Source : <http://mesdemarches.agriculture.gouv.fr/Fiches-techniques-Conditionnalite>

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Qu'est ce que la conditionnalité ?

La conditionnalité, mise en place depuis 2005, garantit une agriculture plus durable et favorise ainsi une meilleure acceptation de la politique agricole commune par l'ensemble des citoyens.

Ce dispositif soumet le versement de certaines aides communautaires au respect d'exigences de base en matière d'environnement, de bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE), de santé (santé publique, santé des animaux, santé des végétaux) et de protection animale.

Les aides concernées sont les suivantes :

- 1) les aides couplées et découplées du premier pilier de la PAC ;
- 2) les aides à la restructuration et à la reconversion des vignobles¹ versées à partir de 2008 ;
- 3) certaines aides de développement rural (2nd pilier de la PAC) relevant de la programmation 2007-2013, à savoir :
 - les indemnités compensatoires de handicaps naturels (ICHN),
 - les mesures agroenvironnementales (MAE) pour les engagements souscrits à partir de 2007², en particulier la PHAE2,
 - l'aide au boisement des terres agricoles,
 - les paiements sylvo-environnementaux.

Les exploitants agricoles qui bénéficient d'au moins une aide mentionnée ci-dessus sont ainsi soumis à la conditionnalité.

Pour en faciliter la lecture, l'ensemble des aides concernées par la conditionnalité sera désigné, dans les fiches techniques, par le terme « aides soumises à la conditionnalité ».

Dans ce cadre, il est mis à la disposition des exploitants agricoles un ensemble de fiches d'information composé d'une fiche de présentation générale et de fiches techniques regroupant par domaine les différentes exigences contrôlées. Toutes ces fiches sont disponibles sur le site du ministère de l'agriculture à l'adresse suivante : <http://agriculture.gouv.fr/la-conditionnalite> ou sur le site « Mes Démarches » dédié aux téléservices du ministère de l'agriculture sous la thématique « conditionnalité » à l'adresse suivante : <http://mesdemarches.agriculture.gouv.fr/>.

Qui est concerné par la conditionnalité ?

Les exploitants agricoles qui bénéficient d'au moins une aide mentionnée ci-dessus sont soumis à la conditionnalité.

NB : la notion de « petit producteur » qui existait pour le calcul de la SCE (surface en couvert environnemental) a disparu depuis 2010.

Quelles sont les exigences à respecter dans le cadre de la conditionnalité ?

Les exigences de base.

Les exigences de base qui doivent être respectées au titre de la conditionnalité, sont regroupées en cinq domaines de contrôle : « environnement », « BCAE », « santé-productions végétales³ », « santé-productions animales », « protection animale ».

Les exigences complémentaires MAE.

Outre ces exigences de base, les exploitants qui ont souscrit une MAE à partir de 2007, doivent respecter des exigences complémentaires, en matière de fertilisation d'une part et d'utilisation des produits phytopharmaceutiques d'autre part⁴.

Le respect de ces exigences est vérifié à l'occasion des contrôles réalisés sur le domaine « environnement » (pour les pratiques de fertilisation) et sur le domaine « santé - productions végétales » (pour l'utilisation des produits phytopharmaceutiques).

La possibilité de remise en conformité des anomalies mineures

Certaines anomalies de faible importance et sans incidence directe sur la santé humaine et animale peuvent être remises en conformité selon des modalités et des délais, exprimés en jours ouvrables, précisés dans les fiches techniques ci-jointes. Ces anomalies sont qualifiées de « mineures ».

Lorsque l'exploitant s'est remis en conformité dans les délais prescrits et que cette remise en conformité a été validée par l'organisme de contrôle, ces anomalies ne sont pas retenues pour le calcul des réductions liées à la conditionnalité.

Comment s'informer ?

Outre cette fiche introductive, il est mis à la disposition des exploitants agricoles un ensemble de fiches techniques pour chaque domaine de contrôle comprenant :

- une fiche par sous-domaine, c'est à dire par texte réglementaire ou par norme BCAE, expliquant les exigences de base de la conditionnalité :
 - objectif de la réglementation et exploitations concernées,
 - points contrôlés et cas de non-conformité,

¹ Soumission à la conditionnalité pendant trois ans à compter de l'année suivant le premier versement dans le cadre de la nouvelle OCM, les pénalités « conditionnalité » s'appliquent au tiers du montant total dû au titre de la nouvelle OCM

² Engagements souscrits en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011

³ Le domaine réglementaire « santé publique, santé des animaux et des végétaux » est divisé en deux domaines de contrôle spécifiques : « santé - productions végétales » regroupant les exigences de santé en matière de productions végétales et « santé - productions animales » regroupant les exigences de santé relatives aux productions animales

⁴ Ainsi, pour les bénéficiaires de contrats MAE signés à partir de 2007, le respect de la conditionnalité (exigences de base et exigences complémentaires) se substitue au respect des bonnes pratiques agricoles habituelles (BPAH).

- modalités et délais de remise en conformité des anomalies mineures,
- pondération des cas de non conformité présentée sous forme de grille ;
- une fiche technique spécifique, le cas échéant, présentant selon la même démarche, l'exigence complémentaire MAE⁵ (pratiques de fertilisation ou pratiques d'utilisation des produits phytopharmaceutiques) et sa grille de pondération.

Présentation

DOMAINE « ENVIRONNEMENT »

4 fiches reprenant les exigences de base de la conditionnalité :

- la *fiche environnement I* qui concerne la « conservation des oiseaux sauvages et des habitats »,
- la *fiche environnement II* qui concerne la « protection des eaux souterraines contre la pollution causée par des substances dangereuses »,
- la *fiche environnement III* qui concerne l'« épandage des boues d'épuration en agriculture »,
- la *fiche environnement IV* qui concerne la « protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles » ;

1 *fiche (fiche environnement V)* reprenant les exigences complémentaires MAE sur les pratiques de fertilisation.

DOMAINE « BCAE »

7 fiches reprenant les différentes normes BCAE :

- la *fiche BCAE I* qui concerne la « bande tampon le long des cours d'eau »,
- la *fiche BCAE II* qui concerne le « non-brûlage des résidus de culture »,
- la *fiche BCAE III* qui concerne la « diversité des assolements »,
- la *fiche BCAE IV* qui concerne les « prélèvements à l'irrigation »,
- la *fiche BCAE V* qui concerne l'« entretien minimal des terres »,
- la *fiche BCAE VI* qui concerne la « gestion des surfaces en herbe »,
- la *fiche BCAE VII* qui concerne le « maintien des particularités topographiques ».

DOMAINE « SANTÉ - PRODUCTIONS VÉGÉTALES »

2 fiches reprenant les exigences de base de la conditionnalité :

- la *fiche santé/végétaux I* qui concerne l'« utilisation des produits phytosanitaires »,
- la *fiche santé/végétaux II* qui concerne le « paquet hygiène relatif aux productions d'origine végétale »,

1 *fiche (fiche santé/végétaux III)* reprenant les exigences complémentaires sur les pratiques d'utilisation des produits phytopharmaceutiques ;

DOMAINE « SANTÉ - PRODUCTIONS ANIMALES »

5 fiches reprenant les exigences de base de la conditionnalité :

- la *fiche santé/animaux I* qui concerne le « paquet hygiène relatif aux productions primaires animales »,
- la *fiche santé/animaux II* qui concerne l'« interdiction d'utiliser certaines substances en élevage »,
- la *fiche santé/animaux III* qui concerne la « lutte contre les maladies animales »,

- la *fiche santé/animaux IV* qui concerne la « prévention, maîtrise et éradication des encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST) »,
- la *fiche santé/animaux V* qui concerne l'« identification et enregistrement des animaux » pour les bovins, pour les porcins et pour les ovins/caprins.

DOMAINE « PROTECTION ANIMALE »

1 *fiche* unique (fiche protection animale) reprenant les exigences de base de la conditionnalité pour les élevages de veaux, pour les élevages de porcs et pour tous les autres élevages sauf veaux et porcs.

Quels sont les différents cas de non-conformité ?

Pour chaque domaine de contrôle, les cas de non-conformité ont été définis au niveau national. En fonction de leur gravité, leur étendue et leur persistance, un pourcentage de réduction a été affecté à chaque anomalie.

Les anomalies sont pondérées directement en pourcentage ainsi :

- un pourcentage de 20% est attribué aux anomalies intentionnelles ;
- un pourcentage de 5% est attribué aux anomalies graves ;
- un pourcentage de 3% est attribué aux anomalies importantes ;
- un pourcentage de 1% est attribué aux anomalies secondaires ;
- aucune réduction ne sera appliquée aux anomalies qualifiées de mineures dans les fiches et remises en conformité dans les délais prescrits. Les anomalies mineures non-remises en conformité sont considérées comme des anomalies secondaires et, à ce titre, conduisent à une réduction de 1%.

Comme les années précédentes, un refus de contrôle implique la suppression de la totalité des aides soumises à la conditionnalité et à percevoir l'année du contrôle.

Comment est calculé le taux de réduction des aides pour les exigences de base de la conditionnalité ?

Le pourcentage de réduction du domaine contrôlé est égal au pourcentage le plus élevé parmi les anomalies retenues au titre de la conditionnalité de base pour tout le domaine⁷.

Toutefois lorsque, sur le domaine contrôlé, toutes les anomalies à 3%, relatives à la conditionnalité de base et pertinentes pour l'exploitation, sont retenues, le taux de réduction du domaine est alors de 5%.

Exemple 1

Lors du contrôle d'une exploitation d'élevage de porcs, de veaux et de gros bovins sur le domaine « protection animale », le taux de réduction du domaine sera de 5 % si les 13 points (sur les 3 grilles de contrôle à prendre en compte) pouvant conduire à une pondération de 3 % sont constatés.

Exemple 2

Lors du contrôle d'une exploitation d'élevage de veaux et de gros bovins sur le domaine « protection animale », le taux de réduction du domaine sera de 5 % si les 8 points (sur les 2 grilles de contrôle à prendre en compte) pouvant conduire à une pondération de 3 % sont constatés.

⁵ Exigences spécifiques pour les exploitations engagées dans une mesure agroenvironnementale à partir de 2007

⁶ La conditionnalité de base couvre toutes les exigences du domaine excepté les exigences complémentaires MAE quand elles existent

Lorsqu'un seul domaine est contrôlé, le pourcentage de réduction du domaine contrôlé devient le taux de réduction qui sera appliqué aux aides soumises à la conditionnalité et à percevoir au titre de l'année du contrôle.

Lorsque plusieurs domaines sont contrôlés, le taux de réduction appliqué aux aides est la somme de chacun des pourcentages de réduction retenus pour chaque domaine contrôlé, plafonnée à 5 %.

Si au moins une anomalie intentionnelle est relevée, le taux de réduction appliqué aux aides est plafonné à 20%.

Exemple 1

Lors du contrôle d'une exploitation sur le domaine « environnement », 6 cas de non conformité sont retenus au titre de la conditionnalité de base : 4 cas à 1%, 2 cas à 3% ;

- la pondération la plus élevée parmi les anomalies retenues est de 3% ;
 - le pourcentage de réduction pour le domaine est donc de 3% ;
- un seul domaine est contrôlé, le taux de réduction appliqué aux aides soumises à la conditionnalité est de 3%.

Exemple 2

Lors du contrôle d'une exploitation sur le domaine « santé - productions animales », 2 anomalies pouvant être remises en conformité sont retenues au titre de la conditionnalité de base.

Si à la fin des délais prescrits, les deux anomalies sont remises en conformité, chacune se voit donc attribuer une pondération nulle ;

- aucune anomalie n'est plus retenue pour le domaine,
- il n'y a pas de taux de réduction pour le domaine;

un seul domaine est contrôlé, aucune réduction n'est appliquée aux aides au titre de la conditionnalité.

Si à la fin des délais prescrits, une anomalie n'a pas été corrigée, la pondération qui lui est attribuée est de 1% ;

- la pondération la plus élevée parmi les anomalies retenues est de 1% ;
- le pourcentage de réduction pour le domaine est donc de 1% ;

un seul domaine est contrôlé, le taux de réduction appliqué aux aides soumises à la conditionnalité est de 1%.

Exemple 3

Une exploitation est contrôlée sur les domaines « protection animale » et « BCAE ». Le pourcentage de réduction retenu pour le domaine « protection animale » est de 3%, le pourcentage de réduction retenu pour le domaine « BCAE » est de 5% car toutes les anomalies à 3% pertinentes pour l'exploitation ont été relevées ; le taux de réduction appliqué aux aides soumises à la conditionnalité est de $(3\%+5\%)=8\%$, plafonné à 5%.

Exemple 4

une exploitation est contrôlée sur les domaines « BCAE » et « santé - productions végétales ». Le pourcentage de réduction retenu pour le domaine « BCAE » est de 20% (deux intentionnelles) et le pourcentage de réduction retenu pour le domaine « santé-productions végétales » est de 3% ; le taux de réduction appliqué aux aides soumises à la conditionnalité est plafonné à 20%.

Comment est calculé le taux de réduction des aides pour les exigences complémentaires MAE ?

Le pourcentage de réduction spécifique à l'exigence complémentaire MAE contrôlée est égal au pourcentage le plus élevé parmi les anomalies retenues au titre de l'exigence complémentaire MAE contrôlée.

Lorsque, pour cette exigence complémentaire MAE, toutes les anomalies à 3% pertinentes pour l'exploitation sont retenues, le pourcentage de réduction de l'exigence complémentaire est alors de 5%.

Lorsqu'un seul domaine concerné par une exigence complémentaire MAE est contrôlé, le taux de réduction appliqué uniquement aux aides du second pilier soumises à conditionnalité (ICHN, MAE souscrite à partir de 2007, aide au boisement des terres agricoles, paiements sylvo-environnementaux) est le taux le plus élevé entre le taux de réduction spécifique à l'exigence complémentaire MAE et le taux de réduction au titre de la conditionnalité de base.

Exemple

Lors du contrôle du domaine « environnement », au titre des exigences de base, le taux de réduction retenu est de 1%. Au titre de l'exigence complémentaire MAE « pratiques de fertilisation », deux cas de non-conformité à 1% sont relevés ;

- au titre de l'exigence complémentaire, la pondération la plus élevée parmi les anomalies retenues est de 3%,
- le pourcentage de réduction spécifique à l'exigence complémentaire MAE est donc de 3%,
- un seul domaine est contrôlé, le taux de réduction, au titre des exigences complémentaires MAE, est de 3% ;

le taux de réduction total appliqué aux aides du second pilier soumis à la conditionnalité est de 3%,

le taux de réduction appliqué aux aides du premier pilier et le cas échéant aux aides viticoles (au titre des exigences de base) est de 1%.

Comment est pris en compte un cas de répétition d'une anomalie ?

Dans une grille de contrôle, un point de contrôle correspond à une ou plusieurs anomalies. En règle générale⁸, un groupe d'anomalies correspond à un point de contrôle de chacune des grilles de contrôle. Une anomalie est considérée comme « répétée » lorsque celle-ci ou une anomalie du même groupe d'anomalies est constatée plus d'une fois au cours d'une période de trois années consécutives.

En cas d'anomalie répétée, le calcul du pourcentage de réduction pour une non-conformité répétée correspond à la multiplication par trois du pourcentage de réduction calculé pour cette anomalie constatée seule, l'année du contrôle.

Lorsque plusieurs non-conformités sont constatées dans le même groupe d'anomalies, le pourcentage de réduction est calculé pour ces anomalies sur l'année du contrôle, puis multiplié par trois.

Lorsque plusieurs non-conformités, répétées ou non, sont constatées, les pourcentages respectifs qui résultent des anomalies répétées et non répétées sont additionnés, dans la limite de 15% (sauf si un cas d'anomalie intentionnelle est constaté).

Exemple

Deux contrôles d'une exploitation sur le domaine santé - productions animales (chez un éleveur d'ovins) ont été réalisés sur une période de trois années consécutives.

⁸ Quelques exceptions existent. A titre d'exemple, l'ensemble des non-conformités des deux points de contrôle « Cohérence passeport / animal » et « Données du passeport » de la grille relative à l'identification bovine constitue un unique groupe d'anomalies.

En 2009, les anomalies suivantes ont été constatées :

- relevé d'une anomalie « Absence de document de recensement annuel »
- relevé d'une anomalie « Absence d'identification : plus de 3 animaux et entre 10 et moins de 30% des animaux » (de plus de 6 mois).

En 2011, les anomalies suivantes sont constatées :

- relevé d'une anomalie « Absence de document de recensement annuel à jour : recensement non réalisé ».

Il s'agit d'une non-conformité répétée. Cette anomalie fait partie du même groupe d'anomalies que l'anomalie 1 relevée en 2009. Cette non-conformité constatée seule en 2011, entraîne un pourcentage de réduction de 1% ; ce pourcentage est multiplié par 3, soit 3% ;

- relevé d'une anomalie « Absence totale d'éléments d'identification : entre 15 et 49 animaux » de plus de 6 mois.

Il s'agit d'une répétition car elle fait partie du groupe d'anomalies « Identification individuelle des animaux de plus de 6 mois » comme l'anomalie 2 relevée en 2009. Cette anomalie constatée seule en 2011, entraîne un pourcentage de réduction de 3% ; ce pourcentage est multiplié par 3, soit 9%.

- relevé d'une anomalie « Absence totale d'enregistrement des traitements médicamenteux » au titre du sous-domaine « paquet hygiène – productions animales »

Il ne s'agit pas d'une répétition. Cette non conformité entraîne un pourcentage de réduction de 3%.

Dans cet exemple, le taux de réduction des aides 2011 calculé est de 15% (i.e. 3% + 9% + 3%).

Comment sont organisés les contrôles ?

Pour mémoire, l'organisation des services départementaux de l'État a changé depuis le 1er janvier 2010 en métropole :

- les directions départementales des territoires (DDT) ont repris les compétences des directions départementales de l'équipement (DDE), des directions départementales de l'équipement et de l'agriculture (DDEA), des directions départementales de l'agriculture et de la forêt (DDAF). En conséquence, les DDE, DDEA, DDAF ont disparu (sauf en région Ile-de-France) ;
- dans les départements du littoral, les DDT sont les directions départementales des territoires et de la mer (DDTM) ;
- les directions départementales de la protection de la population (DDPP) reprennent les compétences des directions départementales des services vétérinaires (DDSV) et des unités départementales de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (UDCCRF). En conséquence, les UDCCRF et les DDSV disparaissent (sauf en région Ile-de-France) ;
- dans certains départements, la DDPP ont repris également les compétences des directions départementales de la jeunesse et des sports (DDJS), des affaires sanitaires et sociales (DDASS), ce sont les directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDCSP) ;

Créées dans le cadre de la Révision générale des politiques publiques, les DDT(M) et les DD(CS)PP font ainsi partie des nouveaux services déconcentrés de l'Etat à l'échelon départemental à compétence interministérielle.

Dans les départements d'outre-mer, depuis le 1^{er} janvier 2011, les directions départementales de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt ont repris les compétences des directions des services vétérinaires et des directions de l'agriculture et de la forêt (à l'exclusion des missions relatives à la police de l'eau).

Chacun des domaines est contrôlé par un ou deux organismes de contrôle spécifiques dans le cadre des contrôles habituels sur les exploitations :

- le domaine « environnement » (y compris les exigences complémentaires MAE relatives à la fertilisation) est contrôlé par la Direction départementale des territoires (DDT) et par la Direction départementale de l'alimentation, l'agriculture et de la forêt (DDAF) pour les départements d'outre-mer⁹ ;
- le domaine « BCAA » est contrôlé par les directions régionales de l'Agence de services et de paiement (DR ASP) ;
- le domaine « santé-productions végétales » (y compris les exigences complémentaires MAE utilisation des produits phytopharmaceutiques) est contrôlé par les DRAAF - Service régional de l'alimentation (SRAL) ou de la Direction départementale en charge de protection des populations (DDPP) ;
- le domaine « santé-productions animales » est contrôlé par les DDPP. Cependant, les DR ASP participent au contrôle de l'identification des bovins et des ovins-caprins ;
- le domaine « protection animale » est contrôlé par les DDPP.

Les DDT coordonnent le travail des différents organismes de contrôle :

- elles indiquent le nombre d'exploitations à contrôler,
- elles veillent à ce que les différents contrôles, à effectuer sur une même exploitation, soient regroupés ou correctement répartis dans le temps.

Comment se déroule un contrôle conditionnalité ?

Le contrôle au titre de la conditionnalité est réalisé sur l'exploitation et porte sur les points de contrôle définis au niveau national. Son déroulement et la vérification du respect des règles s'effectuent de façon identique dans tous les départements.

Dans le cas général, le contrôle de l'exploitation ne porte que sur un seul des cinq domaines de contrôle. En fonction de ses caractéristiques propres, l'exploitation est contrôlée sur tout ou partie des exigences du (des) domaine(s) contrôlé(s).

Partout en France, les contrôleurs disposent :

- d'un guide des contrôles, élaboré au niveau national, qui précise l'ensemble des points à contrôler et les modalités de contrôle ;
- des grilles nationales décrivant les points vérifiés, les cas de non-conformité qui pourraient être constatés, les anomalies qu'il est possible de remettre en conformité.

Le contrôleur vérifie toutes les exigences qui relèvent de sa compétence (exigences de base de la conditionnalité et exigences complémentaires MAE le cas échéant¹⁰). Dans quelques cas, une visite complémentaire peut-être nécessaire (par exemple, la vérification de la présence d'un couvert hivernal pour les exploitations ne respectant pas la BCAA « diversité des assolements »).

À l'issue du contrôle, le contrôleur établit un compte rendu de contrôle sur lequel sont notés les cas de non-conformité constatés et un « relevé des anomalies mineures au titre de la conditionnalité » qui mentionne, le cas échéant, les anomalies remises en conformité immédiatement et en présence du contrôleur. Seules sont retenues les anomalies qui sont directement imputables à l'exploitant et qui engagent sa responsabilité. Ces documents doivent être signés par le contrôleur et par l'exploitant qui peut faire part de ses observations dans la rubrique du compte rendu de contrôle prévue à cet effet.

⁹ Les DDPP contrôlent les exploitations soumises au régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Un exemplaire du compte rendu de contrôle et du « relevé des anomalies mineures au titre de la conditionnalité » est remis à l'exploitant, un autre est transmis à la DDT.

Après le contrôle, l'exploitant dispose encore d'un délai de 10 jours ouvrables après le jour du contrôle pour transmettre ses observations par écrit à l'organisme de contrôle, qui les fera suivre à la DDT.

En outre, un délai de 2 jours ouvrables après le jour du contrôle est prévu pour permettre à l'exploitant de transmettre, au service de contrôle, les documents non retrouvés lors du contrôle. Les duplicata sont acceptés.

Une fois formalisé et vérifié, l'organisme de contrôle transmet le dossier à la DDT, qui rédige la synthèse des différents rapports de contrôle en récapitulant l'ensemble des constats effectués sur l'exploitation et calcule, le cas échéant, le taux de réduction susceptible d'affecter le montant des aides soumises à conditionnalité.

Cette synthèse et, s'il y a lieu, le taux de réduction applicable à l'ensemble des aides soumises à conditionnalité pour lesquelles une demande a été déposée au cours de l'année civile de réalisation du (ou des) contrôle(s) sont transmis par courrier à l'exploitant.

Quels sont les moyens de recours ?

En cas de contestation du taux de réduction que la DDT lui a transmis par courrier, l'exploitant dispose de plusieurs voies de recours.

A compter de la date de notification de ce premier courrier, un délai de 14 jours ouvrables est prévu pour permettre à l'exploitant de communiquer ses observations à la DDT (procédure contradictoire).

Au vu des éléments transmis, la DDT notifie à l'exploitant, par un second courrier, sa décision et, le cas échéant, le taux de réduction définitif applicable à l'ensemble des aides soumises à conditionnalité pour lesquelles une demande a été déposée au cours de l'année civile de réalisation du (ou des) contrôle(s).

Un délai de deux mois (jours ouvrables) à compter de la date de notification de ce second courrier est prévu pour permettre à l'exploitant de formuler un recours gracieux auprès de la DDT, et/ou, si l'exploitant estime que la réglementation en vigueur a été appliquée de façon incorrecte, un recours hiérarchique auprès du Ministre chargé de l'agriculture et/ou un recours contentieux devant le tribunal administratif territorialement compétent.

Les éventuelles réductions au titre de la conditionnalité ne préjugent pas des suites administratives ou judiciaires qui pourraient être données, par ailleurs, aux infractions constatées.

Le Système de conseil agricole (SCA)

Depuis 2008, le « système de conseil agricole » (SCA) prévu par le règlement communautaire et couvrant l'intégralité du champ de la conditionnalité est en place dans chaque région. Ce dispositif permet, à chaque agriculteur qui le souhaite, d'adhérer à un réseau de conseil habilité pour intégrer au mieux sur son exploitation les différentes exigences de la conditionnalité et, le cas échéant, faire évoluer ses pratiques. Selon le choix de l'agriculteur, le conseil agricole peut

s'appliquer à un ou plusieurs des cinq domaines de contrôle de la conditionnalité. Par ailleurs, l'agriculteur peut réaliser un auto-diagnostic de son exploitation sur la base d'un document type transmis par son réseau SCA et reprenant pour chaque domaine les grilles de contrôle présentées dans les fiches techniques.

Remarque : la sélection des exploitations à contrôler au titre de la conditionnalité est réalisée d'une part de manière aléatoire et d'autre part d'après une analyse des risques. Un agriculteur peut bénéficier d'une baisse du risque¹¹, pour un ou plusieurs domaines, lorsqu'il transmet à sa DDT un auto-diagnostic favorable¹² et co-signé par son conseiller agricole.

¹⁰ Pour les exploitants ayant souscrit une MAE à partir de 2007 et contrôlés soit sur le domaine « environnement », soit sur le domaine « santé-productions végétales ».

¹¹ La baisse du risque (qui conduit à la diminution de la probabilité d'être sélectionné) est appliquée pour l'année en cours ou l'année suivante en fonction de la réalisation de l'analyse des risques par l'administration.

¹² L'auto-diagnostic conclut à l'absence de non-conformité pour le ou les domaines concernés.

ANNEXE 3

Fiche technique spécifique aux bandes tampons imposées par la conditionnalité 2011 (fiche BCAE 1) du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire

Source : <http://mesdemarches.agriculture.gouv.fr/Fiches-techniques-Conditionnalite>

DOMAINE « BCAE » FICHE BCAE I

BANDE TAMPON LE LONG DES COURS D'EAU

Quel est l'objectif ?

Les bandes tampons localisées le long des cours d'eau protègent les sols des risques érosifs, améliorent leur structure et contribuent à la protection des eaux courantes en limitant les risques de pollutions diffuses. D'une façon générale, elles favorisent les auxiliaires de culture et la biodiversité.

Qui est concerné en 2011 ?

Tous les exploitants agricoles demandeurs d'aides soumises à la conditionnalité¹ qui disposent de terres agricoles localisées à moins de 5 mètres de la bordure d'un cours d'eau défini par arrêté préfectoral.

NB : la notion de « petit producteur » qui existait pour le calcul de la SCE (surface en couvert environnemental) a disparu depuis 2010.

Que vérifie-t-on ?

Il est vérifié que sur l'exploitation contrôlée, il existe une « bande tampon » de 5 mètres de large sans traitement ni fertilisation implantée le long de tous les cours d'eau définis par arrêté préfectoral.

1 – Une bande tampon de 5 mètres de large le long des cours d'eau

Définition des cours d'eau à border

Les cours d'eau à border sont :

- les cours d'eau figurant en trait bleu plein sur les cartes IGN au 1/25 000^{ème} les plus récentes du département² ;
- les cours d'eau complémentaires listés par arrêté préfectoral ou, en l'absence de liste complémentaire, des cours d'eau en trait bleu pointillé et portant un nom sur les cartes IGN au 1/25000^{ème} les plus récentes du département (se renseigner auprès de la DDT).

La largeur de la bande tampon

Il est vérifié la largeur de la bande tampon. Elle doit être d'au moins 5 mètres à partir du bord du cours d'eau, là où la berge est accessible à partir d'un semoir. Il n'y a pas de limite maximale à cette largeur. Il n'y a pas non plus de surface minimale.

Cette largeur prend en compte, le cas échéant, la largeur des chemins, des digues ou des ripisylves longeant le cours d'eau. Ainsi en bordure de cours d'eau, un chemin, une digue, ou des ripisylves d'une largeur inférieure à 5 mètres depuis le bord du cours d'eau,

doivent être complétés par une bande tampon afin d'atteindre la largeur minimale de 5 m depuis le bord du cours d'eau³.

NB : la bande tampon, en tant que telle, ne fait l'objet d'aucune déclaration spécifique dans le dossier PAC. Elle sera, le cas échéant, prise en compte dans la surface déclarée sur laquelle elle est localisée (gel, prairie,...). Elle est localisée par l'exploitant au moment du contrôle.

2 – La validité et la présence du couvert

Il est vérifié que le couvert est :

- herbacé, arbustif ou arboré (les friches⁴, les espèces invasives et le miscanthus ne sont pas retenus comme couverts autorisés) ;
- couvrant ;
- permanent.

Les sols nus ne sont pas autorisés (sauf pour les chemins longeant le cours d'eau).

Le couvert (herbacé, arbustif ou arboré) peut être implanté ou spontané. Dans tous les cas, l'objectif est d'arriver à un couvert répondant aux objectifs de permanence de la bande tampon, donc pluri-spécifique et semi-naturel.

En cas d'implantation du couvert, de préférence à l'automne et au plus tard le 1er mai⁵ :

- seules les espèces autochtones sont autorisées ;
- l'implantation d'espèces considérées comme invasives n'est pas autorisée⁶ ;
- le mélange d'espèces est conseillé mais l'implantation d'une seule espèce reste autorisée à l'exception de l'implantation de légumineuses « pures » qui est interdite mais les légumineuses en mélange avec des graminées sont autorisées ;
- les taillis à courte rotation sont autorisés sous réserve des prescriptions mentionnées dans l'arrêté préfectoral relatif aux BCAE (espèces autochtones et non invasives, modalités d'implantation : densité, espacement, couverture herbacée, etc.).

En cas de couverts spontanés ou implantés déjà existant, le maintien est recommandé (sauf le miscanthus qui devra être détruit) avec, le cas échéant, des modalités de gestion favorisant une évolution vers une couverture permanente, diversifiée et adaptée aux spécificités locales :

- les cultures pérennes déjà implantées devront faire l'objet d'un enherbement complet sur 5 mètres de large ;
- les implantations en légumineuses pures seront conservées pour éviter les émissions d'azote lors du retournement et gérées pour permettre une évolution vers un couvert autochtone diversifié ;

¹ Les aides soumises à la conditionnalité couvrent les aides du premier pilier, les aides à la restructuration et à la reconversion des vignobles versées depuis 2008 et certaines aides de développement rural [indemnités compensatoires de handicaps naturels (ICHN), mesures agroenvironnementales (MAE) pour les engagements souscrits à partir de 2007, aide au boisement des terres agricoles, paiements sylvo-environnementaux].

² Les canaux d'irrigation, les canaux bétonnés, les digues, les canaux busés... en trait plein sur les cartes IGN, ne sont pas considérés comme des cours d'eau lorsque les aménagements ont été réalisés conformément à la réglementation, c'est à dire qu'ils ont été réalisés suite à une autorisation administrative

³ Le chemin ou la digue ne sont pas comptabilisés au titre de la BCAE « maintien des particularités topographiques »

⁴ La liste des espèces végétales dont les montées à graine sont indésirables ou nuisibles (chardons, chénopodes, vulpins, etc.) est précisée par arrêté préfectoral (se renseigner à la DDT)

⁵ En cas de circonstances climatiques exceptionnelles, un arrêté préfectoral spécifique peut repousser cette date au 15 mai

⁶ La liste des espèces invasives est précisée par arrêté préfectoral (se renseigner à la DDT)

- les couverts comportant une espèce invasive mentionnée dans l'arrêté préfectoral relatif aux BCAE seront maintenus (sauf le miscanthus qui devra être détruit) avec un entretien approprié pour limiter la diffusion et favoriser la diversité botanique.

3 – L'entretien du couvert

Outre les règles d'entretien des terres sur lesquelles elles sont localisées (gel, surface en herbe, etc....), des obligations spécifiques s'imposent aux bandes tampons :

- le couvert de la bande tampon doit rester en place toute l'année,
- l'utilisation de fertilisants minéraux ou organiques et de traitements phytopharmaceutiques est interdite sur les bandes tampon (sauf dans le cadre de la lutte contre les nuisibles prévue par un arrêté préfectoral pris en application de l'article L.251-8 du code rural et de la pêche maritime)

- la surface consacrée à la bande tampon ne peut être utilisée pour l'entreposage de matériel agricole ou d'irrigation, pour le stockage des produits ou des sous-produits de récolte ou des déchets (fumier),
- le labour est interdit mais le travail superficiel du sol est autorisé,
- le pâturage est autorisé sous réserve du respect des règles d'usage pour l'accès des animaux au cours d'eau ;
- la fauche ou le broyage sont autorisés sur une largeur maximale de 20 mètres ;
- les amendements alcalins (calciques et magnésiens) sont autorisés.

GRILLE « BCAE » - « BANDE TAMPON LE LONG DES COURS D'EAU (MÉTROPOLE) »

Point vérifié	Anomalies	Remise en conformité possible ?	Réduction
Réalisation de la bande tampon	Absence totale de bande tampon le long de tous les cours d'eau BCAE traversant l'exploitation.	non	intentionnelle
	Absence totale de bande tampon sur une portion de cours d'eau BCAE traversant l'exploitation.	non	3%
	Pratique d'entretien interdite sur la bande tampon le long du ou des cours d'eau BCAE traversant l'exploitation.	non	3%
	Bande tampon de largeur insuffisante le long d'une partie du ou des cours d'eau BCAE traversant l'exploitation.	non	1%

ANNEXE 4

Arrêté préfectoral n°2011192-0007 du 11 juillet 2011 fixant les normes usuelles et les règles relatives aux bonnes conditions agricoles et environnementales des terres du département de l'Aveyron

Source : Direction Départementale des Territoires de l'Aveyron

PRÉFET DE L'AVEYRON

**DIRECTION
DEPARTEMENTALE
DES TERRITOIRES**

Arrêté n°2011192-0007 du 11 juillet 2011

Objet : Fixation des normes usuelles et des règles relatives aux bonnes conditions agricoles et environnementales des terres du département de l'Aveyron

LA PREFETE DE L'AVEYRON
Officier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre National du Mérite

Vu le règlement (CE) n° 1698/2005 du Conseil du 20 septembre 2005 modifié concernant le soutien au développement rural par le fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER) ;

Vu le règlement (CE) n° 1975/2006 de la Commission du 7 décembre 2006 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 1698/2005 du Conseil en ce qui concerne l'application de procédures de contrôle et de conditionnalité pour les mesures de soutien au développement rural ;

Vu le règlement (CE) n° 1974/2006 de la Commission du 15 décembre 2006 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 1698/2005 du Conseil concernant le soutien au développement rural par le Fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER) ;

Vu le règlement (CE) n° 1234/2007 du Conseil du 22 octobre 2007 portant organisation commune des marchés dans le secteur agricole et dispositions spécifiques en ce qui concerne certains produits de ce secteur (dit règlement «OCM unique») ;

Vu le règlement (CE) n° 73/2009 du Conseil du 19 janvier 2009 établissant des règles communes pour les régimes de soutien direct en faveur des agriculteurs dans le cadre de la politique agricole commune et établissant certains régimes de soutien en faveur des agriculteurs, modifiant les règlements (CE) no 1290/2005, (CE) no 247/2006 et (CE) no 378/2007, et abrogeant le règlement (CE) no 1782/2003 ;

Vu le règlement (CE) n° 1120/2009 de la Commission du 29 octobre 2009 portant modalités d'application du régime de paiement unique prévu par le titre III du règlement (CE) n° 73/2009 du Conseil établissant des règles communes pour les régimes de soutien direct en faveur des agriculteurs dans le cadre de la politique agricole commune et établissant certains régimes de soutien en faveur des agriculteurs ;

Vu le règlement (CE) n° 1121/2009 de la Commission du 29 octobre 2009 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 73/2009 du Conseil en ce qui concerne les régimes d'aide en faveur des agriculteurs prévus aux titres IV et V dudit règlement ;

Vu le règlement (CE) n° 1122/2009 de la Commission du 30 novembre 2009 fixant les modalités d'application du (CE) n° 73/2009 du Conseil en ce qui concerne la conditionnalité, la modulation et le système intégré de gestion et

de contrôle dans le cadre des régimes de soutien direct en faveur des agriculteurs prévus par ce règlement ainsi que les modalités d'application du règlement (CE) n° 1234/2007 du Conseil en ce qui concerne la conditionnalité dans le cadre du régime d'aide prévu pour le secteur vitivinicole ;

Vu le code rural et de la pêche maritime, notamment les sections 4 et 5 du chapitre I^{er} du titre IV du livre III, la section 4 du chapitre V du titre I du livre VI (partie réglementaire) et les articles D.665-17 et D.615-12.

Vu le code de l'environnement, notamment les articles L. 214.1 à L. 214.6 et L. 214-8 ;

Vu l'arrêté du 26 mars 2004 relatif au report de la date de broyage et de fauchage de la jachère de tous terrains à usage agricole ;

Vu l'arrêté du 16 décembre 2010 fixant certaines modalités d'application pour la mise en œuvre de certains régimes de soutien direct en faveur des producteurs dans le cadre de la politique agricole commune ;

Vu l'arrêté du 13 juillet 2010 relatif aux règles de bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE) ;

Vu l'arrêté préfectoral n° 2010-11-5 du 11 janvier 2010 portant délégation de signature à M. Philippe BODA, directeur départemental des territoires de l'Aveyron ;

Sur proposition du directeur départemental des territoires

ARRETE

Titre 1

Les bonnes conditions agricoles et environnementales

Article 1^{er}

Bande tampon / cours d'eau

Les cours d'eau le long desquels doit être localisée une bande tampon sont :

- Les cours d'eau figurant en trait bleu plein sur les cartes IGN au 1/25 000, les plus récentes du département ;
- et les cours d'eau en trait bleu pointillé et portant un nom sur les cartes IGN au 1/25 000, les plus récentes du département ;

Article 2

Bande tampon / couverts autorisés

En application du 2° de l'article 2 de l'arrêté du 13 juillet 2010 susvisé, la liste des espèces herbacées et des dicotylédones autorisées comme bande tampon le long des cours d'eau est en annexe II.

La liste des espèces considérées comme invasives en application du 1° de l'article 2 de l'arrêté du 13 juillet 2010 figurent en annexe VII.

Article 3

Bande tampon / modalités d'entretien

Les bandes tampon respectent les modalités d'entretien précisées par l'article D.615-46 du code rural et de la pêche maritime et l'article 3 de l'arrêté du 13 juillet 2010.

Les bandes tampon respectent, le cas échéant, les modalités d'entretien des surfaces pour lesquelles elles sont déclarées

En application du 3° de l'article 3 de l'arrêté du 13 juillet 2010, le broyage et le fauchage des surfaces en bande tampon est interdit sur une période de 40 jours consécutifs du 1^{er} mai au 10 juin. Toutefois la surface en bande tampon localisée sur des parcelles déclarées en herbe (prairies temporaires, prairies permanentes, estives, landes et parcours) n'est pas concernée par cette interdiction.

Article 4

Diversité de l'assolement

En application du 4° de l'article 4 de l'arrêté du 13 juillet 2010 susvisé, les dispositions de l'arrêté n° 2009-294-13 du 21 octobre 2009 ayant pour objet le quatrième programme d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole en zone vulnérable aux nitrates relatives à la gestion des résidus de culture ou à l'implantation d'un couvert hivernal en cas de non-respect de la BCAE « *diversité des assolements* reproduites à l'annexe III s'appliquent .

Article 5

Règles minimales d'entretien des terres

En application de l'article D.615-50 du code rural et de la pêche maritime, les règles d'entretien des terres sont détaillées à l'annexe I.

Article 6

Maintien des particularités topographiques

En application du 3° de l'article 8 de l'arrêté du 13 juillet 2010, la largeur maximale d'une haie pouvant être retenue comme particularité topographique est fixée à 5 mètres.

En application du 3° de l'article 8 de l'arrêté du 13 juillet 2010, la surface maximale d'un bosquet pouvant être retenu comme particularité topographique est fixée à 5% de la surface de l'îlot sur lequel il est situé ou qui jouxte l'élément.

En application du 3° de l'article 8 de l'arrêté du 13 juillet 2010, la largeur maximale d'une bande tampon pouvant être retenue comme particularité topographique est fixée à 10 mètres.

En application du 2^{ème} alinéa de l'article 7 de l'arrêté du 13 juillet 2010, les éléments complémentaires à la liste nationale pouvant être retenus comme particularité topographique figurent en annexe V.

En application du 6° de l'article 8 de l'arrêté du 13 juillet 2010, les règles d'entretien des éléments retenus comme particularités topographiques figurent en annexe VI.

En application du 3° de l'article 8 de l'arrêté du 13 juillet 2010, les surfaces en jachère faune sauvage, peuvent être retenues comme éléments topographiques si leurs couverts respectent le cahier des charges repris en annexe VIII.

Article 7

BCAE HERBE/ exigences de productivité minimale

En application du premier tiret du 1° de l'article 9 de l'arrêté du 13 juillet 2010, le chargement minimal est fixé à 0,20 UGB/ha pour le Ségala et à 0,10 UGB/ha pour le reste du département.

En application du deuxième tiret du 1° de l'article 9 de l'arrêté du 13 juillet 2010, le rendement minimal des surfaces de référence en herbe pour les exploitations commercialisant tout ou partie de leur production herbagère est fixée à 15 quintaux/ha de matière sèche pour le Ségala et à 7,5 quintaux/ha de matière sèche pour le reste du département.

Titre 2

Déclaration de surfaces – Modalités de prise en compte des normes usuelles

Article 8

Les surfaces fourragères

Sont considérés comme surfaces fourragères éligibles pour le calcul du chargement de l'exploitation les bois pâturés, sous réserve de la présence d'une ressource en herbe significative ;

Titre 3

Dispositions finales

Article 9

L'arrêté préfectoral n° 2010 – 215-6 du 3 août 2010 fixant les règles relatives aux bonnes conditions agricoles et environnementales des terres du département de l'Aveyron est abrogé.

L'arrêté préfectoral n° 2009 – 174 – 11 du 23 juin 2009 définissant, dans le cadre des aides PAC liées aux surfaces , les normes locales pour le département de l'Aveyron est abrogé.

Article 10

Le directeur départemental des territoires de l'Aveyron est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au recueil des actes administratifs et affiché dans les communes du département de l'Aveyron.

Fait à RODEZ, le 11 juillet 2011

Le Directeur Départemental Adjoint
des Territoires,

Gérard GUYADER

ANNEXE 5

Clef de détermination pour l'identification des principaux faciès d'écoulement en rivières

Source : Malavoi J.R., Souchon Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 365/366, pp. 357-372.

Clef de détermination pour l'identification des principaux faciès d'écoulement en rivières (Malavoi et Souchon 2002)

Le rectangle rouge indique les deux principaux critères de détermination : profondeur d'eau et vitesse des écoulements en basses eaux. Les ellipses indiquent les trois faciès recommandés pour le suivi du taux de comblement : chenal lentique, plat lentique et mouille de concavité.

