

Compréhension du phénomène de l'ensablement de la Haute Vallée de l'Aude



Résultats de l'étude

Sylvain SAXER

Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières

Septembre 2008



SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
PARTIE 1 : ENSABLEMENT DANS LA HAUTE VALLEE DE L'AUDE : UNE PROBLEMATIQUE – UN CONTEXTE	5
1. Une problématique inscrite dans les consciences	5
2. Le sable : un élément du lit du cours d'eau	7
3. Appréhender l'ensablement - Approche globale & concertée	12
PARTIE 2 : QUELLES EXPLICATIONS DONNER A L'ENSABLEMENT CONSTATE ?.....	19
A/ ETAT DES LIEUX 2008 EN HVA: UN POINT DE DEPART	19
1. Les cours d'eau de la HVA : un ensablement hétérogène	19
2. Un phénomène déjà mesuré.....	35
B/ UNE PRODUCTION DE SABLE EN HVA : LOCALISEE & IMPORTANTE.....	42
1. Une géologie favorable à la production de sable.....	42
2. Des conditions d'érosion réunies.....	43
3. Des facteurs anthropiques influençant l'érosion	46
4. Erosion de berges : un apport en sédiment limité	53
C/ UN TRANSIT SEDIMENTAIRE EN HVA : PERTURBE & INSUFFISANT	55
1. Modification du profil en long.....	55
2. Laminage des débits	57
3. Un flux sédimentaire discontinu	65
D/ LES LITS MINEURS DE LA HVA A LA RECHERCHE D'UN NOUVEL EQUILIBRE	68
1. L'ensablement une des manifestations de l'évolution des cours d'eau.....	68
2. Trois types d'évolution de lit mineur observés en HVA	70
3. Interprétation des résultats : l'état d'ensablement de la HVA	76
E/ QUE SE PASSE-T-IL AILLEURS ?	81
1. Problématique du transport solide absente à l'extrême aval de l'Aude.....	81
2. L'ensablement une problématique présente sur d'autres bassins versants.....	81
F/ SYNTHESE : ENSABLEMENT, UN PHENOMENE NATUREL DANS UN MILIEU ANTHROPISE ?	83
1. Où est le sable ?	83
2. D'où provient-il ?	83
3. Pourquoi ne se déplace-t-il pas ?.....	84
4. Ensablement un signe de l'adaptation de l'Aude	84
PARTIE 3 : QUELLES PISTES D' ACTIONS ENVISAGER ?	85
1. Action pour limiter la production de sable	85

2. Actions sur les capacités de transport	85
3. Actions pour améliorer la qualité des habitats du lit mineur.....	88
BIBLIOGRAPHIE	90
TABLE DES MATIERES	92
LISTE DES FIGURES.....	96
LISTE DES TABLEAUX	98
ANNEXES	99

INTRODUCTION

La Haute Vallée de l'Aude et ses affluents constituent des milieux naturels riches. Ces cours d'eau de montagne apparaissent comme des milieux préservés, exempts de fortes perturbations. Malheureusement depuis plusieurs années, les usagers locaux observent une accumulation de sable dans l'Aude. A l'origine de la réduction de la qualité physique des cours d'eau touchés, l'ensablement est une problématique majeure de la gestion de l'eau de la Haute Vallée de l'Aude (HVA).

Le « Groupe sable » organisé autour du Sous-préfet de Limoux cherche depuis plusieurs années à solutionner ce problème environnemental. Sur ce territoire aux multiples enjeux liés à la ressource en eau, un schéma d'aménagement et de gestion des eaux se met en place : le SAGE HVA. Ce schéma est porté par le Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières (SMMAR). A la demande des acteurs locaux, ce syndicat s'est proposé de réaliser une étude pour expliquer l'ensablement.

Cette étude a pour objectif de dresser un état des lieux du phénomène et de comprendre ses origines. Issu d'une réflexion de 6 mois sur le sujet, ce rapport constitue un document de synthèse qui prend en compte les études précédemment réalisées et réactualise les connaissances à partir d'une collecte de données effectuées entre avril et juillet 2008.

La présentation de la problématique et le contexte de cette étude sont traités dans une première partie. L'ensablement est ainsi replacé dans la problématique plus vaste du transport sédimentaire. La morphologie des cours d'eau est la résultante d'un équilibre sédimentaire suivant trois composantes :

- L'érosion dans les parties amont
- Le transport des sédiments de l'amont à l'aval
- Le dépôt dans les parties aval.

La deuxième partie s'intéresse à la compréhension de l'ensablement observé sur ce territoire. Les attentes de cette étude peuvent se résumer en trois questions environnementales :

- *Où est le sable en 2008 ?*
- *D'où provient-il ?*
- *Pourquoi s'accumule-t-il ?*

En s'appuyant sur le constat 2008 des secteurs touchés par l'excès de sable, l'étude a pour objectif d'évaluer la pertinence d'hypothèses préalablement émises dans l'explication du phénomène. L'ensablement est ensuite abordé comme un indice de l'adaptation du lit qui recherche un nouvel équilibre.

Enfin, la dernière partie présente sommairement les pistes d'actions qui peuvent être engagées sur le territoire pour réduire l'impact de ce phénomène sur la qualité de la HVA.

Ce rapport s'accompagne d'un atlas cartographique.

PARTIE 1 : ENSABLEMENT DANS LA HAUTE VALLEE DE L'AUDE : UNE PROBLEMATIQUE – UN CONTEXTE

1. Une problématique inscrite dans les consciences

1.1. Une problématique locale : ensablement des cours d'eau

De la prise de conscience des usagers...

C'est grâce aux usagers de la rivière qu'une prise de conscience de l'excès de sable dans l'Aude est apparue. L'émergence de la problématique de l'ensablement est donc venue des acteurs locaux. Observant la diminution de la prise de poissons par les pêcheurs ou l'évolution des peuplements aquatiques par les naturalistes, des interrogations sur l'origine de ce sable et son accumulation ont émergé.

Il semblerait que la prise de conscience ait commencé au cours de l'année 1995, année de la vidange du barrage de Puyvalador. Elle n'a cessé d'exister et pourtant aucune solution n'a été mise en place. Il était donc important de passer de l'interrogation à l'explication du phénomène.

... A la concertation locale

A partir de ces interrogations, il y a eu une prise en compte de cette problématique par les organismes concernés. Ces derniers ont eu la volonté d'évaluer l'impact du phénomène sur le milieu et de trouver des solutions pour retrouver un habitat aquatique moins perturbé.

A partir de 2005, un groupe de réflexion s'est constitué autour du Sous-préfet de Limoux : DDAF, DIREN, DRIRE, DDE, Agence de l'eau, Sous-préfecture, ONEMA, Fédération Aude Claire, SAGE HVA, EDF. Ce « Groupe Sable » regroupe donc tous les partenaires impliqués dans la gestion des cours d'eau afin d'élaborer une solution concertée pour limiter l'ensablement de la Haute Vallée de l'Aude. La solution actuellement retenue par ce groupe est la réalisation d'une chasse depuis les ouvrages EDF, dans le but de créer artificiellement une crue capable d'évacuer le sable stocké.

Parallèlement à cette réflexion technique menée depuis des années, un besoin de clarification sur la compréhension du phénomène est apparu.

1.2. Un besoin de compréhension des acteurs locaux

Devant la multiplicité des avis qui ont pu être émis sur l'explication du phénomène (les origines de ce sable, les raisons de son accumulation,...), un besoin de compréhension des acteurs locaux est apparu. Les objectifs de cette étude peuvent se synthétiser par trois questions simples :

- Où est le sable ?
- D'où provient-il ?
- Pourquoi s'accumule-t-il ?

1.3. Un SAGE en HVA pour un territoire de montagne & des enjeux multiples

1.3.1. Autour d'un cours d'eau torrentiel

La Haute Vallée de l'Aude constitue le secteur amont de ce fleuve côtier d'une longueur totale de 223 km. Le territoire de la Haute Vallée forme une entité homogène : zone de montagnes (Pyrénées et Corbières) avec des cours d'eau aux vallées étroites et aux fortes pentes. Ce territoire représente une superficie d'environ 1500 km². Le linéaire du fleuve compris dans la Haute Vallée est de 90 km avec comme affluents principaux : la Lladure, le Galbe, la Bruyante, l'Aiguette, le Rébenty et la Sals (Carte 1).

Depuis le Roc d'Aude (sa source à 2135m NGF) jusqu'à Limoux (altitude 150m NGF), le fleuve traverse des structures géologiques très différenciées : globalement, un socle cristallin granitique, une couverture sédimentaire de la zone pré-pyrénéenne, des formations métamorphisées du secondaire, quelques zones alluvionnaires et des formations du Crétacé supérieur (Sautter, 1999).

Cette variété de substrats géologiques donne un territoire contrasté, variant entre des sommets, des plateaux et des vallées encaissées jusqu'à des gorges pittoresques.

1.3.2. Une ressource en eau pour de nombreux usagers

La Haute Vallée est un territoire rural dont la population est concentrée dans le secteur aval autour de deux villes principales, Quillan et Limoux (faible population : environ 33000 habitants sur l'ensemble du territoire).

Ancien poumon industriel du département, cette activité n'y est plus très développée. Néanmoins, une activité implantée depuis 1900 conditionne encore le fonctionnement du fleuve. Il s'agit de l'hydroélectricité. Environ 90% du volume d'eau annuel passe dans des conduites forcées pour alimenter les usines de haute chute.

Les bassins versants sont dominés par un couvert forestier. Malgré la déprise agricole, il subsiste une agriculture extensive : des surfaces encore importantes sont dédiées au pastoralisme.

Les rivières de la Haute vallée de l'Aude offrent aussi un cadre prisé pour certains loisirs : pêche, activités d'eaux vives. En tête du bassin, le massif du Capcir a une économie basée sur les sports de montagne, été comme hiver.

1.3.3. Le SAGE : une démarche volontaire

Issu d'une volonté locale, un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, ou SAGE, se met en place sur le bassin versant de la Haute Vallée de l'Aude. L'objectif de ce schéma est de constituer par une concertation locale un document qui permette une gestion équilibrée de la ressource à l'échelle du bassin

versant. Le respect des équilibres naturels des milieux aquatiques est au centre de ce schéma, tout en prenant en compte les besoins des activités humaines.

A travers de multiples rencontres entre l'animatrice du SAGE HVA et les acteurs ainsi qu'à travers sa participation au Groupe Sable, le besoin de compréhension de l'ensablement des cours d'eau de la HVA est apparu prioritaire.

1.4. LE SMMAR : une gestion coordonnée de l'eau sur le bassin versant de l'Aude

A l'échelle du bassin versant de l'Aude, il existe une structure qui impulse, porte et coordonne une gestion solidaire de l'eau. Il s'agit du SMMAR, Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières. Ce syndicat est la structure porteuse du SAGE HVA. C'est donc cette structure qui s'est proposée pour réaliser cette étude synthétique sur la compréhension du phénomène. Le SMMAR porte aussi deux autres SAGE sur l'Aude (SAGE Fresquel et SAGE des Basses Plaines de l'Aude). Il a donc un rôle de coordination inter-SAGE au niveau du bassin de l'Aude. La compréhension de l'ensablement en HVA s'inscrit dans la problématique du transport solide sur tout le cours de ce fleuve.

1.5. Une étude pour éclairer le phénomène d'ensablement

Cette étude a pour objet la compréhension du phénomène d'ensablement de l'Aude par une approche globalisée au niveau de l'ensemble bassin versant. Cette mission s'inscrit dans une réflexion générale de gestion des eaux en HVA (SAGE HVA) portée par le SMMAR.

2. Le sable : un élément du lit du cours d'eau

2.1. Sable : une classe de granulométrie

Les sédiments sont des matériaux produits par l'érosion des bassins versants constituant le fond des vallées et des lits des cours d'eau.

Une façon de les différencier ces sédiments est de prendre en compte le diamètre de ces particules minérales. Ainsi plusieurs classes granulométriques ont pu être identifiées (Wentworth (1992) in Malavoi et Souchon 1989) :

- Rochers (>1024 mm)
- Blocs (256-1024 mm)
- Pierres (64-256 mm)
- Cailloux (16-64 mm)
- Graviers (2-16 mm)
- **Sable (0,0652-2 mm)**
- Limons (0,0039-0,0065 mm)
- Argiles (> 0,0039 mm)

Le sable est donc un sédiment ayant un diamètre compris en 0,0652 mm et 2 mm.

La composition granulométrique du lit mineur est différente dans chaque cours d'eau. Elle évolue aussi dans une même rivière. En règle générale, la taille des sédiments majoritaires diminue d'amont en aval.

2.2. Le sable : un élément mobile

Il paraît nécessaire de présenter brièvement comment se déplacent les sédiments dans les cours d'eau. La question sous-jacente dans cette partie est : *Comment se déplace le sable ?*

Selon le diamètre des particules, la matière est transportée par l'eau courante sous trois formes (Campy & Macaire, 2005) :

- **Charge de fond** : la progression vers l'aval se fait par roulement et/ou par traction au fond du chenal. C'est le mode de transport majoritaire dans les cours d'eau de montagne. Il concerne les particules d'un diamètre supérieur à 0,5mm (sables grossiers, graviers, cailloux, pierres)
- **Matière en suspension** : progression rapide vers l'aval dans la masse d'eau. Ce sont les particules fines qui sont concernées par ce mode de transport (sables fins, argiles et limons)
- **Charge dissoute** : progression identique à celle de l'eau. Elle concerne les ions (particules minérales solubilisées) issus de l'altération chimique des roches mères.

Le transport par l'eau dépend globalement de deux facteurs : la vitesse de l'eau (traduisant son énergie) et la taille des particules sédimentaires. La Figure 1 montre que l'énergie nécessaire au transport du sable est relativement importante (voisine de 10cm/s). Cette condition est généralement réunie lorsque les cours d'eau sont en hautes-eaux.

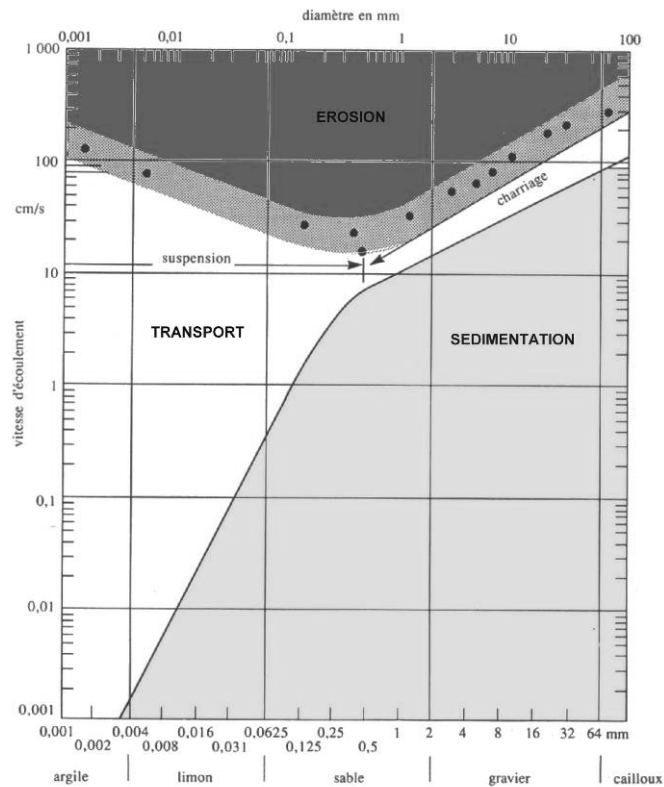


Figure 1 : Domaines d'érosion, transport et sédimentation par l'eau en fonction de la taille des particules et de la vitesse du courant (in Campy et Macaire, 2005, D'après Hjustrom, 1939)

Les stocks alluviaux couvrent des durées différentes selon leur localisation dans le système. Les processus qui les génèrent varient selon l'échelle de temps considérée (selon Campy & Macaire, 2005) :

- Echelle de la saison : le bilan sédimentaire dépend des fluctuations du débit hydrique (crues-décrues) : le stockage apparaît en phase de décrue, le déstockage à débit croissant et un simple transit à l'état stationnaire.
- Echelle de la décennie au siècle : les facteurs naturels agissent peu sur le bilan sédimentaire pendant cette durée, hormis les catastrophes climatiques aléatoires. Les fortes variations de bilan relevées au cours du XXe siècle sont surtout attribuées à la pression anthropique.

Le transport sédimentaire est donc fortement dépendant des variations hydrologiques, en particulier de la présence relativement fréquente de débit morphogène, c'est-à-dire capable de mettre en mouvement les sédiments pour les déplacer vers l'aval. Cela permet une remobilisation des sédiments accumulés dans le lit mineur.

En phase de récession de crue, le charriage cesse progressivement. Les sédiments vont se déposer successivement suivant leur diamètre : d'abord les galets, puis les cailloux et les graviers et enfin le sable.

2.3. Ensablement : un déséquilibre de la granulométrie

2.3.1. Définition de l'ensablement

Un état d'ensablement correspond à un excès de sédiments sableux par rapport à une situation qui est jugée comme normale. Ainsi dans le cas de Haute Vallée de l'Aude, une définition de l'ensablement peut être proposée : « *Injection de sédiments fins (sables) colmatant les substrats caillouteux [...] au détriment de la macrofaune benthique & piscicole [...]* (Astrade, 1999) ».

Le constat de l'ensablement est donc le résultat d'un déséquilibre de la granulométrie. Afin d'appréhender l'état de dégradation du milieu, il est nécessaire de définir un état de référence.

2.3.2. Déséquilibre granulométrique et taux de recouvrement de sable

La dégradation d'un milieu (ici un excès de sable) s'apprécie généralement en comparant un état observé à une situation jugée optimale, un état de référence.

Il n'a pas été trouvé d'état de référence adapté aux spécificités du territoire dans la bibliographie. D'après les recherches menées, il n'existe pas de données historiques informant sur la composition granulométrique de l'Aude dans son état naturel avant les aménagements anthropiques ; ceux hydroélectriques datent du début de XX siècle. Ces informations auraient permis d'établir un état du milieu qui aurait pu être jugé comme état non dégradé et donc état de référence.

Il a donc été décidé de se tourner vers la recherche d'un état de référence pour tout le territoire au sein des secteurs prospectés, mais en vain. En effet, comme nous le verrons dans la suite du rapport, le territoire se trouve fortement marqué par une grande variété :

- ⇒ De roches affleurantes
- ⇒ De pentes et de profils de vallées

C'est donc en appréciant les variations de recouvrement du sable dans différents segments et sa proportion avec les autres classes granulométriques ainsi qu'avec l'expérience des prospections de terrain, qu'il a été choisi de qualifier un segment comme « ensablé ». La méthode et les seuils retenus pour définir l'ensablement sont présentés dans la suite du rapport (cf. Partie 2 A/ 1.1).

2.4. Ensablement : preuve d'une dynamique sédimentaire perturbée

S'intéresser à un excès de sédiment, c'est s'intéresser plus largement à la problématique de la modification du transport solide. Les sédiments présents dans le lit d'un cours d'eau ne sont pas figés. On constate sur toutes les rivières une dynamique sédimentaire. La Figure 2 présente le concept de l'équilibre dynamique mis en évidence par Lane (1955).

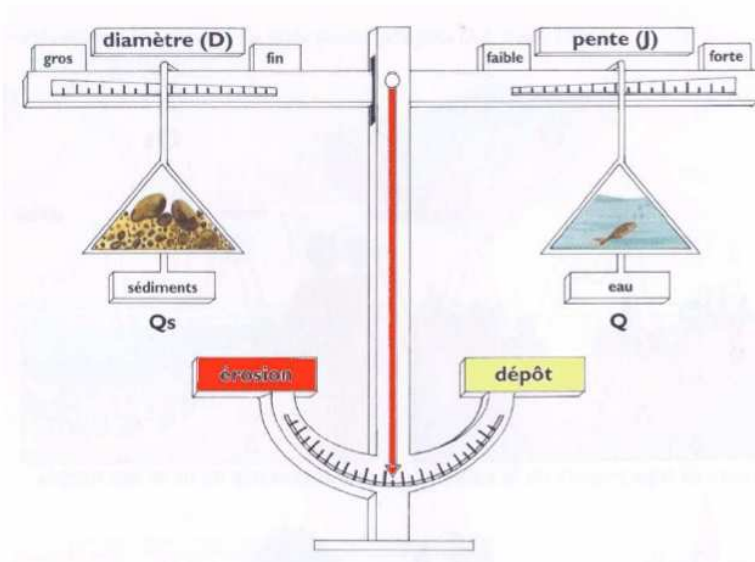


Figure 2 : Le principe de l'équilibre dynamique (D'après Lane, 1955)

A travers l'image de la balance, on comprend que suivant les évolutions des différentes variables, le cours d'eau passe d'un stade d'érosion à un stade de dépôt.

Dans le cas d'une rivière de montagne comme la Haute Vallée de l'Aude, plusieurs paramètres, dits « variables de contrôle », influencent cet équilibre dynamique :

- Débit liquide (Q) : à travers lequel le cours d'eau a une certaine énergie
- Débit solide (Qs) : les sédiments qui transitent dans le cours d'eau
- Pente de la vallée et pente du cours d'eau déterminant l'énergie de la rivière
- Quantité et nature des sédiments qui arrivent dans le cours d'eau.

L'ensablement (accumulation de sédiments fins dans le lit du cours d'eau) est dû à la modification d'un ou plusieurs de ces paramètres. Il va s'opérer plutôt avec des débits liquides faibles, des débits solides faibles, une pente faible et des apports de matériaux importants. On le constatera plutôt sur les zones de mouilles, les seuils étant plus favorables au stockage de sédiments grossiers. La compréhension de l'ensablement passe donc par l'étude des modifications de la dynamique sédimentaire à travers ces différentes variables.

2.5. Ensablement : Impact sur le bon fonctionnement des cours d'eau

Le constat visuel de l'ensablement de la HVA est à l'origine de la prise de conscience de la problématique. Au premier abord, l'aspect paysager de cette vallée pittoresque est détérioré. Un substrat sableux monotone est venu recouvrir par endroits des blocs et des étendues caillouteuses.

Ce changement visuel du fleuve a été réalisé à de nombreuses reprises lors des différents entretiens.

« Autrefois une fosse était présente sous le pont de la route menant à Escouloubre. Aujourd'hui, le sable est venue combler la rivière et a réduit la profondeur d'eau à cet endroit. »

Bien plus qu'une seule perturbation visuelle, l'ensablement a des conséquences lourdes sur le bon fonctionnement des cours d'eau. Plusieurs études ont montré la diminution des espèces aquatiques. Baran *et al* en 1995 (in Groupe de travail HVA, 2001) ont constaté que l'ensablement avait considérablement réduit les zones de frayères. Les sites recouverts de graviers et potentiellement utilisables pour la reproduction de la truite ne représentaient que 0,8 % de la surface mouillée. Les études sur les invertébrés aquatiques montrent une détérioration importante du fonctionnement biologique dans les secteurs ensablés (Groupe de travail HVA, 2001). A travers ces quelques constatations de la perte de biodiversité et de productivité du milieu, on s'aperçoit que l'ensablement modifie l'habitat physique des cours d'eau. Anciennement biogène, les habitats ont vu s'accumuler une couche de sable détériorant ce potentiel.

Ainsi, une grande partie de l'Aude a perdu de son intérêt halieutique, d'où le mécontentement des pêcheurs face à ce problème.

L'ensablement a un impact sur le bon fonctionnement du fleuve. A travers la diminution de sa capacité d'accueil pour la faune aquatique, ce sont aussi les services que nous rend la rivière qui sont détériorés. On peut citer comme exemple la diminution de la capacité d'autoépuration du fleuve en lien direct avec la qualité de l'eau pour la consommation humaine.

3. Appréhender l'ensablement - Approche globale & concertée

La méthode pour la présente étude repose sur plusieurs approches. Elle vise à étudier les paramètres expliquant l'accumulation de sédiments. Elle s'attache aussi à caractériser l'étendue du phénomène sur le territoire et à en appréhender l'évolution temporelle.

3.1. Variables de contrôle pour appréhender l'ensablement

Considérant que l'ensablement est l'expression des perturbations de la dynamique sédimentaire du cours d'eau, il a été choisi d'étudier les variables de contrôle de ce phénomène (apport de matériaux, débits, pentes etc.).

A travers la formulation de différentes hypothèses, il a été recherché la part de chaque variable à l'origine de l'ensablement.

3.1.1. Un apport en sédiment excessif ?

Les premiers éléments à prendre en compte sont les paramètres influençant l'apport de sédiments au cours d'eau, c'est-à-dire de définir leur origine. Pour étudier cela en Haute Vallée de l'Aude, différentes hypothèses sont énoncées sur le sujet :

- ⇒ Le sable est-il produit naturellement sur le bassin versant ?
- ⇒ Y a-t-il des modifications dans l'occupation des sols propices à l'érosion (forêt, agriculture, pâturage,...) ?
- ⇒ Les différents aménagements des versants ont-ils un impact sur le phénomène ?

- Pistes forestières
- Talus routiers
- Domaines skiables

⇒ Les extractions en carrière influencent-elles le phénomène ?

3.1.2. Des débits insuffisants ?

Le deuxième élément à considérer dans l'étude de la dynamique sédimentaire est la prise en compte des débits. Débit liquide (quantité d'eau qui transite dans le cours d'eau par unité de temps) et débit solide (quantité de matériaux qui transite dans le cours d'eau par unité de temps) sont très liés. C'est lorsque que l'eau est courante et qu'elle dispose d'une certaine énergie qu'elle transporte des particules minérales et donc des sables.

S'intéressant à cette problématique, plusieurs hypothèses peuvent être posées :

- ⇒ Les débits actuels sont-ils suffisants pour assurer un transport solide?
- ⇒ Les activités anthropiques modifient-elles les débits ?

3.1.3. Des caractéristiques physiques limitantes ?

Un dernier élément est à prendre en compte : les caractéristiques physiques du cours d'eau. En effet, l'énergie du cours d'eau déterminant sa dynamique sédimentaire est fortement liée aux pentes du cours d'eau et de sa vallée. Plus la pente est forte, plus l'énergie et donc le transport de matériaux sont potentiellement importants.

Plusieurs hypothèses sont à émettre :

- ⇒ La pente des cours amont est-elle suffisante ?
- ⇒ Les modifications locales des pentes permettent-elles naturellement un stockage ?
- ⇒ Les aménagements hydrauliques offrent-ils des conditions défavorables au transport ?

3.2. Un problème appréhender dans l'espace et dans le temps

3.2.1. Du lit des cours d'eau à leur bassin versant

Il est important de comprendre où s'observe le phénomène mais aussi d'où provient ce sable. Ainsi, il est intéressant de considérer deux échelles spatiales :

- L'analyse au *niveau des cours d'eau* pour observer leurs caractéristiques sédimentaires : il a été choisi de s'intéresser au lit de l'Aude et ses principaux affluents sur le périmètre du SAGE HVA.
- La vision du phénomène élargie *au niveau du bassin versant* : une échelle à laquelle on doit chercher les sources de sédiments pour répondre à la question : D'où vient le sable ?
- Une comparaison avec d'autres bassins versants concernés par cette même problématique
- Un saut à l'extrême aval du fleuve Aude pour connaître si une problématique de transport solide est aussi constatée : manquent-ils de sable ?

3.2.2. Du constat 2008 à son évolution dans le temps

La problématique a aussi été appréhendée sur une échelle temporelle. En partant de l'élaboration de l'état des lieux réalisé en 2008, il a été recherché s'il était possible d'évaluer une évolution du phénomène.

- Un état des lieux actuel exhaustif : Des prospections terrain dressent l'état de recouvrement par les sables des lits des cours d'eau en Haute Vallée de l'Aude en 2008.
- La connaissance du passé pour évaluer l'évolution du phénomène à partir de données anciennes, en recherchant les références bibliographiques existantes et en s'appuyant sur la mémoire des acteurs locaux.
- Une projection dans l'avenir : pour estimer l'évolution probable du phénomène en Haute Vallée de l'Aude.

Mais au vu de l'hétérogénéité des méthodes employées, il n'a pas été possible de mettre en évidence des évolutions.

3.3. Trois moyens pour une méthode

Sur une durée de 6 mois, chaque étape de l'étude a été planifiée au préalable (Annexe 1). Trois axes principaux ont été retenus pour réaliser cette étude :

- ⇒ Réaliser un état des lieux 2008 par des prospections de terrain
- ⇒ S'appuyer sur les études déjà réalisées en HVA
- ⇒ Recueillir l'avis des acteurs locaux concernés

La méthode générale est l'analyse de toutes les informations recueillies pour proposer une explication claire à l'ensablement

3.3.1. 150 km de prospection terrain

La réalisation d'une phase de prospection terrain répond aux objectifs principaux :

- ⇒ Appréhender le contexte général du périmètre d'étude pour connaître le bassin versant
- ⇒ Réaliser un état des lieux global avec une approche territoriale :
 - état de l'ensablement des cours d'eau
 - compréhension et identification des sources d'apport en sable sur le bassin versant

Le territoire investigué comprend l'ensemble du réseau hydrographique du territoire du SAGE-HVA. La recherche ne s'est pas restreinte aux secteurs les plus problématiques comme cela a été le cas dans d'autres études antérieures : le linéaire de l'Aude prospecté a été élargi et les affluents ont été pris en compte

L'attention s'est portée sur le fleuve Aude, prospecté de manière quasi-exhaustive entre son arrivée dans le barrage de Matemale (limite amont) jusqu'à la traversée de Campagne-les-bains (limite aval). Les affluents ont aussi été étudiés, particulièrement l'Aiguette et la Bruyante.

C'est ainsi que 150 km de cours d'eau divisés en 63 segments ont été arpentés (Carte 2).

Plusieurs moyens ont été utilisés :

- ⇒ Prospection à pied le long des secteurs fortement ensablés & pour certains sites difficiles d'accès
- ⇒ Visites ponctuelles en différents points pour percevoir le fonctionnement général de certains affluents.
- ⇒ Canoë : À partir de la résurgence de Font Maur (Gorges de Pierre Lys), car l'observation du lit mineur de l'Aude depuis la berge ne permettait plus une bonne appréciation du cours d'eau. Il a donc été organisé une descente en canoë (encadré par un professionnel des eaux vives)

Cette étape a nécessité un volume de travail important (4500 km de trajet en voiture et une vingtaine de journées de marche et une journée de descente en canoë). En effet, trois facteurs rendent la collecte d'information difficile en HVA :

- ⇒ Le territoire étudié est vaste (90 km séparent Les Angles à l'amont de Limoux à l'aval)
- ⇒ Certains secteurs sont difficiles d'accès (Gorges du Carcanet en particulier)
- ⇒ La variation des débits de l'Aude à l'aval des centrales électriques diminue les périodes propices au repérage de terrain

Intégrant ces contraintes du territoire, une méthode de terrain a été élaborée.

En amont, les prospections se sont arrêtées à proximité de la carrière près de la RD32 sur la commune des Angles.

A l'aval, l'observation détaillée a été réalisée jusqu'à la restitution du canal de fuite de la centrale de la Forge, commune de Quillan.

La méthode n'a pu être appliquée à l'aval de cette limite car le recouvrement sédimentaire était difficile à observer. Néanmoins, la descente effectuée en canoë jusqu'à Campagne-sur-Aude a permis d'observer le lit, en particulier la présence de bancs de sable.

Choix de la méthode employée

La méthode choisie consiste à apprécier la morphologie du lit mineur afin de déterminer le recouvrement surfacique du sable, sa proportion avec les autres classes granulométriques et leurs évolutions de l'amont à l'aval.

Cet inventaire cherche à décrire l'état sédimentaire observé sur des secteurs homogènes de rivières. Le but est de dresser une appréciation générale de l'étendue du phénomène en 2008.

Sectorisation du réseau hydrographique en unités homogènes

Afin d'identifier au mieux les secteurs homogènes, une sectorisation préalable des cours d'eau a été réalisée. Le territoire a été divisé en différents tronçons délimités par les caractéristiques du réseau hydrographique suivantes :

- ⇒ Organisation du réseau hydrographique : Différenciation entre l'Aude et ses principaux affluents

- ⇒ Changement de tronçon sur l'Aude aux principales confluences.
- ⇒ Aménagements influençant les écoulements et les dynamiques sédimentaires : Barrages et prises d'eau

Cette sectorisation a été affinée en fonction des observations de terrain. Les tronçons ont été divisés en segments représentant une portion de cours d'eau ayant un fonctionnement homogène. Les critères pour apprécier l'homogénéité d'un segment sont :

- ⇒ Recouvrement sédimentaire homogène
- ⇒ Conditions hydrodynamiques homogènes

Collecte des données sur le terrain

La méthode employée ne nécessite qu'une seule personne pour réaliser les relevés. Les outils de terrain utilisés pour cette étude sont élémentaires :

- ⇒ Des supports cartographiques papier (Impressions de carte Scan25)
- ⇒ Une tige en acier graduée pour évaluer la profondeur de sable
- ⇒ Des abaques permettant de s'appuyer sur des méthodes validées pour mesurer la granulométrie, le taux de recouvrement et identifier les faciès d'écoulement (Annexes 3, 4 & 5)
- ⇒ Une fiche pour relever les données de terrains (Annexe 2)
- ⇒ Un appareil photographique (il a été choisi de constituer une base importante de photographies du territoire)
- ⇒ Des flacons pour recueillir des échantillons de sédiment (afin de constituer un stock de prélèvements représentatif de la problématique).

Les prospections ont été réalisées de mai à juillet 2008. L'observation du fond des cours d'eau nécessite une bonne visibilité. Le travail de terrain a été possible lorsque les conditions climatiques étaient réunies, mais surtout en l'absence de lâchers d'eau depuis l'usine hydroélectrique de Nentilla.

Caractéristiques physiques des cours d'eau observés lors des prospections (fiche Annexe XX)

La méthode de terrain a été élaborée spécifiquement pour cette étude tout en s'appuyant sur des publications reconnues.

L'appréciation des faciès d'écoulement dominants et secondaires s'est faite selon la description standardisée de Malavoi & Souchon 2002 (Annexe 3). Le but étant de caractériser si l'organisation naturelle du segment avait une tendance naturelle au stockage de sédiments fins (mouilles) ou à l'inverse au stockage de sédiments grossiers (seuils).

Il est possible de regrouper les différents faciès décrits sur le terrain dans les deux catégories :

- Mouilles : Fosse de dissipation (FD), Mouille de concavité (MC), chenal lotique (CLO)
- Seuils : Rapide (RAP), Radier (RAD), Cascades (CAS)

Afin d'évaluer la répartition spatiale des différents sédiments et en particulier des sables, le recouvrement de chaque classe granulométrique a été apprécié visuellement. Des classes granulométriques ont été définies à partir de l'échelle granulométrique de Wentworth (1992).

Tableau 1 : Echelle Granulométrique adaptée de Wentworth (1992)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)
Rochers/ Dalles	> 1024
Blocs	256-1024
Pierres	64 - 128
Cailloux	16 - 64
Graviers	2 - 16
Sables (Fins & Grossiers)	0,06 - 2
Sédiments Fins (Limon & Argiles)	< 0,0625
Les différenciations faites sur le terrain entre sable grossiers et sables fins et entre limons et argiles n'ont pas été conservé dans l'analyse des données	

L'appréciation du taux de recouvrement s'appuie sur l'abaque de recouvrement en classe de pourcentage de Prodon (Annexe 5).

Une attention particulière a été portée sur les sables. Différentes informations ont été collectées comme :

- ⇒ Epaisseur maximale de sable
- ⇒ Epaisseur moyenne
- ⇒ Répartition du sable dans le lit mineur
- ⇒ Présence de bancs de sable & de végétalisation éventuels

3.3.2. Des études déjà dédiées à la problématique

L'élaboration de la méthode s'appuie sur une approche théorique concernant le transport solide et le fonctionnement des cours d'eau.

La phase bibliographique de cette étude a un double objectif

- Appréhender le fonctionnement théorique sédimentaire des cours d'eau
- Recueillir des données existantes sur l'ensablement en HVA.

Depuis 1994, au moins six études ont traité avec plus ou moins de détails la problématique du transport solide. Malheureusement la diversité des méthodes utilisées et des secteurs étudiés complique la mise en relation de ces études.

3.3.3. 34 acteurs locaux pour des avis variés

De nombreuses prises de contact (Annexe 6) ont eu lieu lors de cette étude avec la volonté de rencontrer les acteurs locaux concernés par la problématique (entretiens téléphoniques, rendez-vous et sorties sur le terrain avec certains acteurs).

Différents types d'acteurs ont été consultés :

- 7 élus territoriaux

- 14 usagers (représentants de pêcheurs, d'association naturaliste, de sports d'eaux vives, gestionnaires de domaines skiabiles,...)
- 10 techniciens / Organismes d'Etat (ONEMA, DDAF, techniciens territoriaux,...)

Aussi 3 experts de cette problématique ont été consultés pour appréhender au mieux l'ensablement.

Les objectifs de ces rencontres sont multiples. En premier lieu, il s'agit de recueillir leurs avis sur la compréhension du phénomène avec la volonté de connaître :

- Leur perception sur ce phénomène, son évolution & son explication
- Les pistes d'actions qu'ils proposent

Ces rencontres ont aussi été le moyen de récolter et compiler les données existantes, et aussi de comparer la Haute Vallée de l'Aude à d'autres bassins versants afin d'essayer d'élargir la réflexion. C'est essentiellement à travers les contacts pris avec les techniciens et experts que ces thèmes ont été abordés.

L'opportunité d'avoir un groupe de réflexion déjà constitué, le Groupe Sable, a permis de réaliser cette étude de manière concertée. Ce groupe a été considéré pour cette étude comme un groupe de pilotage. Lors de trois réunions, les objectifs de l'étude, son avancée et ses conclusions ont été présentés et discutés.

3.3.4. Une unique synthèse pour tout comprendre

En s'appuyant sur les moyens cités précédemment, il a été choisi de construire cette étude comme une synthèse expliquant la compréhension du phénomène d'ensablement. Cela s'appuie sur la construction d'un raisonnement personnel à partir d'éléments bibliographiques connus en essayant de confronter les différentes conceptions qui peuvent exister à ce jour sur cette problématique.

PARTIE 2 : QUELLES EXPLICATIONS DONNER A L'ENSABLEMENT CONSTATE ?

A/ ETAT DES LIEUX 2008 EN HVA: UN POINT DE DEPART

Cette partie présente l'état de recouvrement sédimentaire du réseau hydrographique de la HVA en 2008. L'objectif étant de répondre à la question : Où est le sable ?

1. Les cours d'eau de la HVA : un ensablement hétérogène

Il a été établi une caractérisation du réseau hydrographique de la Haute Vallée de l'Aude suivant la méthode décrite précédemment (cf. Partie 1, 3.3.1).

A l'issue des prospections de terrain, le réseau hydrographique a été sectorisé en différents segments (de longueur variable). Chaque linéaire de cours d'eau ainsi délimité a été jugé comme ayant un recouvrement sédimentaire homogène. Une base de données a été constituée à partir des données collectées sur le terrain pour chacun des segments du réseau hydrographique.

L'inventaire et les caractéristiques principales de ces segments sont présentés dans l'Annexe 7.

L'ensemble du réseau hydrographique prospecté représente 63 segments. L'Aude sans ses affluents a été divisée en 32 segments. Pour chaque segment, une base de données a été constituée à partir des données collectées sur le terrain.

1.1. Qualification du déséquilibre sédimentaire

Afin de qualifier l'état d'ensablement de la HVA, une sélection des classes granulométriques a été réalisée. Parmi les classes relevées sur le terrain, les rochers-dalles et les sédiments fins n'ont pas été pris en compte. En effet, ces éléments ne sont pas déterminants pour apprécier un excès de sable détériorant les potentialités d'habitats. Les rochers et dalles ne participent pas à la qualification du potentiel d'habitat écologique. Ils sont quasi immobiles et peu biogènes. Les sédiments fins n'étant pas l'objet de cette étude centrée sur les sables, il a été décidé de ne pas en tenir compte.

Pour présenter graphiquement le déséquilibre sédimentaire, les données ont été projetées dans un diagramme ternaire.

Les classes granulométriques restantes ont été regroupées par rapport à leur potentialité d'habitat :

- graviers et cailloux : sédiments fortement biogènes (frayère à truite)

- pierres et blocs : sédiments moins biogènes mais attendus en quantité importante dans un cours d'eau de montagne
- sables : au centre de la problématique, ils ont été traités spécifiquement.

Pour chaque segment de la rivière, un pourcentage de recouvrement relatif uniquement à ces trois variables a été calculé. Chaque segment a été placé sur le diagramme ternaire suivant ces trois catégories (Annexe 8).

Cette représentation graphique a été comparée aux observations de terrain pour qualifier l'ensablement. D'après la comparaison du graphique avec les observations de terrain, la variable blocs/pierres n'explique pas l'ensablement. Seules deux variables sur les trois prises en compte expliquent l'ensablement :

- **Cailloux/graviers** : au-delà d'une proportion relative de **45%** de cailloux/graviers les segments ne sont pas considérés comme ensablés
- **Sables** : au dessus d'une proportion relative de **20%**, les segments sont considérés comme ensablés.

Afin de nuancer la notion d'ensablement, d'autres seuils suivant la teneur en sables ont été définis toujours par rapport aux observations de terrain :

- De 20% à 35% : segment moyennement ensablé
- De 35% à 60% : segment fortement ensablé
- De 60% à 100% : segment très fortement ensablé.

Ces seuils ont été définis afin de permettre des comparaisons. Ils se basent essentiellement sur des impressions de terrain.

1.2. L'Aude : un ensablement compartimenté

A partir des observations de terrain, le recouvrement sédimentaire du lit mineur de l'Aude en HVA a été mis en évidence.

La carte 3 présente le recouvrement sableux constaté en 2008. Les segments caractérisant l'Aude peuvent être regroupés en trois grands secteurs :

- A l'amont de Puyvalador, les proportions de sable ne sont pas importantes, à l'exception du segment amont de l'Aude (01_a).
- La zone entre Puyvalador et la confluence avec l'Aigrette (11_a à 16_a) qui coïncide avec l'usine hydroélectrique de Nentilla : elle présente un recouvrement sableux globalement plus important et assez hétérogène (maximum de 80% à l'amont de la confluence avec le ruisseau de l'Aguzou ; minimum de 15% pour un segment dans les gorges du Carcanet)
- A l'aval de Nentilla et jusqu'à Quillan, le recouvrement sableux diminue dépassant rarement les 20%.

D'une manière générale, il n'apparaît pas de gradient amont/aval dans la répartition du sable. Les variations de recouvrement montrent une compartimentation dans sa répartition. Il est nécessaire de mettre en relation la proportion de sable avec les autres classes granulométriques donc apprécier l'excès de sable.

Le Tableau 2 présente les proportions prises en compte pour caractériser l'ensablement. Ces données ont été calculées à partir des relevés du recouvrement pour chaque segment.

Tableau 2 : Proportion des différentes fractions granulométriques prises en compte pour l'ensablement ; segments de l'Aude en HVA

	Segment	Linéaire km	Recouvrement lit mineur			Ensablement
			Blocs Pierres	Cailloux graviers	Sables	
Depuis l'amont du barrage de Matemale jusqu'au barrage de Puyvalador	01_a	1,413	18%	47%	35%	Non ensablé
	02_a	2,175	53%	36%	10%	Non ensablé
	02_b	2,061	32%	52%	16%	Non ensablé
	02_c	3,990	26%	53%	21%	Non ensablé
	03_a	0,193	60%	30%	10%	Non ensablé
Entre le barrage de Puyvalador et l'Usine de Nentilla	11_a	0,849	47%	13%	40%	Fortement ensablé
	11_b	1,911	39%	17%	44%	Fortement ensablé
	11_c	1,475	52%	2%	46%	Fortement ensablé
	11_d	0,524	38%	25%	38%	Fortement ensablé
	11_e	2,291	35%	24%	41%	Fortement ensablé
	11_f	1,751	38%	13%	50%	Fortement ensablé
	12_b	2,854	56%	22%	22%	Moyennement ensablé
	12_b	2,971	22%	33%	44%	Fortement ensablé
	13_a	0,540	44%	11%	44%	Fortement ensablé
	13_b	1,461	56%	22%	22%	Moyennement ensablé
	14_a	0,478	37%	16%	47%	Fortement ensablé
	14_b	2,216	11%	6%	82%	Très fortement ensablé
	15_a	4,257	26%	11%	63%	Très fortement ensablé
	15_b	1,995	43%	17%	39%	Fortement ensablé
16_a	4,402	50%	5%	45%	Fortement ensablé	
Entre Nentilla et Saint Georges	17_a	1,457	63%	26%	11%	Non ensablé
	17_b	0,667	33%	33%	33%	Moyennement ensablé
Entre l'usine Saint Georges (Axat) & la Restitution de l'usine de la Forge (Quillan)	31_a	3,560	71%	18%	12%	Non ensablé
	31_b	1,137	60%	20%	20%	Moyennement ensablé
	32_a	3,470	53%	32%	16%	Non ensablé
	32_b	1,637	49%	37%	14%	Non ensablé
	33_a	2,469	50%	40%	10%	Non ensablé
	33_b	0,625	50%	40%	11%	Non ensablé
	33_c	0,412	37%	32%	32%	Moyennement ensablé
	33_d	0,329	33%	22%	44%	Fortement ensablé

Très fortement ensablé
 Moyennement ensablé
 Fortement ensablé
 Non ensablé

S'appuyant sur les observations de terrains, une présentation plus détaillée est importante pour comprendre l'état sédimentaire de l'Aude et ainsi estimer son état d'ensablement.

1.2.1. L'Aude à l'Amont de Puyvalador (Carte 4)

Ce secteur a été divisé en cinq segments représentant 9,8 km de cours d'eau.

La source de l'Aude (Lac d'Aude) n'a pas été prospectée. Le segment 01_a représente l'Aude dans sa partie amont, qui ne connaît pas une artificialisation de ses débits. Une bonne variété sédimentaire est présente, les cailloux et graviers sont en particulier bien représentés (Figure 3). La Figure 4 illustre le recouvrement sédimentaire du segment 01_a.

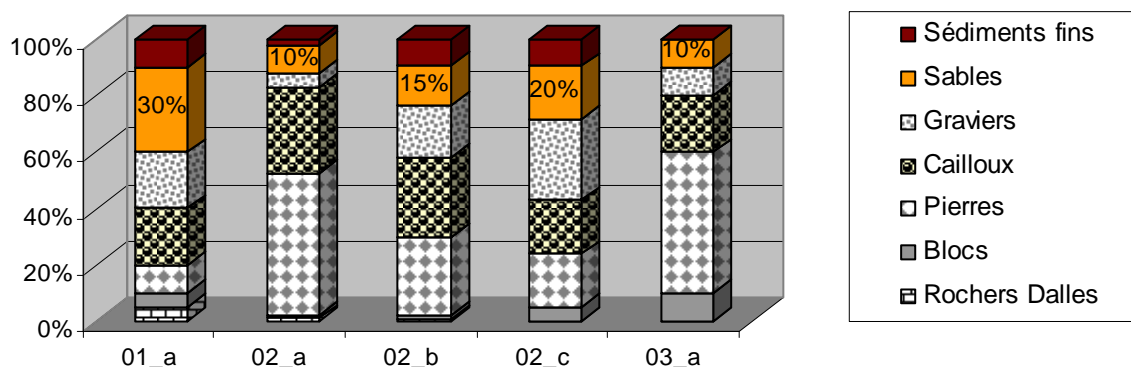


Figure 3 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aude en amont de Puyvalador

Les autres segments (02_a, 02_b, 02_c) sont situés entre les barrages de Matemale et de Puyvalador, zone sur laquelle le débit de l'Aude est artificiel. Ces segments ont un recouvrement sableux peu important, aucun ensablement n'est constaté (entre 10 et 20%). La proportion de cailloux, de graviers et surtout de pierres est relativement importante. Sur cette portion relativement plate (Plaine du Capcir), le cours de l'Aude est méandrique. Il a pu être observé que certaines berges concaves soumises à érosion mettaient à nu des terrains sableux (Figure 5).



Figure 4 : L'Aude en amont du barrage de Matemale (seg. 01_a)



Figure 5 : Cours sinueux de l'Aude entre Matemale et Puyvalador (seg. 02_a)

1.2.2. L'Aude entre Puyvalador et Nentilla (de 11_a à 16_a), (Carte 5 et Carte 6)

Entre le barrage de Puyvalador et l'usine de Nentilla, l'Aude a été divisée en 15 segments. Cette portion de cours d'eau de 31,4 km est un tronçon court-circuité par les prises d'eau EDF (barrage de Puyvalador, prise d'eau de l'usine d'Escouloubre, prise d'eau de l'usine de Gesse et prise d'eau de l'usine de Saint Georges). C'est le secteur le plus touché par l'ensablement.

Dans les gorges du Carcanet (du segment 11_a au 11_f), l'Aude est fortement ensablée. Il est constaté un déséquilibre dans la distribution granulométrique : un taux de sable important, rochers et blocs nombreux (Figure 6). Il peut être considéré que tout l'espace libre entre les rochers et gros blocs a été colmaté par les sables (Figure 7). Aussi, il est à noter la présence d'une quantité importante de sédiments fins (limons argiles) jusqu'à 20% par endroits (Figure 8)

A l'aval des gorges du Carcanet, entre la prise d'eau de l'usine d'Escouloubre et la confluence avec la Bruyante (segment 12_a et 12_b), le fleuve quitte une gorge pour entrer dans une vallée un peu moins encaissée : les gorges de l'Aude. Malgré tout, la proportion de sable reste importante par rapport aux sédiments plus grossiers

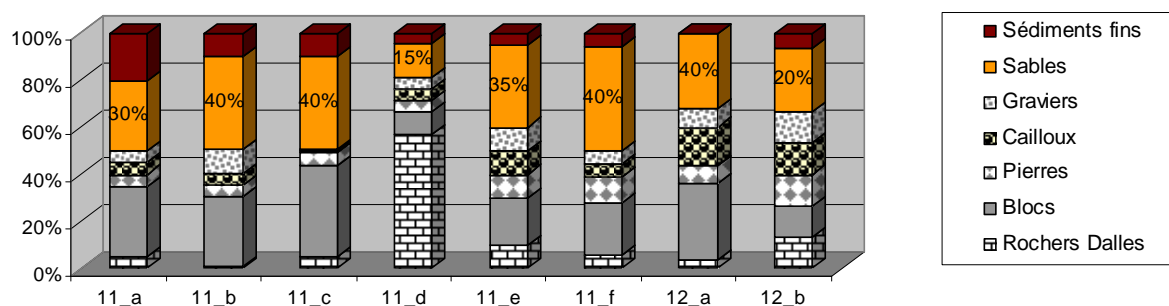


Figure 6 : Recouvrement sédimentaire par segment, l'Aude entre Puyvalador et la Bruyante



Figure 7 : Les gorges du Carcanet : du sable au milieu de rochers (seg.11_c)



Figure 8 : Accumulation de vase dans un chenal secondaire des gorges du Carcanet (seg.11_d)

La confluence avec la Bruyante (limite entre 12_b et 13_a) modifie significativement l'hydrologie de l'Aude. Malgré cela, le sable reste présent dans le lit mineur. En effet, si la Bruyante apporte un débit non

négligeable, elle apporte aussi des sédiments sableux qui semblent s'accumuler dans l'Aude à l'aval immédiat de la confluence. Un état fortement ensablé est identifié sur le segment 13_a (Figure 9), directement à l'aval. Sur le segment 13_b, on retrouve un recouvrement similaire à celui de 12_b.

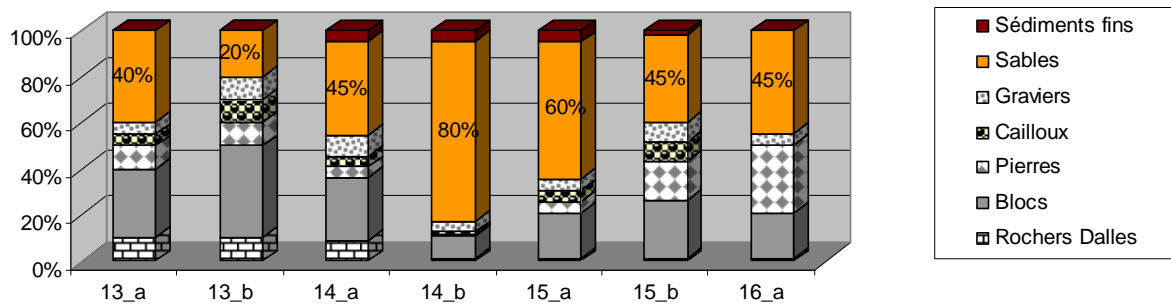


Figure 9 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aude entre la confluence avec la Bruyante et l'Usine de Nentilla)



Figure 10 : Aude à l'aval des gorges du Carcanet (seg. 12_a)



Figure 11 : Aude à l'aval de la Bruyante : l'ensablement encore visible (seg. 13_a)

De la prise d'eau de l'usine de Gesse à la restitution de l'usine de Nentilla (segment 14_a à 16_a), l'excès de sable est le plus important. Les secteurs 14_b et 15_a sont très fortement ensablés. Ce linéaire représente environ 6,4 km entre les ruines du camping de l'Aguzou et la prise d'eau de la pisciculture de Gesse où le recouvrement moyen de sable atteint 82%. Devant cette prédominance de sable, les autres granulométries sont en proportions extrêmement faibles (Figure 12 et Figure 13).



Figure 12 : ensablement constaté dans une mouille de concavité (seg.14_b)



Figure 13 : Recouvrement sableux homogène sur un plat courant (seg.15_a)

1.2.3. Aude entre Nentilla (Axat) et la Forge (Quillan) (T17_a à T 33) (Carte 7)

Ce secteur a été divisé en dix segments, soit un linéaire de 15,7 km. L'amont est marqué par la restitution des eaux déviées (Usine de Nentilla et Usine de Saint Georges).

On y observe une diminution de la part en sable (Figure 14), un état moyennement ensablé est observé sur seulement deux segments (seg. 17_b et 31_b). Les pierres et les cailloux sont bien représentés à l'exception du segment 17_b qui correspond aux gorges de Saint Georges, dominées par des affleurements rocheux.

Le sable n'est cependant pas absent du lit. On le retrouve généralement sous forme de bancs (Figure 16).

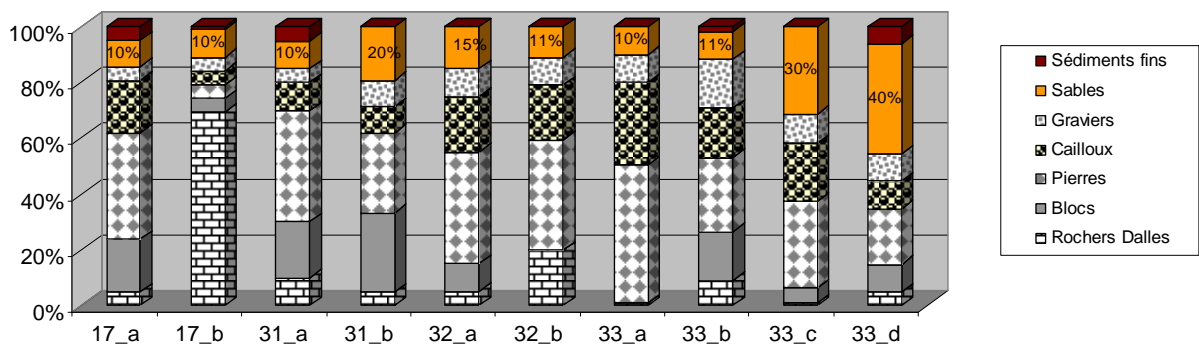


Figure 14 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aude ente l'Usine de Nentilla et l'Usine de la Forge (Quillan)



Figure 15 : Aude à l'aval de la restitution de l'usine de Nentilla (seg.17_a)



Figure 16 : Aude à Axat ; banc de sable accumulé à l'abris d'un épis en enrochements (seg.31_a)

Plusieurs segments présentent un fonctionnement particulier. Les segments 33_c et 33_d se situent dans le tronçon court-circuité par la microcentrale électrique de la centrale de la Forge : Microcentrale électrique en amont de Quillan qui dévie, à partir d'une prise d'eau, une partie du débit du fleuve. Ainsi, entre la prise d'eau et la restitution au niveau de la centrale de la Forge, l'Aude se trouve court-circuitée sur quelques centaines de mètres avec un débit réservé. Les secteurs ensablés constituent la portion en aval du tronçon court-circuité. Les caractéristiques d'écoulement semblent plus propices au dépôt massif de sables que dans la portion à l'aval immédiat de la prise d'eau. En effet, les écoulements sont ralentis sur ces segments par la présence d'un seuil en enrochements ce qui favorise le dépôt des sédiments sableux libérés par l'ouvrage à l'amont lors de sa mise en transparence.

Globalement, on observe dans ces dix segments une chute de la proportion en sable alors que les graviers, cailloux et pierres augmentent en proportion. Un décolmatage partiel s'observe donc à partir de Nentilla, le sable n'est plus réparti uniformément dans le lit mineur.

Des quantités non négligeables de sable transitent quand même sur ces tronçons. On les observe fréquemment dans les interstices des sédiments grossiers et des dépôts en banc.

Ces bancs de sable non observés auparavant semblent progresser d'année en année vers l'aval, signe qu'un transport pendant les périodes des hautes eaux serait encore possible.

Au cours d'une prospection en canoë, il a pu être constaté la présence de bancs à l'aval de Quillan et jusqu'à Campagne-sur-Aude. D'après les acteurs consultés, l'apparition de ces bancs serait relativement récente.

1.2.4. Estimation de l'épaisseur de sable

Pour chaque segment, une épaisseur moyenne de sable a été appréciée. L'épaisseur de sable maximale à elle aussi été recherchée. La répartition des sables est fortement influencée par les faciès d'écoulement. Néanmoins, il a été estimé à partir des mesures et des observations de terrain une épaisseur moyenne pour chaque segment. Le Tableau 3 est présenté le résultat des mesures de profondeurs.

Tableau 3 : Epaisseurs de sable mesurées sur l'Aude en 2008

	Segment	épaisseur moyenne (cm)	Faciès dominant du segment	épaisseur maximale (cm)	Faciès d'écoulement
Depuis l'amont du barrage de Matemale jusqu'au barrage de Puyvalador	01_a	2	PC	20	FD
	02_a	1	RAD	4	RAD
	02_b	1	PC	40	MC
	02_c	1	PC	20	MC
	03_a	<i>Pas de donnée</i>			
Entre le barrage de Puyvalador et l'Usine de Nentilla	11_a	5	RAD	15	RAD
	11_b	20	PC	50	PC
	11_c	10	RAP	40	FD
	11_d	10	PC	60	FD
	11_e	3	RAP	50	FD
	11_f	15	RAP	40	FD
	12_a	5	RAP	40	FD
	12_b	5	RAP	5	RAP
	13_a	10	RAP	25	RAP
	13_b	5	RAP	60	PC
	14_a	30	PC	60	PC
	14_b	50	PC	150	PC
	15_a	40	FD	130	FD
	15_b	3	PC	15	PC
	16_a	3	PC	100	FD
Entre Nentilla et Saint Georges	17_a	1	RAP	20	MC
	17_b	0	RAP	10	MC
Entre l'usine Saint Georges (Axat) & la restitution de l'usine de la Forge (Quillan)	31_a	2	PC	30	FD
	31_b	<i>Pas de données</i>			
	32_a	0	RAP	5	RAP
	32_b	0	RAP	5	RAP
	33_a	0	PC	5	CLO
	33_b	10	MC	50	MC
	33_c	25	MC	100	MC
	33_d	5	PC	20	CLO

Mouilles : Fosse de dissipation (FD), Mouille de concavité (MC), Chenal lotique (CLO)
Seuils : Rapide (RAP), Radier (RAD), Cascades (CAS)

Les épaisseurs moyennes de sable varient d'un segment à l'autre. La valeur maximale a été mesurée sur le segment 14_b avec une épaisseur moyenne de 50 cm (segments situés à l'aval de la prise d'eau de Gesse).

Certaines épaisseurs maximales dépassent les 100 cm. Il a été observé 150 cm en 14_b, 130 en 15_a.

Dans les secteurs qui ont été définis comme ensablés, il apparaît d'une façon générale qu'il y a une accumulation de sable relativement importante. Suivant les caractéristiques de la rivière, on observe un excès plus ou moins prononcé.

Un cours d'eau est caractérisé par une succession de faciès d'écoulement plus au moins propices à l'accumulation de sédiments. Ainsi d'une façon générale, les secteurs de mouilles caractérisés par un

écoulement lent et profond ont une tendance à l'accumulation de sédiments fins (déposés en phase de récession de la crue). A l'inverse, les zones de seuils ont un écoulement plus rapide (turbulent à l'étiage), une profondeur faible et sont composées de sédiments plus grossiers. Dans l'inventaire 2008, une estimation des faciès dominants et secondaires a été réalisée. Sur certains segments des accumulations anormales ont été mesurées sur ceux-ci. Par exemple, le segment 13_a possède des dépôts de sable d'une profondeur maximale de 25 cm alors qu'ils devraient être quasi nuls.

Dans les endroits les plus touchés, on constate des blocs ensevelis sous une épaisse couche de sable.

Le cas du « Pont d'Escouloubre » a été signalé lors de nombreux entretiens. Un plat courant peu profond est actuellement visible sous l'ouvrage. Une couche d'environ 87 cm de sable est venue combler une fosse composée initialement de blocs.

1.3. Des affluents non épargnés

L'inventaire et les caractéristiques principales des affluents sont présentés dans l'Annexe 7.

L'appréciation du recouvrement en sable est faite suivant la même méthodologie que pour l'Aude, les résultats mettent en lumière une grande hétérogénéité (Carte 8).

L'observation des principaux affluents a aussi été réalisée dans cette étude. Sur les secteurs prospectés, un état d'ensablement a été déterminé (Tableau 4)

Tableau 4 : Proportion des différentes fractions granulométriques prises en compte pour l'ensablement ; principaux affluents en HVA

	Segment	Linéaire km	Blocs Pierres	Cailloux graviers	Sables	Ensablement
Rec de Cirers	01_CI_a	3,644	30%	30%	40%	
Le Lladure	03_LL_a	0,608	65%	33%	2%	
Le Lladure	03_LL_b	4,686	56%	35%	8%	
Le Galbe	03_GA_a	3,769	71%	24%	6%	
Rec de la Balmette	03_BA	2,859	2%	85%	12%	
Rec del Gué	11_GU	4,565	16%	42%	42%	
Rec del l'Home mort	03_HM	3,835	7%	47%	47%	
La Bruyante	20_a	1,106	67%	22%	11%	
La Bruyante	20_b	2,385	67%	22%	11%	
La Bruyante	21_a	0,277	66%	26%	8%	
Ru de Pailhères	20_PA_a	3,186	53%	32%	16%	
Ru Artigues	20_AR_a	1,151	57%	29%	14%	
Ru Quérigut	20_QU_a	1,333	40%	20%	40%	
Le Rialet	21_RI	1,593	30%	50%	20%	
Le Laurenti	21_LA_a	0,456	79%	10%	11%	
Le Laurenti	21_LA_b	4,188	67%	11%	22%	
L'Aguzou	15_AG_a	4,721	17%	33%	50%	
Ru de Campagna	13_CA_a	2,710	30%	50%	21%	
Aiguette	17_AI_a	1,446	49%	33%	18%	
Aiguette	17_AI_b	2,160	63%	25%	13%	
Aiguette	17_AI_c	0,921	70%	5%	26%	
Aiguette	17_AI_d	1,218	43%	29%	29%	
Aiguette	17_AI_e	1,608	66%	22%	12%	
Aiguette	17_AI_f	1,382	56%	28%	17%	

	Segment	Linéaire km	Blocs Pierres	Cailloux graviers	Sables	Ensablement
Aiguette	17_AI_g	3,885	35%	60%	5%	
Clarianelle	17_CL_c	1,931	25%	60%	10%	
Clarianelle	17_CL_a	2,889	60%	20%	20%	
Clarianelle	17_CL_b	0,612	47%	10%	43%	
Rébenty	32_RE_a	17,683	36%	62%	2%	
Rébenty	32_RE_b	3,272	36%	63%	1%	
La Sals	34_SA_a	3,497	11%	78%	11%	
Corneilla	34_CO_a	1,721	33%	50%	17%	

	Très fortement ensablé		Moyennement ensablé
	Fortement ensablé		Non ensablé

1.3.1. Aiguette et Clarianelle (Carte 10)

Ces deux cours d'eau, affluents rive droite de l'Aude, prennent leur source dans le massif de Madres. Tout comme l'Aude, leur linéaire est marqué par la présence de prises d'eau qui modifient leur régime hydrologique.

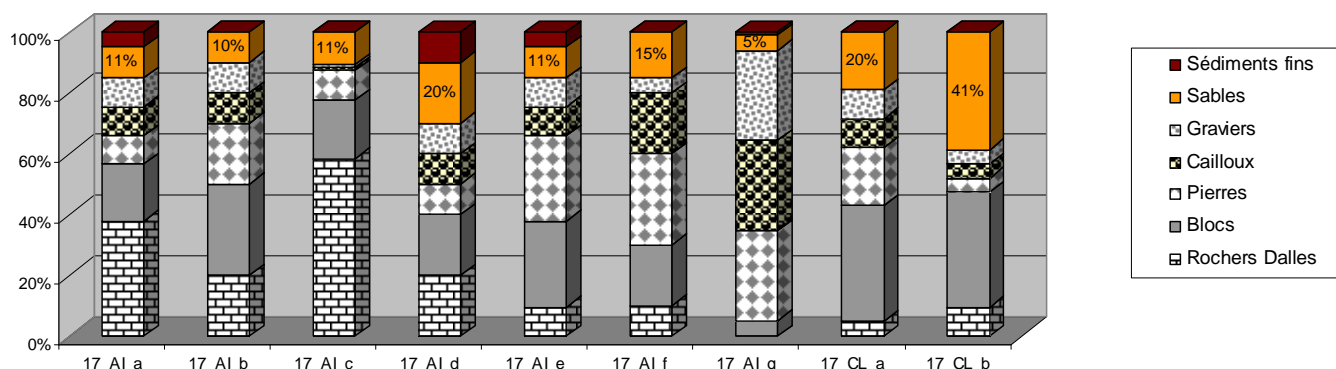


Figure 17 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aiguette & Clarianelle

Le segment prospecté le plus à l'amont de l'Aiguette (17_AI_a) présente un recouvrement sableux d'environ 10% avec une bonne répartition des autres granulométries (Figure 18). Dans la partie aval de ce segment, le débit est dérivé pour alimenter une microcentrale privée. Celui-ci est ensuite restitué au lit mineur pour être quelques mètres plus loin capté à nouveau pour alimenter une prise d'eau EDF.

Au niveau de cet ouvrage et à l'aval immédiat, le lit a été décolmaté de tout son substrat sableux (Figure 19). Un peu plus à l'aval (17_AI_b), il a été observé des bancs de sables et de litière relativement importants (Figure 20). Ce constat peut s'expliquer par le fait que le prélèvement d'eau a cessé (mise en transparence de la prise d'eau) pendant le mois d'avril 2008 ; les débits s'écoulant à l'aval n'étaient donc plus limités. Une faible accumulation de matériaux a été constatée lors de la vidange de l'ouvrage. De plus, il est survenu sur ce massif un épisode pluvieux important entre le 11 et le 12 mai 2008 qui semble avoir conduit à une importante augmentation des débits remobilisant les sédiments sableux du lit. Ils se seraient alors déplacés un peu plus en aval pour constituer des bancs de sable qui se retrouvent, une fois la prise d'eau remise en fonctionnement, émergés.



Figure 18 : Aiguette en amont des aménagements hydrauliques



Figure 19 : Aiguette à l'aval de la prise d'eau EDF (seg.17_AI_b)



Figure 20 : Dépôt de sable et de litière relativement important (seg.17_AI_b)



Figure 21 : Gorges de l'Aiguette (seg. 17_AI_c)

Plus en aval, l'Aiguette rentre dans des gorges encaissées (Figure 21). Au milieu de chaos granitiques, on note la présence de quelques bancs de sable dans les secteurs abrités (seg. 17_AI_c). Malgré le faible recouvrement en sable (11%), on peut considérer que le sable est en excès par rapport aux granulométries graviers et cailloux.

Ensuite la dominance de rochers est progressivement remplacée par des blocs et pierres. L'excès de sable est donc moins marquant. L'aval de l'Aiguette (seg. 17_AI_f) montre une bonne variété des granulométries. Ce secteur paraît épargné par l'ensablement. Cela ne signifie pas non plus qu'aucune quantité de sable n'y transite mais cela paraît être dans des proportions plus équilibrées.

La Clarianelle est aussi un cours d'eau marqué par les aménagements hydrauliques. Du fait des conditions d'accès, le secteur à l'amont de tout aménagement n'a pas été prospecté dans le détail. Néanmoins, il a été possible d'apprécier la composition du lit, globalement identique à celle de l'Aiguette amont. C'est-à-dire qu'une quantité non négligeable de sable est présente dans les parties amont (Figure 22), mais cela ne semble pas détériorer les bonnes potentialités d'accueil pour la faune aquatique (Com pers B. Le Roux).

Le segment plus en aval, influencé par une dérivation de microcentrale privée (segment 17_CL_a), a été considéré comme moyennement ensablé. Ensuite à l'aval de la prise d'eau EDF, le constat est opposé à

celui fait sur celle de l'Aiguette. Il a été observé, à l'aval de l'ouvrage sur la Clarianelle, un dépôt de sable très important. Ainsi, le secteur compris entre la prise d'eau et la confluence avec l'Aiguette (1,9 km) a été qualifié de « fortement ensablé » (Figure 23). D'après plusieurs avis (Agents ONEMA & B. Le Roux), cet état n'a jamais été observé auparavant. Il a été estimé un excès de sable important (41%) avec un déséquilibre important dans la granulométrie (seg.17_CL_b). Les raisons exactes de ce constat n'ont pas été établies. Les débits survenus lors de l'épisode pluvieux de la mi-mai ont pu amener des quantités importantes de matériaux présents à l'amont en particulier ceux provenant d'une piste forestière (cf. Partie 2, B/ 3.1). Des modifications récentes dans la gestion de cet ouvrage pourraient aussi être à l'origine de ce constat.



Figure 22 : Clarianelle amont au niveau du Pré d'Escouloubre (17_CL_c)



Figure 23 : Dépôt de sable important à l'aval de la prise d'eau EDF sur la Clarianelle (17_CL_b)



Figure 24 : Dépôt de sable au niveau du pont de la Forge sur la Clarianelle (B. Le Roux, 28 août 2008)

Devant la situation observée sur ce cours d'eau (Figure 24), des acteurs (Fédération Aude Claire en particulier) ont signifié leur inquiétude face à l'impact de cet excès de sable dans un cours d'eau remarquable, périmètre Natura 2000.

1.3.2. Bruyante et ses affluents (Carte 11)

La Bruyante, torrent de montagne, n'est pas affectée par l'ensablement. Le lit mineur est occupé à plus de 50% par des rochers et blocs (Figure 25), les interstices de ces éléments présentent une bonne variabilité granulométrique. Lorsqu'on observe les sédiments, il apparaît qu'ils sont composés d'un mélange hétérogène (Figure 26) qui semble facilement mobilisable en cas de crue. Traversant la station de ski de

Mijanès, le ruisseau de Pailhères, affluent rive gauche de la Bruyante, a été prospecté. Globalement, il n'a pas été observé un excès de sable particulièrement marqué (15% de sables).

Les principaux affluents en rive droite ont aussi été prospectés. Le Ruisseau d'Artigues présente une granulométrie assez variée composée essentiellement de blocs et de rochers (Figure 27). Pour le Ruisseau de Quérigut, la granulométrie est plus petite que sur le ruisseau d'Artigues et la fraction sableuse en représente une part beaucoup plus importante (40%) ; il est considéré comme fortement ensablé (Figure 28). Il est à noter que les sédiments charriés par ces deux cours d'eau sont recueillis dans la retenue du Laurenti.



Figure 25 : Vue générale du lit de la Bruyante (20_b)



Figure 26 : Sédiments de la Bruyante à proximité du lit mineur



Figure 27 : Ruisseau d'Artigues un lit dominé par les rochers et les blocs



Figure 28 : Ruisseau de Quérigut, une fraction sableuse relativement importante

1.3.3. Petits affluents présentant un caractère ensablé

Petit affluent en amont de Matemale, le rec de Cirers a les caractéristiques d'un cours d'eau fortement ensablé, le sable est la granulométrie prédominante avec une valeur de 40%.

A l'aval de Puyvalador, l'Aude reçoit des petits affluents en rive droite. Ces cours d'eau venant du massif de Madres (Ru Aguzou, Rec del Gué, et Rec de l'Homme Mort) présentent des teneurs naturelles importantes en sable (voisines de 40%). Ils sont considérés comme fortement ensablés.

1.3.4. Affluents de la HVA épargnés

Le Rébenty, la Lladure et le Galbe ne présentent un recouvrement en sables important. Ces cours d'eau sont dominés par des sédiments plus grossiers et potentiellement plus biogènes.

Afin de compléter l'inventaire des affluents de l'Aude en HVA, la Sals et la Corneilla, étudiées dans leurs parties aval, ont aussi été visitées. Ces rivières ne présentent pas non plus un caractère ensablé.



Figure 29 : Lladure dominée par des sédiments grossiers



Figure 30 : Le recouvrement sédimentaire du Rébenty

Une grande hétérogénéité est donc constatée sur l'état sédimentaire des affluents. L'étude des caractéristiques des versants devrait permettre d'expliquer les différences observées.

1.4. Les barrages : des cas particuliers

Le réseau hydrographique de la Haute Vallée de l'Aude est caractérisé par une multitude de barrages et prises d'eau pour l'alimentation des centrales hydroélectriques.

Le réseau hydrographique est donc compartimenté par ces constructions de tailles variables. Elles ont un rôle important dans le stockage des sédiments. Suivant le volume de la retenue, l'apport sédimentaire de l'amont et la gestion hydraulique, ces ouvrages interceptent une partie variable des sédiments.

Lors des prospections de terrain, une appréciation visuelle de l'état de comblement des ouvrages a été tentée. Des moyens techniques supplémentaires seraient nécessaires pour pouvoir quantifier précisément les volumes stockés.

Le Tableau 5 présente, à travers les observations de terrains et les informations recueillies aux cours des différents entretiens, les principales caractéristiques des différents ouvrages.

Tableau 5 : Caractéristiques des principaux ouvrages hydrauliques en HVA

Ouvrages visités en 2008	cours d'eau	Propriétaire	Hauteur de l'ouvrage (m)	Etat de comblement observé en 2008	Présence de banc émergé	Données recueillies sur leur gestion
Ouvrages sur l'Aude						
Barrage de Matemale	Aude	EDF	37	nd	non	Vidange décennale en 1999
Barrage de Puyvalador	Aude	EDF	35	nd	non	Vidange décennale en 1995
Prise d'eau Escouloubre	Aude	EDF	3,5	Moyen	non	Vidange en avril 2008
Prise d'eau de Gesse	Aude	EDF	10	nd	nd	Curage partiel 2005
Prise d'eau Pisciculture Gesse	Aude	Privé	1,8	Total	oui	nd
Prise d'eau St Georges	Aude	EDF	2,5	nd	non	Curage partiel 2004
Prise d'eau la Forge	Aude	Régie Quillan	12	Faible	non	Ouverture des vannes durant les crues
Ouvrages sur affluents rive droite						
Prise d'eau Aiguette	Aiguette	SARL Farga	5	Total	oui	Pas de gestion
Prise d'eau Aiguette	Aiguette	EDF	2	Faible	non	Mise en transparence en avril 2008
Pise d'eau Clarianelle	Clarianelle	EDF	6	Faible	non	Mise en transparence en avril 2008
Prise d'eau Aguzou	Aguzou	EDF	0,7	Moyen	oui	nd
Branche Bruyante						
Retenue Grandes Pâtures	Rialet	EDF	20	Faible	non	Vidange en 1999
Retenue Laurenti	Laurenti	EDF	nd	Important	non	Dernière chasse 2005 avec effacement de Gesse et Saint Georges
Prise d'eau du Linas	Bruyante	EDF	2	Moyen	non	Chasse régulière faite selon l'appréciation de l'agent
Prise d'eau Bruyante Inférieure	Bruyante	EDF	1	Total	oui	
Prise d'eau du Rialet	Rialet	EDF	nd	Faible	non	
Prise d'eau LLADURE	Lladure	EDF	2	Faible	non	nd

nd : non déterminé

Il a été constaté sur le premier ouvrage en amont de l'Aiguette (Prise d'eau Aiguette SARL Farga) une accumulation importante de sable. Cet ouvrage recueille depuis plusieurs années les sédiments provenant de la tête du bassin de l'Aiguette.

Sur les ouvrages EDF disposés le long de l'Aude (prise d'eau Gesse, prise d'eau Saint Georges), le constat de l'accumulation a été difficile à réaliser. Néanmoins, il apparaît qu'une quantité importante de matériaux y soit stockée. Lors d'un curage partiel de la prise d'eau de Saint Georges en 2004, il semblerait qu'un volume de 500m³ ait été extrait. D'après certains observateurs, ce volume ne représentait qu'une faible proportion des matériaux stockés. Rapidement, la prise d'eau a retrouvé son état de comblement initial.

Une enquête menée auprès de certaines gestionnaires de microcentrales privées a fait ressortir qu'aucune installation ne subit des problèmes techniques (usure des turbines, ...) à cause d'une accumulation de sable dans leur prise d'eau.

Les ouvrages hydrauliques barrant le cours de l'Aude constituent des zones d'accumulation importantes pour les sédiments, empêchant le transport solide.

2. Un phénomène déjà mesuré

La première étude faisant mention de l'ensablement en Haute Vallée l'Aude a été effectuée en 1994 (Saladin, 1994). Cette étude visait à faire l'inventaire des faciès d'écoulement de l'Aude entre son entrée dans le département de l'Aude jusqu'à l'usine de Nentilla. L'auteur indique que « *tout le long du parcours, une très forte présence de sable est à noter particulièrement à partir d'Usson* ».

Depuis 1994, plusieurs études (Dulac & Lentillon, 1995 ; Hendrickx, 1996, Bravard *et al.*, 1999) se sont précisément intéressées à cette problématique, leur territoire d'étude s'étendant au maximum entre l'aval du barrage de Puyvalador et l'usine de Nentilla (territoire plus restreint que celui de l'inventaire 2008). A chaque fois, différentes méthodes ont été employées ce qui rend difficile leur mise en relation.

Les études précédentes s'appuient sur des moyens techniques plus importants afin de collecter des données quantitatives et relativement précises. Les mesures s'effectuent sur un secteur limité de cours d'eau (profil en long, bande de 1 mètre de large). L'appréciation du phénomène sur l'ensemble du territoire se fait à partir d'extrapolation de résultats issus de stations ponctuelles.

La méthode utilisée en 2008 se base sur l'appréciation d'un recouvrement moyen observé. Il peut donc être considéré qu'une donnée qualitative a été collectée sur la problématique. Néanmoins comme le remarque Maire *et al* en 2003, seul un parcours continu permet de ne pas négliger les modifications de la morphodynamique fluviale. Ainsi la méthode élaborée au cours de ce stage s'attache à identifier les modifications du recouvrement sédimentaire en considérant non pas des *stations* mais des *secteurs* considérés comme homogènes à partir d'un parcours continu du territoire d'étude.

2.1. L'ensablement constaté en 1999

L'étude réalisée en 1999 par Bravard *et al.* fait état de l'ensablement de l'Aude entre Puyvalador et Nentilla. Cette méthode se basait sur le calcul des surfaces en plan de différentes composantes du lit du cours d'eau (zones végétalisées, rochers, blocs, vase nue ou végétalisée appelée banquettes, sable fin, sable grossier et particules grossières : < 2cm pour les graviers ; 2 à 10 cm pour les galets).

Répétée sur 19 stations d'étude, cette description était réalisée sur deux faciès d'écoulement : seuil et mouille. Cette méthode est différente de celle utilisée en 2008.

Deux campagnes de mesures ont été réalisées : septembre 1998 et juin 1999. Entre ces dates, une crue d'hiver est venue remobiliser une partie du sable. Les résultats sont présentés pour les données de septembre 1998. Il a été choisi de présenter les résultats pour septembre 1998 pour essayer de se rapprocher au mieux des conditions de 2008. Il semblerait qu'aucune cure significative ne soit survenue depuis quelques années comme c'était le cas en septembre 1998 et non en juin 1999.

2.1.1. Une méthode différente de celle de 2008

Les méthodes appliquées en 1999 et celles de 2008 ont de grandes différences rendant difficile la comparaison des résultats.

Tableau 6 : Principales différences méthodologiques entre Bravard *et al* 1999 et l'étude 2008

	Méthode Bravard 1999	Méthode Etude 2008
Choix des lieux d'observation	Méthode ponctuelle par transect Stations d'études localisées (1 faciès mouille & 1 faciès seuils) 19 stations entre Puyvalador et Matemale	Méthode longitudinale Sectorisation du cours d'eau en recouvrement homogène (linéaire variant suivant les observations de terrain) 63 segments couvrant 150km de cours d'eau en HVA à l'amont de Quillan
Méthode de caractérisation des sédiments	Cartographie et mesure d'un transect précis (largeur 1m) sur chaque faciès	Appréciation du recouvrement sédimentaire global quelque soit les faciès
Sédiments observés	Différentes composantes du lit (zones végétalisées, les rochers, les blocs, la vase nue ou végétalisée appelée banquettes, le sable fin, le sable grossier et les particules grossières : < 2cm pour les graviers ; 2 à 10 cm pour les galets).	Classes granulométriques adaptées de Wentworth

La méthode utilisée par Bravard *et al* s'appuie donc sur des mesures de sites très précis alors que la méthode utilisée en 2008 apprécie à l'échelle d'un segment homogène le recouvrement global, observé visuellement.

Quelques-uns de ces sites ont été recherchés en 2008 pour essayer d'observer une évolution. Malgré la description de la localisation des stations présente dans l'étude, il a été impossible de retrouver précisément les sites étudiés qui ne sont que des transects de 1 mètre de largeur. Les marques de peinture disposées à l'époque pour localiser les transects d'études ont disparues. A défaut, nous avons apprécié visuellement le recouvrement d'un faciès correspondant, lorsque que cela a été possible (sur plusieurs secteurs visités certains faciès n'ont pas été retrouvés, par exemple une mouille sur la station 18 de Glissoire). Devant ces constatations, il peut être considéré qu'il n'est pas possible de mettre en relation précisément les données 1999 avec celles recueillies en 2008.

La méthode élaborée en 1999 par Bravard *et al*. n'a pas été appliquée en 2008 pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cette méthode se base sur des relevés de terrains assez lourds qui nécessitent des instruments de mesures et des moyens humains qui n'étaient pas disponibles pour cette étude. De plus, des contraintes temporelles n'ont pas permis de parcourir le terrain avec cette méthode.

2.1.2. Un constat globalement similaire sur le cours de l'Aude

A partir de relevés ponctuels, une sectorisation de la zone d'étude a été réalisée en fonction du pourcentage de sable mesuré. La Figure 31 présente le résultat de cette sectorisation pour l'année 1998 dans laquelle on observe nettement que les proportions de sable sont importantes sur tout le secteur d'étude.

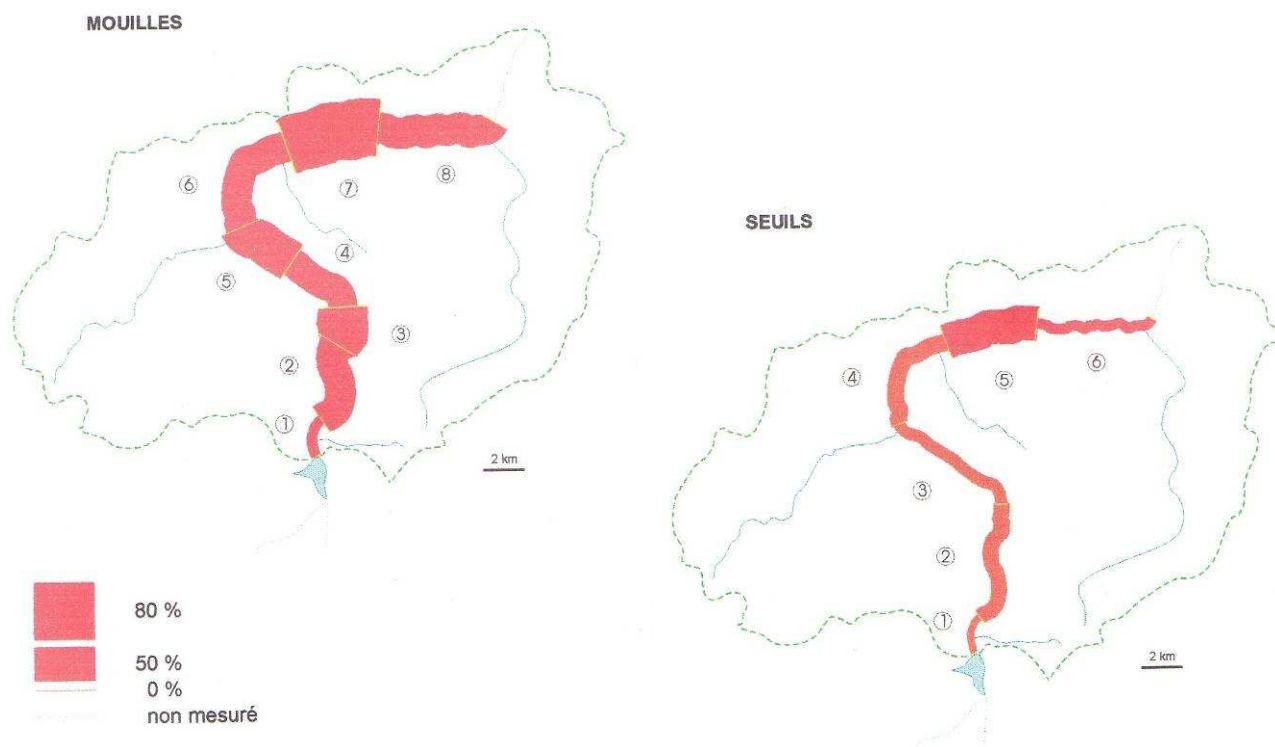


Figure 31 : Sectorisation de l'Aude selon l'évolution amont-aval des types de surfaces, sept. 1998 (in Bravard *et al.* 1999)

Les résultats de Bravard (1999) peuvent être synthétisés de la manière suivante :

- Dans les mouilles, le stockage de sable se fait de manière relativement homogène de l'amont à l'aval du secteur. Le sable domine en effet très nettement, en automne comme au printemps. Le taux moyen de recouvrement par la fraction sableuse est de 48% en septembre 1998. En juin 1999, le recouvrement moyen a sensiblement baissé. Il est de l'ordre de 40%.
- La fraction sableuse ne domine pas sur les seuils. Elle y est cependant importante ce qui est de toute façon exceptionnel pour un torrent de montagne. Le recouvrement moyen à l'automne est de 25%.
- Entre les stations, la répartition est plutôt homogène.

Globalement ces résultats montrent un secteur (de Puyvalador à Nentilla) où la fraction sableuse est en excès. Ce constat se retrouve dans les inventaires réalisés en 2008.

Secteurs les plus touchés en 1999

En 2008, les segments les plus touchés par sont 14_b et 15_a. Ce constat a déjà été fait en 1999 où deux stations ont été étudiées sur ces secteurs (Station 15 : Sarrebiau et Station 16 : Gesse). Le sable recouvrait les mouilles avec des proportions voisines de 75% et les seuils avec des taux respectivement de 39 et 57%

Dans les gorges du Carcanet, Station 6 (Couillades amont) présentaient des proportions de 80 à 90% de sable dans les mouilles. En 2008, le segment correspondant est le 11_e qui présente un taux de

recouvrement en sables de 35% tout faciès confondu. Un peu plus en amont le segment 11_c a été observé avec un état très fortement ensablé.

2.1.3. Etendue du phénomène

L'élargissement du territoire d'étude en 2008 confirme que le secteur le plus touché par l'ensablement est bien celui situé entre le barrage de Puyvalador et l'usine de Nentilla.

Néanmoins, à l'aval de cette zone lorsque l'Aude retrouve une partie de son débit, le phénomène ne disparaît pas complètement. Des bancs de sable se forment dans les secteurs propices (mouilles de concavité ou secteurs abrités derrière un rocher). Plus à l'amont le phénomène n'est pas marqué entre les deux barrages de Matemale et Puyvalador.

En revanche, la partie en amont de Matemale et certains affluents montrent un état ensablé. La nature géologique des terrains traversés semble avoir un lien direct avec l'excès de sable constaté dans ces cours d'eau.

2.2. Un ensablement quantifié

La quantification des volumes de sédiments est un paramètre difficile à apprécier avec précision. A partir des observations de 2008, il a été décidé de proposer une estimation des quantités de sables présents dans les différents tronçons. Le calcul des volumes se base sur :

- La longueur des segments
- Le pourcentage moyen de sables observés sur le segment
- La largeur moyenne estimée du lit
- La profondeur moyenne estimée en sable

Il a ainsi été calculé un volume moyen estimé de sable par segment sur l'Aude, ouvrages hydroélectriques exclus. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Volume en sables présent dans le lit mineur hors bancs de sable pour chaque segment en 2008

Segment	Linéaire (m)	Epaisseur moyenne (cm)	Largeur moyenne estimée (m)	Sables (%)	volume estimé (m3)
01_a	1413,24	2	2	30%	17,0
02_a	2175,03	1	3	10%	6,5
02_b	2060,89	1	3	15%	9,3
02_c	3989,87	1	3	20%	23,9
03_a	193,31	0	3	10%	0
11_a	849,321	5	3	30%	38,2
11_b	1911,2	20	3	40%	458,7
11_c	1474,77	10	10	40%	589,9
11_d	524,442	10	10	15%	78,7
11_e	2291,02	3	5	35%	120,3
11_f	1751,09	15	4	40%	420,3
12_a	2854,15	5	5	40%	285,4
12_b	2970,84	5	4	20%	118,8

Segment	Linéaire (m)	Epaisseur moyenne (cm)	Largeur moyenne estimée (m)	Sables (%)	volume estimé (m3)
13_a	539,506	10	4	40%	86,3
13_b	1461,36	5	6	20%	87,7
14_a	477,839	30	6	45%	387,0
14_b	2216,16	50	6	80%	5318,8
15_a	4256,55	40	6	60%	6129,4
15_b	1994,96	3	6	45%	161,6
16_a	4401,52	3	6	45%	356,5
17_a	1457,37	1	6	10%	8,7
17_b	667,484	0	7	10%	0,0
31_a	3559,61	2	10	10%	71,2
31_b	1137,33	0	12	20%	0,0
32_a	3469,97	0	12	15%	0,0
32_b	1636,62	0	15	11%	0,0
33_a	2468,78	0	20	10%	0,0
33_b	625,144	10	10	11%	68,8
33_c	411,854	25	12	30%	370,7
33_d	328,836	5	12	40%	78,9
			Volume Total (m3)		15 292
<i>Cette estimation tient compte de l'appréciation de la profondeur de sable moyenne du lit mineur. Elle ne tient pas compte des volumes stockés dans les bancs de sables ou ceux stockés dans les retenues.</i>					

Suivant cette appréciation, il apparaîtrait que le volume de sable présent dans le lit sur l'ensemble de l'Aude prospectée serait de l'ordre de 15 300 m3.

Ces résultats sont à prendre avec toutes les précautions inhérentes à l'appréciation visuelle d'une épaisseur moyenne. De plus, ils ne tiennent compte ni des bancs de sable (superficie limitée mais épaisseur importante en sable) ni des volumes accumulés au niveau des retenues présentes sur les segments (EDF, ...). Pour exemple, le volume d'un banc de sable sur le segment 33_d à l'aval d'un radier a été estimé à partir de ses dimensions à 4,25 m3 environ, volumes non inclus dans les 15 300m3 annoncés dans le Tableau 7. Les volumes stockés dans les retenues ne sont pas non plus pris en compte.

Les volumes présentés sont donc sûrement sous-estimés par rapport aux quantités réelles qui pourraient être mesurées par d'autres méthodes. Néanmoins, cette étude apporte une estimation des quantités de sables présentes dans le lit mineur.

Dans une étude visant à caractériser les modalités d'une chasse hydraulique, Hendrickx (1996) a estimé que le volume de sable accumulé sur le secteur situé entre l'usine d'Escouloubre et la prise d'eau de Gesse (correspondant aux segments 2008 : 12_a, 12_b, 13_a et 13_b) était de 15 000 m3. Pour ce secteur, avec la méthode utilisée en 2008, le volume approche à peine 580m3.

Hendrickx a estimé cette quantité à partir du stock de sable présent dans la retenue de Gesse accumulé lors de la crue survenue en 1982. Il considère ce volume égal à celui du sable présent dans le secteur amont, avant la crue. Considérant qu'il n'y avait pas eu de nouvelle crue entre 1982 et 1996, il estime que ce volume s'est reconstitué. Sans revenir sur la méthode utilisée, il est bon de signaler qu'un paramètre

important n'a pas été pris en compte : ce secteur comprend en effet la confluence avec la Bruyante. Cet affluent est réputé être un torrent charriant en crue beaucoup de matériaux, dont des sables. Il paraît difficile qu'il n'ait pas contribué significativement à l'accumulation de matériaux dans la prise d'eau de Gesse en 1982. Une étude des concentrations en métaux lourds (Bravard 1999), montre que la contribution sédimentaire de la Bruyante n'est pas négligeable.

Dans les mouilles de leurs stations, Bravard *et al.* (1999) ont quantifié les volumes par transect (1 mètre de large). Ils estiment que les volumes sont globalement proches de 0,6 et 0,8 m³ par transect. Sauf pour le site de Gesse où les volumes sont voisins de 1 m³. Ils n'ont cependant pas estimé les volumes globaux sur un linéaire.

A partir des données recueillies, le volume total de sables des mouilles en septembre 1998 a été évalué (estimation faite en 2008). Pour cela, les résultats d'une station ont été extrapolés à un linéaire de 1,5 km de cours d'eau (en considérant la station représentative du secteur). Ainsi, il a été estimé le volume de sable contenu dans le lit mineur **entre Puyvalador et Nentilla** si celui-ci n'était constitué que par des mouilles. Par cette méthode, le volume de sable présent dans le lit a été évalué à environ **10 890m³** en 1998 (estimation faite en 2008 à partir des données de 1998). Avec la méthode appliquée en 2008, le volume estimé sur ce même linéaire s'élève à **14 640m³**. Ces deux valeurs doivent être prises avec précaution et ne mettent pas en évidence une évolution des volumes de matériaux. Elles permettent de fixer un **ordre de grandeur de volume** présent dans le lit mineur en considérant que ces valeurs sont approximativement similaires.

2.2.1. Différences entre faciès

Déjà en 1998 (Bravard *et al.*), la fraction sableuse dominait très nettement quelque soit la mouille considérée. Suivant la méthode établie à l'époque, le pourcentage moyen de recouvrement du sable était de 48% ; certaines mesures approchant les 90%.

La fraction sableuse ne domine pas sur les seuils mais est tout de même présente dans des proportions exceptionnelles pour un torrent de montagne. Le sable recouvre en moyenne 25% des transects. Les résultats montrent que les gorges du Carcanet sont propices au stockage à cause des débits artificialisés. En revanche à l'aval de la Bruyante, le recouvrement des seuils a évolué après une petite crue. L'auteur interprète ce résultat comme le pouvoir de déstockage qui peut intervenir grâce aux apports en eaux de la Bruyante.

2.2.2. Tendance à l'accumulation ?

Il n'a pas été possible de mettre en évidence une évolution de l'ensablement à partir des données collectées. Néanmoins, de nombreux acteurs estiment que le phénomène augmente depuis plusieurs années. Ils ont également constaté une « remise à neuf » du lit mineur par la crue de 1996. Depuis cet épisode, il leur apparaît que l'ensablement n'a fait que progresser. Pour certains, l'ensablement n'a jamais été aussi prononcé avant 2005.

Déjà Hendrickx en 1996 évoquait un constat similaire : « *Le manque de réelle crue sur ces dix dernières années (86-96) a conduit aujourd'hui à un fort ensablement du lit de l'Aude* ». Il semblerait qu'un constat de progression de l'ensablement était déjà perçu avant 1996.

A partir d'un suivi réalisé en 2006 et 2008, il a été mis en évidence en l'absence de crue une tendance générale à un creusement du lit de quelque centimètre (résultat issu d'un suivi de profil en travers) (ONEMA 2008).

Synthèse :

Le réseau hydrographique prospecté en 2008 a été divisé en portion de cours d'eau homogène du point de vu de l'ensablement.

L'état des lieux ne fait pas apparaître de gradient amont aval dans la répartition du sable. L'ensablement de l'Aude se localise principalement entre le barrage de Puyvalador et la confluence avec l'Aiguette (usine de Nentilla). Le sable représente jusqu'à 82% du recouvrement sédimentaire (entre ruines du camping de l'Aguzou et la pisciculture de Gesse).

L'épaisseur moyenne de sable varie d'un segment à l'autre. La valeur maximale a été mesurée sur ce même secteur (épaisseur moyenne estimée à 50 cm). Ponctuellement des profondeurs de sable de 150 cm ont été observées.

L'ensablement a aussi été constaté sur certains affluents : l'Aiguette, la Clarianelle, le rec de Cirers, rec de l'Homme Mort, rec del Gué, ruisseau de Quérigut, l'Aguzou ; principalement.

La méthode employée n'a pas permis d'évaluer précisément l'accumulation de sédiments dans les retenues.

Malgré les difficultés pour mesurer avec précision les quantités de sable présent dans le lit mineur, il est proposé un ordre de grandeur du volume de sable dans le lit (bancs de sable et stockage dans les retenues exclus) Entre Puyvalador et Nentilla, le volume de sable présent serait de l'ordre de 10 000 à 15 000 m³.

Les secteurs les plus propices à l'accumulation sont les zones profondes avec peu de courant (mouille). Il n'a pas pu être mis en évidence une évolution du phénomène dans cette étude.

B/ UNE PRODUCTION DE SABLE EN HVA : LOCALISEE & IMPORTANTE

L'objectif de cette partie est d'appréhender la production sédimentaire en HVA en particulier celle du sable afin de répondre à la question : *D'où provient le sable ?*

Suite aux prospections de terrains, il n'apparaît pas qu'il soit arrivé par un apport accidentel ou volontaire dans le réseau hydrographique. Il est donc nécessaire de répondre à la question : *Où est-il produit ?*

Cette partie a donc pour objectif de vérifier les différentes hypothèses sur les sources potentielles de sédiments qui ont pu être émis :

- ⇒ Le sable est-il produit naturellement sur le bassin versant ?
- ⇒ Y-a-t-il des modifications dans l'occupation des sols propices à sa production?
- ⇒ Les aménagements des versants ont-ils un impact sur le phénomène ?

1. Une géologie favorable à la production de sable

Etant donné que les sédiments sont des produits de l'érosion des versants, il est nécessaire de s'intéresser à la géologie de ce territoire pour comprendre leur origine

Les données géologiques recueillies permettent de dresser un état général de la lithologie du bassin versant (Carte 12). En suivant le tracé de l'Aude d'amont en aval, on rencontre différentes géologies : granite, dépôt glaciaire et alluvionnaire puis une alternance de roches sédimentaires et métamorphiques. A partir de Quillan, il y a apparition d'alluvions dans le lit majeur de l'Aude.

1.1. Les affleurements granitiques au cœur de la problématique

Les roches granitiques sont des roches à structure grenue composées par l'assemblage de différents minéraux : essentiellement Quartz, Feldspath et Biotite. Les grains de feldspaths s'altèrent plus rapidement que les autres minéraux présents, ce qui conduit à la libération des autres, plus durs. L'altération du granite conduit à la formation d'un matériau meuble à dominante sableuse : l'arène (Campy & Macaire, 2005).

La présence de granite est observée à l'amont de la zone d'étude. L'Aude rencontre le massif granitique sur les versants du Roc d'Aude. Une bande à l'extrémité sud-est du bassin est aussi présente.

Ensuite au niveau des Gorges du Carcanet entre Puyvalador et la Confluence avec la Bruyante, le granite est à nouveau présent. Il s'étend en rive gauche sur les affluents de la Bruyante aux alentours de la commune de Quérigut. En rive droite, l'affleurement granitique est observé sur les parties amont de l'Aguzou, de l'Aiguette et ses affluents dont la Clarianelle. L'intrusion de granite sur le bassin versant est appelée le batholite granitique de Quérigut. A partir de l'exploitation de la carte géologique, sa superficie est estimée à 229 km², soit environ 18% de la superficie totale du SAGE HVA.

La composition du batholite granitique de Quérigut fait qu'il s'arénise assez vite. Cela conduit donc à une abondante production d'arènes sur les versants.

La présence du **batholite granitique** de Quérigut sur le bassin versant est **l'origine principale** de la production de sable en Haute Vallée de l'Aude.

1.2. L'influence des autres roches

D'autres roches sont présentes sur le bassin versant. Mais leur mode d'altération et leur localisation font qu'elles ne peuvent contribuer que de façon secondaire à la production de sable.

1.2.1. Formations glaciaires et alluvionnaires

Des formations glaciaires et alluvionnaires recouvrent la plaine du Capcir dans laquelle se trouvent les retenues de Matemale et de Puyvalador. Constituées de matériaux divers déposés lors de la régression des glaciers et l'installation du cours d'eau, ces formations peuvent contenir une certaine quantité de sable (provenant de l'amont du bassin). Comparée à la production d'arène granitique et compte tenu du stockage de matériau au niveau des barrages, cette source de sable **reste secondaire**.

1.2.2. Roches massives

Le bassin versant est aussi constitué de calcaire et marnes noires de l'Aptalbien. A partir de la confluence avec la Bruyante, l'Aude forme les gorges de l'Aude à travers ces formations géologiques dures.

Ensuite aux environs du village de Gesse et jusqu'à Quillan, on note la présence de calcaire, schiste et grès du Dévonien inférieur. L'Aude va rencontrer une variété de roches sédimentaires et métamorphiques de duretés différentes. C'est dans ce secteur que l'on rencontre les Gorges de Saint-Georges et de Pierre-Lys.

Les roches calcaires présentent une grande solubilité. C'est grâce à cela que se forment les systèmes karstiques (Plateau de Sault). Les produits de l'altération de cette roche sont donc essentiellement des composés solubles.

Néanmoins, le démantèlement progressif des produits d'érosion en particulier des roches calcaires conduit à terme à la création de sable sédimentaire. Ainsi, des sables roulés sont obtenus à partir de la division successive de blocs de roches. Il semblerait que la proportion de sable sédimentaire en Haute Vallée de l'Aude soit assez faible, de **l'ordre au maximum de 10 à 20 %** (Com pers X. Perrot).

2. Des conditions d'érosion réunies

La présence de roches facilement altérables n'explique qu'en partie la production sédimentaire. Les caractéristiques de ce bassin versant montagnard apportent les autres conditions nécessaires à une production sédimentaire importante. Contrairement aux zones de plaine propices à l'accumulation de matériaux, la dynamique naturelle d'un bassin versant de montagne est à l'érosion et à l'exportation de matériaux vers l'aval.

2.1. Un relief accidenté

Les versants constituent la zone de transit entre la zone d'altération et le réseau hydrographique. La pente des versants a donc un rôle essentiel dans le déplacement des matériaux érodés jusqu'au cours d'eau. D'autant les pentes fortes favorisent d'autant plus le ruissellement (quantité et vitesse de l'eau plus élevées) au détriment de l'infiltration, et donc le prélèvement de particules (Campy & Macaire, 2005). Le bassin versant étudié a les caractéristiques d'un bassin versant de montagne.

Le relief est particulièrement marqué avec des sommets avoisinant les 2500m comme le Roc d'Aude ou le massif de Madres. Des vallées encaissées entaillent certaines couches géologiques précédemment décrites. En particulier, les gorges du Carcanet ou les Gorges de l'Aiguette en amont de Sainte-Colombe-sur-Guette présentent des versants très abrupts propices à l'érosion. Ces conditions favorisent naturellement les affleurements diffus de granite. L'apport d'arène granitique au cours d'eau est donc facilité par ce relief accidenté.

2.2. Occupation des sols : des zones boisées majoritaires

Le recouvrement des sols a un impact sur la stabilité des terrains en particulier dans les zones montagneuses. Une analyse de l'occupation des sols a été faite à partir des données de la base CORINE LAND COVER. 2000 (Carte 13).

Globalement, ce bassin versant est un territoire rural dominé par un couvert forestier avec des zones urbaines et agricoles concentrées à l'extrémité aval (nord). La forêt recouvre près de 80 % de la superficie totale du bassin versant.



Figure 32 : Vue sur les Gorges de l'Aude

A l'amont d'Axat, sur le territoire qui nous intéresse plus particulièrement, il subsiste une agriculture sur certains plateaux : Donezan, Capcir et Pays de Sault. Mais sur les versants, cette pratique a été globalement abandonnée.

Avec la déprise agricole amorcée au milieu du XIX siècle, le territoire a été progressivement délaissé ce qui est à l'origine du constat de la fermeture du milieu. Une étude centrée sur la vallée de Rébenty, affluent rive gauche de l'Aude faisant l'objet d'un classement Natura 2000, a mis en évidence le constat de fermeture du milieu en HVA: L'augmentation des surfaces forestières sur la zone d'étude est de 20 % au total

sur la période 1954 – 1999 avec une différence significative entre le bassin inférieur (31%) et le bassin supérieur (10%) (Diren LR & ONF, 2004). Ce constat peut être élargi à l'ensemble des versants de la HVA en amont d'Axat. Des vallées entières, comme cela a été vraisemblablement le cas pour les Gorges du Carcanet, ont vu se développer une forêt relativement équilibrée remplaçant des versants à nu et ainsi limite l'érosion.

Par ailleurs, un argument pourrait expliquer l'accélération ponctuelle de l'érosion. L'abandon des parcelles agricoles entraîne en effet l'arrêt de l'entretien des berges qui étaient maintenues artificiellement stables. Lors d'une rencontre, il a été évoqué que la Bruyante dans son cours inférieur était corsetée par des murets en pierres (signe d'une activité agricole sur les parcelles riveraines). Ces protections n'ont pas été reconstruites après une crue en l'absence d'utilité (Com pers J.F. Sanche). Une accentuation ponctuelle de l'apport de sédiments au cours d'eau pourrait donc aussi apparaître.

Il est difficile d'apprécier si l'augmentation du couvert forestier à travers la déprise agricole a eu un impact sur l'érosion. Vraisemblablement les versants abrupts ont toujours connu une exploitation forestière, avec des pratiques qui ont évolué au cours du temps. C'est peut être dans le mode d'exploitation des zones forestières que pourrait se trouver un facteur accélérant l'érosion du granite.

En 2008, il n'a pas été observé de vastes coupes à blanc sur les versants granitiques. La parcelle la plus récente exploitée de cette façon a été observée sur le versant rive gauche du Galbe (cours d'eau considéré en dehors de la problématique de l'ensablement). Il apparaît que le milieu ne subit pas une exploitation intensive et que les coupes de bois sont réalisées sur des superficies limitées. Ce constat a déjà été fait en 1999 (Bravard *et al*) s'appuyant sur une analyse faite par photointerprétation entre 1962 et 1998. Il a par ailleurs été évalué que les coupes les plus sévères avaient été réalisées entre 1962 et 1980 avec une exploitation qui représentait au maximum 4% du territoire étudié forestier.

Globalement, il semble qu'avec la déprise agricole, la stabilité des versants aurait eu tendance à augmenter (développement des surfaces boisées). Les observations de 2008 n'ont pas mis en évidence de modification (entre 1999 et 2008) d'occupation des sols importante. Il n'apparaît donc pas que l'évolution de l'occupation du sol soit significativement à l'origine d'un apport excessif en sable vers les cours d'eau.

L'occupation des sols fait ressortir principalement une tendance naturelle du bassin versant à produire des sédiments en particulier sur les versants granitiques abrupts, facilement érodables.

2.3. De l'érosion lente jusqu'à l'éboulement

Sous l'action des agents naturels altérant les roches (ruissellement, gel/dégel, vent), la désagrégation des roches produit des éléments qui peuvent être mis en mouvement.

Sur les versants, le transport a lieu sur de courtes distances : au maximum depuis la limite du bassin versant jusqu'à la base du talweg occupé généralement par un cours d'eau. La migration des matériaux se fait le plus souvent de façon désorganisée, lente et diffuse mais elle peut aussi avoir lieu « en masse » dans le cas des glissements de terrains.

On observe globalement un phénomène d'érosion diffuse en Haute Vallée de l'Aude. Il peut être considéré comme réparti sur l'ensemble des versants propices et constitue l'essentiel des apports au cours d'eau.



Figure 33 : Altération du granite (Gorges de l'Aiguette)

Dans le passé, il a été recensé deux sites où des apports massifs ont eu lieu. Il s'agit des éboulements de Gesse en 1992 et de celui d'Escouloubre à l'aval des Gorges du Carcanet en 1977. Ces deux événements ponctuels ont apporté des quantités importantes de matériaux mais ils ne peuvent pas expliquer à eux seuls tout le sable présent dans l'Aude. Ponctuellement, on observe aussi de petits glissements de terrain.



Figure 34 : Eboulement à Gesse (1992) en cours de stabilisation



Figure 35 : Glissement de terrain (Aude, Amont de Nentilla)

3. Des facteurs anthropiques influençant l'érosion

Il paraît important d'apprécier si les différents aménagements anthropiques présents sur le territoire influencent significativement les conditions d'érosion.

Il a été ciblé plusieurs types d'aménagements principalement les pistes forestières et les talus routiers. Cette liste non exhaustive est fonction de :

- De l'activité elle-même

- De sa liaison avec le réseau hydrographique
- De la géologie de son terrain

En élargissant le périmètre pour cette étude, il a aussi été décidé d'évaluer l'influence des pistes de ski. Les usages cités ci-dessous ne sont pas néfastes dans leur intégralité, mais ils peuvent contribuer en revanche à l'érosion dans une étape de leur conception.

La carte 14 présente les principaux facteurs anthropiques marquant le territoire.

3.1. Des pistes forestières nouvellement créées

Les pistes forestières ont souvent été citées lors des rencontres avec les acteurs comme une des principales causes de l'ensablement. Lors des prospections, elles ont donc été observées. Sans réaliser d'inventaire exhaustif, les principales pistes forestières représentant une source ponctuelle de sédiments ont été relevées. Quatre d'entre-elles ont retenu l'attention (Carte 14):

- La piste forestière partant des « lacets d'Escouloubre » en amont de l'usine d'Escouloubre. Construite le long du versant dans les gorges du Carcanet, cette piste montre des signes évidents d'apport en sable.
- Le massif de Madres drainé par l'Aiguette et la Clarianelle est traversé par de nombreuses pistes forestières : Trois ont particulièrement retenu l'attention. Sur l'une d'entre-elles un éboulement en 1997 a nécessité des travaux importants de consolidation.

C'est dans les premières années de leur création que les pistes forestières semblent problématiques. Avant la reprise de la végétation sur les talus, les mouvements de matériaux peuvent être importants. Il semble que plusieurs facteurs entrent en compte pour expliquer les variations de production d'une piste à l'autre : nature géologique et pente des versants aménagés.

La Figure 36 montre un cas problématique observé sur l'Aude. Les matériaux issus du terrassement de cette piste créée il y a moins de 2 ans (com. pers P. ORTET) dévalent le versant à cet endroit très raide lors de chaque évènement pluvieux. Ces matériaux se retrouvant en berges, sont facilement mobilisables en cas de hausse du débit. Ainsi, un enlèvement des matériaux accumulés au bas du versant s'est déjà imposé (en berge de l'Aude).



Figure 36 : Piste forestière dans les Gorges du Carcanet



Figure 37 : Piste forestière à proximité de la Clarianelle déstructurée par le passage des engins de débardage (source B. Le Roux)

En ce qui concerne l'exploitation forestière, il semblerait que parfois le déplacement des grumes utilise des moyens lourds qui déstructurent les versants exploités et surtout les pistes forestières. Un cas relativement marquant a été observé à proximité de la Clarianelle dans le massif de Madres (Figure 37) où la piste forestière a été récemment déstabilisée par le passage des engins lourds tractant les troncs. Une fois déstructurée, les matériaux de la piste sont facilement emportés lors d'épisodes pluvieux. Bien que ponctuelles sur la zone d'étude, ces zones favorisent l'érosion de l'arène granitique

Globalement même si l'exploitation forestière reste relativement limitée, il apparaît que certaines pistes forestières accélèrent localement l'érosion des versants. Il est important de réduire le nombre et l'importance de ces sites problématiques.

3.2. Des talus routiers en liaison avec le réseau hydrographique

Globalement tous les talus routiers mettant à nu le batholite granitique accélèrent l'altération de celui-ci. Des secteurs où ce constat est particulièrement marquant peuvent être énumérés. Suivant la proximité avec le cours d'eau, la contribution sera plus ou moins lente.

Constituant des sites d'apport direct dans l'Aude ou d'apport via les affluents qui les drainent, Plusieurs secteurs relativement proches d'un cours d'eau ont particulièrement retenu l'attention :

- Les RD84 et RD17 entre Escouloubre & Escouloubre les bains (Figure 38)
- La RD16 au dessus de la carrière de Puyvalador
- La RD 25 à proximité de la station de Mijanès
- La RD 84 traversant le bassin versant de l'Aiguette (Figure 39)



Figure 38: Arène granitique en bordure de la RD16 à proximité de l'Aude



Figure 39 : Talus instable en bordure de RD 84

Des expérimentations sur le déplacement des sédiments de quelques-uns de ces talus et de leur fossé de drainage ont permis de montrer la pertinence de la prise en compte de ces aménagements (Bravard *et al*, 1999). Un marquage de sédiments dans le fossé de drainage de la D25 met en évidence une dynamique relativement importante : les sédiments se sont déplacés sur une distance comprise entre 1 à 12m en douze jours (mesure effectuées en octobre 1998).

Aussi, il est bon de rappeler que la Route Départementale 118 longe l'Aude sur l'intégralité de son cours (à l'exception de la traversée des Gorges du Carcanet). Lorsqu'elle est à proximité du fleuve, il n'a pas été observé de contribution significative en sédiments sableux. Il faut cependant rester vigilant pour que cet axe ne devienne pas un vecteur d'arrivée de sable (par exemple : introduction de déblais sableux en cas de travaux).

Il peut être regrettable que lors de travaux sur cet axe, il ait été constaté de visu qu'aucune benne de déblaiement ne soit prévue : les matériaux sont poussés dans le cours d'eau.

3.3. Des pistes de ski en cours de végétalisation

En réponse à certaines préoccupations ressorties lors des entretiens avec les acteurs et dans une volonté de compréhension globale de la problématique, l'impact des pistes de ski sur l'érosion des versants a été estimé.

Sur les sommets en tête de bassin versant de l'Aude, plusieurs stations de ski sont installées :

- Station de Mijanès (Donezan- Ariège)
- Station de Puyvalador (Pyrénées Orientales)
- Station de Formiguères (Pyrénées Orientales)
- Station de Les Angles (Pyrénées Orientales)

La construction des domaines skiables nécessite des travaux lourds de terrassement qui ont conduit à la modification des versants : tracé de piste orienté dans le sens de la pente et modification de la couverture des versants. La mise en place d'une piste a souvent entraîné le décapage d'un sol fragile, et la mise à nu de

la roche mère. Cela conduit à des problèmes de stabilité des versants, en particulier dans les secteurs les plus pentus. Pour remédier à cela et dans un but d'intégration paysagère, un gros effort est fait par les gestionnaires des stations pour végétaliser les pistes.

Avec les conditions de ce milieu montagnard, la végétalisation de ces sols pauvres est difficile et la fixation des talus est longue (Figure 41 et Figure 42). C'est donc dans les premières années après leur installation que les pistes sont les plus vulnérables.



Figure 40 : Etat d'une piste de ski végétalisée en 2006 (Les Angles)



**Figure 41 : Piste stable végétalisée en 2003
(Station de Formiguères)**



**Figure 42 : Piste instable végétalisée en
2006 (Station de Formiguères)**

S'intéressant à l'apport de sable, l'analyse de l'état des pistes doit être croisée avec les géologies concernées et avec la proximité du réseau hydrographique. Toutes les stations ne sont pas positionnées sur le même substrat et drainées de la même façon. Ainsi, il apparaît que la principale station potentiellement productrice de sable soit Les Angles. Développée sur un substrat gneisseux, une grande partie du domaine skiable est traversée par plusieurs ruisseaux, principalement le Rec del Cirers.

Pendant des années, il semble que de grandes quantités de matériaux sableux aient été érodées sur des pistes mal stabilisées et évacuées via des collecteurs (cunette et cours d'eau rectifiés) vers les cours d'eau en aval. Afin de préserver le milieu naturel en aval en particulier quelques zones humides, des bacs de dessablage (Figure 43) ont été construits et les efforts de végétalisation accentués. Actuellement ces apports

massifs ont donc été réduits. Mais cela se ressent encore sur les cours d'eau à l'aval en particulier le Rec del Cires (considéré comme ensablé, Figure 44).



Figure 43 : Bac de dessablage (Pla del Mir, station les Angles)



Figure 44 : Rec del Cirers composé d'une charge sable importante

Régulièrement les bassins de rétentions doivent être curés ce qui prouve que la stabilité des pistes n'est pas satisfaisante à 100%. A chaque événement pluvieux, les sols subissent encore une certaine érosion.

Il semble donc que les pistes de ski accélèrent un phénomène naturel en particulier durant les premières années après leur aménagement.

La part des stations de ski dans l'ensablement reste très limitée. Seules Les Angles et la station de Mijanès sont traversées par un cours d'eau. Dans le cas de Mijanès, il n'est pas apparu que le domaine skiable apportait une quantité importante d'éléments sableux. Il apparaît donc que seule la station des Angles soit concernée par cette problématique et des actions sont en cours. De toute façon, les sédiments issus de la station des Angles sont piégés dans la retenue de Matemale et ne peuvent donc pas influencer le phénomène à l'aval.

3.4. Elevage : des piétinements localisés

Les pratiques agricoles sont peu développées en bordure des cours d'eau étudiés. Cette activité n'apparaît pas comme un facteur marquant fortement l'érosion des sols. Sur le territoire, l'activité agricole s'observe principalement sur les zones de plateaux et sur les sommets qui constituent des zones d'estive pour les troupeaux. Sur trois sites seulement, il a été observé que le piétinement du bétail déstabilisait la surface de la parcelle et en particulier celle des berges. Les linéaires de cours d'eau concernés sont très faibles.

- Parcelle surpâturée par un troupeaux équins au bords de la Bruyante sur la commune de Rouze : Libération de matériaux stockés sur les berges comprenant du sable
- Prairie humide pâturée par des bovins relativement éloignée des cours d'eau : Contribution significative de matières fines dans le plan d'eau du Laurenti par ruissellement
- Passage à gué non aménagé sur une parcelle traversée par le ruisseau de Quérigut : Déstabilisation des berges sableuses.



Figure 45 : Berge déstabilisée sur la Bruyante



Figure 46 : Passage à gué sur le ruisseau de Quérigut

A part ces quelques sites très ponctuels, il a été constaté essentiellement des pratiques pastorales extensives sur le territoire. Cet élément ne paraît pas représenter un élément accélérant nettement l'érosion sur les terrains granitiques.

3.5. Exploitation des carrières un risque limité/inexistant

Les extractions de matériaux à proximité des cours d'eau sont peu importantes en HVA. Il s'agit de carrières exploitant la roche mère.

Sur le bassin versant en amont d'Axat, il a été inventorié quatre sites encore en activité.

- Site de concassage de Dolomie (Gare de Saint Martin Lys)
- Carrière de dolomie à Sainte-Colombe-sur-Guette : deux sites dominant l'Aiguette
- Carrière de micaschiste à Puyvalador (exploitation d'une veine dure)
- Ancienne carrière des Angles : utilisée pour laver les matériaux concassés venant de Puyvalador

Les extractions de matériaux ne semblent pas introduire directement d'importantes quantités de sable. En effet, elles n'exploitent pas de gisements de granite. Toutefois, le site des Angles peut représenter une certaine menace. Il s'agit d'une ancienne carrière alluvionnaire dans le lit majeur de l'Aude. Actuellement le plan d'eau qui a remplacé le site d'exploitation sert de bassin de stockage des fines de lavage. La proximité avec le cours de l'Aude rend possible une communication entre le plan d'eau et la rivière. Il n'est donc pas exclu que ce site ait pu représenter une source de matériaux, mais actuellement aucun élément n'apparaît dans ce sens. De plus, ce secteur se situe à l'amont de la retenue de Matemale et tous les sédiments s'y retrouvent stockés et ne peuvent donc pas influencer le milieu à l'aval.

Concernant l'exploitation du gisement de dolomie à Saint Colombe sur Guette, il existe potentiellement un risque de modification importante du transport solide.

En effet, les déblais et rebus de l'exploitation de la carrière ont été déversés durant des décennies depuis la route dans le ravin. Aujourd'hui on constate des volumes énormes entreposés sur le versant rive droite de l'Aiguette (Figure 47). Une relative stabilité de ces déblais n'est assurée que par le développement

d'une végétation et par des moyens sommaires de confortement de la base (grillage). Potentiellement cela représente un risque d'arrivée massive de matériaux dans l'Aiguette pouvant modifier significativement le transport solide. Un apport diffus par ces déblais est déjà constaté. On observe à l'aval de ces remblais de nombreux cailloux blancs provenant de ce stock (Figure 48).



Figure 47 : Déblais de la Carrière de Saint Colombe sur Guette déposés au bords de l'Aiguette



Figure 48 : Lit de l'Aiguette avec cailloux issus des déblais de la carrière de Sainte Colombe sur Guette

Il convient de différencier « sédiments » et « sable ». Aussi, malgré ces quelques remarques, l'exploitation de granulats n'est pas apparue au cours de cette étude comme un élément apportant une quantité significative de sable dans l'Aude.

4. Erosion de berges : un apport en sédiment limité

Le fonctionnement naturel d'un cours d'eau fait qu'une situation d'érosion de certaines berges peut être observée. Cette situation ne semble pas particulièrement marquer le territoire étudié.

4.1. Divagation naturelle dans les secteurs plats

Les cours d'eau méandriformes ont une tendance à éroder naturellement leurs berges. Dans ce sens, les rivières puisent dans le stock d'alluvions disponible dans leur lit majeur (dont matériaux sableux).

Cette situation a été observée sur l'Aude entre Matemale et Puyvalador (Figure 5) et plus généralement sur les cours d'eau qui traversent la plaine du Capcir. Sur le ruisseau de Pailhères, cette morphologie a aussi été constatée dans un secteur. Cela représente également une source d'apport au cours d'eau mais dans des proportions très limitées.

4.2. Erosion de berges dans les secteurs torrentiels

Les phénomènes d'érosions de berge sont peu nombreux sur les cours d'eau de la HVA en amont d'Axat. Les vallées sont généralement encaissées ce qui ne permet pas la divagation du lit. Le constat a déjà été fait dans le Schéma d'aménagement de la Haute Vallée de l'Aude. Les érosions de berges sur les communes en amont d'Axat sont très ponctuelles (BRL, 2007). Le cours inférieur de la Bruyante reflète les

capacités importantes de ce cours d'eau à transporter des sédiments. Un stock d'alluvions disponibles est présent dans le lit majeur en fond de vallée. A certain endroit, il a pu être constaté des érosions de berges (Figure 49).



Figure 49 : Berge érodée sur la Bruyante aval

Cela représente aussi une source d'apport au cours d'eau mais dans des proportions très limitées.

Synthèse

La présence du batholithe granitique de Quérigut sur le bassin versant produit naturellement du sable. Il est difficile d'évaluer si la quantité de matériaux produits a évolué au cours du temps. Sur la surface concernée par l'affleurement du granite, une production diffuse a lieu. Ponctuellement des apports plus massifs peuvent être aussi constatés : construction de pistes forestières, talus routier mettant à nu le granite, mauvaise stabilité de pistes de ski,... Ces facteurs anthropiques accélèrent un phénomène déjà présent naturellement. Les constatations réalisées sur le terrain ne font pas apparaître qu'une cause anthropique prédominante soit à l'origine de l'apport en sable.

Il semble que des modifications dans certaines pratiques ont déjà permis de réduire les apports sédimentaires en excès. Mais de nouveaux modes de gestion sont peut-être à préconiser pour limiter davantage l'influence des pratiques humaines. Les apports en éléments sableux naturels sont inévitables

C/ UN TRANSIT SEDIMENTAIRE EN HVA : PERTURBE & INSUFFISANT

Cette partie s'intéresse au transit sédimentaire en Haute Vallée de l'Aude. L'objectif suivi est d'appréhender les raisons de l'accumulation de sable et de répondre à la question : *Pourquoi le sable s'accumule-t-il ?*

Dans la caractérisation de la dynamique sédimentaire, plusieurs variables influencent le transit sédimentaire (cf. Partie 1/0). Le stockage sédimentaire dans les vallées dépend des relations entre la quantité de matière produite par les versants et la capacité d'évacuation de cette matière par le cours d'eau. Pour rappel, différentes hypothèses ont au préalable été énoncées :

- ⇒ Les débits actuels sont-ils insuffisants pour qu'un transport solide ait lieu ?
- ⇒ Les modifications locales des pentes permettent-elles naturellement un stockage ?
- ⇒ Observe-t-on des modifications naturelles de l'hydrologie ?
- ⇒ Les activités anthropiques modifient-t-elles les débits ?
- ⇒ Les aménagements hydrauliques offrent-ils des conditions défavorables au transport ?

Trois principaux facteurs influençant le transport sédimentaire en HVA ont été abordés. Pente, débit et libre circulation des sédiments qui sont tous les trois dépendants de l'action de la nature et de l'homme

1. Modification du profil en long

1.1. Des rivières généralement pentues

Les cours d'eau de la Haute Vallée de l'Aude ont des profils en long de cours d'eau de montagne. C'est-à-dire qu'à l'exception de la plaine du Capcir, les cours d'eau s'écoulent dans des vallées à fond étroit (« vallées en V »). Les fortes pentes des versants alimentent le talweg en matériaux, ne laissant la place qu'à un chenal unique, non divaguant, sans plaine d'inondation. Le Tableau 8 indique les pentes moyennes calculées sur les différents tronçons de l'Aude dans la zone d'étude.

Tableau 8 : Pentes moyennes de l'Aude en HVA

Tronçon (segmentation2008)	Limites	Pente (m/m)	Pente (%)	Sources des données
T01	Du lac d'Aude à l'entrée du barrage de Matemale	0,1	10%	Bravard, 1999
T02 & T03	Entre le barrage de Matemale et le barrage de Puyvalador (Aude dans la Plaine du Capcir)	0,015	1,5%	
T11 & T12	Entre le barrage de Puyvalador et la confluence avec la Bruyante (Gorges du Carcanet)	0,05	5%	
T12 à T16	Entre la confluence avec la Bruyante et la confluence avec l'Aiguette (Gorges de l'Aude)	0,025	2,5%	
T17 & T31	Entre la confluence avec l'Aiguette et la confluence avec le Rébenty	0,014	1,4%	SMMAR 2008 d'après Profil en long SIEE 1991

T32 à T34	Entre la confluence avec le Rébenty et la confluence avec la Corneilla (à proximité de Limoux)	0,005	0,5%	
-----------	--	-------	------	--

La pente moyenne de l'Aude depuis sa source et jusqu'à Axat a été évaluée à 3,5% (Bravard, 1999). On constate que le cours de l'Aude présente des pentes moyennes supérieures à 1% à l'amont de la confluence avec le Rébenty. A partir de la confluence avec le Rébenty (précisément à l'aval des Gorges de Pierre Lys), la pente du fleuve diminue. Il perd alors son caractère de cours d'eau de montagne. La Figure 50 présente le profil en long de l'Aude dans la zone d'étude.

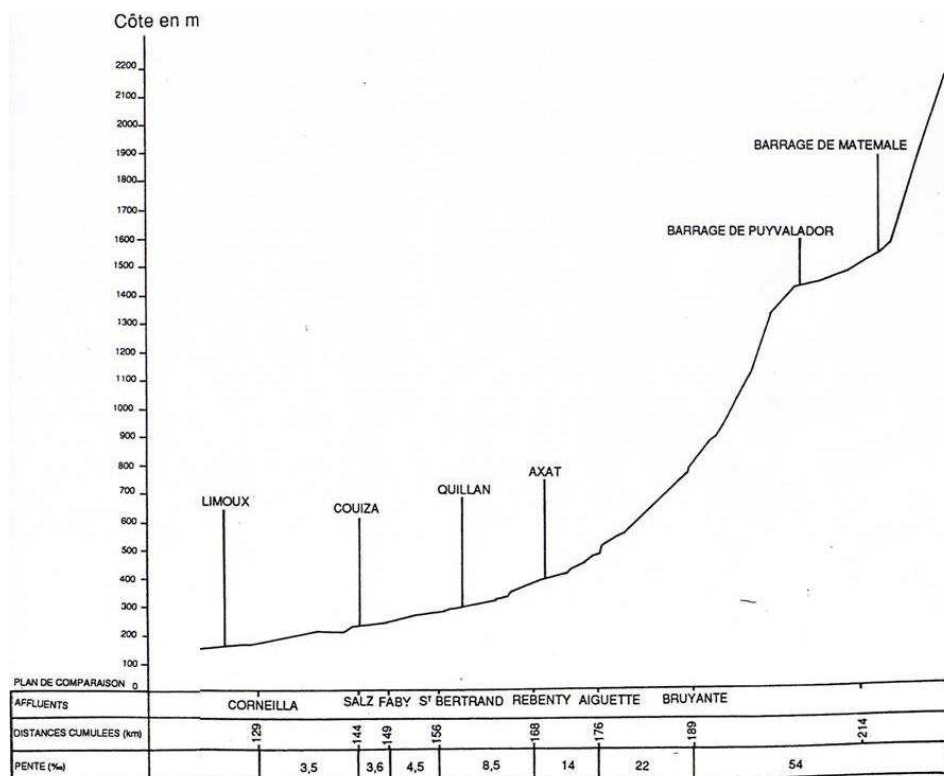


Figure 50 : Profil en long de l'Aude en HVA (SIEE 1991, modifié)

Dans des conditions complètement naturelles, l'énergie hydraulique dans les cours d'eau de montagne est suffisamment élevée (pente longitudinale > 1%) pour permettre l'évacuation de la matière ; seuls les gros blocs restent sur place (Campy & Macaire, 2005). Ce constat ne s'applique pas à la haute vallée qui voit s'accumuler des sables alors que les caractéristiques moyennes de la pente laissent penser le contraire.

1.2. Les aménagements hydroélectriques : une empreinte forte sur le profil de l'Aude

La libre circulation des sédiments est impossible en HVA. En effet, les nombreux aménagements hydrauliques ont compartimenté le réseau hydrographique. Lors des prospections de terrain (cf. Tableau 5), il a pu être constaté que globalement les ouvrages avaient des dimensions importantes, en particulier des hauteurs de chute de plusieurs mètres. Ils réduisent donc ponctuellement la pente du cours d'eau rendant la

zone à l'amont immédiat de l'ouvrage propice à l'accumulation. La mise en eau d'une retenue implique le ralentissement des écoulements et donc le dépôt des sédiments.

2. Laminage des débits

La caractérisation de l'hydrologie en HVA est un élément essentiel pour appréhender le transport sédimentaire.

2.1. Les conditions naturelles : diminution de la fréquence des crues

2.1.1. Un climat définissant le régime hydrologique

Le climat de la région est un climat de type montagnard où l'influence méditerranéenne s'atténue d'est en ouest, laissant place à l'influence océanique dans la partie occidentale du bassin versant. Plus on progresse vers l'aval et plus l'influence méditerranéenne se fait sentir. Des contrastes marquent les versants selon les expositions.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1100 mm (plus élevées sur les parties supérieures du massif du Madres. Elles atteignent leur maximum en avril/mai et septembre/décembre (station de Usson). Les déficits hydriques se situent au mois d'août (Com Pers B Le Roux).

Les températures enregistrées localement (stations de Le Pla) présentent des moyennes annuelles de 9°C vers 1000 m d'altitude avec des minimales se situant entre 1°C et 5°C, et des maximales moyennes variant de 10° à 16°C. Les précipitations neigeuses de l'ordre de 8 à 15 jours par an à 600 mètres peuvent dépasser 30 jours sur les crêtes et occasionner des cumuls importants. Le manteau neigeux recouvre le sol pendant 4 à 5 mois vers 1500 m d'altitude et jusqu'à 6 mois au-dessus de 2000 m (Com Pers B Le Roux).

Plusieurs usagers ont mentionné un déficit de neige depuis quelques années. Cela n'a pu être caractérisé scientifiquement dans cette étude.

Le régime hydrologique de l'Aude dans sa haute vallée est de type nivo-pluvial, avec des minimums en été et en hiver, un maximum en mai et une légère remontée des débits en automne (Bravard *et al*, 1999).

Il n'est pas possible dans cette étude d'établir une évolution naturelle des débits en lien avec les changements climatiques actuels et donc de lier l'augmentation de l'ensablement avec une réduction naturelle des débits. Néanmoins et comme nous le verrons par la suite, on note depuis plusieurs années l'absence de crue morphogène.

2.1.2. Dernière crue historique en HVA

Les crues majeures connues en HVA datent de 1891, 1940, 1992 et 1999. La dernière crue significative enregistrée en Haute Vallée de l'Aude a eu lieu le 2 décembre 1996. Cette crue vicennale a été écrêtée par le barrage de Puyvalador. Un débit moyen journalier de 5 m³/s a été observé à Escouloubre. Plus à l'aval, le débit a atteint 84 m³/s à Axat. Il apparaîtrait que cette crue ait remobilisé des matériaux. Il

semblerait qu'un état désensablé de la rivière ait été observé à la suite de cet évènement. Nous ne retrouvons cependant pas de données écrites. Depuis aucune crue significative n'a été observée en HVA en amont d'Axat (banque hydro) ; la crue de 1999 n'a pas eu la même importance que dans les parties aval.

2.1.3. Un couvert végétal influençant l'hydrologie

Comme évoqué précédemment, il est difficile de lier l'ensablement à une modification de l'occupation du sol. En revanche, un constat général peut être dressé sur le rôle de la forêt sur le ruissellement et donc sur l'hydrologie. Il est admis que la forêt protège le sol et favorise l'infiltration de l'eau dans le sol et le ralentissement des écoulements (Campy & Macaire, 2005). Le déboisement entraîne au contraire une hausse du débit répartie sur toute l'année (Maire *et al*, 2003).

Dans un contexte de développement du couvert forestier, il peut donc être considéré qu'il y a diminution des quantités d'eau arrivant dans les rivières au cours des évènements pluvieux. Cela peut permettre d'expliquer en partie la diminution générale de l'hydrologie.

2.2. Les aménagements hydroélectriques : des débits imposés aux cours d'eau

Les aménagements hydroélectriques ont une empreinte forte sur les débits de la Haute Vallée de l'Aude. Gérés par EDF, les équipements hydroélectriques de hautes chutes sont considérables sur le territoire d'étude. Cela représente 16 prises d'eau (5 autres prises d'eau appartiennent à des producteurs autonomes), 7 centrales hydroélectriques et 47,5 kilomètres de galeries d'amenée d'eau. Ces aménagements ont court-circuité l'Aude sur 31km.

2.2.1. Organisation des aménagements en HVA (Cartes 15 et 16)

Les aménagements sont répartis dans deux chaînes hydrauliques :

- Chaîne collectant les eaux de la « rive droite » de l'Aude. Les barrages de Matemale et de Puyvalador et les prises d'eau sur Aiguette et Clarianelle alimentent les usines de Matemale, Escouloubre et Nentilla.
- Chaîne collectant les eaux de la « rive gauche » de l'Aude : Les barrages de Grandes Pâtures et celui du Laurenti alimentent les Usines de Rouze, Usson, Gesse et Saint Georges. Usson, Gesse et Saint Georges fonctionnent également au fil de l'eau.

Les eaux du bassin versant sont stockées dans les retenues de Matemale, Puyvalador, Grandes Pâtures et Laurenti. La gestion des quantités d'eau stockées répond à trois objectifs recherchés ou induits :

- Production d'électricité : les eaux sont stockées à partir de la fin de l'hiver pour être utilisées au moment des pics de consommation d'énergie. C'est-à-dire principalement en automne et en hiver. A l'échelle de la journée, la demande en électricité varie également : la demande est importante le matin et en début de soirée. La production hydroélectrique induit une utilisation de l'eau stockée qui est restituée après avoir été turbinée au niveau des centrales.

- Ecrêtement des crues : Les barrages ont aussi une fonction de laminage des crues. Ainsi, les ouvrages ont la capacité de stocker des quantités importantes d'eau provenant de l'amont ; l'effet induit est la diminution de l'impact des crues à l'aval. Ainsi, la crue de 1996, dernière crue significative en HVA a été écrêtée par le barrage de Puyvalador. La crue observée à l'aval provient des apports intermédiaires du bassin versant.
- Soutien d'étiage : La construction du barrage du Matemale, cofinancée par le Ministère de l'Agriculture, s'est accompagnée de la signature d'une convention (1959) garantissant des volumes d'eau suffisants à l'étiage pour assurer un débit minimum satisfaisant les prélèvements pour irrigation dans les parties aval du fleuve. A travers une convention « eaux-vives » récemment reconduite, EDF s'engage aussi à réaliser des lâchers depuis l'usine de Nentilla pour permettre la pratique des sports d'eaux vives en saison touristique.

Les multiples objectifs auxquels répond la gestion hydraulique de la Haute Vallée de l'Aude induisent des modifications importantes de l'hydrologie des cours d'eau. Cet impact n'est pas récent puisque les aménagements hydrologiques ont commencé dès 1900 avec la création de l'usine de Saint Georges. A partir de 1932, les débits ont été détournés dérivant 30 km de cours d'eau avec la mise en eau du Barrage de Puyvalador.

2.2.2. Des débits mal connus

Les débits sont mal connus en HVA. Quelques stations limnimétriques permettent de caractériser l'hydrologie (Tableau 9). Le maillage de ces stations est incomplet sur l'Aude et la majorité des affluents ne dispose d'aucune station de mesure.

Tableau 9 : Inventaire des stations hydrométriques en amont d'Axat (source : Banque hydro)

Cours d'eau	Station	Surface bassin versant (km ²)	Débits Données disponibles
Aude	Puyvalador (*)	134	1948 - 2006
Aude	Escouloubre [Aval]	178	1994 - 2008
Aude	Sainte-Colombe-sur-Guette [Nentilla]	343	1995 - 2008
Aude	Belvianes-et-Cavirac	692	1914 - 2008
Bruyante	Escouloubre [Usson]	91	1994 - 2008

(*) Débit reconstitué

L'étude de ces données permet d'étudier l'hydrologie générale de l'Aude dans la zone d'étude. Mais le manque d'ancienneté pour certaines stations ne permet pas une étude précise des variations des débits, en particulier pour étudier la fréquence des débits favorables au déplacement des sédiments sableux. Aussi l'absence de données sur l'Aiguette ne permet pas de suivre l'évolution de son débit. De plus, aucune des stations existantes ne permet de caractériser l'hydrologie naturelle des cours d'eau de la HVA. L'étude optimale des débits dans les secteurs ensablés nécessiterait de disposer d'un nombre de station plus important.

2.2.3. Hydrologie modifiée de la HVA

L'hydrogramme des débits moyens mensuels permet d'observer la répartition des débits au cours de l'année. La Figure 51 montre le fonctionnement hydrologique reconstitué de l'Aude entrant dans le barrage de Puyvalador. Il est de l'ordre de 3 m³/s, il est de 13,5m³/s à Belvianes-et-Cavirac (Aval des Gorges de Pierre-Lys). Aussi, on constate que les débits les plus importants sont observés durant les mois d'avril, mai et juin. Cela correspond aux apports issus de la fonte des neiges et des pluies printanières caractéristiques d'un régime nivo-pluvial. Le restant de l'année, le débit est constant ; voisin de 2 m³/s. Bien que l'on soit en amont de la zone d'étude, cet hydrogramme représente un fonctionnement hydrologique qui subit déjà des perturbations humaines.

En effet, les débits de l'Aude entrant dans le barrage sont imposés par la gestion hydraulique du barrage de Matemale en amont. Celui-ci assure un débit réservé la majorité de l'année et augmente volontairement les débits pour remplir la retenue de Puyvalador. Il semble donc que les débits observés en novembre/décembre soient soutenus par des lâchers.

La Figure 52 montre le fonctionnement hydrologique général de l'Aude après la restitution des eaux turbinées (secteur médian de la HVA). Les débits les plus importants sont aussi observés entre avril et juin. Les mois de décembre, janvier, février et mars sont aussi des mois où le débit est relativement important. Durant cette période, les débits sont très fortement influencés par la production hydroélectrique qui restitue des quantités d'eau importantes.

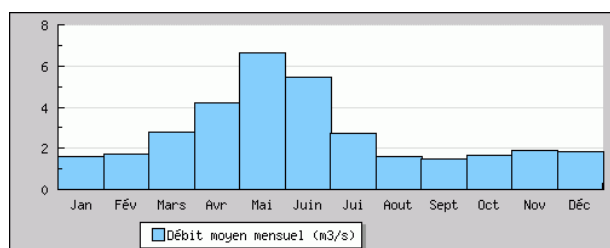


Figure 51 : Hydrogramme de l'Aude à Puyvalador (débits reconstitués, source banque Hydro&EDF)

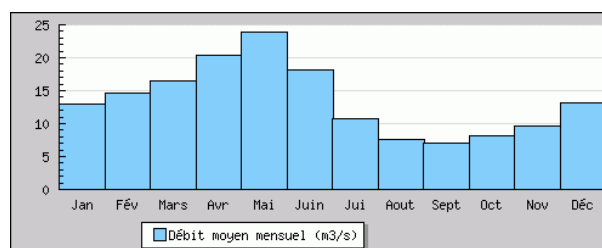


Figure 52 : Hydrogramme de l'Aude à Belvianes et Cavirac (source banque Hydro)

De manière générale, le régime hydrologique en HVA est fortement modifié par rapport à son fonctionnement originel. L'eau provenant de la tête du bassin est stockée dans les retenues de Puyvalador et de Matemale. Elle est restituée suivant les différents objectifs de gestion précédemment mentionnés une trentaine de kilomètres plus en aval au niveau de l'usine de Nentilla. Il est vraisemblable que la quantité d'eau totale qui transite dans l'Aude à l'exception des tronçons court-circuités soit identique à celle précédant les aménagements. Mais c'est la répartition des débits dans l'année qui change. Les débits sont complètement artificialisés avec une homogénéisation des variations (laminage des crues et soutien d'étiage). La Figure 53 illustre les variations intrajournalières des débits correspondant aux lâchers d'eau turbinées.

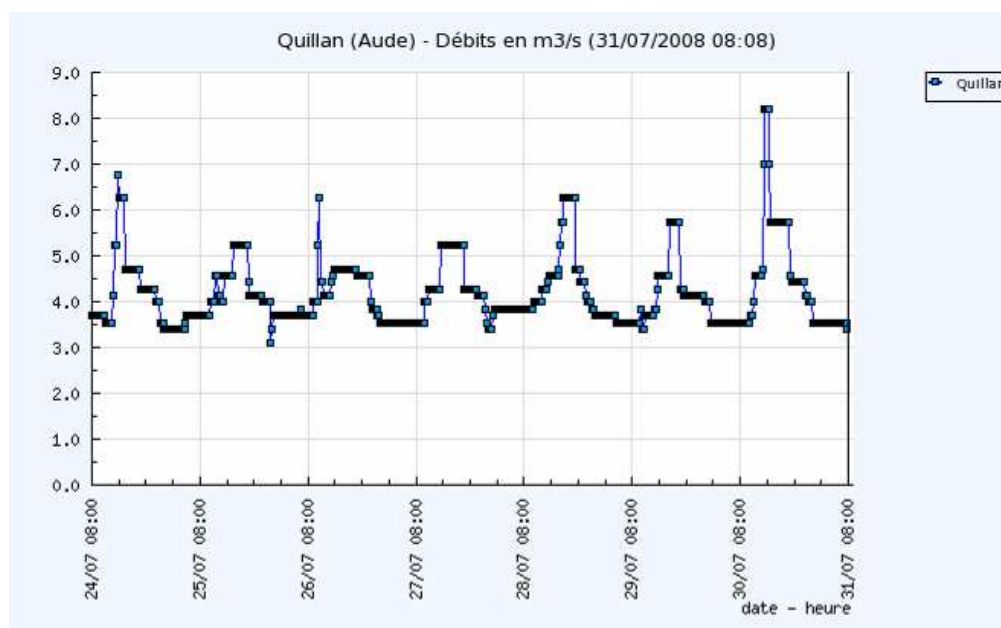


Figure 53 : Exemple de variations journalières des débits de l'Aude à l'aval des usines hydroélectriques (source Vigicrue)

Entre Puyvalador et l'usine de Nentilla, l'Aude est en débit artificialisé. Les débits sont régulés par les ouvrages se trouvant sur ce secteur (Tableau 5). A chaque prise d'eau, le débit qui a été augmenté des apports des versants, se trouve en grande partie dérivé. Il ne reste alors dans l'Aude court-circuitée à l'aval d'une prise d'eau qu'un débit réservé. Le premier ouvrage modifiant sur ce secteur le débit est Puyvalador, le dernier la prise d'eau de Saint Georges. Le linéaire du fleuve concerné est de l'ordre de 30 kilomètres.

Globalement dans ce secteur, le débit de l'Aude, hors épisodes pluvieux, est constant et reste très faible. Le régime nival ne profite pas aux tronçons court-circuités à l'aval de Puyvalador. Toute l'eau de la fonte des neiges est stockée dans les retenues. La dernière surverse du barrage de Puyvalador date de 1982 (com perso P. Ortet, ONEMA 11). Il en est de même pour les crues d'automne. L'apport d'eau dans le tronçon directement à l'aval ne peut donc venir que des apports collatéraux. A l'exception de la crue survenue en 1996, ce tronçon connaît des débits faibles et constants ne présentant que de légères variations. Le Tableau 10 illustre la chute du débit moyen interannuel dans le secteur court-circuité entre Puyvalador et l'Usine de Nentilla. (Station d'Escouloubre [Aval] et Saint Colombe sur Guette [Nentilla]). Il a été estimé que seulement 10% de l'eau transite annuellement dans le secteur dérivé.

Tableau 10 : Débits moyens interannuels en HVA (source : Banque hydro)

Cours d'eau	Station	Surface bassin versant (km ²)	Débit moyen interannuel (m ³ /s)
Aude	Puyvalador (*)	134	2,800
Aude	Escouloubre [Aval]	178	0,343
Aude	Sainte-Colombe-sur-Guette [Nentilla]	343	1,025
Aude	Belvianes-et-Cavirac	692	13,50
Bruyante	Escouloubre [Usson]	91	0,54

(*) Débit reconstitué

La contribution moyenne de la Bruyante au débit de l'Aude à l'aval de la confluence est supérieure au débit moyen annuel de l'Aude

2.2.4. Des débits globalement insuffisants depuis 1996 pour la mise en mouvement des sédiments

Les sédiments se déplacent de manière très lente en l'absence de fortes eaux. Ces mouvements sont difficilement perceptibles. Ainsi les résultats de suivi par transects réalisés entre 2006 et 2008 montrent une évolution lente de la côte du fond du lit. Certains transects montrent un comblement de quelques centimètres, d'autres indiquent un léger enfoncement du lit (Ortet & Ratineau, 2008). Cela montre qu'en l'absence de crue morphogène de légers déplacements de sédiments ont quand même lieu en HVA.

Pour la mise en mouvement des sédiments, il est nécessaire de s'intéresser aux débits de hautes eaux. Une étude a été menée sur le tronçon court-circuité par la prise d'eau de Gesse pour connaître les débits nécessaires à la mise en mouvement significative du sable (Hendrickx, 1996). S'appuyant sur des modèles mathématiques et sur des essais expérimentaux (détermination de la vitesse de déplacement des sédiments à partir de marqueurs radioactifs), il a été estimé un débit de chasse suffisant pour extraire les sédiments fins sans remobiliser les graviers.

Ainsi Hendrickx (1996) a déterminé que le débit minimum nécessaire est de l'ordre de 8 à 9 m³/s à l'aval de la prise d'eau de Gesse. Il doit avoir lieu sur une période de 1 à 12 jours pour pouvoir observer un déplacement de sable relativement important. Pour un débit inférieur à 5 m³/s, le transport solide est quasi-inexistant.

Tenant compte de ces valeurs, il a été recherché combien de fois ces débits ont été dépassés sur le tronçon de la prise d'eau de Gesse. Ne disposant pas de mesures de débit sur ce secteur, une synthèse des différents événements enregistrés depuis 1997 sur la station limnimétrique d'Escouloubre [aval] et celle de Sainte-Colombe-sur-Guette [Nentilla] a été constituée pour essayer d'évaluer si des débits suffisants ont été réunis pour mettre en mouvement les sédiments sur l'ensemble du tronçon court-circuité.

Le nombre de fois qu'un débit suffisant a été enregistré entre 1997 & 2007 a été recherché, sur les deux stations hydrométriques. La station d'Escouloubre se situe à 7,8 km en amont de la prise d'eau de Gesse. Les débits moyens journaliers supérieurs à 5 m³/s ont été recensés (débit considéré comme valeur minimale pour un déplacement des sédiments). Pour la station de Sainte-Colombe-sur-Guette qui se situe à 12,8 km à l'aval de la prise d'eau de Gesse, les débits supérieurs à 8 m³/s ont été sélectionnés (valeur correspondant à la valeur optimale de débit).

Tableau 11 : Nombre de jours où un débit suffisant a été constaté dans le secteur court-circuité (source : Banque hydro)

Année	Station d'Escouloubre [aval]		Station de Saint Colombe sur Guette [Nentilla]	
	Nombre de jour où le débit moyen journalier a dépassé la valeur de 5m³/s	Débit journalier maximal (supérieur à 5m ³ /s)	Nombre de jour où le débit moyen journalier a dépassé la valeur de 8m³/s	Débit journalier maximal (supérieur à 8m ³ /s)
1997	0	-	0	-
1998	0	-	0	-
1999	0	-	5	12,9
2000	0	-	0	-
2001	0	-	0	-
2002	0	-	0	-
2003	0	-	0	-
2004	0	-	0	-
2005	0	-	0	-
2006	1	5,48	0	-
2007	0	-	0	-

L'observation du Tableau 11 montre qu'un seul épisode de hautes eaux a vraisemblablement été capable de remobiliser une partie des sédiments sur la période 1997-2007. Il s'agit de la montée des eaux observées en 1999 (fortes précipitations) qui a délivré un débit capable de remobiliser les sédiments pendant au moins 5 jours. Le débit journalier maximum a été de 12,9 m³/s. Ce phénomène a été observé à la station de Nentilla, à l'aval du secteur court-circuité. Cet épisode n'a pas été constaté au niveau de la station d'Escouloubre.

Il apparaît donc que depuis au moins 1999, l'Aude dans son secteur court-circuité n'a pas connu de débit suffisant pour remettre en mouvement une partie des sédiments sableux accumulés.

Sur la même période, les pics de débits instantanés ont aussi été pris en compte. Pour la station de Sainte-Colombe-sur-Guette, des débits instantanés supérieurs à 8 m³/s ont été rencontrés à une fréquence relativement plus élevée (Figure 54). D'origine naturelle ou anthropique, ce sont des pics de débits relativement brefs (inférieur à 24h à l'exception de 1999) qui ont du sûrement déplacer le sable sur une distance très limitée.

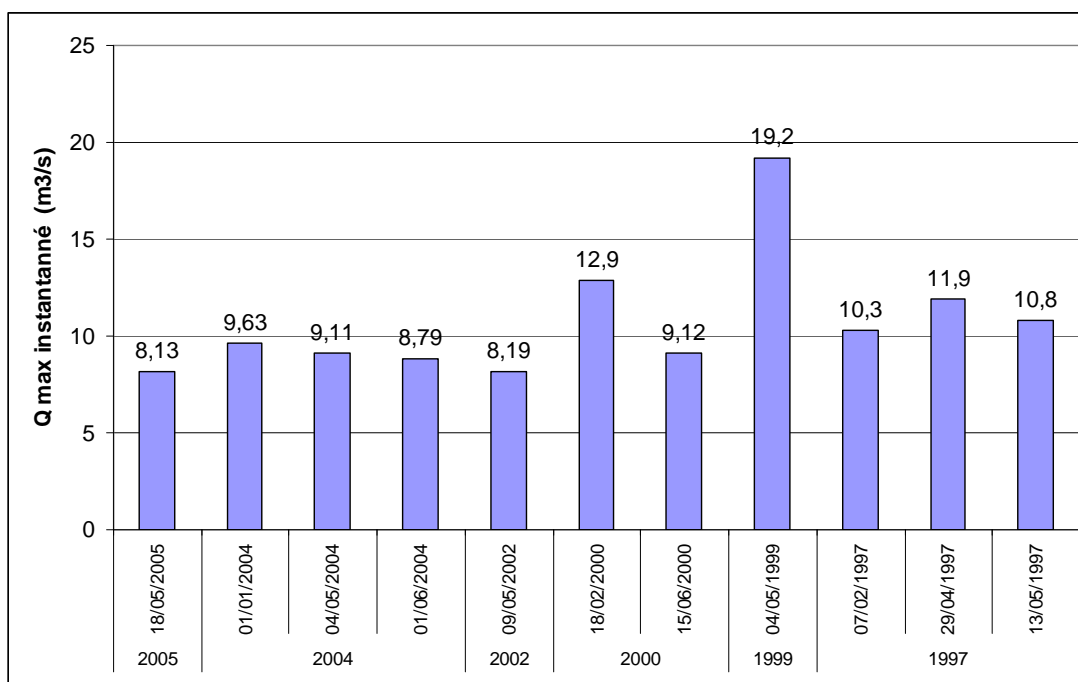


Figure 54 : Débits instantanés supérieurs à 8 m³/s enregistrés sur l'Aude à la Station de Sainte-Colombe-sur-Guette [Nentilla]

C'est un élément qui pourrait expliquer le constat de progression de l'ensablement. Ces brusques montées des eaux permettent vraisemblablement un engraissement des parties aval du secteur déplaçant le sable depuis sa zone de production vers l'aval du secteur court-circuité.

Il apparaît à travers cette caractérisation de l'hydrologie de la zone d'étude que la modification des débits en particulier dans le secteur court-circuité, influence très significativement le transport sédimentaire. Le manque de débit soutenu pendant une durée suffisante expliquerait la non-évacuation des sédiments sableux depuis 1999. Il semblerait que l'insuffisance des débits perdure depuis 1996 (Com pers Bruno Le Roux). Les brusques montées des eaux pourraient quant à elle expliquer le déplacement local de sable et son accumulation dans des sites plus en aval que leur lieu de production.

2.3. Des prélèvements humains

Les prélèvements en eau sont peu nombreux en HVA. Néanmoins, plusieurs usages utilisent une partie de la ressource : captage de sources ou pompage dans la nappe alluviale. Il s'agit de :

- Alimentation en Eau Potable
- Irrigation jardin/ agriculture/espaces verts
- Production de neige artificielle

L'utilisation de l'eau par les stations de ski semble être l'activité la plus consommatrice d'eau en HVA. On peut signaler que la production de neige artificielle sur les stations de ski nécessite une certaine quantité d'eau mais elle est négligeable par rapport aux volumes des retenues EDF. Cette eau est collectée au printemps dans des retenues collinaires en tête de bassin versant. Il a été évalué que 70% de l'eau utilisée est

restituée au milieu au moment de la fonte de la neige artificielle à la fin du printemps (Etude réalisée par les Neiges Catalanes).

3. Un flux sédimentaire discontinu

3.1. Un stockage naturel dans certaines zones du lit mineur

Naturellement certaines configurations de la rivière sont propices au stockage des matériaux. Ainsi certains faciès d'écoulement sont généralement plus favorables à l'accumulation de sables. C'est lorsque l'écoulement se trouve ralenti qu'un dépôt est possible. C'est ce qui explique que les dépôts massifs soient plus importants dans les faciès de mouille que dans les faciès de seuil : constat réalisé en HVA par Bravard *et al* (1999). Ponctuellement d'autres sites du lit mineur sont aussi propices aux dépôts. Il s'agit des sites abrités à aval d'un obstacle comme un rocher ou un bloc. A la décrue ces objets garantissent des zones de calme où les sables vont se déposer. Des sédiments sableux peuvent aussi s'être déposés dans les interstices des autres sédiments. Dans des conditions naturelles, les débits morphogènes permettent une remobilisation des sédiments stockés.

En l'absence de montée des eaux, un phénomène d'engraissement des bancs de sable peut être observé, en particulier au niveau des bancs abrités derrière un obstacle. Si les conditions hydrologiques ne sont toujours pas réunies pour remobiliser les sédiments, une végétation va s'installer fixant durablement les dépôts. Ces cas ont été observés en différents secteurs. En particulier dans le secteur des Gorges du Carcanet où de nombreux atterrissements végétalisés sont rencontrés dans les zones abritées par des rochers.



Figure 55 : Atterrissement végétalisé dans l'ancien lit mineur de l'Aude (Gorges du Carcanet)

3.2. Les barrages : des sites d'accumulation

3.2.1. Comment une zone de stockage peut-elle devenir une zone d'apport ?

En plus de leur impact sur l'hydrologie, les barrages et prises d'eau constituent des sites propices à l'accumulation des sédiments. Malgré les difficultés d'observation de l'état sédimentaire des barrages dûes à leur profondeur, il peut être considéré que les ouvrages offrent des sites favorisant l'accumulation des sédiments.

Du fait de leurs dimensions, les prises d'eau de Gesse et de Saint Georges sont considérées comme des sites privilégiés pour bloquer le transit sédimentaire qui a lieu dans le secteur court-circuité.

3.2.2. Mode de gestion des barrages hydroélectriques

Au cours des vidanges ou des mises en transparence de certains ouvrages, les quantités stockées peuvent être transportées massivement vers l'aval. Ainsi ces ouvrages qui ont pu stocker pendant de nombreuses années des sédiments, deviennent alors des zones d'apport en sédiments pour les secteurs situés en aval.

Cependant, le Tableau 5 rappelle les principales informations sur la gestion des ouvrages qui ont pu être collectées. Pour les ouvrages relativement importants, la gestion des sédiments se fait de manière très rigoureuse. A l'inverse sur des petites prises d'eau, un accord convenu entre EDF et les services de l'état permet de réaliser de petites chasses dès que cela est jugé nécessaire par l'exploitant.

La dernière gestion importante des ouvrages hydrauliques a eu lieu en 2005. Il s'agit de la mise en transparence du barrage du Laurenti avec l'effacement des prises d'eau de Gesse et de Saint Georges. Aucun apport conséquent d'éléments sableux venant de cette retenue n'a été constaté. En revanche, un départ de sédiments plus fins a eu lieu (pic de matières en suspension de 23 g/l) et a eu des conséquences significatives sur le milieu naturel.

Avant cela, la vidange du barrage de Puyvalador en 1995 a aussi été particulièrement surveillée. Par crainte d'un apport massif de sédiments sableux et de vase à l'aval du cours d'eau, un suivi sédimentaire à l'aval du barrage a été réalisé. Même si Hendrickx en 1996 n'exclue pas que la vidange ait pu apporter un peu plus de sédiments dans le tronçon déjà ensablé, il n'apparaît pas que les quantités mises en jeu aient été réellement importantes. Ainsi Dulac et Lentillon (1995) estiment que la vidange qui a été précédée d'une chasse n'a pas modifié le recouvrement sédimentaire dans la majorité des stations qu'ils avaient étudiées. En revanche, ils notent pour les stations situées dans les gorges du Carcanet une tendance à l'accumulation de vase surtout dans les zones abritées et dans la végétation aquatique. La vidange de Puyvalador ne semble pas avoir introduit de matériaux sableux dans le secteur court-circuité mais plutôt des matériaux plus fins.

Des essais de curage ont été réalisés sur les prises d'eau de Gesse (2005) et de Saint Georges (2004). Les quantités retirées sont apparues relativement faibles par rapport aux quantités totales de sédiments accumulés. D'ailleurs, l'état de comblement initial a très vite été retrouvé. Il semblerait donc que les quantités de sables prélevées n'aient pas été assez importantes.

La gestion des ouvrages hydroélectriques est délicate vis-à-vis du milieu aquatique. En effet, en cas de chasse, de vidange ou de mise en transparence, une partie des sédiments peut être brutalement déversée à l'aval de l'ouvrage. La gestion des ouvrages peut donc potentiellement amener à une modification du transport solide.

Suivant la dimension de l'ouvrage et suivant les cours d'eau qu'ils collectent, l'accumulation dans la retenue est différente. Ainsi, le barrage de Matemale qui recueille les eaux d'un bassin versant, relativement

petit par rapport à la surface de sa retenue, présente une accumulation relativement plutôt faible. A l'inverse le barrage du Laurenti qui collecte les cours d'eau riches en sables du massif de Quérigut est proche du comblement.

3.2.3. Quantification des volumes

Il n'a pas été possible de quantifier dans cette étude les volumes de sédiments accumulés au niveau des barrages et des prises d'eau.

Quelques données ont pu être collectés dans la bibliographie. La vidange de la prise d'eau de Saint Georges (2006) a occasionné le départ de près de 200 m³ de sable (Ortet & Ratineau, 2008). Concernant la prise d'eau de Gesse, une estimation du volume de sédiment a réalisée en 1996 (Hendrickx) : 15 000 m³.

Synthèse

La HVA naturellement possède jusqu'à l'aval d'Axat les caractéristiques d'un cours d'eau de montagne. Le fonctionnement qui est généralement associé à ce type de rivière est celui d'une rivière à forte énergie capable de transporter vers l'aval les matériaux érodés, en particulier les sables. Cette dynamique n'est pas observée en HVA, en particulier dans le secteur court-circuité entre le barrage de Puyvalador et l'usine hydroélectrique de Nentilla. Les aménagements hydroélectriques de la HVA, ont complètement modifié l'hydrologie naturelle. On peut considérer que le secteur court-circuité a un débit artificialisé depuis 1932.

Il ne connaît plus de débit de hautes eaux capables de mettre en mouvement les sables accumulés depuis au moins 1996.

La rivière n'assure donc plus un transport solide suffisant. Le bilan entre arrivée de matériaux et exportation de sédiments conduit à une accumulation des sédiments dans le tronçon court-circuité et dans les prises d'eau.

Cet élément paraît être une caractéristique fondamentale expliquant l'ensablement en HVA. Le sable s'accumule au départ dans les sites les plus favorables (mouilles, secteurs abrités) mais sa présence est aussi constatée dans les zones plus courantes.

D/ LES LITS MINEURS DE LA HVA A LA RECHERCHE D'UN NOUVEL EQUILIBRE

Dans cette partie, il est abordé l'ensablement comme une adaptation du lit aux conditions hydrologiques imposées. Il est ensuite présenter l'état sédimentaire de la HVA.

1. L'ensablement une des manifestations de l'évolution des cours d'eau

1.1. Du constat de l'ensablement vers un diagnostic général de l'équilibre du cours d'eau

Le problème de l'ensablement peut être analysé en remplaçant plus généralement l'excès de sable dans la dynamique sédimentaire du fleuve. Les cours d'eau cherchent constamment à trouver un équilibre entre débit solide et débit liquide (principe de l'équilibre dynamique évoqué dans la Partie 1 / 2.4).

En réponse à un changement imposé par des contraintes externes, qu'elles soient de type climatique ou anthropique, le système géomorphologique évolue plus lentement (échelle de la dizaine d'années) que l'hydrologie. Il en découle que les conditions extérieures changent plus vite que le retour à l'équilibre du système (Bravard & Petit, 2000). Les variables d'ajustements de la morphologie du lit à une modification du débit sont :

- Le stock de sédiments (accumulation ou transport)
- La largeur du chenal d'écoulement

Ainsi, il est vraisemblable que l'impact de l'aménagement de la HVA (régulation des débits depuis le début du XX siècle) ne puisse se ressentir dans le transit sédimentaire que depuis une dizaine d'années. La perception de l'ensablement par les usagers a commencé au cours des années 1990.

En règle générale, les aménagements pour l'alimentation des centrales hydroélectriques par conduites forcées ont généralement assez peu d'incidence sur la dynamique fluviale car les **écoulements de crues permettent de revenir à une situation initiale** (Campy et Macaire, 2003). Malheureusement, il semblerait, dans le cas de la HVA, que **l'absence depuis plusieurs années** de crue fasse apparaître l'impact de la réduction des débits sur la morphologie du lit mineur.

1.2. Extraction en lit mineur : une pratique « masquant » l'évolution des cours d'eau

1.2.1. Une activité du passé

Depuis un arrêté du 22 septembre 1994, les extractions dans le lit mineur des cours d'eau sont interdites. Actuellement, il n'existe plus de prélèvement d'alluvions directement dans le lit vif.

La décision de l'interdiction de ce type d'extraction découle de la mise en évidence d'impacts importants qui ont profondément modifié le fonctionnement des cours d'eau. Différents impacts potentiels ont été identifiés (SDAGE RMC, Décembre 1996) :

- **Impact sur le milieu physique** : Abaissement de la ligne d'eau (augmentation de la pente, érosion régressive liée au déficit dans le débit solide, apparition des seuils rocheux, dommages sur les fondations des ouvrages)
- **Impact sur la qualité des eaux** : déstructuration de l'habitat aquatique, destruction de sites privilégiés de reproduction ou de refuge pour les poissons, accélération de l'eutrophisation, diminution des capacités d'autoépuration, création d'obstacles difficilement franchissables, augmentation de la turbidité de l'eau préjudiciable à l'ensemble des usagers.

Avant son interdiction, cette activité était présente sur l'Aude. Différents sites ont été inventoriés sur le fleuve en amont de Limoux par la DRIRE (Tableau 12).

Tableau 12 : Inventaire des sites d'extraction dans le lit mineur de l'Aude en amont de Limoux

Date de référencement	Commune	Entreprise
17-02-1975 / 08-11-1979	Belvianes-et-Cavirac (« Les Boutoureilles »)	Ventura J.
30-03-1976	Belvianes-et-Cavirac	Ets Jordan
07-09-1972 / 24-04-1978	Quillan (« Les Marides »)	Ets Jordan
05-07-1974 / 19-05-1979	Campagne-sur-Aude / Quillan (« La Plaine »)	Ets Jordan
01-09-1978	Campagne-sur-Aude (« Roquecave et les Bains »)	Ets Jordan
07-11-1972	Espéraza (« Le Village »)	Ets Jordan
24-04-1978	Espéraza / Couiza / Montazels (Ruisseau Fa et Antugnac)	Ets Jordan
12-06-1973	Montazels (« l'Ile »)	Grocelle Pierre
31-05-1976	Alet-les-bains	Equipement
19-09-1972	Limoux / Cournanel (« Maynard, Vernet »)	SARRAZY & fils
17-02-1975	Limoux/ Cournanel	S.A. Ets Patebex
Sources : Archive DRIRE 11 & SIEE 1992		

Les informations disponibles sur ces sites sont relativement limitées. Néanmoins, elles permettent de localiser les zones qui ont été exploitées. Ainsi, au vu des données recueillies, il semblerait que les extractions se situaient sur l'aval de la HVA : entre Belvianes-et-Cavirac et jusqu'à Limoux. En amont de ce secteur, il semblerait donc qu'il n'y ait pas eu de prélèvement dans le lit mineur.

Aucune étude ne s'est spécifiquement portée sur l'impact des extractions en HVA. Néanmoins, il est possible d'émettre quelques hypothèses pour lier transport solide et prélèvements en lit mineur.

1.2.2. Une activité retardant l'évolution des cours d'eau

Il peut être supposé que la présence de sites d'extraction de matériaux à partir de Belvianes-et-Cavirac a pu retarder l'apparition des signes d'évolution des cours d'eau : dépôts de sédiments.

En effet, ces pratiques visant à extraire du sable et des graviers du lit des cours d'eau, réduisaient les quantités de sédiments transitant dans la rivière. Ainsi, il peut être considéré que la quantité de sédiments qui ne pouvait plus être déplacée par l'énergie du fleuve, était soustraite par l'activité humaine.

C'est peut être une explication à l'impression de progression du phénomène vers l'aval, observé par de nombreux acteurs. Depuis l'arrêt de ce type cette extraction, la rivière semble s'adapter à la diminution des débits de crue (cause naturelle et/ou due à l'hydroélectricité). Ceci n'était peut être pas visible auparavant.

Il peut être cité en exemple des accumulations signe du dysfonctionnement sédimentaire :

- Engravement de la traversée de Belvianes-et-Cavirac
- Apparition de bancs de sable entre Campagne-sur-Aude et Alet-les-Bains

A travers les entretiens, il est apparu qu'une des solutions proposées par les acteurs locaux, était la reprise partielle des extractions dans le lit mineur. Considérant que lorsqu'il y avait des extractions, il y avait moins d'accumulation de sédiments à l'aval de Belvianes-et-Cavirac. La reprise de cette pratique ne paraît pas adaptée pour solutionner l'ensablement. En plus de son interdiction par la loi, cette action « curative » ne permettrait pas de résoudre durablement le dysfonctionnement sédimentaire. De plus, les excès de cette pratique ont conduit à la dégradation du milieu aquatique et aux usages qui lui sont liées comme cela a été cité précédemment.

2. Trois types d'évolution de lit mineur observés en HVA

L'accumulation de sable semble être une conséquence de la réadaptation du milieu aux contraintes hydrologiques imposées. L'ensablement n'est qu'une des conséquences du dysfonctionnement sédimentaire. En fonction du style fluvial, différentes évolutions de la géométrie du lit mineur peuvent être observées. Il peut être formulé des hypothèses sur les réponses du style fluvial à la perturbation de la dynamique sédimentaire. Ces différentes réponses sont fonction des caractéristiques locales du lit mineur et des conditions de contrôle des apports.

2.1. Incision du lit et érosion de berges

Ce cas peut s'observer à l'aval immédiat d'un barrage quand débit liquide et apport de sédiments sont fortement réduits. Débarrassées d'une grande partie de leur charge solide, les eaux ont une capacité d'érosion accrue. En l'absence d'apport en sédiment, le lit tend donc à s'inciser dans les plaines alluviales afin de retrouver une charge sédimentaire (Campy & Macaire, 2003). Cela implique l'augmentation de l'érosion des berges. Cette configuration n'a pas de lien direct avec l'ensablement.

Entre le barrage de Matemale et celui de Puyvalador, le lit du fleuve semble avoir cette caractéristique. L'Aude présente un cours peu pentu, méandriforme et privé à la fois d'une partie de son débit initial et de sédiments (impact du barrage de Matemale et apport intermédiaire quasi inexistant).

Sur ce secteur, il a pu être observé une divagation de la rivière relativement prononcée avec une érosion des berges concaves (Figure 5, page 22). La rivière cherche à retrouver une partie de sa charge sédimentaire manquante. Il est vraisemblable que l'activité érosive de l'Aude persiste à l'avenir tant verticalement qu'horizontalement.

2.2. Réduction de la largeur du lit

Ce cas semble s'observer lorsque réduction des débits et apports de sédiments ont modifié la dynamique originelle.

L'Aude court-circuitée à l'aval de Puyvalador est privée de son débit qui ne peut se reconstituer qu'avec les apports collatéraux. Cet ouvrage isole le fleuve des sédiments issus de l'amont. En revanche ce secteur reçoit les apports sableux des versants et des affluents.

L'écoulement se fait dans un chenal emboîté dans le lit primitif surdimensionné. Différents cas ont été observés suivant la pente du cours d'eau (Figure 56).

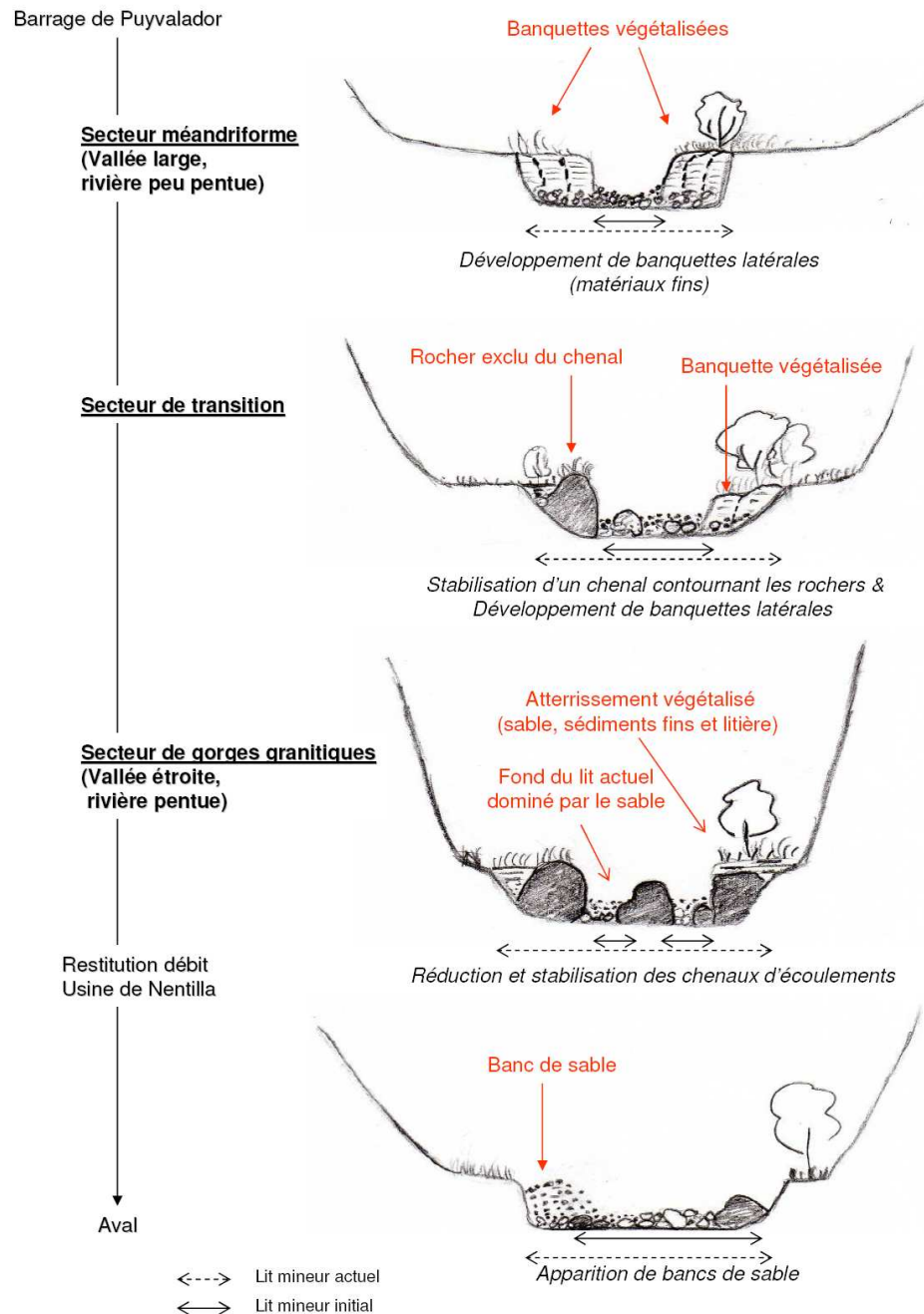


Figure 56 : Schéma des différents types d'évolution du lit en HVA (profil en travers)

2.2.1. Banquette végétalisée

A l'aval immédiat de Puyvalador, avant son entrée dans les gorges du Carcanet, l'Aude a un débit égal au débit réservé et semble recevoir uniquement des particules fines comme sédiments. Les matériaux grossiers encore présents ont vraisemblablement été déposés avant la construction du barrage.

En réponse à la constance du débit, le chenal unique initialement présent semble s'être adapté au débit imposé depuis de nombreuses années. Ainsi on observe des banquettes végétalisées sur les deux berges du lit. Ce constat a déjà été fait par Bravard *et al* en 1999.

Plaine du Capcir



*Colonisation par de la végétation
arbustive (saules)*



*Progression du phénomène à
certains endroits*

Transition entre Plaine du Capcir et Gorges du Carcanet



*Banquette végétalisée et colonisation végétale sur
les blocs*



*Nouveau chenal d'écoulement qui contourne les
blocs*

Figure 57 : Réduction du lit par formation de banquette végétalisée

2.2.2. Aude dans les Gorges du Carcanet

Dans les gorges du Carcanet, le cours d'eau a les caractéristiques suivantes :

- Vallée étroite et pentue
- Présence de rochers qui divisent l'écoulement dans plusieurs chenaux
- Apport des versants : Sable et litière (feuilles mortes)

En réaction à la diminution du débit, le lit mineur se réduit.

Les rochers créent des zones abritées favorables à la sédimentation. Avec la diminution des débits, il y a dépôts des sédiments transportés : tout d'abord le sable, puis les matières fines et litière. En l'absence de hausse de débit conséquente, l'accumulation progresse, jusqu'à ce que l'atterrissement devienne émergé. A partir de là, une colonisation par la végétation est possible. Celle-ci va permettre la stabilisation durable des zones émergées.

L'écoulement ne se fait plus que dans quelques chenaux contournant les rochers. Le recouvrement du lit vif est dominé par les sables.



0 - Rochers nombreux orientants les écoulements, nombreux chenaux



1 - Dépôt de sable dans une zone calme



2 - Dépôt sur le sable de sédiments fins et colonisation végétale



3 - Apparition de nouveaux chenaux d'écoulement et développement de la végétation



4 - Stabilisation des atterrissements par une végétation arbustive dans l'ancien lit et stabilisation du tracé des chenaux



Rocher recouvert de litière (ne se situe plus dans le chenal d'écoulement)

*Modification du recouvrement sédimentaire du lit : Chenaux contournent les rochers et les particules grossières (recouverte progressivement)
Le lit se compose principalement de sables*

Figure 58: Les différentes phases d'évolution du lit mineur dans les gorges du Carcanet

Ce phénomène est une manifestation du cours d'eau qui cherche à retrouver un équilibre sédimentaire adapté aux conditions hydrologiques qui lui sont imposées. Les sables occupent une place importante dans ce secteur puisque c'est le seul sédiment qui arrive dans le système. A l'inverse, les autres substrats présents en quantité limitée voient leur proportion diminuer au profit des sables.

2.3. Apparition et fixation de bancs

A partir de la restitution de Nentilla, l'Aude retrouve du débit au grès des lâchers. Les hausses de débit, surtout lorsque lâcher et épisode pluvieux sont concomitant, permettent un déplacement de matériaux. Depuis plusieurs années, il apparaît des dépôts de sables dans le lit (Figure 59 & Figure 61). En l'absence d'une intensité de crue suffisante, les bancs persistent dans le temps. Au fur et à mesure, leur stabilité s'améliore par le développement de la végétation (Figure 60). Si cet état persiste, une végétation arborée peut venir coloniser l'atterrissement rendant le retour à un état initial très difficile.



**Figure 59 : Dépôt récent de sable à l'aval d'un épis
(Aude à Axat)**



**Figure 60 : Banc de sédiments sableux et grossiers
en cours de végétalisation (Aude à l'amont de
Quillan)**



Figure 61 : Dépôt de sable sous le pont de Campagne-sur-Aude

A l'aval de la restitution des débits, les signes d'un dysfonctionnement sédimentaire en particulier ensablement sont moins marqués.

2.4. A-t-on atteint l'état d'équilibre ?

En HVA, il semblerait donc que le milieu naturel s'adapte aux conditions imposées. Dans l'éventualité où les conditions resteraient identiques à celles actuelles et qu'aucune crue ne vienne remettre à neuf le lit, on peut se poser la question : A-t-on atteint l'état d'équilibre qui permettra de trouver un nouveau chenal adapté ?

Il paraît difficile d'estimer le temps nécessaire à l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre. Le temps de réaction des variables sédimentaires est très lent. L'état d'équilibre supposé correspondrait à l'adaptation de la largeur du ou des chenaux d'écoulement au débit imposé :

- Stabilisation du tracé du chenal d'écoulement
- Comblement des zones de calme (dépôts successifs de sables, matières fines & matière organique)
- Colonisation par la végétation (herbacée, arbuste, ripisylve adulte).

Au vu de la constance des débits depuis de nombreuses années, on peut supposer que l'état d'équilibre à l'aval immédiat de Puyvalador est atteint. La largeur du lit s'est adaptée au débit réservé, des banquettes latérales stables délimitent un nouveau chenal.

Dans les gorges du Carcanet, il est difficile d'estimer si le lit peut encore évoluer. On peut supposer néanmoins que l'évolution dans ce secteur soit le passage d'un cours d'eau de style en tresses à un chenal unique serpentant entre les rochers. Cela s'accompagnerait de la création d'îles et l'apparition d'une ripisylve importante.

L'ensablement des parties plus à l'aval (Escouloubre à Nentilla) serait en quelque sorte la première manifestation de l'évolution. Il peut être envisagé à terme la progression vers l'aval de l'état observé dans le Carcanet. Mais il est très difficile de prévoir le temps de réaction du phénomène.

A l'aval de Nentilla, les lâchés entretiennent en partie le lit. Seul des bancs avec une végétation herbacée semble pouvoir s'installer. Si les conditions hydrauliques actuelles persistent, il paraît difficile d'observer un lit identique à celui présent dans le Carcanet.

Dans l'éventualité de l'atteinte de l'état d'équilibre sur certains secteurs, le problème de l'évacuation des débits de hautes eaux pourrait se poser. La largeur du lit réadapté serait peut être insuffisante.

3. Interprétation des résultats : l'état d'ensablement de la HVA

A travers les différents éléments étudiés, il est possible de dresser un état des lieux de la dynamique sédimentaire de l'Aude et de ses affluents dans la Haute Vallée de l'Aude.

3.1. Amont de Matemale

En amont de Matemale, l'Aude traverse des terrains propices à l'altération des arènes granitiques qui la chargent naturellement en sable. Le cours d'eau ne peut pas pour autant être jugé comme ensablé. Une bonne répartition des classes granulométriques a été constatée. A l'exception de l'introduction potentielle de fines de lavage par la carrière des Angles, le secteur est épargné par les aménagements anthropiques.

Le rec de Cirers se jette directement dans le lac de Matemale. Dans sa partie amont, ce cours d'eau traverse une partie du domaine skiable des Angles. Malgré des actions pour limiter l'apport de matériaux dans ce cours d'eau, il semblerait que les apports antérieurs soient à l'origine de son excès de sable. C'est le seul cours d'eau soumis à l'impact des pistes de ski.

Quelque soit la quantité de sable qui transite dans le réseau hydrographique à l'amont de Matemale, cette retenue la stocke entièrement. Cette discontinuité dans le transit sédimentaire isole ses sédiments du reste de la zone étudiée.

3.2. Entre Matemale & Puyvalador

Entre ces deux retenues, l'Aude est privée des sédiments venant de l'amont. L'apport de sable se fait exclusivement par érosion des berges dans cette partie méandreuse de l'Aude (divagation dans des dépôts alluvionnaires). Le débit régulier imposé à l'Aude dans cette partie réduit sa dynamique naturelle. Malgré tout, les zones d'érosion observées sont des indices qui montrent que la rivière cherche à retrouver sa charge sédimentaire. Mais ces apports ponctuels ne semblent pas nuire au recouvrement sédimentaire. Ce secteur ne présente pas d'excès de sable et n'est donc pas considéré comme ensablé.

Les petits affluents rive droite comme le rec de l'Homme Mort proviennent du massif granitique du Madres, ils ont un recouvrement sableux relativement important. Cette charge sédimentaire naturellement riche en sable se stocke dans la retenue de Puyvalador.

Ne drainant pas des terrains sableux, le Galbe et Lladure sont deux affluents majeurs qui se jettent dans la retenue de Puyvalador. Ces cours d'eau épargnés par les aménagements anthropiques sont composés de sédiments grossiers (cailloux et pierres principalement). Bloqués dans le barrage de Puyvalador, les sédiments, qui soient sableux ou grossier ne peuvent plus alimenter l'Aude à l'aval.

3.3. Aval de Puyvalador & jusqu'à la confluence avec la Bruyante

Sur le premier segment, le cours d'eau se situe entre dans la Plaine de Capcir. Face à ce débit qui lui est imposé, la rivière présente des marques d'ajustement de son lit. En effet, des banquettes végétalisées se sont développées afin de réduire le lit mineur. Une matière fine d'origine essentiellement organique se dépose sur les marges du lit mineur. Dans le chenal d'écoulement ainsi rétréci, il a été constaté la présence de sable. Mais il n'a pas été inventorié à proximité un site d'apport qui pourrait expliquer son arrivée récente.

A l'aval immédiat de Puyvalador, l'Aude s'engage dans les gorges du Carcanet. Le débit imposé est très faible variant entre 0,150 m³/s à 0,075 m³/s (débit réservé). Les versants pentus et granitiques

apparaissent comme la source principale de sable. Des pistes forestières et des talus de routes accélèrent ponctuellement l'érosion du batholithe granitique.

Malgré un cours d'eau encaissé riche en rochers et gros blocs, un excès de sable est marqué par rapport aux granulométries plus grossières (graviers, cailloux, pierres). L'absence de débit suffisant pour remobiliser les sédiments depuis 1996 laisse penser que les sables s'accumulent depuis cette date. Il apparaît une stabilisation progressive des atterrissements signe de la recherche d'un état d'équilibre du point de vue sédimentaire. Néanmoins un déplacement de sable doit quand même avoir lieu puisque l'on retrouve des quantités importantes de sable piégées plus à l'aval.

Deux éléments semblent expliquer la présence de sédiments fins dans ces gorges : la décomposition des débris végétaux issus des versants boisés et l'apport de matériaux fins, type vase, lors de la vidange du barrage de Puyvalador en 1995.

3.4. Entre la confluence avec la Bruyante et l'usine de Nentilla

Ce secteur est globalement marqué par un ensablement prononcé. Certains faciès d'écoulement sont quasi exclusivement constitués de sables sur une couche importante et homogène. La relative diminution de la pente mais surtout le déficit des débits (dérivation des débits pour la production hydroélectrique) explique que ce secteur soit propice à l'accumulation.

Les prises d'eaux présentes sur ce secteur, en particulier celle de Gesse et celle de Saint-Georges, sont des zones importantes de stockage de sable.

Les versants de ce secteur ne produisent pas de sable en quantité importante. L'excès de sable est donc amené par le réseau hydrographique amont :

- Aude dans les Gorges du Carcanet
- Apport sédimentaire de la Bruyante.

3.5. Aval Nentilla

A partir de l'usine de Nentilla, l'excès de sable n'apparaît pas dans le lit mineur. Néanmoins, il ne disparaît pas complètement. Il est observé fréquemment dans les interstices des sédiments grossiers et des dépôts en banc. Ce secteur ne produit plus de sable. L'apport vient de l'amont de l'Aude mais aussi de l'Aiguette.

Dans ce secteur, l'Aude est soumise à une gestion hydraulique par lâchers. Le débit de l'Aude n'est donc plus seulement un débit réservé augmenté de quelques apports collatéraux. Elle voit évoluer son débit au gré des lâchers d'eau turbinée provenant des usines hydroélectriques de Nentilla et de Saint-Georges. Cela conduit à des pics assez bref de débits qui empêchent l'accumulation de sable dans des proportions aussi importantes que celles constatées dans les 30 km en amont.

D'un point de vue de la dynamique sédimentaire, il paraît tout à fait intéressant de constater l'apparition à l'aval de Quillan des bancs de sable. Cela indique que malgré l'absence ces dernières années de crues capables de remobiliser l'ensemble du sable accumulé, certaines hausses de débits ont tout de même

pu transporter une partie des sédiments accumulés vers des secteurs plus à l'aval. Cette présence de sable vers l'aval peut être perçue par certains comme une progression du phénomène d'ensablement vers l'aval. En l'absence de suivi du phénomène, il n'a pas été possible d'observer l'évolution de la limite aval du phénomène. Cependant, ce sable est le signe que malgré la régulation des débits par les aménagements hydroélectriques, l'Aude retrouve parfois une dynamique sédimentaire exportatrice de sédiments comme cela doit être le cas dans les cours d'eau de montagne.

3.6. Les affluents

La présence de sable dans les affluents est encore une fois liée au massif granitique. Les affluents qui drainent cette lithologie présentent globalement un recouvrement sableux relativement important et en déséquilibre avec les granulométries plus grossières (Aiguette, Clarianelle, Aguzou,...). A l'inverse, les cours d'eau traversant les calcaires et marnes noires sont eux composés principalement de sédiments grossiers (Graviers, Cailloux, Pierres). La Lladure et le Galbe appartiennent à cette catégorie relativement épargnée par les aménagements anthropiques. Ils ont gardé l'aspect de torrents de montagne. Un transit sédimentaire important se réalise en particulier sur le Galbe (pierres, cailloux).

Suivant leur place dans le réseau hydrographique, les affluents participent différemment au transport sédimentaire en HVA.

En effet, quelque soit les sédiments qu'ils transportent, les affluents à l'amont des barrages Puyvalador, Matemale et du Laurenti sont déconnectés sur reste du réseau hydrographique. Les sédiments se retrouvent stockés dans les retenues, privant ainsi l'aval de ces sédiments. Il est regrettable que le secteur aval du Carcanet qui ne reçoit de ces versants que des apports en sable, ne bénéficie plus de sédiments grossiers pouvant provenir du Galbe.

3.6.1. L'Aiguette

L'Aiguette et ses affluents, qui drainent dans leur partie amont le massif granitique de Madres, présentent un recouvrement sableux non négligeable. Les aménagements anthropiques (pistes forestières) sur ce massif forestier contribuent significativement à l'augmentation des apports en sables. En cas de hausse de débit (difficile à évaluer en l'absence de données), ce sable peut être transporté jusqu'à l'Aude. Dans ce cas, l'apport n'aura pas lieu dans le secteur le plus ensablé de l'Aude mais à l'aval, puisque la confluence avec l'Aiguette se situe au niveau de l'usine de Nentilla.

Des évènements climatiques localisés comme celui survenu en mai 2008 sur le bassin de l'Aiguette pourraient contribuer à l'apport de sable dans les parties aval de l'Aude où il est constaté depuis plusieurs années l'apparition de bancs de sables.

La Clarianelle avant la confluence avec l'Aiguette a son débit dérivé. Il apparaît à l'aval de la prise d'eau une accumulation problématique de sable qui déstructure ses habitats aquatiques. Il semble que la

conjonction entre évènement pluvieux brutal, mise en transparence de l'ouvrage et apport accéléré par les aménagements forestiers à proximité explique ce constat.

3.6.2. La Bruyante

La Bruyante est le seul affluent qui peut apporter dans le tronçon court-circuité des sédiments en quantités importantes et des débits soutenus. La charge sédimentaire est très hétérogène. Mais l'artificialisation de son débit ne permet plus depuis plusieurs années un déplacement massif des sédiments qui pourrait recharger l'Aude en sédiments grossiers (gravier, cailloux, pierres).

Synthèse

L'accumulation de sable semble être une conséquence de la réadaptation du milieu aux contraintes hydrologiques imposées.

Il peut être formulé des hypothèses sur les réponses du style fluvial à la perturbation de la dynamique sédimentaire. Ces différentes réponses sont fonction des caractéristiques locales du lit mineur et des conditions de contrôle des apports :

- Incision du lit et érosion des berges entre Matemale et Puyvalador : Aude soumise à un débit constant et privée d'apport en sédiments.

- Réduction de la largeur du lit à l'aval de Puyvalador : développement de banquettes végétalisées entre Puyvalador et l'entrée dans les gorges du Carcanet, modification du style fluvial (réduction des chenaux d'écoulement et stabilisation des atterrissements) dans les gorges du Carcanet.

Suivant les caractéristiques des bassins versants, les aménagements hydroélectriques et les activités anthropiques présentes, le recouvrement sédimentaire en HVA évolue. Ainsi, il peut être dressé un constat différencié pour chaque secteur que ce soit pour l'Aude ou pour ses affluents.

E/ QUE SE PASSE-T-IL AILLEURS ?

1. Problématique du transport solide absente à l'extrême aval de l'Aude

S'intéressant à un excès de sable dans le secteur amont de l'Aude, il a été recherché si un constat de déficit sédimentaire était remarqué en aval.

Le manque de sable n'est pas perçu à l'aval comme l'ensablement en HVA. A travers l'expérience de terrain de l'animateur SAGE sur les basses plaines de l'Aude, il n'apparaît pas un manque de sable à l'aval de l'Aude. Cela n'a pas été identifié comme une problématique prioritaire.

Malgré le constat de l'évolution du trait de côte, aucune étude terminée aujourd'hui n'a clairement mis en évidence un déficit en apport sableux par l'Aude.

2. L'ensablement une problématique présente sur d'autres bassins versants.

En réponse à de nombreuses interrogations sur la spécificité de l'ensablement en HVA, une recherche d'une problématique similaire a été menée.

L'étude de la problématique de l'ensablement peut être appréhendée sous deux aspects :

- Régulation des débits par des aménagements hydroélectriques modifiant le bilan sédimentaire à l'aval
- Accumulation de sable dans le lit mineur d'un cours d'eau.

Ces deux visions de cette même problématique ont déjà été rencontrées sur d'autres bassins versants.

2.1. **Problématique de l'artificialisation des écoulements dans les tronçons court-circuité de rivières montagnardes**

L'artificialisation des écoulements des tronçons court-circuités a été étudiée sur des vallées des Alpes du Nord à remblaiement post-glaciaire et sur un cours d'eau pyrénéen in Astrade *et al*, 1999 :

- Le Rhône à Chautagne (Klingeman *et al*, 1995)
- L'Arve & le Drac inférieur à l'amont de Grenoble (Peiry et Vivian, 1994)
- L'Arc (Marnézy, 1999).
- L'Ariège (Mercier, 1999)

Ces travaux consistaient à analyser les conditions du transit de la charge de fond et de son stockage en fonction des débits résiduels, des apports en eau et en sédiments depuis les affluents. Ce n'est pas spécifiquement l'excès de sable qui était étudié mais la modification de la composition sédimentaire dans un contexte de rivière de montagne fortement impactée par les aménagements hydroélectriques. Ces problématiques sont rencontrées en HVA (Tronçon court-circuité de Puyvalador à Nentilla).

2.2. Ensablement de la Moder en amont d'Uberach

L'ensablement a été étudié sur la Moder en amont d'Uberach (Rivière issue des Vosges gréseuses) par Maire *et al* en 2003.

Tout comme sur l'Aude en HVA, le lit de ce cours d'eau est impacté par un excès anormal de sable. Face à ce dysfonctionnement, l'auteur cherche à identifier les causes de ce constat (production, transport, accumulation).

En ce qui concerne l'origine de ce sable, une similarité apparaît avec la HVA : apport naturel au cours d'eau. Certains versants montagneux produisent naturellement du sable. Une érosion plus prononcée est observée au niveau de chemins forestiers. Les aménagements de la rivière perturbent le schéma naturel d'écoulement des eaux par une segmentation du cours d'eau. La pente est cassée par les barrages et les dérivations impliquent une moindre puissance de la rivière. Tout comme en HVA, l'aménagement des rivières a modifié le transit sédimentaire. Mais dans ce cas, ce n'est pas l'impact de hydroélectricité mais celui de seuils anciens dédiés à l'irrigation qui est présent. Une cause supplémentaire de l'ensablement est observée sur la Moder. Il s'agit de la vidange d'étangs à vocation piscicole qui amène une surcharge sédimentaire. Cette contribution n'est pas présente en HVA mais un parallèle peut être fait avec la mise en transparence des prises d'eau.

Il apparaît donc que le phénomène d'ensablement soit dû à un apport naturel combiné à des facteurs anthropiques ne permettant plus le transport sédimentaire. Comme dans le cas de la HVA, ce phénomène serait multiforme.

L'auteur précise qu'en l'absence d'argument objectif, l'ensablement résulte de l'adaptation du lit à des perturbations anciennes du bassin versant et à une perturbation récente : modification de l'hydrologie.

Il est à noter que ces travaux s'appuient sur ceux réalisés en HVA en particulier Astrade *et al* (1999).

2.3. L'ensablement un phénomène connu mais présentant des spécificités en HVA

A travers les paragraphes précédents, il a pu être mis en évidence que l'ensablement d'un cours d'eau n'était pas exclusif à la HVA et qu'il était rencontré sur d'autres rivières.

Les problématiques liées aux modifications du transport solide par les aménagements hydroélectriques sont rencontrées dans plusieurs cours d'eau de montagne. Globalement à l'aval de chaque barrage, la dynamique sédimentaire est modifiée.

Toutefois, la spécificité de la HVA réside dans l'apport de sable à l'intérieur du tronçon court-circuité (Com. Pers. Bravard).

L'ensablement est aussi constaté sur la Moder. Malgré un contexte différent, les causes du phénomène sont comparables à celles mises en évidence en HVA.

F/ SYNTHÈSE : ENSABLEMENT, UN PHÉNOMÈNE NATUREL DANS UN MILIEU ANTHROPISE ?

L'ensablement du lit mineur de la HVA est un phénomène multiforme qui s'étudie au niveau du cours d'eau et de son bassin versant. La carte 17 présente une synthèse des causes de ce phénomène.

1. Où est le sable ?

Le réseau hydrographique prospecté en 2008 a été divisé en portion de cours d'eau homogène du point de vue de l'ensablement. L'état des lieux ne fait pas apparaître de gradient amont aval dans la répartition du sable. L'ensablement de l'Aude se localise principalement entre le barrage de Puyvalador et la confluence avec l'Aiguette (usine de Nentilla). Le sable représente jusqu'à 82% du recouvrement sédimentaire (entre ruines du camping de l'Aguzou et la pisciculture de Gesse).

L'épaisseur moyenne de sable varie d'un segment à l'autre. La valeur maximale a été mesurée sur ce même secteur (épaisseur moyenne estimée à 50 cm). Ponctuellement, des profondeurs de sable de 150 cm ont été observées.

L'ensablement a aussi été constaté sur certains affluents : l'Aiguette, la Clarianelle, le rec de Cirers, rec de l'Homme Mort, rec del Gué, ruisseau de Quérigut, l'Aguzou ; principalement.

La méthode employée n'a pas permis d'évaluer précisément l'accumulation de sédiments dans les retenues.

Malgré les difficultés pour mesurer avec précision les quantités de sable présentes dans le lit mineur, il est proposé un ordre de grandeur du volume de sable présent dans le lit (bancs de sable et stockage dans les retenues exclus) Entre Puyvalador et Nentilla, le volume de sable présent serait de l'ordre de 10 000 à 15 000m³.

Les secteurs les plus propices à l'accumulation sont les zones profondes avec peu de courant (mouille). Il n'a pas pu être mis en évidence une évolution du phénomène dans cette étude.

2. D'où provient-il ?

La présence du batholithe granitique de Quérigut sur le bassin versant produit naturellement du sable. Il est difficile d'évaluer si la quantité de matériaux produit a évolué au cours du temps. Sur la surface concernée par l'affleurement du granite, une production diffuse a lieu.

On peut noter aussi que ponctuellement des apports plus massifs peuvent être constatés : construction de pistes forestières, talus routier mettant à nu le granite, mauvaise stabilité de pistes de ski,... Ces facteurs anthropiques accélèrent un phénomène déjà présent naturellement. Les constatations réalisées ne font pas apparaître qu'une cause anthropique prédominante soit à l'origine de l'apport en sable.

Il semble que des modifications dans certaines pratiques ont déjà permis de réduire les apports sédimentaires en excès. Les apports en éléments sableux naturels sont inévitables.

3. Pourquoi ne se déplace-t-il pas ?

L'énergie du courant (résultat du débit et de la pente) détermine principalement la répartition entre un tronçon d'accumulation et un tronçon de transport sur cours de l'Aude en HVA.

Naturellement la HVA possède jusqu'à l'aval d'Axat, les caractéristiques d'un cours d'eau de montagne. Le fonctionnement qui est généralement associé à ce type de rivière, est celui d'une rivière à forte énergie capable de transporter vers l'aval les matériaux érodés en particulier les sables. Cette dynamique n'est pas observée en HVA en particulier dans le secteur court-circuité entre le barrage de Puyvalador et l'usine hydroélectrique de Nentilla. Les aménagements hydroélectriques de la HVA, ont complètement modifié l'hydrologie naturelle. Il peut être considéré que le secteur court-circuité a un débit artificialisé depuis 1932.

Il ne connaît plus de débit de hautes eaux capables de mettre en mouvement les sables accumulés depuis au moins 1996. La rivière n'assure donc plus un transport solide suffisant. Le bilan entre arrivée de matériaux et exportation de sédiments conduit à une accumulation des sédiments dans le tronçon court-circuité et dans les prises d'eau.

Cet élément paraît être une caractéristique fondamentale expliquant l'ensablement en HVA. Le sable s'accumule au départ dans les sites les plus favorables (mouilles, secteurs abrités) mais sa présence est aussi constatée dans les zones plus courantes.

4. Ensablement un signe de l'adaptation de l'Aude

L'accumulation de sable semble être une conséquence de la réadaptation du milieu aux contraintes hydrologiques imposées.

Il peut être formulé des hypothèses sur les réponses du style fluvial à la perturbation de la dynamique sédimentaire. Ces différentes réponses sont fonction des caractéristiques locales du lit mineur et des conditions de contrôle des apports :

- Incision du lit et érosion des berges entre Matemale et Puyvalador : Aude soumise à un débit constant et privée d'apport en sédiment.

- Réduction de la largeur du lit à l'aval de Puyvalador : développement de banquettes végétalisées entre Puyvalador et l'entrée dans les gorges du Carcanet, modification du style fluvial (réduction des chenaux d'écoulement et stabilisation des atterrissements) dans les gorges du Carcanet.

Suivant les caractéristiques des bassins versants, les aménagements hydroélectriques et les activités anthropiques présentes, le recouvrement sédimentaire en HVA évolue. Ainsi, il peut être dressé un constat différencié pour chaque secteur que ce soit pour l'Aude ou pour ses affluents.

PARTIE 3 : QUELLES PISTES D' ACTIONS ENVISAGER ?

Les actions à envisager pour réduire l'ensablement en HVA doivent agir sur les variables de la dynamique qui sont contrôlables.

Les actions portent sur deux cibles :

- Limiter la production de sable (action au niveau du bassin versant)
- Favoriser le transport (action sur le cours d'eau)

Deux autres moyens d'action peuvent être cités : augmenter les quantités de sédiments manquant et déplacer les quantités de sable en excès.

Il pourrait être envisagé de réaliser plusieurs d'action simultanément (action sur les versants et sur le cours d'eau). Aussi comme l'Aude n'est pas homogène sur tout son linéaire, des solutions différenciées adaptées à chaque tronçon pourraient être envisagées.

1. Action pour limiter la production de sable

Le sable provient de l'érosion des affleurements granitiques présents sur le bassin versant. Les moyens d'action pour limiter leur érosion semblent limités. Néanmoins, des actions ponctuelles pourraient être menées pour limiter les départs massifs d'arène granitique dus aux activités humaines. C'est en particulier l'exploitation forestière qui semble localement problématique.

Des pratiques limitant la déstructuration des versants seraient à privilégier. L'aménagement de pistes forestières doit intégrer la fragilité des versants granitiques :

- Limitation du nombre de nouvelles pistes d'exploitation
- Assurer une bonne stabilité de la piste (tassement des matériaux) et du talus aval (éviter le dépôt de matériaux sableux)

Afin de maintenir une stabilité dans le temps, il serait préférable de limiter le passage d'engins lourds de débardage qui favorise la déstructuration de ces versants fragiles.

Ces préconisations permettraient donc de réduire la production anthropique de sable. Mais il persistera une production naturelle diffuse.

2. Actions sur les capacités de transport

L'étude a permis de mettre en évidence que le dysfonctionnement sédimentaire avait pour principale origine la diminution des capacités de transport de l'Aude. Le point de départ de cette problématique semble être l'absence de crue significative en HVA depuis 1996. La résolution de l'ensablement ne doit donc pas se limiter à l'attente de la prochaine crue naturelle qui renouvellera le milieu. Au vu de l'aménagement du cours d'eau et de la pluviométrie actuelle, il est impossible de prévoir son retour (5, 50, 100 ans ?).

La création artificielle d'une crue (chasse) apparaît comme une solution qui pourrait remobiliser les sables excédentaires et ainsi entretenir artificiellement le cours d'eau dans un stade d'évolution instable.

2.1. Quel état souhaiter pour l'Aude ?

Il semble nécessaire de définir l'état qui est souhaité pour l'Aude dans les différents secteurs de la HVA. Le cours d'eau s'adapte aux conditions qui lui sont imposées (réduction du débit). En réponse à cela, on observe une accumulation de sédiments dans le lit en particulier celui qui est produit majoritairement à l'aval de Puyvalador : le sable.

Il apparaît essentiel de choisir de manière concertée l'état du lit mineur que les acteurs locaux veulent atteindre, par exemple:

- Retrouver l'état initial du cours d'eau
- Maintenir un état acceptable
- Favoriser l'atteinte de l'état d'équilibre
- ...

Plusieurs critères peuvent être pris en compte pour ce choix :

- Contraintes réglementaires à respecter ou à atteindre (Interdiction d'extraction en lit mineur & restauration du continuum fluvial imposée par la DCE,...)
- Maintien de production d'énergie avec infrastructures hydroélectriques déjà existantes
- Définition précise des différents stades d'évolutions du lit mineur en HVA
- Volonté locale : Quelle nouvelle Aude est acceptable ? Sachant que l'on ne retrouve pas actuellement un habitat acceptable.

La définition d'un état de l'Aude à atteindre, accepté par tous, apparaît comme un préalable indispensable à la mise en place d'une action. Ainsi avec un objectif clairement défini, une solution adaptée pour améliorer durablement l'habitat aquatique de ce cours d'eau remarquable sera plus facile à mettre en place.

2.2. Non intervention

En considérant que l'ensablement est une adaptation du milieu naturel qui cherche à retrouver un équilibre, l'action de non intervention peut être étudiée. Celle-ci consisterait à ne pas chercher à recréer un débit capable de retrouver un état initial. Au contraire, elle viserait à attendre que le milieu trouve son état d'équilibre adapté aux conditions hydrologiques imposées depuis plus d'un siècle.

Peut-être retrouverait-on un substrat biogène dans un lit réduit en largeur. La diminution de la section d'écoulement s'accompagnant, en particulier dans les gorges du Carcanet, d'un piégeage des sédiments en excès dans les atterrissements stabilisés.

Cette solution conduirait à une modification importante de l'état de la rivière par rapport à l'état initial. Mais il est possible que l'on retrouve un substrat plus équilibré.

Afin de ne pas créer un lit mineur trop étroit, une réflexion pourrait être lancée sur la hausse des débits réservés pour retrouver un lit mineur acceptable en termes d'habitats. Ainsi, il est probable que l'état d'équilibre soit plus facile à atteindre.

2.3. Favoriser la circulation de sable

2.3.1. Protocole de chasse 2008 validé par le Groupe sable

C'est actuellement la piste d'action qui a été retenue. Depuis plusieurs années, le groupe sable travaille pour élaborer un protocole de chasse. Approuvé par les membres de ce comité, ce protocole expérimental pourrait être appliqué dès septembre 2008. Pour sa mise en œuvre, le débit naturel entrant dans la prise d'eau du Linas doit être supérieur à 2m³/s.

Son objectif est de remobiliser le sable déposé dans les tronçons court-circuités et d'assurer son déplacement vers l'aval.

Ce protocole repose sur le principe de la réalisation d'une chasse coordonnée pour obtenir un débit de 10m³/s au niveau de la prise d'eau de Gesse et cela pendant 20h.

Le mode opératoire s'appuie sur deux étapes :

- Lâcher progressif depuis le barrage de Puyvalador d'un débit de 6m³/s & turbinage complémentaire si nécessaire depuis les usines de Rouze et d'Usson
- Effacement progressif des prises d'eau de Saint-Georges, Gesse, Escouloubre

Il existe peu de recul sur ce type d'opération. Il est noté que la hausse de débit qui est recherchée, est en adéquation avec les valeurs préconisées par Hendrickx (1996). Ses travaux se basaient sur une étude expérimentale. Il n'existe pour l'heure aucune certitude sur le résultat de cette action. Plusieurs interrogations se posent sur le résultat de cette action.

La durée prévue est-elle suffisante ?

Hendrickx a estimé que la durée nécessaire devait être comprise entre 1 et 12 jours. Une chasse de 20 heures est légèrement en dessous de ce qui a pu être préconisé.

Le risque d'une chasse insuffisante serait de ne remobiliser qu'une partie du sable. Celui-ci ne serait pas totalement évacué vers l'aval. Dès la phase de décrue, le sable pourrait se déposer dans les zones de stockage préférentielles des tronçons ensablés. Il est ainsi probable que le constat d'ensablement persiste.

Sera-t-il possible renouveler de cette action curative ?

Dans le cas où, le résultat de cette action est jugé satisfaisant. Il se posera la question de son renouvellement. En effet, cette action curative ne pourra avoir qu'un impact limité dans le temps. Si l'absence de crue naturelle persiste, il apparaît nécessaire de recommencer cette opération, afin d'entretenir artificiellement le milieu dans un état « moins ensablé ».

Pour que cette opération soit renouvelée à une fréquence adaptée, il paraît nécessaire qu'elle soit adaptée aux contraintes techniques et financières.

2.3.2. Chasse avec curage préalable des prises d'eau

Comme cela a souvent été évoqué pendant les entretiens, il pourrait être envisagé de curer les prises d'eau préalablement à la réalisation d'une chasse. La non-intervention durant plusieurs années a conduit à une accumulation importante de sables dans ces retenues. Cette action permettrait diminuer les remobilisations massives de sable lors de la mise en transparence des prises d'eau. Ainsi les risques d'aggravation de l'ensablement dans les tronçons court-circuités seraient limités.

La gestion du transport sédimentaire doit être réalisée avec une vision de *continuum fluvial*. Ainsi, il serait dommageable de priver l'aval de ces sédiments qui sont bloqués en HVA depuis des années.

2.3.3. Gestion des prises d'eau pour limiter l'ensablement des affluents

Jusqu'à présent la recherche de solution s'est principalement centrée sur l'Aude. Cependant l'ensablement est aussi constaté sur certains affluents : l'Aiguette et la Clarianelle en particulier. Souvent soumis à un débit réservé par des prises d'eau, le transport sédimentaire est assez difficile en dehors d'événements pluvieux très intenses.

La réalisation d'une chasse à partir des prises d'eau n'est pas possible (peu d'eau stockée). Ces ouvrages sont régulièrement mis en transparence ce qui peut occasionner un départ massif de sable vers l'aval de ces cours d'eau. Pour réduire ce phénomène, il serait intéressant de réduire l'accumulation dans les retenues pour limiter les remobilisations massives. Pour cela, l'augmentation de la fréquence des mises en transparence sur les petits ouvrages permettrait de limiter l'accumulation de sédiments dans la retenue et ainsi de limiter les risques de colmatage massif du lit à l'aval. L'objectif serait ainsi de rétablir au maximum le transit sédimentaire en réduisant le stockage du sable dans les prises d'eau.

3. Actions pour améliorer la qualité des habitats du lit mineur

En plus des actions précédemment citées, des travaux pour rendre le milieu aquatique plus « accueillant » pour la faune pourraient être réalisés. En effet, la principale conséquence de l'ensablement est la diminution la quantité d'habitats aquatiques biogènes.

3.1. Recharge en sédiments « plus biogènes »

Il est possible de voir l'ensablement non pas comme un excès de sable mais une diminution du pourcentage de sédiments biogènes. Une recharge en graviers, cailloux et pierres dans les secteurs fortement ensablés en particulier Gorges du Carcanet, permettrait d'améliorer la qualité physique du lit.

Certains ouvrages ont coupé la continuité sédimentaire qui pouvait initialement exister. Les sédiments du Galbe et de la Lladure sont stockés dans le barrage de Puyvalador. Ceux-ci manquent actuellement dans les Gorges du Carcanet.

Il pourrait donc être envisagé un prélèvement des matériaux accumulés dans les retenues pour les restituer plus à l'aval. Il ne s'agit pas dans ce cas de chasse mais de redéposer directement des sédiments à certains endroits.

Une recharge naturelle peut aussi venir de la Bruyante qui est constituée d'alluvions variées. Actuellement, la gestion hydraulique limite fortement son débit (cours d'eau soumis à un Q réservé). Ainsi, les débits nécessaires aux déplacements des pierres et cailloux ne sont plus atteints.

3.2. Mise en place de caches

Dans de nombreux programmes de restauration des potentialités d'accueil des cours d'eau pour la faune piscicole, des actions de création de caches sont préconisées.

Dans le cas de la HVA, il s'agirait de redéposer à la surface du lit, des éléments minéraux grossiers (blocs, rochers) pour augmenter le nombre de caches disponibles.

L'efficacité de cette mesure semble limitée dans le temps. De plus, elle ne vise qu'un seul compartiment du milieu aquatique mais ne permet pas d'améliorer la qualité du milieu. Une réflexion est en cours au sein de la FDAAPPMA 11 pour étudier la faisabilité de cette action pour soutenir l'effort de pêche en HVA (Com. Pers. H Chavanette).

BIBLIOGRAPHIE

- ASTRADE L., JACOB N., BRAVARD J.P., ALVAREZ CAROLINE, 1999, *Dynamique sédimentaire d'un cours d'eau de montagne court-circuité : la Haute vallée de l'Aude à l'aval, du barrage de Puyvalador (France)*, Bulletin de la société géographique de Liège, 37, 1999/2, pp. 91-109
- BRAVARD JP, ASTRADE L, JACOB N, ALVAREZ C, octobre 1999, *Haute vallée de l'Aude : Etude Géomorphologique et sédimentologique*, 64p. & annexes
- BRAVARD J.P. ET PETIT F, 2000, *Les cours d'eau, Dynamique du système fluvial*, Armand Colin, 222p.
- BRLI, janvier 2007, *Schéma d'Aménagement de la Haute Vallée de l'Aude. Phase 1 : Recueil de données et état des lieux, Rapport Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de la Haute Vallée de l'Aude*, 128p & annexes.
- CAMPY ET MACAIRE, 2005, *Géologie de la surface, Erosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux*, 2e édition, DUNOD, 440pp.
- DIREN LR ET ONF, novembre 2004, *Document d'Objectifs Natura 2000, Bassin du Rébenty, FR 9101468, Tome I*, Rapport, 134pp.
- DULAC K, LENTILLON J-P, décembre 1995, *Vidange de Puyvalador suivi des phénomènes de sédimentation à l'aval du barrage*, Rapport final, CSP
- GROUPE DE TRAVAIL « HAUTE VALLEE DE L'AUDE », Mars 2001, *Etude du fonctionnement du milieu aquatique de la Haute Vallée de l'Aude, Tome I : Synthèse des Etudes 1994-2000*, EDF GEH Axat, DDAF, CSP, INP – ENSAT, DIREN LR, Cemagref, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Rapport, 119p.
- HENDRICKX F., 1996. *Transport sédimentaire en haute vallée de l'Aude. Utilisation des chasses hydrauliques dans la sauvegarde d'un substrat de qualité pour la fraie de la Truite Commune (Salmo trutta)*. Mémoire ENGREF & INP ENSEEIHT Toulouse, 37 p. & annexes
- JACOB N., ASTRADE L., BRAVARD J.P., ALVAREZ C., 2002. *Exploitation des ressources naturelles et problèmes environnementaux : le cas du bassin de la haute vallée de l'Aude*, Mosellan, Tome XXVII, N°1 et 2, p 147-159.
- LANE E.W, 1954. *Some observations on the effect of particule shape on the mouvement of coarse sediments*, Trans. American Geophysical Union, 35, p. 453-462
- MAIRE G, SCHMITT L., TRAUTMAN J., 2003, *L'ensablement du lit des rivières issues des vosges gréseuses, la Moder en amont d'Uberach*, In CORBONNIS J. ET VIGNEAU J.P. (eds), *Morceaux choisis de littérature hydrologique sur la vie des cours d'eau en hommage au Pr. Roger Lambert*, CNRS-Aquadoc, Toulouse, pp. 39-61
- MALAVOI J.R. ET SOUCHON, 2002, *Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : Clé de détermination qualitative et mesures physiques*, Bull. Fr. Pêche Piscic. (2002) 365/366, pp. 357-372
- ORTET ET RATINNEAU, 2008. *Résultats du suivi ensablement réalisé par le SD 11 ONEMA*, Rapport, 26pp.
- SALADIN V, avril 1994, *Etude morphologique de la Haute vallée de l'Aude*, Groupe de travail « Haute vallée de l'Aude », CSP

SAUTTER N. Novembre 1999, *Etude préliminaire pour une meilleure gestion de l'eau dans la Haute vallée de l'Aude*, Centre Régional de la Productivité et des Etudes économiques, UMR 5045 CNRS :
« Mutations des territoires en Europe » Univ VALERY P. Montpellier, 72 p. & annexes

SDAGE RHONE MEDITERRANEE CORSE, Décembre 1996, *Note Technique Sdage n°1, Extraction de matériaux et protection des milieux aquatiques*, 31pp.

SIEE, 1992, *Schéma de restauration et d'entretien du Fleuve AUDE, Tome I Diagnostic et Orientations pour la Restauration et l'Aménagement du Fleuve AUDE*, 104 pp

WENTWORTH C.K., 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology, 30, pp 377-392. in Malavoi J.R. et Souchon, 2002

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	1
INTRODUCTION	4
PARTIE 1 : ENSABLEMENT DANS LA HAUTE VALLEE DE L'AUDE : UNE PROBLEMATIQUE – UN CONTEXTE	5
1. Une problématique inscrite dans les consciences	5
1.1. Une problématique locale : ensablement des cours d'eau	5
1.2. Un besoin de compréhension des acteurs locaux.....	5
1.3. Un SAGE en HVA pour un territoire de montagne & des enjeux multiples	6
1.3.1. Autour d'un cours d'eau torrentiel	6
1.3.2. Une ressource en eau pour de nombreux usagers.....	6
1.3.3. Le SAGE : une démarche volontaire.....	6
1.4. LE SMMAR : une gestion coordonnée de l'eau sur le bassin versant de l'Aude.....	7
1.5. Une étude pour éclairer le phénomène d'ensablement	7
2. Le sable : un élément du lit du cours d'eau	7
2.1. Sable : une classe de granulométrie.....	7
2.2. Le sable : un élément mobile	8
2.3. Ensablement : un déséquilibre de la granulométrie	10
2.3.1. Définition de l'ensablement	10
2.3.2. Déséquilibre granulométrique et taux de recouvrement de sable.....	10
2.4. Ensablement : preuve d'une dynamique sédimentaire perturbée.....	10
2.5. Ensablement : Impact sur le bon fonctionnement des cours d'eau	11
3. Appréhender l'ensablement - Approche globale & concertée	12
3.1. Variables de contrôle pour appréhender l'ensablement.....	12
3.1.1. Un apport en sédiment excessif ?	12
3.1.2. Des débits insuffisants ?	13
3.1.3. Des caractéristiques physiques limitantes ?	13
3.2. Un problème appréhender dans l'espace et dans le temps.....	13
3.2.1. Du lit des cours d'eau à leur bassin versant	13
3.2.2. Du constat 2008 à son évolution dans le temps.....	14
3.3. Trois moyens pour une méthode.....	14
3.3.1. 150 km de prospection terrain	14
3.3.2. Des études déjà dédiées à la problématique	17
3.3.3. 34 acteurs locaux pour des avis variés	17
3.3.4. Une unique synthèse pour tout comprendre	18
PARTIE 2 : QUELLES EXPLICATIONS DONNER A L'ENSABLEMENT CONSTATE ?	19
A/ ETAT DES LIEUX 2008 EN HVA : UN POINT DE DEPART	19
1. Les cours d'eau de la HVA : un ensablement hétérogène	19
1.1. Qualification du déséquilibre sédimentaire	19
1.2. L'Aude : un ensablement compartimenté.....	20
1.2.1. L'Aude à l'Amont de Puyvalador (Carte 4)	22
1.2.2. L'Aude entre Puyvalador et Nentilla (de 11_a à 16_a), (Carte 5 et Carte 6)	23
1.2.3. Aude entre Nentilla (Axat) et la Forge (Quillan) (T17_a à T_33) (Carte 7)	25
1.2.4. Estimation de l'épaisseur de sable.....	26
1.3. Des affluents non épargnés	28

1.3.1.	Aigrette et Clarianelle (Carte 10).....	29
1.3.2.	Bruyante et ses affluents (Carte 11)	31
1.3.3.	Petits affluents présentant un caractère ensablé	32
1.3.4.	Affluents de la HVA épargnés	33
1.4.	Les barrages : des cas particuliers.....	33
2.	Un phénomène déjà mesuré.....	35
2.1.	L'ensablement constaté en 1999.....	35
2.1.1.	Une méthode différente de celle de 2008	35
2.1.2.	Un constat globalement similaire sur le cours de l'Aude.....	36
2.1.3.	Etendue du phénomène	38
2.2.	Un ensablement quantifié	38
2.2.1.	Différences entre faciès	40
2.2.2.	Tendance à l'accumulation ?.....	40
B/ UNE PRODUCTION DE SABLE EN HVA : LOCALISEE & IMPORTANTE		42
1.	Une géologie favorable à la production de sable.....	42
1.1.	Les affleurements granitiques au cœur de la problématique	42
1.2.	L'influence des autres roches	43
1.2.1.	Formations glaciaires et alluvionnaires	43
1.2.2.	Roches massives.....	43
2.	Des conditions d'érosion réunies	43
2.1.	Un relief accidenté.....	44
2.2.	Occupation des sols : des zones boisées majoritaires	44
2.3.	De l'érosion lente jusqu'à l'éboulement.....	45
3.	Des facteurs anthropiques influençant l'érosion	46
3.1.	Des pistes forestières nouvellement créées.....	47
3.2.	Des talus routiers en liaison avec le réseau hydrographique	48
3.3.	Des pistes de ski en cours de végétalisation	49
3.4.	Elevage : des piétinements localisés.....	51
3.5.	Exploitation des carrières un risque limité/inexistant.....	52
4.	Erosion de berges : un apport en sédiment limité	53
4.1.	Divagation naturelle dans les secteurs plats	53
4.2.	Erosion de berges dans les secteurs torrentiels	53
C/ UN TRANSIT SEDIMENTAIRE EN HVA : PERTURBE & INSUFFISANT.....		55
1.	Modification du profil en long.....	55
1.1.	Des rivières généralement pentues	55
1.2.	Les aménagements hydroélectriques : une empreinte forte sur le profil de l'Aude.....	56
2.	Laminage des débits	57
2.1.	Les conditions naturelles : diminution de la fréquence des crues.....	57
2.1.1.	Un climat définissant le régime hydrologique.....	57
2.1.2.	Dernière crue historique en HVA.....	57
2.1.3.	Un couvert végétal influençant l'hydrologie	58
2.2.	Les aménagements hydroélectriques : des débits imposés aux cours d'eau	58
2.2.1.	Organisation des aménagements en HVA (Cartes 15 et 16)	58
2.2.2.	Des débits mal connus	59
2.2.3.	Hydrologie modifiée de la HVA	60
2.2.4.	Des débits globalement insuffisants depuis 1996 pour la mise en mouvement des sédiments	62
2.3.	Des prélèvements humains	64

3.	Un flux sédimentaire discontinu.....	65
3.1.	Un stockage naturel dans certaines zones du lit mineur	65
3.2.	Les barrages : des sites d'accumulation.....	65
3.2.1.	Comment une zone de stockage peut-elle devenir une zone d'apport ?.....	65
3.2.2.	Mode de gestion des barrages hydroélectriques	66
3.2.3.	Quantification des volumes	67
D/ LES LITS MINEURS DE LA HVA A LA RECHERCHE D'UN NOUVEL EQUILIBRE		68
1.	L'ensablement une des manifestations de l'évolution des cours d'eau.....	68
1.1.	Du constat de l'ensablement vers un diagnostic général de l'équilibre du cours d'eau	68
1.2.	Extraction en lit mineur : une pratique « masquant » l'évolution des cours d'eau	69
1.2.1.	Une activité du passé.....	69
1.2.2.	Une activité retardant l'évolution des cours d'eau	70
2.	Trois types d'évolution de lit mineur observés en HVA	70
2.1.	Incision du lit et érosion de berges	70
2.2.	Réduction de la largeur du lit.....	71
2.2.1.	Banquette végétalisée.....	72
2.2.2.	Aude dans les Gorges du Carcanet.....	73
2.3.	Apparition et fixation de bancs.....	75
2.4.	A-t-on atteint l'état d'équilibre ?	76
3.	Interprétation des résultats : l'état d'ensablement de la HVA.....	76
3.1.	Amont de Matemale	77
3.2.	Entre Matemale & Puyvalador	77
3.3.	Aval de Puyvalador & jusqu'à la confluence avec la Bruyante.....	77
3.4.	Entre la confluence avec la Bruyante et l'usine de Nentilla	78
3.5.	Aval Nentilla.....	78
3.6.	Les affluents.....	79
3.6.1.	L'Aiguette	79
3.6.2.	La Bruyante	80
E/ QUE SE PASSE-T-IL AILLEURS ?		81
1.	Problématique du transport solide absente à l'extrême aval de l'Aude.....	81
2.	L'ensablement une problématique présente sur d'autres bassins versants.....	81
2.1.	Problématique de l'artificialisation des écoulements dans les tronçons court-circuité de rivières montagnardes.....	81
2.2.	Ensablement de la Moder en amont d'Uberach.....	82
2.3.	L'ensablement un phénomène connu mais présentant des spécificités en HVA	82
F/ SYNTHESE : ENSABLEMENT, UN PHENOMENE NATUREL DANS UN MILIEU ANTHROPISE ?		83
1.	Où est le sable ?	83
2.	D'où provient-il ?.....	83
3.	Pourquoi ne se déplace-t-il pas ?	84
4.	Ensablement un signe de l'adaptation de l'Aude	84
PARTIE 3 : QUELLES PISTES D' ACTIONS ENVISAGER ?		85
1.	Action pour limiter la production de sable	85
2.	Actions sur les capacités de transport	85
2.1.	Quel état souhaiter pour l'Aude ?	86
2.2.	Non intervention	86

2.3.	Favoriser la circulation de sable	87
2.3.1.	Protocole de chasse 2008 validé par le Groupe sable.....	87
2.3.2.	Chasse avec curage préalable des prises d'eau.....	88
2.3.3.	Gestion des prises d'eau pour limiter l'ensablement des affluents.....	88
3.	Actions pour améliorer la qualité des habitats du lit mineur.....	88
3.1.	Recharge en sédiments « plus biogènes ».....	88
3.2.	Mise en place de caches.....	89
BIBLIOGRAPHIE	90	
TABLE DES MATIERES.....	92	
LISTE DES FIGURES	96	
LISTE DES TABLEAUX.....	98	
ANNEXES.....	99	

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Domaines d'érosion, transport et sédimentation par l'eau en fonction de la taille des particules et de la vitesse du courant (in Campy et Macaire, 2005, D'après Hjuström, 1939).....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 2 : Le principe de l'équilibre dynamique (D'après Lane, 1955).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 3 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aude en amont de Puyvalador.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 4 : L'Aude en amont du barrage de Matemale (seg. 01_a).....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 5 : Cours sinueux de l'Aude entre Matemale et Puyvalador (seg. 02_a).....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 6 : Recouvrement sédimentaire par segment, l'Aude entre Puyvalador et la Bruyante.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 7 : Les gorges du Carcanet : du sable au milieu de rochers (seg.11_c).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 8 : Accumulation de vase dans un chenal secondaire des gorges du Carcanet (seg.11_d).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aude entre la confluence avec la Bruyante et l'Usine de Nentilla).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 10 : Aude à l'aval des gorges du Carcanet (seg. 12_a).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 11 : Aude à l'aval de la Bruyante : l'ensablement encore visible (seg. 13_a).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 12 : ensablement constaté dans une mouille de concavité (seg.14_b).....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 13 : Recouvrement sableux homogène sur un plat courant (seg.15_a).....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 14 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aude ente l'Usine de Nentilla et l'Usine de la Forge (Quillan).....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 15 : Aude à l'aval de la restitution de l'usine de Nentilla (seg.17_a).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 16 : Aude à Axat ; banc de sable accumulé à l'abris d'un épis en enrochements (seg.31_a).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 17 : Recouvrement sédimentaire par segment, Aiguette & Clarianelle.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 18 : Aiguette en amont des aménagements hydrauliques.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 19 : Aiguette à l'aval de la prise d'eau EDF (seg.17_AI_b).....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 20 : Dépôt de sable et de litière relativement important (seg.17_AI_b).....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 21 : Gorges de l'Aiguette (seg. 17_AI_c).....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 22 : Clarianelle amont au niveau du Pré d'Escouloubre (17_CL_c).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 23 : Dépôt de sable important à l'aval de la prise d'eau EDF sur la Clarianelle (17_CL_b).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 24 : Dépôt de sable au niveau du pont de la Forge sur la Clarianelle (B. Le Roux, 28 août 2008).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 25 : Vue générale du lit de la Bruyante (20_b).....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 26 : Sédiments de la Bruyante à proximité du lit mineur.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 27 : Ruisseau d'Artigues un lit dominé par les rochers et les blocs.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 28 : Ruisseau de Quérigut, une fraction sableuse relativement importante.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 29 : Lladure dominée par des sédiments grossiers.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 30 : Le recouvrement sédimentaire du Rébenty.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 31 : Sectorisation de l'Aude selon l'évolution amont-aval des types de surfaces, sept. 1998 (in Bravard et al. 1999).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 32 : Vue sur les Gorges de l'Aude.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 33 : Altération du granite (Gorges de l'Aiguette).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 34 : Eboulement à Gesse (1992) en cours de stabilisation.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 35 : Glissement de terrain (Aude, Amont de Nentilla).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 36 : Piste forestière dans les Gorges du Carcanet.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 37 : Piste forestière à proximité de la Clarianelle déstructurée par le passage des engins de débardage (source B. Le Roux).....</i>	<i>48</i>

Figure 38: Arène granitique en bordure de la RD16 à proximité de l'Aude	49
Figure 39 : Talus instable en bordure de RD 84.....	49
Figure 40 : Etat d'une piste de ski végétalisée en 2006 (Les Angles).....	50
Figure 41 : Piste stable végétalisée en 2003 (Station de Formiguères).....	50
Figure 42 : Piste instable végétalisée en 2006 (Station de Formiguères).....	50
Figure 43 : Bac de dessablage (Pla del Mir, station les Angles).....	51
Figure 44 : Rec del Cirers composé d'une charge sable importante.....	51
Figure 45 : Berge déstabilisée sur la Bruyante.....	52
Figure 46 : Passage à gué sur le ruisseau de Quérigut.....	52
Figure 47 : Déblais de la Carrière de Saint Colombe sur Guette déposée au bords de l'Aiguette	53
Figure 48 : Lit de l'Aiguette avec cailloux issus des déblais de la carrière de Sainte Colombe sur Guette.....	53
Figure 49 : Berge érodée sur la Bruyante aval	54
Figure 50 : Profil en long de l'Aude en HVA (SIEE 1991, modifié).....	56
Figure 51 : Hydrogramme de l'Aude à Puyvalador (débits reconstitués, source banque Hydro&EDF).....	60
Figure 52 : Hydrogramme de l'Aude à Belvianes et Cavirac (source banque Hydro).....	60
Figure 53 : Exemple de variations journalières des débits de l'Aude à l'aval des usines hydroélectriques (source Vigicrue).....	61
Figure 54 : Débits instantanés supérieurs à 8 m ³ /s enregistrés sur l'Aude à la Station de Sainte-Colombe-sur-Guette [Nentilla]	64
Figure 55 : Atterrissement végétalisé dans l'ancien lit mineur de l'Aude (Gorges du Carcanet).....	65
Figure 56 : Schéma des différents types d'évolution du lit en HVA (profil en travers)	72
Figure 57 : Réduction du lit par formation de banquette végétalisée	73
Figure 58: Les différentes phases d'évolution du lit mineur dans les gorges du Carcanet	74
Figure 59 : Dépôt récent de sable à l'aval d'un épis (Aude à Axat)	75
Figure 60 : Banc de sédiments sableux et grossiers en cours de végétalisation (Aude à l'amont de Quillan).....	75
Figure 61 : Dépôt de sable sous le pont de Campagne-sur-Aude	75

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Echelle Granulométrique adaptée de Wentworth (1992).....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 2 : Proportion des différentes fractions granulométriques prises en compte pour l'ensablement ; segments de l'Aude en HVA.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 3 : Epaisseurs de sable mesurées sur l'Aude en 2008.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 4 : Proportion des différentes fractions granulométriques prises en compte pour l'ensablement ; principaux affluents en HVA.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 5 : Caractéristiques des principaux ouvrages hydrauliques en HVA.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 6 : Principales différences méthodologiques entre Bravard et al 1999 et l'étude 2008.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 7 : Volume en sables présent dans le lit mineur hors bancs de sable pour chaque segment en 2008.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 8 : Pentes moyennes de l'Aude en HVA.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 9 : Inventaire des stations hydrométriques en amont d'Axat (source : Banque hydro).....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 10 : Débits moyens interannuels en HVA (source : Banque hydro).....</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 11 : Nombre de jours où un débit suffisant a été constaté dans le secteur court-circuité (source : Banque hydro).....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau 12 : Inventaire des sites d'extraction dans le lit mineur de l'Aude en amont de Limoux.....</i>	<i>69</i>

ANNEXES

Annexe 1 : Calendrier prévisionnel de l'étude

Annexe 2 : Etat sédimentaire du réseau hydrographique en HVA (Fiche terrain prospection 2008)

Annexe 3 : Description standardisée des principaux faciès d'écoulement

(Malavoi & Souchon, 2002)

Annexe 4 : Abaque granulométrique (d'après Wentworth, 1992 in Malavoi & Souchon, 2002)

Annexe 5 : Abaque de recouvrement en classe de pourcentage (Prodon)

Annexe 6 : Liste des usagers et acteurs contactés

Annexe 7 :

- a : Tronçons identifiés en HVA

- b : Description des segments identifiés sur le réseau hydrographique HVA en 2008

Annexe 8 : Diagramme ternaire ; recouvrement sédimentaires des segments de l'Aude

Annexe 9 : Présentation de l'étude au Groupe sable, 8 avril 2008

Annexe 10 : Présentation de l'état d'avancement au Groupe sable, 24 juin 2008