



Espace de mobilité

Note méthodologique et exemples d'application

Aquitaine

SOMMAIRE

Pages

1. INTRODUCTION	1
SYNTHESE ET CONCLUSION	I
2. MISE AU POINT D'UNE DEMARCHE METHODOLOGIQUE	2
2.1. Compréhension du fonctionnement naturel du cours d'eau.....	2
2.1.1. Reconnaissance préalable du cours d'eau	3
2.1.2. Analyse du profil en long de la ligne d'eau	4
2.1.3. Recensement des dernières crues significatives.....	5
2.1.4. Comparaison des tracés en plan à partir des photos aériennes	6
2.1.5. Recherche des interactions entre transport solide et équilibre morphologique.....	6
2.1.6. Aspect géologique du secteur étudié.....	7
2.2. Identification des perturbations	7
2.3. Analyse des transformations et de la réponse du milieu	8
2.3.1. Puissance spécifique	8
2.3.2. Amplitude d'équilibre.....	9
2.3.3. Calcul des volumes solides.....	9
2.4. Analyse prospective de l'évolution probable	9
2.5. Récapitulatif de la méthodologie proposée	11
3. APPLICATION DE LA METHODE PRECONISEE.....	12
3.1. Tronçon de l'Adour entre Bordères et Grenade-sur-l'Adour	12
3.2. Tronçon de l'Adour entre Augreilh et Toulouzette.....	19
3.3. Tronçon du Gave de Pau entre Puyoo-Bellocq et Labatut	24
3.4. Remarques.....	28
4. CONCLUSION.....	29

LISTE DES ETUDES ET OUVRAGES CONSULTES

- Cours d'eau sauvages, cours d'eau aménagés – M. RAMETTE – EDF – juillet 1971
- Transports solides dans le lit des cours d'eau – Dynamique fluviale – INPG – 1994
- Etude générale sur les seuils de correction torrentielle et les plages de dépôt – SOGREAH – Extrait Houille Blanche n° 6 – 1991
- La gestion des rivières – Transports solides et atterrissements – Guide méthodologique – Les études des Agences de l'Eau n° 65 – septembre 1999
- Guide technique n° 2 – Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau – Agence de l'Eau Bassin Rhone Méditerranée Corse – novembre 1998
- Espace de mobilité des cours d'eau – Points clés pour la prise en compte de l'espace de mobilité dans les projets de carrière – ENCEM – UNPG Janvier 2002
- Etudes hydrauliques diverses de SOGREAH sur l'Adour et le Gave de Pau

LISTE DES FIGURES ET ANNEXES

Figures

- Figure 1 : localisation des secteurs d'étude sur l'Adour
- Figure 2 : localisation du secteur d'étude sur le Gave de Pau
- Figure 3 : comparaison des tracés en plan de l'Adour relevés entre Bordères et Grenade-sur-l'Adour à différentes époques
- Figure 4 : délimitation de l'espace de mobilité de l'Adour entre Bordères et Grenade
- Figure 5 : comparaison des tracés en plan de l'Adour relevés entre St Sever-Augreilh et Toulouzette à différentes époques
- Figure 6 : délimitation de l'espace de mobilité de l'Adour entre St Sever-Augreilh et Toulouzette
- Figure 7 : comparaison des tracés en plan du Gave de Pau relevés entre Puyoo-Bellocq et Labatut à différentes époques
- Figure 8 : délimitation de l'espace de mobilité du Gave de Pau entre Puyoo-Bellocq et Labatut

Photographies

Annexes

- Annexe 1 : Transport solide : " Méthodes et outils " Extrait de l'étude sur la gestion des rivières
"Transport solide et atterrissements
Guide méthodologique"
(Les études de l'Agence de l'Eau n°65 Sept.1999)
- Annexe 2 : profils en long IGN 1921 :
2.1. : l'Adour entre Cazères et Grenade-sur-l'Adour
2.2. : le Gave de Pau entre Bellocq et Labatut
- Annexe 3 : calculs de transport solide
3.1. : récapitulatif des caractéristiques sédimentologiques des échantillons relevés
3.2. : l'Adour à Bours (65 – aval de Tarbes)
3.3. : l'Adour à Cazères-sur-l'Adour
3.4. : l'Adour à Augreilh
3.5. : le Gave de Pau à Puyoo
- Annexe 4 : relevés topographiques de la ligne d'eau de l'Adour le 24 juin 2002

1. INTRODUCTION

L'UNICEM Aquitaine souhaite disposer d'éléments techniques pour évaluer les contraintes liées au respect de l'arrêté ministériel du 24 janvier 2001 (arrêté modificatif du 22 septembre 1994) concernant l'exploitation des carrières en bordure de cours d'eau.

Cet arrêté interdit l'exploitation de carrières alluvionnaires dans l'espace de mobilité des cours d'eau.

Rappel de l'article concerné :

« Les exploitations de carrières en nappe alluviale dans le lit majeur ne doivent pas créer de risque de déplacement du lit mineur, faire obstacle à l'écoulement des eaux superficielles ou aggraver les inondations.

*Les exploitations de carrières de granulats sont interdites dans l'espace de mobilité du cours d'eau. **L'espace de mobilité du cours d'eau est défini comme l'espace du lit majeur à l'intérieur duquel le lit mineur peut se déplacer.** L'espace de mobilité est évalué par l'étude d'impact en tenant compte de la connaissance de l'évolution historique du cours d'eau et de la présence des ouvrages et aménagements significatifs, à l'exception des ouvrages et aménagements à caractère provisoire, faisant obstacle à la mobilité est conduite sur un secteur représentatif du fonctionnement géomorphologique du cours d'eau en amont et en aval du site de la carrière, sur une longueur minimale totale de 5 kilomètres ».*

C'est pourquoi le Comité Régional de la Charte Aquitaine a demandé à SOGREAH d'engager une réflexion devant déboucher sur une note méthodologique de définition de l'espace de mobilité d'un cours d'eau.

Deux phases ont été développées par SOGREAH pour ce travail :

- une phase théorique : mise au point d'une démarche méthodologique,
- une phase pratique : application à l'Adour et au Gave de Pau.

2. MISE AU POINT D'UNE DEMARCHE METHODOLOGIQUE

La délimitation de l'espace de mobilité d'un cours d'eau nécessite d'anticiper l'évolution dynamique du lit mineur.

La démarche à développer doit permettre de répondre à la question posée par la **prévision** d'un état futur liée à **l'évolution en cours** et conduire à une conclusion technique de cartographie.

L'objectif étant fixé, nous proposons une approche méthodologique fondée sur l'analyse des points suivants :

- compréhension du fonctionnement naturel du cours d'eau,
- identification des perturbations naturelles ou apportées par les interventions humaines,
- analyse des transformations et de la réponse du milieu,
- analyse prospective de l'évolution probable et conclusion.

2.1. COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT NATUREL DU COURS D'EAU

Dans ce volet d'analyse, il s'agit de poser un diagnostic géomorphologique du cours d'eau étudié.

Le regard à porter sur la rivière suivra la chronologie suivante :

- reconnaissance préalable du cours d'eau pour noter la nature des écoulements (fluvial, torrentiel), et des matériaux qui composent le fond du lit,
- analyse du profil en long de la ligne d'eau, avec évolution dans le temps (profils anciens et récents),
- recensement des dernières crues significatives,
- comparaison des tracés en plan à partir des photos aériennes prises à différentes époques,
- recherche des interactions entre transport solide et morphologie,
- aspect géologique du secteur étudié.

2.1.1. RECONNAISSANCE PREALABLE DU COURS D'EAU

La mobilité du lit mineur est conditionnée par les mécanismes de transport solide.

Le travail de reconnaissance détaillée du site vise à apporter les informations de base qui permettront de caractériser ces mécanismes.

La nature des écoulements est un premier indice : les écoulements fluviaux (nombre de Froude⁽¹⁾ $F < 1$) sont moins rapides, et donc les matériaux transportés moins gros, que les écoulements torrentiels (nombre de Froude $F > 1$).



*Ecoulement torrentiel
(la Neste à Vielle Aure)*



*Ecoulement fluvial
(l'Adour à Grenade)*



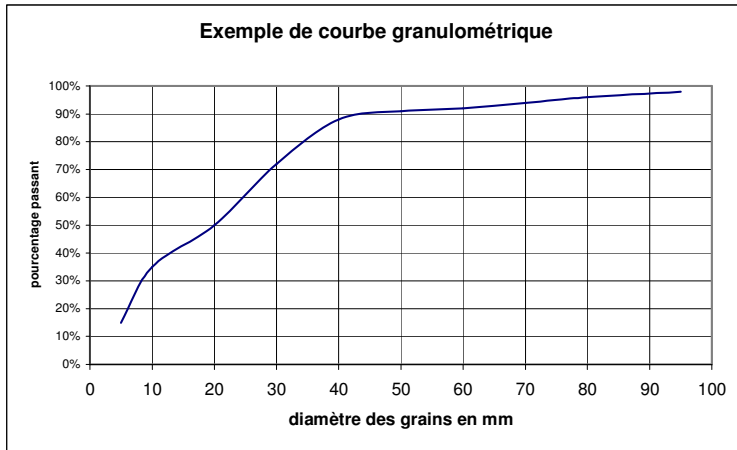
*Banc de galets pouvant être identifié
par la méthode de comptage*

Cette reconnaissance permet de disposer des données pour valider ensuite les calculs hydrauliques.

Lorsqu'il y a des atterrissements, il convient d'en relever la description : la dimension moyenne des matériaux peut être obtenue, pour des échantillons de type galets, directement par la méthode simple de comptage (on place un décimètre sur le sol, on prélève l'élément sous la graduation et on en mesure le diamètre ; il faut au moins 100 éléments ; on place ensuite les résultats sur une courbe granulométrique avec en ordonnée $y = n/N$, N nombre total prélevé ; $n = n^\circ$ de l'élément, et $d(n)$ en abscisse).

Si les éléments sont trop petits, il faut réaliser un prélèvement que l'on analyse ensuite par tamisage en laboratoire.

(1) $F^2 = Q^2 B / g S^3$ Q = débit en m^3/s B = largeur en miroir en m $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ S = section mouillée en m^2



Chaque singularité hydraulique significative (barrage, pont, épi, etc.) doit être visitée pour en connaître l'importance et intégrer ses effets dans les mécanismes analysés.

D'une façon générale, la reconnaissance du site permet de constituer la base de données à laquelle se réfèrera la réflexion à chaque moment de décision sur les paramètres qui caractérisent la dynamique fluviale : régime d'écoulement, rugosité du lit mineur, style fluvial, géographie de la vallée, caractère naturel/artificiel du cours d'eau, aménagements divers, granulométrie des sédiments, etc.

2.1.2. ANALYSE DU PROFIL EN LONG DE LA LIGNE D'EAU

Le profil en long d'un cours d'eau est, avec son régime hydraulique, la grandeur caractéristique la plus importante pour analyser la dynamique fluviale.

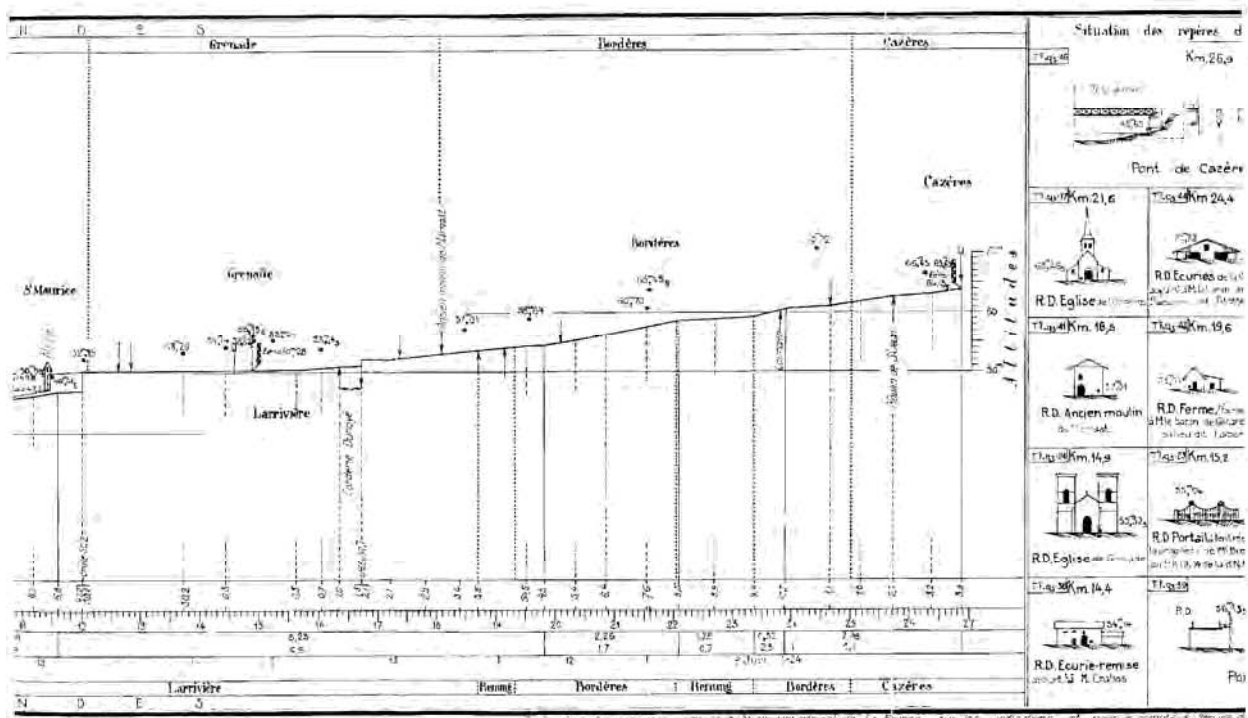
Sa stabilité dans le temps révèle que le cours d'eau est en équilibre (notion relative qui dépend de la durée qui sépare les relevés comparés), sa variation dans l'espace est un indicateur à recouper avec les autres données (apports externes de transport solide par exemple).

Il faut préciser que la notion de pente est mieux révélée par la ligne d'eau que par le relevé des points du fond, car elle lisse les irrégularités locales difficiles à interpréter.

La pente est le principal paramètre de réglage d'un cours d'eau.

Elle décroît de l'amont vers l'aval.

Le profil en long des cours d'eau présente une grande stabilité naturelle à l'échelle humaine : la physionomie géographique des bassins versants est une constante de base.



Bien que l'on observe des fluctuations cycliques locales liées à la « respiration » du lit après certains événements hydrologiques forts, les évolutions naturelles (sans intervention humaine) sont suffisamment lentes pour que l'on puisse admettre, en première approximation, qu'il y a continuité du transport solide sur un cours d'eau au cours du temps.

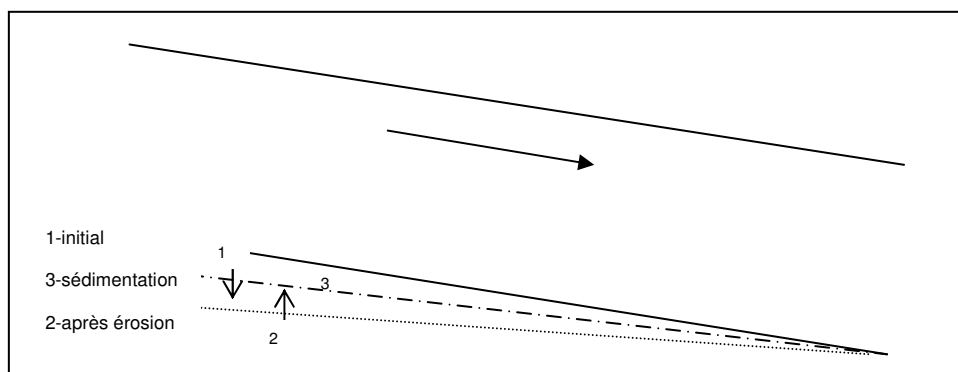
Les exceptions majeures se rencontrent dans les situations de fortes pentes en montagne où il existe de forts débits solides capables de remodeler les profils en long, notamment dans les zones de confluence (cônes de déjection par exemple), ou bien dans les zones où les extractions de granulats ont modifié de façon significative les données naturelles du site.

Les principes d'équilibre tournent autour des bases suivantes :

- un écoulement dépense un minimum d'énergie pour creuser et maintenir son lit à la configuration qui lui permet d'évacuer son débit de pleins-bords,
- un écoulement est en recherche constante de saturation solide lui assurant la capacité maximale de transport solide.

Il résulte de ces principes que tout écoulement est en recherche d'équilibre, par exemple :

- si la pente est trop faible à un moment donné, parce qu'il y a eu excédent d'érosion, la capacité de transport diminue, les matériaux se déposent et la pente augmente, il y a reprise des matériaux, diminution de la pente, etc. et un équilibre s'établit autour de ces variations,



- s'il y a coupure de méandre après un événement exceptionnel, la pente augmente, l'érosion aussi, et il y aura éventuellement recherche d'un autre méandre pour retrouver l'équilibre initial.

On pourrait multiplier les exemples de situations en illustrant ces principes admis dans les analyses géomorphologiques.

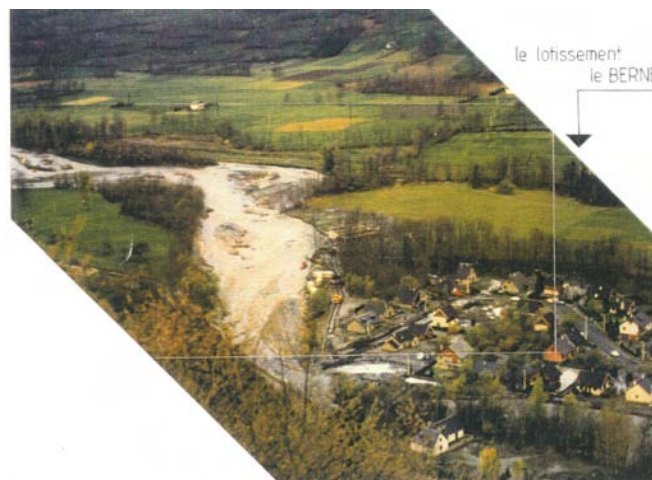
2.1.3. RECENSEMENT DES DERNIERES CRUES SIGNIFICATIVES

Afin de disposer de l'ensemble des données permettant de comprendre les mécanismes de la dynamique fluviale du cours d'eau étudié, il est essentiel d'intégrer l'hydraulique de la période récente : la stabilité ou l'instabilité constatée est forcément corrélée avec la chronique des débits.

On s'attachera à rassembler les observations de crues et toute information concernant le transport solide (érosions, atterrissements, etc.).

Le classement en fréquence ⁽¹⁾ des événements complètera ce recensement.

⁽¹⁾ classement statistique des débits sur un échantillon d'événements observés



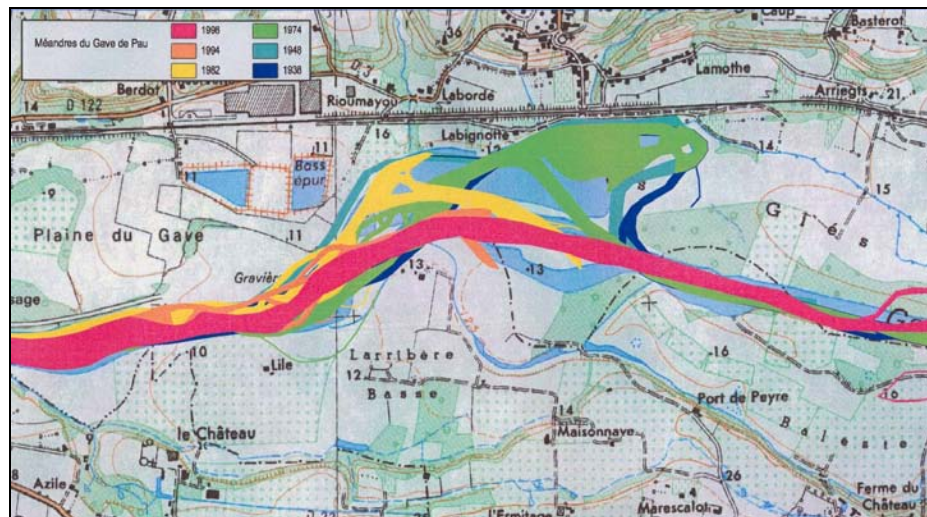
2.1.4. COMPARAISON DES TRACES EN PLAN A PARTIR DES PHOTOS AERIENNES

L'analyse des évolutions passées du tracé en plan des lits mineurs des cours d'eau constitue la base qualitative de l'argumentaire prospectif qui sera élaboré dans la délimitation de l'espace de mobilité.

Le tracé en plan du cours d'eau vient compléter l'analyse géomorphologique commencée avec l'analyse de la pente et des matériaux alluvionnaires.

La superposition des différents tracés observés apporte un enseignement de plusieurs natures :

- la connaissance du style fluvial du cours d'eau au cours du temps,
- la stabilité ou l'instabilité du tracé,
- l'évolution des aménagements dans le lit majeur,
- l'évolution du site et des points qui deviennent des nœuds de stabilité dans le tracé,
- les limites maximales des divagations
- les mécanismes de déformation du tracé au cours du temps.



L'analyse des tracés doit couvrir la période la plus longue possible. Il est courant de disposer d'un large éventail de choix à la photothèque IGN permettant de comparer les situations sur des périodes séparées de 50 ans ou plus.

2.1.5. RECHERCHE DES INTERACTIONS ENTRE TRANSPORT SOLIDE ET EQUILIBRE MORPHOLOGIQUE

Les perturbations des équilibres morphologiques peuvent conduire à des changements de style morphologique du cours d'eau.

C'est pourquoi il convient d'aborder cet aspect dans l'élaboration du diagnostic.

Pour ce faire, on doit porter un regard critique sur les aménagements réalisés au cours du temps :

- barrages,
- dérivation d'eau,
- restitution d'eau claire,
- prélèvements de matériaux en lit mineur,
- prélèvements de matériaux en lit majeur,
- coupures de boucle,
- endiguements.

On connaît les impacts de ces aménagements sur le transport solide. Il s'agit ici, à ce stade de l'analyse, d'évaluer leur influence à la date de la réflexion : par exemple, un barrage au fil de l'eau se sédimente à terme ; si cette sédimentation est effective, alors ce barrage n'a plus d'incidences ; si elle est en cours, on peut s'attendre à une érosion progressive vers l'aval.

Ainsi, chaque aménagement identifié doit faire l'objet d'une réflexion en matière de transport solide, afin de déterminer les interactions qui s'établissent sur les tronçons étudiés entre transport solide et équilibre morphologique.

2.1.6. ASPECT GEOLOGIQUE DU SECTEUR ETUDIE

La connaissance de la morphologie pluviale du cours d'eau doit être complétée par la composante géologique du site. Celle-ci peut apporter des éléments de compréhension dans certaines situations et confirmer les tendances qui auront été mises en évidence dans les autres thèmes analysés : le cours d'eau coule-t-il sur ses alluvions, ce substratum est-il proche, de quelle nature ? etc...

2.2. IDENTIFICATION DES PERTURBATIONS

Les évolutions de la morphologie d'un cours d'eau résultent de perturbations imposées à l'écoulement soit de façon naturelle, soit de façon artificielle par une intervention humaine.

Il convient de poursuivre la recherche précédente sur les aménagements, en la complétant par l'identification du rôle des perturbations rencontrées : par exemple, l'évolution du profil en long rapprochée de celle de l'évolution du tracé en place doit pouvoir trouver une justification en analysant les perturbations imposées à l'écoulement sur le tronçon qui s'est modifié.

On peut citer quelques exemples de perturbations naturelles et artificielles déclenchant des évolutions morphologiques :

- un atterrissement qui se végétalise peut ensuite résister aux crues, ce qui induit une diminution de section mouillée pouvant entraîner des érosions de berge nouvelles du fait de l'accélération des courants ;
- au contraire, un atterrissement affleurant qui est mobilisé pendant une crue entraîne la reprise de matériaux que l'on retrouvera en aval d'une manière ou d'une autre ;
- une berge érodée qui s'effondre au cours d'une crue peut entraîner des perturbations sur la berge opposée tout en apportant du débit solide à l'écoulement ; il peut s'agir d'un déplacement de méandre ;
- la présence d'un épi peut avoir stabilisé la berge à protéger, tout en apportant une évolution d'érosion sur la rive opposée ;
- l'ouverture d'une vanne de chasse d'un barrage conduit à l'augmentation de la pente, et alimente l'aval en matériaux mobiles.

En définition, les perturbations, quelles qu'elles soient, conduisent à des évolutions qui se résument souvent au déclenchement d'érosions soit progressives, soit régressives, pour retrouver l'équilibre naturel entre débit solide/débit liquide, pente et granulométrie.

2.3. ANALYSE DES TRANSFORMATIONS ET DE LA REPONSE DU MILIEU

Dans ce volet d'étude, il s'agit de prendre du recul par rapport à l'ensemble des données collectées aux chapitres précédents pour commencer à se faire une idée de l'évolution en cours.

Il convient de remettre en perspective dans le temps l'ensemble des modifications constatées.

Une approche quantitative peut apporter des éléments de compréhension supplémentaires : les paramètres les plus étudiés dans la littérature spécialisée sur les cours d'eau sont liés à la recherche d'invariants, susceptibles de qualifier l'état d'équilibre hydraulique recherché.

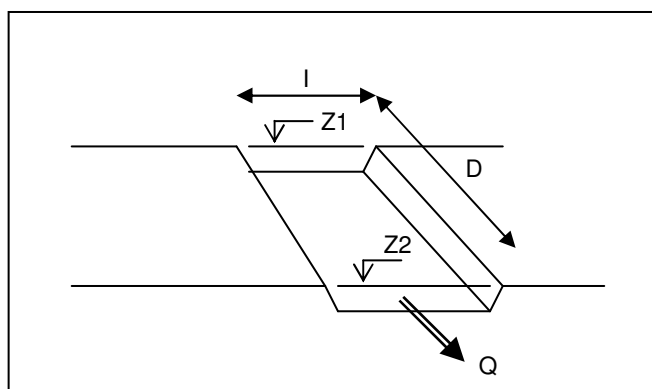
On peut citer les principales approches sur la puissance spécifique, les rapports de certains paramètres descriptifs de la morphologie, et les calculs de volume solide.

Cette approche quantitative est à prendre avec de nombreuses précautions, elle ne permet que de confirmer les tendances dans certaines situations, les incertitudes sont très grandes.

2.3.1. PUISSANCE SPECIFIQUE

On exprime la puissance spécifique à partir de la formule :

$$\omega = \rho g Q J / l \quad \text{avec} \quad J = \frac{Z_2 - Z_1}{D}$$

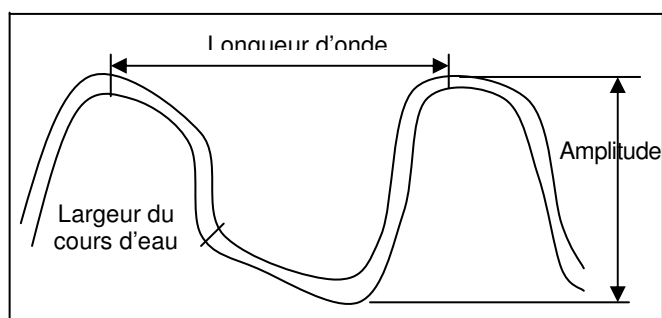


où :

- **ρ** est la masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³)
- **g** est l'accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)
- **Q** est le débit de pleins-bords (m³/s)
- **Z_1, Z_2** sont les attitudes des niveaux d'eau de pleins-bords en mNGF
- **J** est la pente hydraulique de l'écoulement
- **D** est la longueur du tronçon de cours d'eau en mètres
- **l** est la largeur du lit mineur entre berges en mètres

2.3.2. AMPLITUDE D'EQUILIBRE

De nombreuses recherches ont eu pour objectif de voir s'il existait une longueur d'onde d'équilibre entre méandres d'un cours d'eau.



Le rapport amplitude/largeur du cours d'eau (A/l) varie dans de fortes proportions : il peut être compris entre 4 et 18, c'est dire si ce coefficient doit être pris avec circonspection. Il peut être analysé le long d'un cours d'eau, toujours dans le souci de compléter la recherche des tendances d'évolution.

2.3.3. CALCUL DES VOLUMES SOLIDES

La capacité de charriage d'une rivière constitue l'élément moteur de la structure géomorphologique d'un cours d'eau. On parle de transport solide « morphogène », ou actif, lorsque le charriage est alimenté par des matériaux solides d'une taille voisine de celle des matériaux du lit.

Les formules de calcul de transport solide existent dans la littérature (Voir annexe).

Il existe des outils pour obtenir une évaluation du transport solide, et poursuivre les réflexions d'analyse par le recoupement des informations géomorphologiques avec celles des tendances calculées sur le charriage.

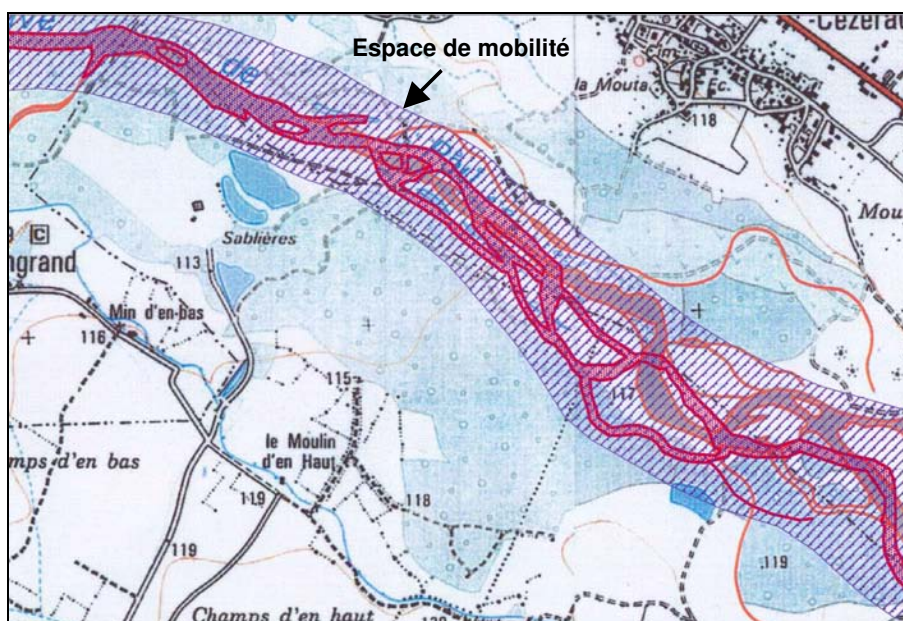
Par exemple, la crue de novembre 1982 sur la Neste à Saint-Lary / Vielle-Aure a conduit des atterrissements et des exhaussements des fonds sur les plages de dépôts, que l'on a pu expliquer par la quantification des volumes solides transportés pendant cet épisode exceptionnel.

2.4. ANALYSE PROSPECTIVE DE L'EVOLUTION PROBABLE

Au terme des investigations précédentes, un diagnostic géomorphologique complet peut ensuite être dressé :

- mise en évidence des transformations enregistrées,
- compréhension des mécanismes d'érosion/dépôt et logique amont/aval,
- réponses du milieu naturel aux perturbations,
- caractérisation du type morphologique d'écoulement,
- évolution ou stabilité du style fluvial,
- équilibre/instabilité du transport solide.

Ce diagnostic peut être ensuite prolongé par un avis sur l'évolution probable des paramètres géomorphologiques du cours d'eau sur le tronçon étudié (il est important de raisonner par tronçons homogènes si le linéaire étudié rassemble des caractéristiques hydrauliques contrastées), et permettre la cartographie de l'espace de mobilité.



Il convient alors de rapprocher ce diagnostic du texte de l'arrêté ministériel modificatif du 24 janvier 2001 pour répondre aux préoccupations déclinées :

- évolution du cours d'eau : la compréhension des mécanismes hydrauliques permet de préjuger des tendances évolutives du tracé,
- présence des ouvrages et aménagements significatifs : si dans l'espace de mobilité naturelle se trouvent des ouvrages d'importance significative tels que des ponts, stations d'épuration, ouvrage public, épis de protection, etc, susceptibles de s'opposer à l'évolution potentielle du cours d'eau, il faut alors décider du caractère définitif de ces ouvrages ; a priori, tous les ouvrages d'un certain coût et d'une utilité publique notoire, ou de protection d'habitations où sont exposées des populations, seront considérés comme pérennes et ne pouvant pas être détruits pour laisser place à la rivière. Il s'agit ici d'une hypothèse réaliste qui correspond aux objectifs des collectivités publiques qui interviennent pour maintenir en état ce type d'ouvrage.

S'il fallait recadrer cette délimitation dans l'échelle des temps, on peut préciser qu'il s'agit d'une définition à l'échelle humaine (et non à l'échelle géologique), cohérente avec les termes ministériels se référant aux aménagements significatifs actuels.

2.5. RECAPITULATIF DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE

Chronologie de la démarche	Commentaires
Compréhension du fonctionnement naturel de la rivière étudiée ◆ reconnaissance préalable du cours d'eau pour noter la nature des écoulements (fluvial, torrentiel), et des matériaux qui composent le fond du lit, ◆ analyse du profil en long de la ligne d'eau, avec évolution dans le temps (profils anciens et récents), ◆ recensement des dernières crues significatives, ◆ comparaison des tracés en plan à partir des photos aériennes prises à différentes époques, ◆ recherche des interactions entre transport solide et morphologie, ◆ aspect géologique.	L'objet de ce volet d'étude est de caractériser le fonctionnement hydraulique du cours d'eau: quelle est sa dynamique? Est-il stable? Les crues sont-elles déstructurantes? Y a t'il des ouvrages ayant des incidences sur son cours? Le cours d'eau coule t'il sur ses alluvions?
IDENTIFICATION DES PERTURBATIONS	L'évolution constatée est-elle expliquée par les perturbations identifiées?
ANALYSE DES TRANSFORMATIONS ET DE LA REPOSE DU MILIEU	Les transformations constatées sont à analyser dans une vue d'ensemble; on peut les rapprocher d'une analyse quantitative indicative permettant les recoupements d'explication.
ANALYSE PROSPECTIVE DE L'EVOLUTION PROBABLE ◆ mise en évidence des transformations enregistrées, ◆ compréhension des mécanismes d'érosion/dépôt et logique amont/aval, ◆ réponses du milieu naturel aux perturbations, ◆ caractérisation du type morphologique d'écoulement, ◆ évolution ou stabilité du style fluvial, ◆ équilibre/instabilité du transport solide.	En dehors des points "durs" autour desquels le cours d'eau peut évoluer, la caractérisation du régime d'écoulement du cours d'eau permet de proposer une limite à l'intérieur de laquelle cette mobilité peut s'installer.

3. APPLICATION DE LA METHODE PRECONISEE

La démarche méthodologique préconisée a été appliquée à trois tronçons, d'environ 10 km chacun, de cours d'eau du Sud-Ouest :

- l'Adour entre Bordères et Grenade-sur-l'Adour,
- l'Adour entre Augreilh et Toulouzette,
- le Gave de Pau entre Puyoo-Bellocq et Lahontan.

On notera que le texte réglementaire impose une longueur minimale de 5 km pour définir l'espace de mobilité.

D'une façon générale, cette longueur est à centrer, a priori sauf spécificités exceptionnelles, sur le lieu du projet qui déclenche la réflexion : les évolutions de tracés divagants peuvent aussi bien provenir de singularités amont ou aval du projet.

3.1. TRONÇON DE L'ADOUR ENTRE BORDERES ET GRENADE-SUR-L'ADOUR

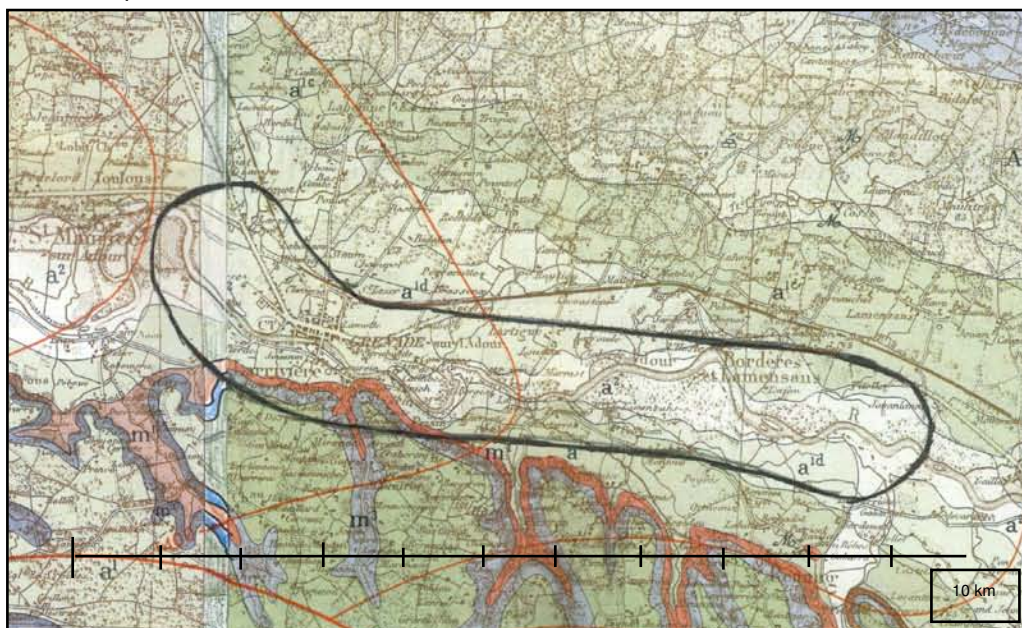
Actuellement la pente de la ligne d'eau est de 0,9 ‰. La section mouillée moyenne est de l'ordre de 180 à 200 m². Le débit de pleins-bords se situe vers 300 à 400 m³/s.

Les débits caractéristiques de l'Adour à retenir dans ce secteur sont les suivants :

Fréquence	Débit à Montgaillard (m ³ /s)
Biennale 1/2	320
Quinquennale 1/5	440
Décennale 1/10	560
Centennale 1/100	1 040

On se trouve en présence d'un régime fluvial (nombre de Froude $F < 1$, dans cette section de pleins-bords, il y faudrait un débit de l'ordre de 1 000 m³/s pour constater un écoulement torrentiel).

Du point de vue géologique, on notera les données collectées sur la carte géologique du secteur et retranscrites ci-après :



La zone d'étude est ici aussi principalement recouverte par les sédiments quaternaires alluvionnaires. Elle appartient à la bordure du Bas-Armagnac, région sensiblement déprimée où dominent les dépôts marins et côtiers appelés "sables fauves". Elle est toute proche de la "terrasse de Garlin" qui correspond à un très ancien lit du Gave de Lourdes. La vallée de l'Adour est venue ici recouper l'ancien lit du Gave.

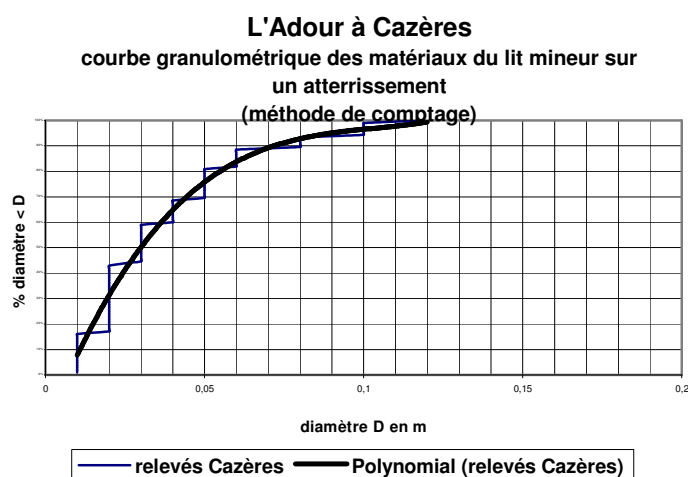
Les alluvions de l'Adour correspondent au lit majeur saisonnier: sables et galets remaniés à partir des dépôts "wurmiens et rissiens".

On rencontre les terrains :

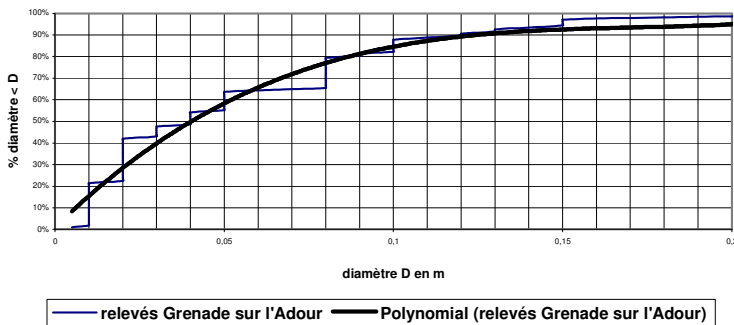
- a^2 : alluvions modernes et récentes.
- a^{1d} : alluvions présumées wurmiennes composés de sables et de galets sans altération notable.
- a_1 : alluvions anciennes wurmiennes composés. Haut niveau supérieur, il est constitué de galets quartzeux conservés et patinés sur plusieurs centimètres de profondeur. Ces alluvions sont très altérées et rubéfiées. Une gangue argilo-sableuse est caractéristique de cette dégradation. Des limons rubéfiés, localement très sableux, recouvrent la surface de cette nappe ancienne.
- m^3 : sable fauve du Tortonien supérieur, cette formation est de puissance très variable et peu dépasser 50 m . Elle est fossilifère et composée de sable quartzeux fins coloré par de l'argile ferrugineuse associés à de débris coquillés.
- m^1 : molasses, marnes et calcaires du Burdigalien.

Du point de vue sédimentologique, on constate quelques atterrissements.

Deux granulométries ont été réalisées sur place par la méthode de comptage. On obtient les résultats suivants :



L'Adour à Grenade sur l'Adour
courbe granulométrique des matériaux de la berge inondable
(méthode de comptage)



Les courbes granulométriques donnent une idée des matériaux alluvionnaires en place.

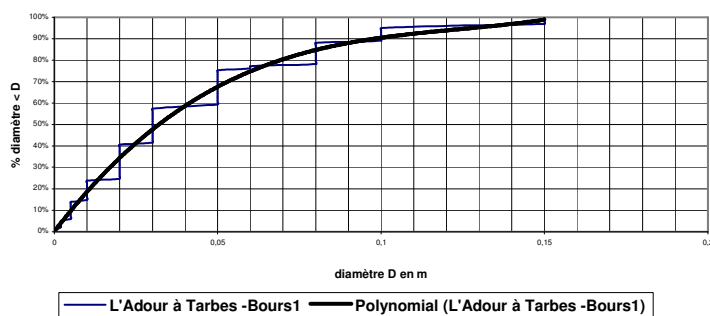
Il est intéressant de noter le diamètre moyen d_{50} qui est de 0,03 m à Cazères et de 0,04 m à Grenade.

Ces valeurs ne représentent que les matériaux observés sur les atterrissements, on sait que la nature des matériaux du fond du lit présente une diversité plus grande qui intègre des éléments plus fins. Les atterrissements sont déposés par fortes crues, ils représentent les éléments les plus gros.

Nous avons procédé au comptage d'un atterrissement situé en amont immédiat du seuil de Bours (aval immédiat de Tarbes).

On obtient la courbe suivante où l'on peut lire $d_{50} = 0,03$ m.

L'Adour à Tarbes - Bours
courbe granulométrique des matériaux du lit mineur sur un atterrissement
(méthode de comptage)



En d'autres termes, les atterrissements qui se forment à Tarbes présentent la même granulométrie que ceux observés à Cazères-sur-l'Adour et Grenade-sur-l'Adour.

Avec une pente de 0,9 ‰ entre Cazères et Grenade et un diamètre moyen $d_{50} = 0,03$ m, on obtient un débit de début d'entraînement des matériaux de fond à $525 \text{ m}^3/\text{s}$. Avec ces valeurs, il n'y aurait pas de transport solide significatif avant les débits de fréquence décennale. Dans ce cas, les modifications potentielles seront obtenues seulement pour les crues exceptionnelles.

Si l'on considère que les granulométries effectuées ne représentent que la fraction la plus élevée des matériaux qui constituent le lit mineur de l'Adour dans ce secteur, il convient de pondérer ces dernières remarques. Néanmoins, il n'existe pas sur l'ensemble de l'Adour de zones caractérisées de "réserve" à matériaux susceptibles d'alimenter le transport solide du cours d'eau. Il existe, en revanche, encore aujourd'hui de nombreux endroits où le transport solide peut être interrompu du fait de surcreusements anciens non rééquilibrés.

Le calcul de débit de début d'entraînement dans le secteur de Tarbes, où la pente est de l'ordre de 4 ‰, donne 20 m³/s, ce qui indique une forte capacité de mobilisation des matériaux du lit. Ce secteur amont de l'Adour est en effet plus sujet aux érosions que les secteurs étudiés en aval d'Aire-sur-l'Adour. Néanmoins, il ne semble pas qu'il y ait continuité de charriage des matériaux mobilisés.

Les dernières crues observées sur l'Adour, après celles historiques de 1952 (fréquence 1/100), 1971 (fréquence 1/3) et 1972 (fréquence 1/20) et à part celle de 1994 dont la fréquence est d'environ 1/2, sont de période de retour plus fréquente (plusieurs fois par an) : 1988, 1990, 1992, 2000.

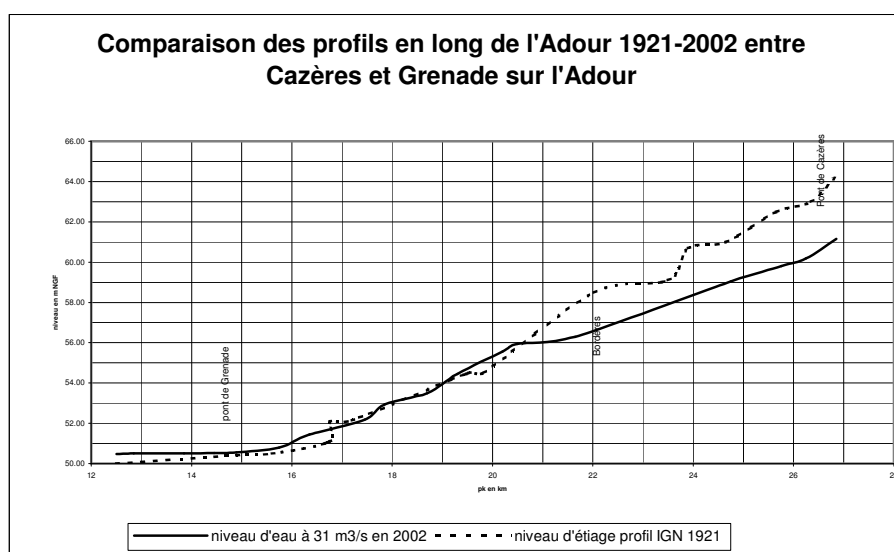
Ces derniers événements n'apportent aucune modification sur l'instabilité potentielle ; tout au plus peuvent-ils confirmer la stabilité du tracé aux crues courantes.

Sur le tronçon étudié, on note les singularités hydrauliques suivantes, d'aval en amont :

- le seuil de Saint-Maurice situé en aval du secteur étudié mais dont le remous se fait sentir à Grenade-sur-l'Adour,
- il y avait autrefois (profil IGN 1921) un seuil situé 1,3 km en amont du pont de Grenade mais qui a disparu du fait de l'approfondissement du fond du lit,
- le pont de Grenade,
- la zone d'extractions de Bordères,
- le chenal de dérivation de l'ancien projet de bassin compensateur du secteur de Bordères.

L'analyse de l'évolution du cours d'eau peut être faite sur le profil en long et le tracé en plan.

Le levé du profil en long de la ligne d'eau réalisé pour la présente étude a été reporté en superposition du profil IGN de 1921 :



Il apparaît sur ce profil un approfondissement du fond du lit au droit des extractions de Bordères qui se prolonge jusqu'au pont de Cazères. L'approfondissement au droit du pont, de l'ordre de 2 à 3 m, ne fait aucun doute quand on voit les protections de pied de pile de pont sortir de l'eau, comme si elles avaient été construites sur des îlots.

Ce constat confirme l'instabilité dans le temps du tracé, que l'on retrouve sur la comparaison des tracés à partir des photos aériennes (figure 3) : la zone la plus perturbée en tracé en plan correspond à celle où l'approfondissement est le plus important, entre Bordères et le pont de Cazères ; en revanche, le secteur aval autour de Grenade-sur-l'Adour est remarquablement stable.

Les interactions à noter dans le tronçon étudié entre transport solide et équilibre morphologique sont celles qu'ont induites les extractions de matériaux alluvionnaires : approfondissement du lit mineur, érosions diverses, modifications de tracé.

On constate, par ailleurs, qu'un nouvel équilibre semble s'être installé, sachant que la notion même d'équilibre renferme intrinsèquement les notions de précarité et d'instabilité latentes plus ou moins fragiles.

Depuis cette période, marquée par les évolutions morphologiques qui ont suivi, seuls les aménagements de protection pour contrecarrer les effets constatés dans certains méandres, sont de nature à influencer sur l'équilibre du tronçon.

Le report de la localisation des protections, réalisé sur la figure 3, donne les secteurs de points durs en même temps que les endroits où les érosions furent les plus vives.

Dans ce tronçon, il faut également signaler la présence du chenal du projet abandonné du bassin compensateur de Bordères.

Ce chenal présente un tracé rectiligne en courbe avec un seuil de récupération de la pente d'équilibre.

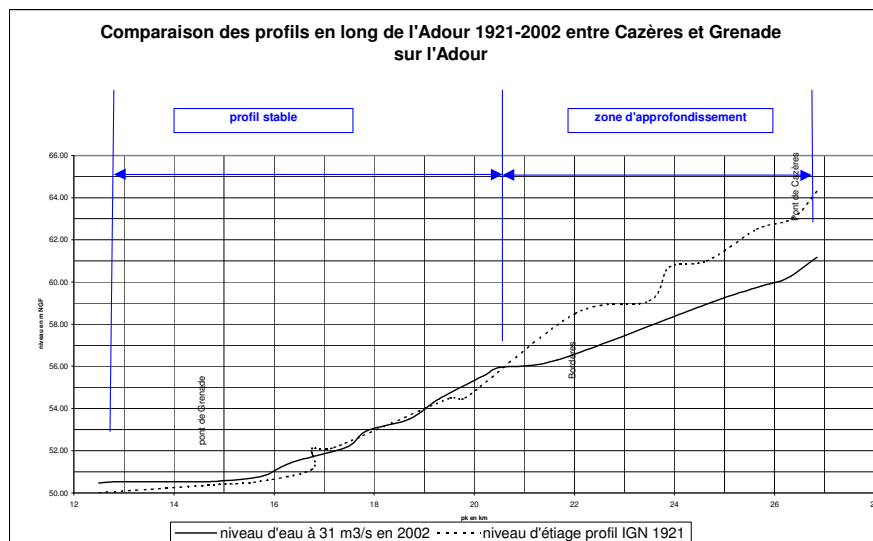
Enfin, il est important de préciser qu'aucun aménagement de protection n'a été réalisé depuis de nombreuses années et qu'aucune érosion significative n'a été signalée depuis longtemps.

La puissance spécifique définie au paragraphe 2.3.1 peut être évaluée à 30 à 40 w/m². Le rapport d'amplitude des méandres sur la largeur est de 8 environ.

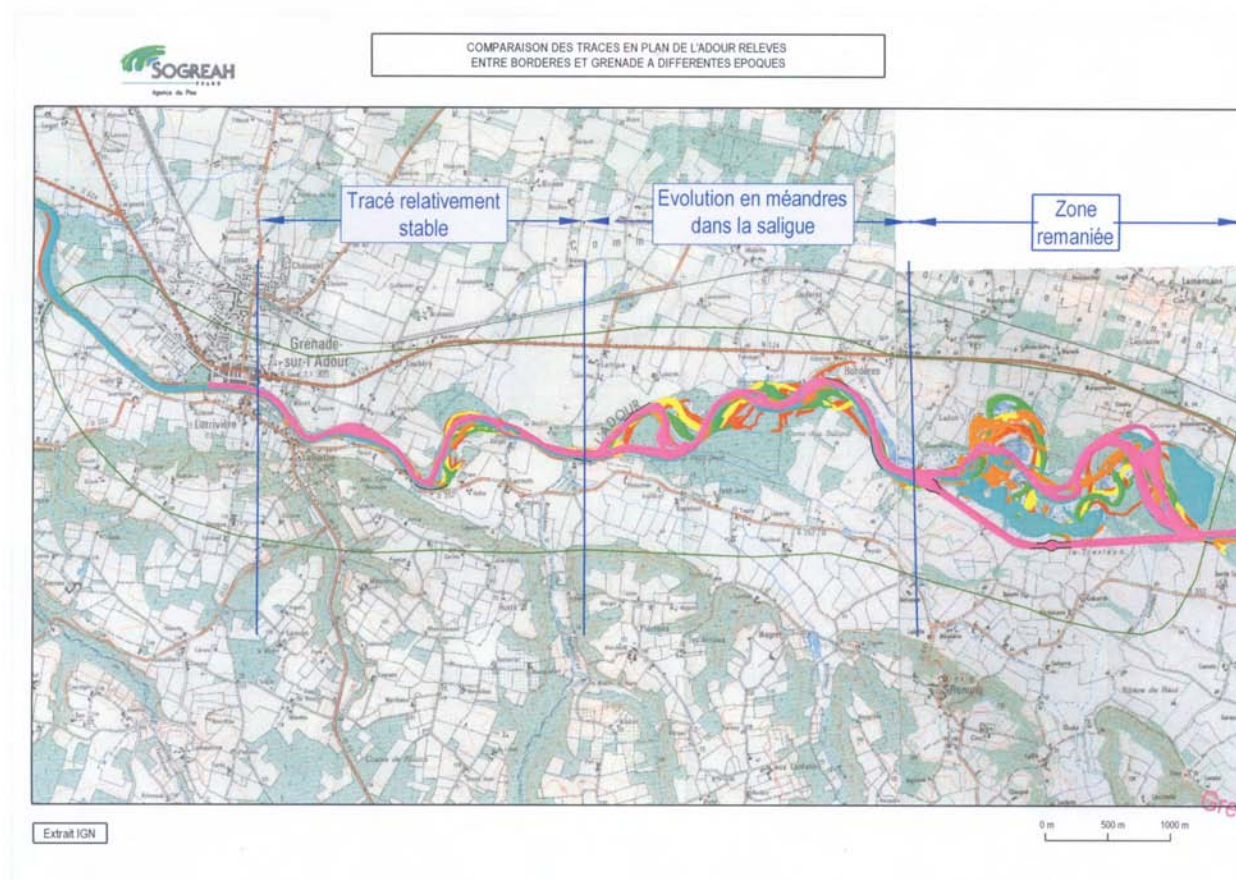
Proposition de délimitation de l'espace de mobilité

Les deux premiers critères qui interviennent dans cette délimitation sont les évolutions dans le temps du profil en long de l'Adour et de leur tracé en plan :

- la première moitié aval du tronçon étudié n'a pas évolué en altitude ; la dernière moitié amont s'est approfondie dans de fortes proportions (de l'ordre de 2 m),



- le premier tiers aval est stable dans son tracé en plan ; le deuxième tiers du tronçon a évolué dans la saligue à la manière d'un lit à méandres multiples ; le dernier tiers amont a été complètement déstabilisé par les interventions extérieures et ne peut être analysé comme s'il s'agissait d'une évolution naturelle.



Les autres paramètres intervenant dans l'évolution probable du tracé sont la dynamique de transport solide actuelle et potentielle.

De ce point de vue, il semble acquis que la continuité de transport solide dans l'Adour est interrompue pour de nombreuses années.

Les plans d'eau qui ont été réalisés en série sur le cours de l'Adour entre Tarbes et Aire-sur-l'Adour constituent autant de bassins de décantation qui interrompent le processus naturel d'alimentation en granulats se déposant au fur et à mesure du cheminement, en fonction de l'énergie de transport disponible dans les courants (tri granulométrique d'amont en aval). Il reste l'alimentation par érosion des berges et des atterrissements partout où cela est possible. L'approfondissement du lit mineur rapproche le fond du lit du substratum en de nombreux endroits, comme ce doit être le cas sur le secteur de Cazères.

Ainsi, dans le deuxième tiers aval du tronçon étudié, on peut s'attendre à une progression des méandres en respectant le principe de dépense d'énergie minimum.

Dans le dernier tiers amont, le lit peut divaguer dans tout l'espace qu'il a déjà occupé si la couche de sols rencontrés 2 m plus bas qu'autrefois présente une érodabilité en rapport avec l'énergie disponible des courants.

En revanche, le premier tiers aval, stable dans le temps depuis toujours, et sous l'influence du seuil de Saint Maurice, ne devrait pas évoluer davantage dans les temps futurs.

De cette analyse, nous pourrions proposer la délimitation de l'espace de mobilité reportée sur la figure 4.

Cette délimitation est essentiellement technique mais elle répond aux critères du décret de 2001 rappelé en objet : il s'agit bien de l'espace de mobilité à "l'intérieur duquel le lit mineur peut se déplacer" soit parce que sa dynamique lui rend nécessaire cette évolution, soit, à l'inverse, parce que les enjeux économiques et humains le contraignent à l'intérieur de cet espace.

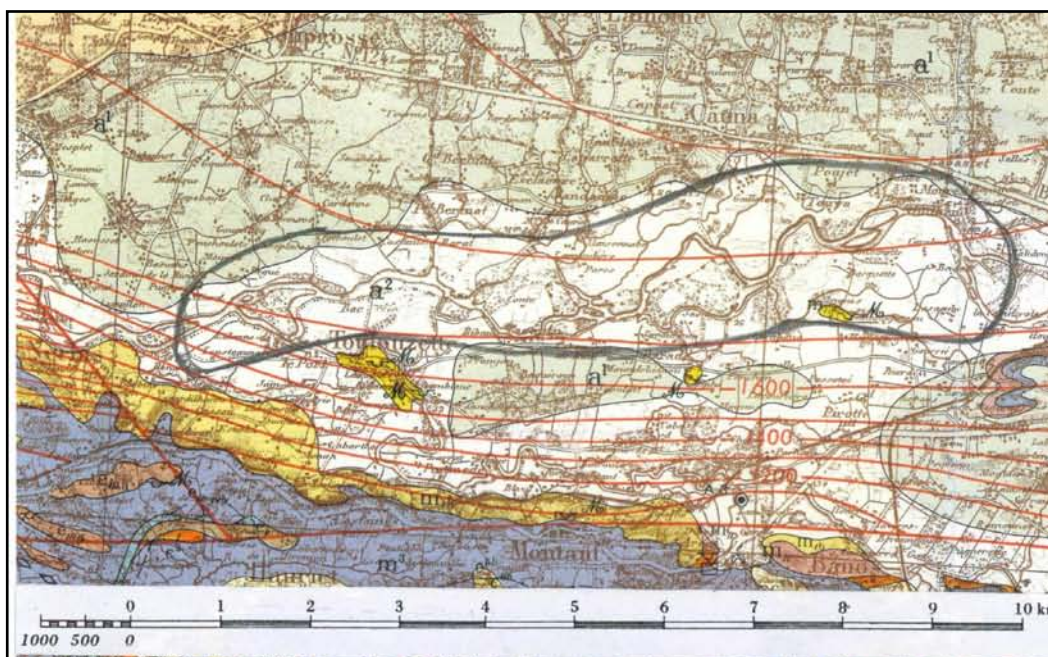
3.2. TRONÇON DE L'ADOUR ENTRE AUGREILH ET TOULOUZETTE

Le levé de ligne d'eau effectué le 24 juin 2002 donne une pente de 1 ‰ sur le tronçon étudié.

Le débit de pleins-bords est de l'ordre de 400 à 500 m³/s pour une section mouillée de 200 à 250 m².

Le régime d'écoulement est fluvial (nombre de Froude $F < 1$).

L'aspect géologique du secteur est rappelé ci-dessous :

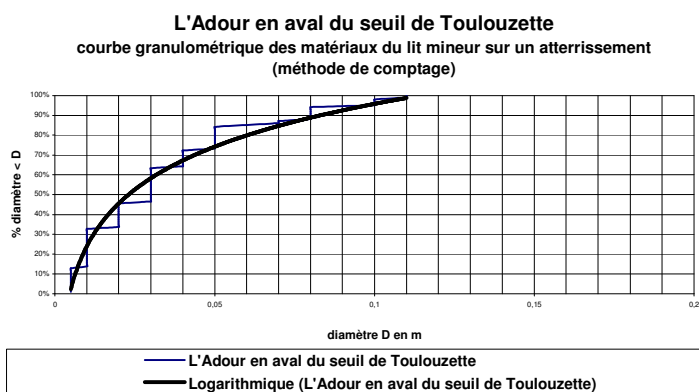
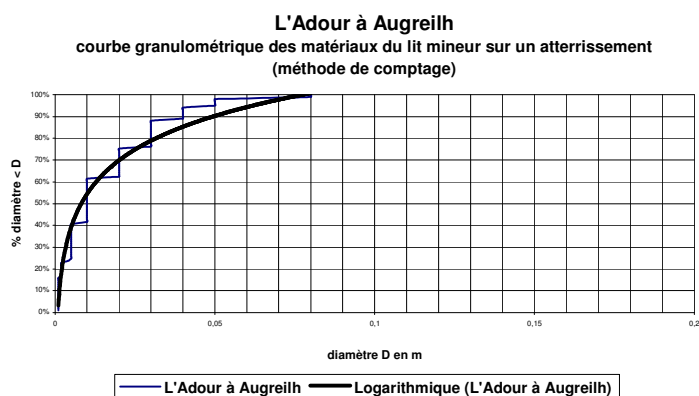
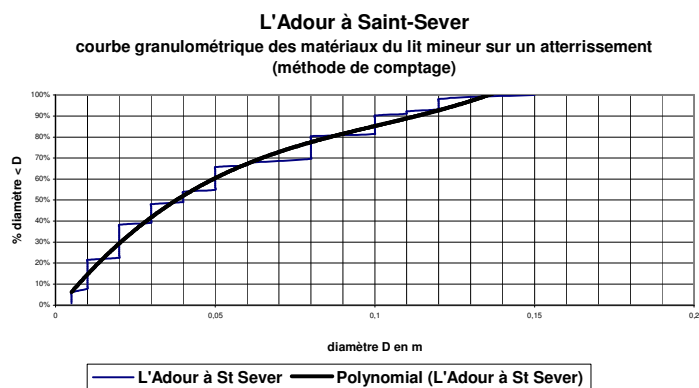


Ce secteur d'étude est localisé en Chalosse. La totalité de la zone est recouverte par des alluvions quaternaires. Ils reposent sur les séries plus anciennes du miocène.

Les terrains affleurant en présence sont constitués de:

- a² : alluvions récentes plus importants en rive gauche de l'Adour qu'en rive droite. Elles sont formées d'un limon argilo-sableux à lits de galets.
- a¹ : alluvions anciennes. Elles font défaut sur la plaine des Landes, mais couvrent d'assez vastes surfaces sur les rives de l'Adour. Elles sont constituées par un limon argilo-sableux, jaune ou rougeâtre, jaspé de gris et renfermant par places, des concrétions ferrugineuses. dans ces limons sont incrustés à différents niveaux, des galets de roches quartzieuses d'autant plus volumineux qu'ils sont rapprochés des Pyrénées d'où ils proviennent.
- m_{1a} : Faluns de St Avit. Ils sont caractéristiques de la récurrence marine qui précède l'installation de faciès continentaux de l'Armagnac. Cette formation n'apparaît que très peu dans la zone d'étude. Plusieurs hypothèses sont alors envisageables quand à l'apparition de ce fragment de miocène :
 - soit l'érosion est active et porte au jour les terrains sous-jacents,
 - soit, l'Adour ne méandre plus dans cette zone (puisque cet îlot de miocène n'est pas recouvert d'alluvions),
 - soit les deux solutions sont couplées.

Trois granulométries ont été réalisées sur des atterrissements à Saint Sever, Augreilh et Toulouzette :



On y obtient les valeurs moyennes suivantes :

	Saint Sever	Augreilh	Toulouzette
d_{50}	0,04 m	0,008 m	0,023 m

L'atterrissement de Saint Sever, en aval du seuil de protection du pont est constitué d'éléments plus gros que les deux autres échantillons qui sont cependant de taille moyenne plus réduite que ceux mesurés sur Grenade et Cazères.

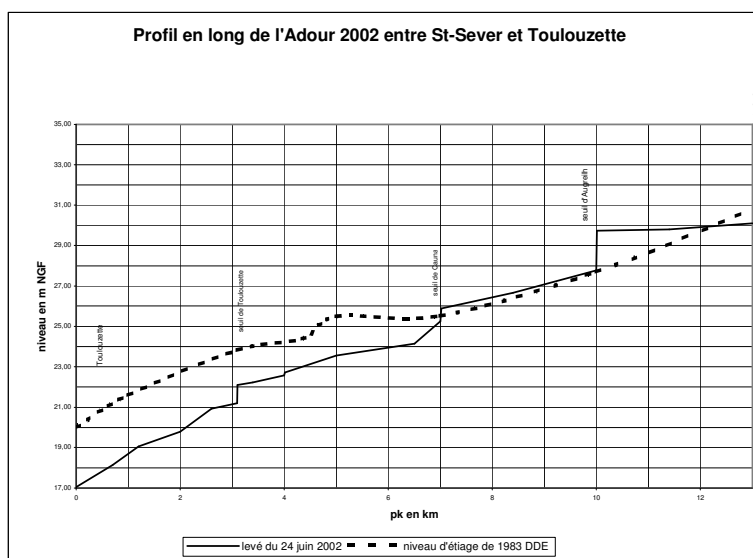
Avec une pente de 1 ‰ et un diamètre moyen $d_{50} = 0,008$ m, on calcule un débit de début d'entraînement des matériaux de $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit est fréquemment dépassé, ce qui confère à ce tronçon un potentiel d'agressivité sédimentaire élevé : des érosions et mouvements d'atterrissements doivent pouvoir être constatés régulièrement dans les secteurs non protégés.

Néanmoins, il n'a pas été signalé d'érosion particulière dans ce tronçon depuis de nombreuses années, vraisemblablement parce que les zones exposées ont été renforcées, mais aussi parce que son profil en long présente 3 seuils dont l'objectif est de maintenir le niveau d'eau :

- seuil d'Augreilh (année de réalisation 1984),
- seuil de Cauna (protection pompage irrigation très ancienne > 25 ans),
- seuil de Toulouzette (année de réalisation après 1990) réalisé dans le lit majeur avec basculement de l'Adour après création artificielle du chenal aval : il s'agissait de stabiliser ce secteur sujet aux changements brusques de tracés du lit mineur.

Les dernières crues récentes ne sont pas d'importance significative, elles sont observées plusieurs fois par an (1988, 1990, 1992, 2000), sauf celle de 1994 de fréquence 1/2 mais qui n'a laissé aucun souvenir dans les mémoires.

Le profil en long de l'Adour sur ce secteur ne dispose pas de relevés anciens par l'IGN (Les Forces Hydrauliques ont arrêté leur levé à Saint Sever). La DDE a cependant fait des levés d'étiage après les années 1980. Le report de celui de 1983 sur le dernier relevé de 2002 permet de les comparer :



On relève un approfondissement de l'ordre de 3 m à Toulouzette, modification artificielle apportée volontairement par l'aménagement d'un nouveau lit de l'Adour autour du seuil de Toulouzette.

En effet, il a été réalisé un déplacement du lit de l'Adour pour réguler son cours et stopper les divagations qui étaient constatées régulièrement.

La comparaison des tracés en plan de l'Adour (figure 5) à différentes époques montre une forte variabilité qui peut expliquer les aménagements qui ont été réalisés dans les années 1980-90.

La dynamique sédimentaire constatée ne présente pas d'activité significative : pas d'érosion de berge de grande envergure, pas d'atterrissements importants, ce qui s'inscrit en contradiction avec les potentialités de l'Adour dans ce secteur, soit parce que les protections sont efficaces, soit parce que le transport solide ne peut plus être soutenu dans la nouvelle configuration morphologique globale de l'Adour.

On notera la présence rémanente d'une importante zone boisée que l'on peut apparenter à la saligue, néanmoins déboisée en de nombreux endroits et remplacée par des terres cultivables.

Le report des secteurs protégés par des enrochements de berge (figure 5) indique les points durs du tronçon, passages obligés de l'Adour même en cas de divagations potentielles.

Le tracé actuel, comparé aux tracés anciens, a perdu en sinuosités en diminuant sa longueur d'écoulement, compensée par les ouvrages-seuils.

La puissance spécifique dans ce secteur est de 50 à 70 w/m². Le rapport A/l est de l'ordre de 11.

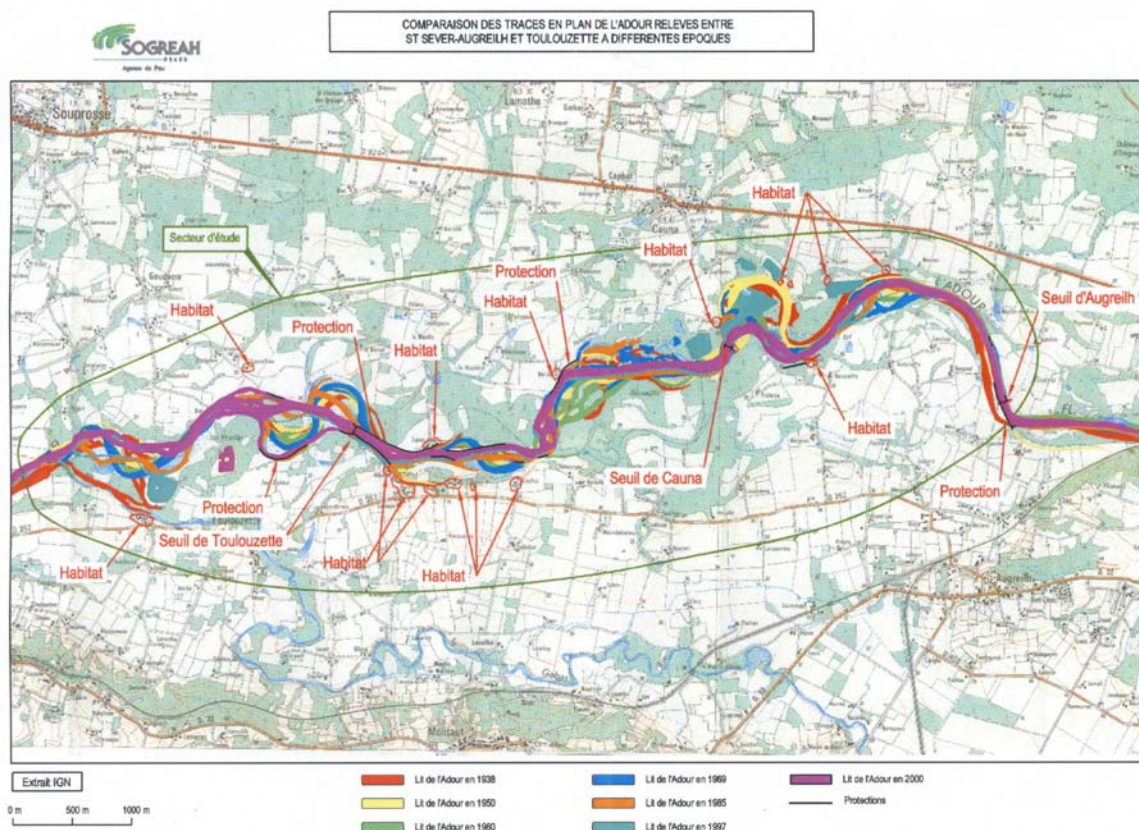
Propositions de détermination de l'espace de mobilité

On se trouve en présence d'un tronçon où la forte activité dynamique s'est traduite au cours du temps par de fréquents changements de tracés du lit mineur.

Il existe des nœuds d'équilibre autour desquels les divagations s'inscrivent sans les modifier : cela doit correspondre à des reliefs particuliers ou des couches géologiques sous-jacentes plus résistantes.

Les matériaux alluvionnaires du fond du lit sont de taille facilement mobilisable par les débits courants qui coulent dans ce tronçon, facteur d'activité sédimentologique forte.

Les points durs que représentent les seuils et les protections sont des invariants autour desquels l'Adour pourra rechercher son équilibre.

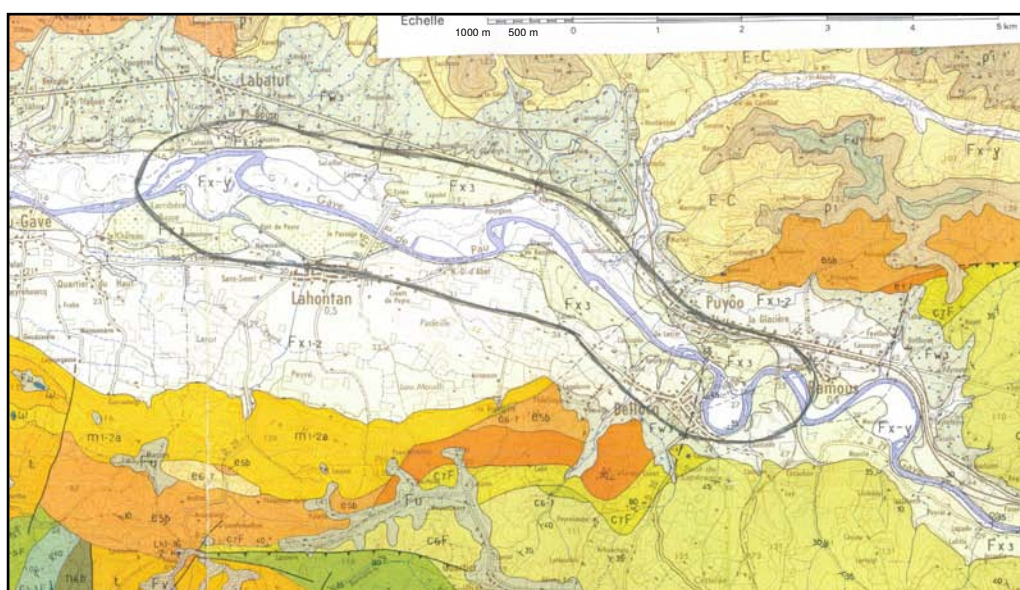


L'habitat et les routes constituent un autre invariant qui ne sera pas détruit par la dynamique de la rivière.

A partir de cette analyse, nous proposons de retenir la délimitation de l'espace de mobilité reportée sur la figure 6.

Les débits caractéristiques du Gave de Pau dans ce tronçon sont les suivants :

Nous sommes en présence d'un régime d'écoulement fluvial (nombre de Froude < 1).



Cette première zone d'étude est située sur la bordure redressée du bassin d'Arzacq. Elle empiète légèrement au sud est sur le compartiment de Sainte-Suzanne-Salies.

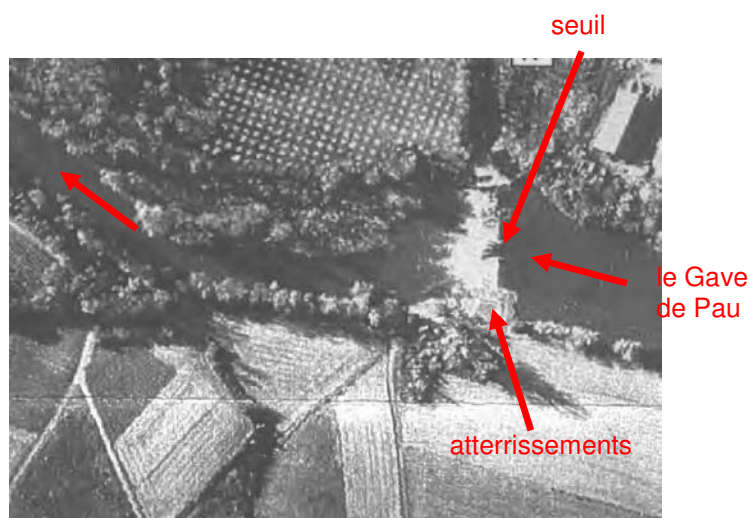
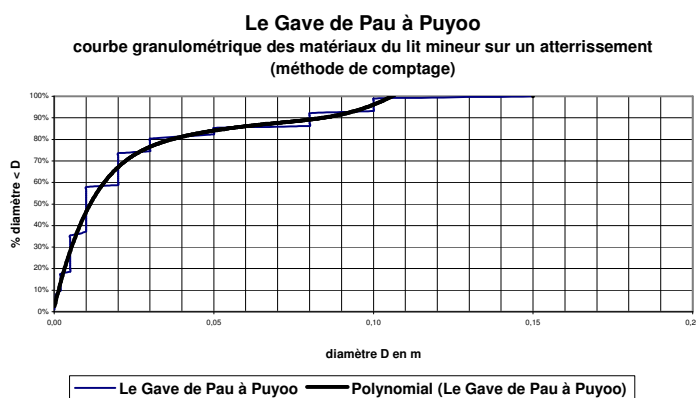
Les terrains que l'on rencontre sur le secteur d'étude sont principalement des terrains quaternaires, alluvionnaires déposés au fil de la méandrication du Gave de Pau. Ce dernier arrache des matériaux en amont du site pour les redéposer tout au long de son cours.

Au début du quaternaire, les épandages venus des Pyrénées se dirigeaient directement vers le Nord-Ouest, suivant des génératrices du cône du piémont. Puis, par la suite de phénomènes de capture et de déversement, les cours d'eau ont, à plusieurs reprises, obliqués vers l'Ouest, pour arriver finalement à leur tracé actuel.

Deux types de formations quaternaires se rencontrent ici, les colluvions et éboulis sur les versant, à prédominance sableuse ou limoneuse, et les formations alluviales d'origine fluviale ou fluvio-glaciaire, toujours graveleuses. Sur notre zone d'étude on trouve affleurants:

- la formation F_{X-Y} est composée de graviers, sables, limons et argile fluviatile du Wurm final, post glaciaire. Ces dépôts reprennent les éléments des terrasses antérieures.
- le F_{X3} est composé de sables et de limons du Wurm III.
- le F_{X1-2} comprend des sables, galets et graviers du Wurm I et II.
- le F_{W3} est constitué de galets d'ophite, des quartzites et des grès non altérés ainsi que des granites. Une gangue sableuse brune est associée à cet ensemble. Il date du Riss III.

Une granulométrie faite par comptage sur un atterrissement situé en aval immédiat du seuil de Bellocq a donné la courbe suivante :



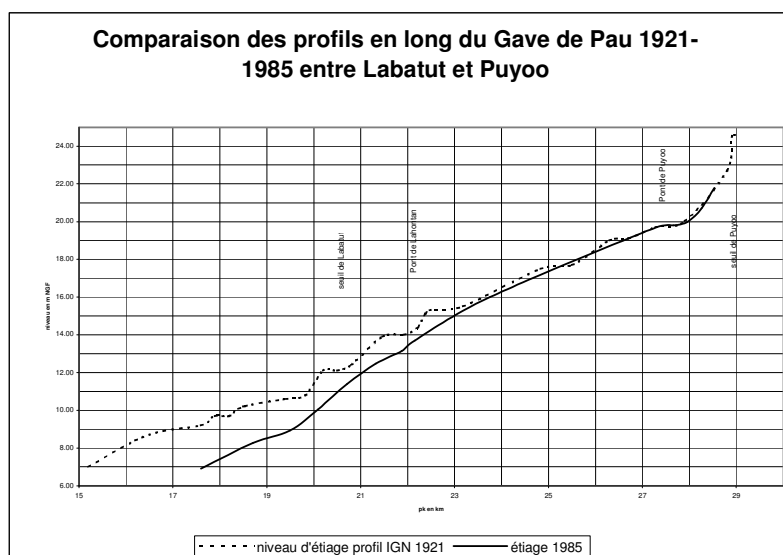
Avec un diamètre moyen $d_{50} = 0,012$ m, on obtient un débit de début d'entraînement à $28 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui représente une capacité forte de mobilité des matériaux dans le tronçon. Cela peut confirmer la tendance aux érosions de pied de falaise constatées dans le méandre, et aux dépôts sur les atterrissements dans l'intrados de la courbe.

Sur le tronçon étudié, on note d'aval en amont, les ouvrages hydrauliques suivants :

- le seuil de Labatut,
- le pont de Lahontan,
- le pont de Puyoo-Bellocq,
- le seuil de Puyoo-Bellocq.

Les crues récentes n'ont pas été d'importance significative (octobre 1992 - fréquence 1/2, juin 2000 - fréquence 1/3), elles n'ont causé aucune évolution de la morphologie du Gave de Pau.

La comparaison des profils en long disponibles (profil IGN 1921 et profil SOGREAH 1985) indique qu'il y a eu approfondissement important dans le secteur de Labatut, ce qui a motivé la réalisation du seuil dans les années 1990-1993, et une stabilité affirmée dans le secteur amont de Puyoo :



Ce constat d'approfondissement correspond aux évolutions du tracé en plan que l'on note figure 7.

La zone d'évolution la plus marquante est celle des plans d'eau de Labatut où le Gave de Pau a été déplacé vers le sud : au droit de Lahontan, en aval du pont et en amont immédiat, il reste deux bras d'écoulements vifs, mais dans tout le tronçon étudié, des protections de berges ont été réalisées.

Le méandre de Puyoo-Bellocq subit des érosions de pied de berge en rive gauche, menaçantes pour la stabilité globale du talus configuré en falaise subverticale ; en rive droite, en amont immédiat de la confluence avec le canal de fuite de la centrale hydroélectrique, des épis de protection ont été réalisés il y a plusieurs années pour s'opposer aux érosions causées par le retour des courants lié à la constitution naturelle d'un atterrissement côté rive gauche.

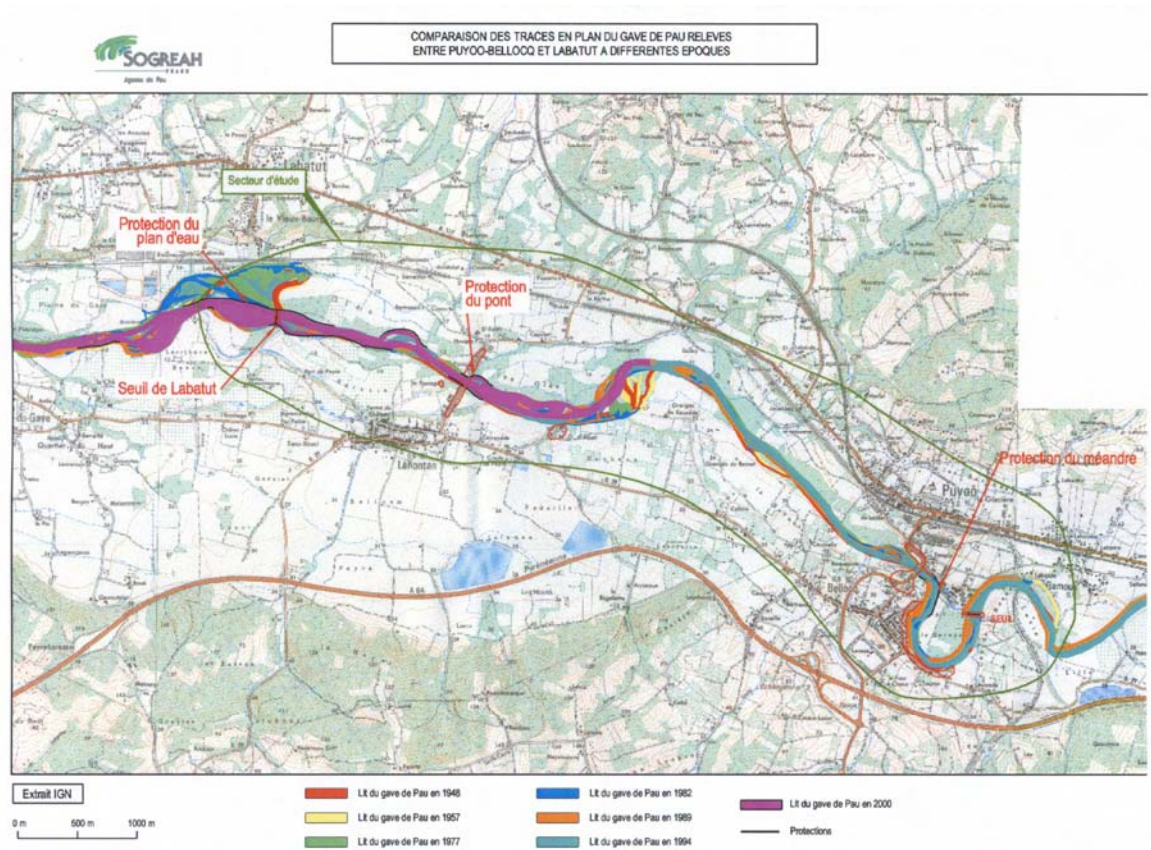
Mais l'observation dans le temps conduit à penser que ce méandre n'évolue pas de façon significative.

La puissance spécifique dans ce secteur est de l'ordre de 80 à 90 w/m². Le rapport de l'amplitude des méandres à la largeur au miroir est de 12 à Puyoo et de 6 à Lahontan.

Proposition de délimitation de l'espace de mobilité

Le Gave de Pau dans le tronçon Puyoo-Bellocq-Labatut dispose d'une réelle capacité de transport solide. Néanmoins, son activité sédimentologique a été contrôlée aux endroits sensibles de changement de direction des courants partout où les intérêts économiques étaient en jeu :

- protection des plans d'eau de Labatut,
- seuil de Labatut,
- protection du pont de Lahontan,
- protections dans le méandre de Puyoo-Bellocq.



La présence du seuil de Labatut stabilise le tracé au moins jusqu'au pont de Lahontan, lequel est lui-même défendu contre les érosions.

La zone amont du pont, au droit de Notre-Dame d'Albret, est un secteur susceptible d'évoluer mais dans des proportions compatibles avec la capacité de méandrement du Gave de Pau dont le tracé est plutôt rectiligne en aval de Puyoo.

Ces considérations nous permettent de proposer la délimitation reportée à la figure 8.

3.4. REMARQUES

L'application de la méthodologie proposée montre, qu'en définitive, l'analyse des photographies aériennes, des profils en long et de la connaissance des enjeux à protéger de la ruine, sont les éléments déterminants de la délimitation de l'espace de mobilité.

L'Adour et le Gave de Pau sont cependant des cours d'eau particuliers où la morphodynamique a été suffisamment modifiée par les extractions dans les années 1960-1980 (gisements de matériaux alluvionnaires importants) pour avoir changé d'équilibre depuis cette époque.

Ainsi, le nouvel équilibre est-il installé pour plusieurs décennies, dans la mesure où l'on ne voit pas comment le transport solide peut retrouver son activité d'autrefois : quelles que soient les potentialités de capacité de transport solide existant sur ces cours d'eau, on ne leur connaît pas de zones caractérisées constituant une ou plusieurs réserves d'alimentation possible en matériaux mobiles.

Par ailleurs, il a été réalisé quelques plans d'eau dans le lit mineur, notamment sur l'Adour moyen à Tarbes, dont l'importance est significative : le ralentissement des vitesses moyennes d'écoulement ainsi induit dans ces plans d'eau, a pour effet de piéger les matériaux, ce qui s'inscrit en opposition à une reprise hypothétique du transport solide.

En définitive, les éléments techniques principaux retenus pour la proposition de délimitation de l'espace de mobilité sur les 3 secteurs étudiés sont les suivants :

- caractérisation de la dynamique fluviale du cours d'eau, passée, actuelle, future, du cours d'eau (niveau d'activité d'érosion faible ou fort, morphodynamique vivante ou stable, transport solide actif ou non),
- analyse de l'histoire de l'évolution du lit mineur en profil en long et en tracé en plan,
- détermination des enjeux économiques et humains protégés des érosions,
- histoire des crues passées, en rapport avec les capacités d'évacuation du lit mineur.

En fin d'étude, le maître d'ouvrage s'est posé la question du caractère général de la méthodologie proposée : cette démarche peut-elle être appliquée à d'autres cours d'eau ?

La réponse est affirmative, l'ensemble des thèmes abordés permet de conduire à la délimitation recherchée, seules les caractéristiques des cours d'eau changent.

En matière de coût d'une telle réflexion permettant d'aboutir à la délimitation recherchée, on peut donner un ordre de grandeur variant de 8 k€ à 15 k€ HT (valeur 2002) selon la complexité du cours d'eau, et la nature des données déjà disponibles.

4. CONCLUSION

Au terme de l'étude réalisée, nous pouvons conclure sur les points suivants :

- la démarche proposée dans le présent dossier est un guide méthodologique qui peut être suivi dans toute recherche de l'espace de mobilité d'un cours d'eau ; les questions posées au fil de la réflexion sont les mêmes, seules les réponses et les poids relatifs de chaque thème analysé sont spécifiques aux secteurs étudiés ;
- les applications réalisées sur l'Adour et le Gave de Pau ont conduit à la délimitation des espaces de mobilité recherchée ; elles s'appuient essentiellement sur 4 aspects techniques :
 - la connaissance de la dynamique fluviale,
 - l'analyse de l'évolution du lit mineur en profil en long et en tracé en plan,
 - la détermination des "points durs", enjeux économiques et humains protégés des érosions,
 - l'histoire des crues passées, en rapport avec les capacités d'évacuation du lit mineur.

SYNTHESE ET CONCLUSION

La démarche méthodologique proposée pour définir l'espace de mobilité d'un cours d'eau s'appuie sur l'analyse des points suivants :

Chronologie de la démarche	Commentaires
Compréhension du fonctionnement naturel de la rivière étudiée ♦ reconnaissance préalable du cours d'eau pour noter la nature des écoulements (fluvial, torrentiel), et des matériaux qui composent le fond du lit, ♦ analyse du profil en long de la ligne d'eau, avec évolution dans le temps (profils anciens et récents), ♦ recensement des dernières crues significatives, ♦ comparaison des tracés en plan à partir des photos aériennes prises à différentes époques, ♦ recherche des interactions entre transport solide et morphologie, ♦ aspect géologique.	L'objet de ce volet d'étude est de caractériser le fonctionnement hydraulique du cours d'eau: quelle est sa dynamique? Est-il stable? Les crues sont-elles déstructurantes? Y a t'il des ouvrages ayant des incidences sur son cours? Le cours d'eau coule t'il sur ses alluvions?
IDENTIFICATION DES PERTURBATIONS	L'évolution constatée est-elle expliquée par les perturbations identifiées?
ANALYSE DES TRANSFORMATIONS ET DE LA REPONSE DU MILIEU	Les transformations constatées sont à analyser dans une vue d'ensemble; on peut les rapprocher d'une analyse quantitative indicative permettant les recoupements d'explication.
ANALYSE PROSPECTIVE DE L'EVOLUTION PROBABLE ♦ mise en évidence des transformations enregistrées, ♦ compréhension des mécanismes d'érosion/dépôt et logique amont/aval, ♦ réponses du milieu naturel aux perturbations, ♦ caractérisation du type morphologique d'écoulement, ♦ évolution ou stabilité du style fluvial, ♦ équilibre/instabilité du transport solide.	En dehors des points "durs" autour desquels le cours d'eau peut évoluer, la caractérisation du régime d'écoulement du cours d'eau permet de proposer une limite à l'intérieur de laquelle cette mobilité peut s'installer.

Cette démarche méthodologique a été ensuite appliquée à trois tronçons d'environ 10 km chacun, de cours d'eau du Sud-Ouest :

- l'Adour entre Bordères et Grenade-sur-l'Adour,
- l'Adour entre Augreilh et Toulouzette,
- le Gave de Pau entre Puyoo-Bellocq et Lahontan.

La délimitation proposée est essentiellement technique mais elle répond aux critères du décret de 2001 rappelé en objet : il s'agit bien de l'espace de mobilité à "l'intérieur duquel le lit mineur **peut** se déplacer" soit parce que sa dynamique lui rend nécessaire cette évolution, soit, à l'inverse, parce que les enjeux économiques et humains le contraignent à l'intérieur de cet espace.

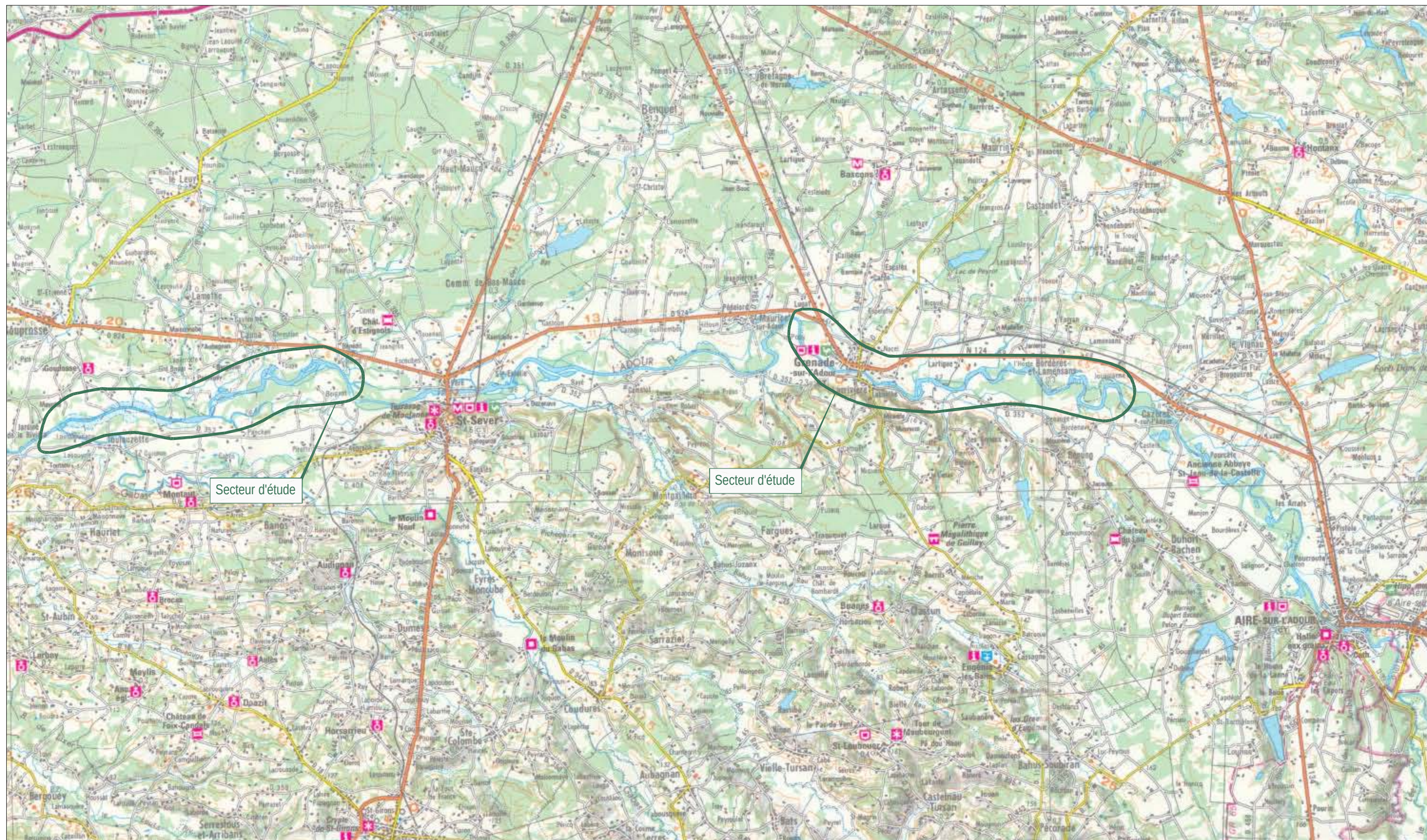
Après application de la démarche à ces secteurs, on remarque que les paramètres les plus utilisés pour la cartographie fluviale de délimitation de l'espace de mobilité sont surtout influencés par :

- la caractérisation de la dynamique fluviale passée, actuelle, future, du cours d'eau (niveau d'activité d'érosion faible ou fort, morphodynamique vivante ou stable, transport solide actif ou non),
- analyse de l'histoire de l'évolution du lit mineur en profil en long et en tracé en plan,
- détermination des enjeux économiques et humains protégés des érosions,
- histoire des crues passées, en rapport avec les capacités d'évacuation du lit mineur.

Cette démarche peut être appliquée à tous les cours d'eau. Seules les réponses aux questions posées et les poids relatifs de chaque thème analysé seront spécifiques aux secteurs étudiés.

Le coût d'une étude de ce type sur un tronçon de 5 km est de l'ordre de 8 K€ à 15 k€ HT, valeur 2002.

Figures



Secteur d'étude

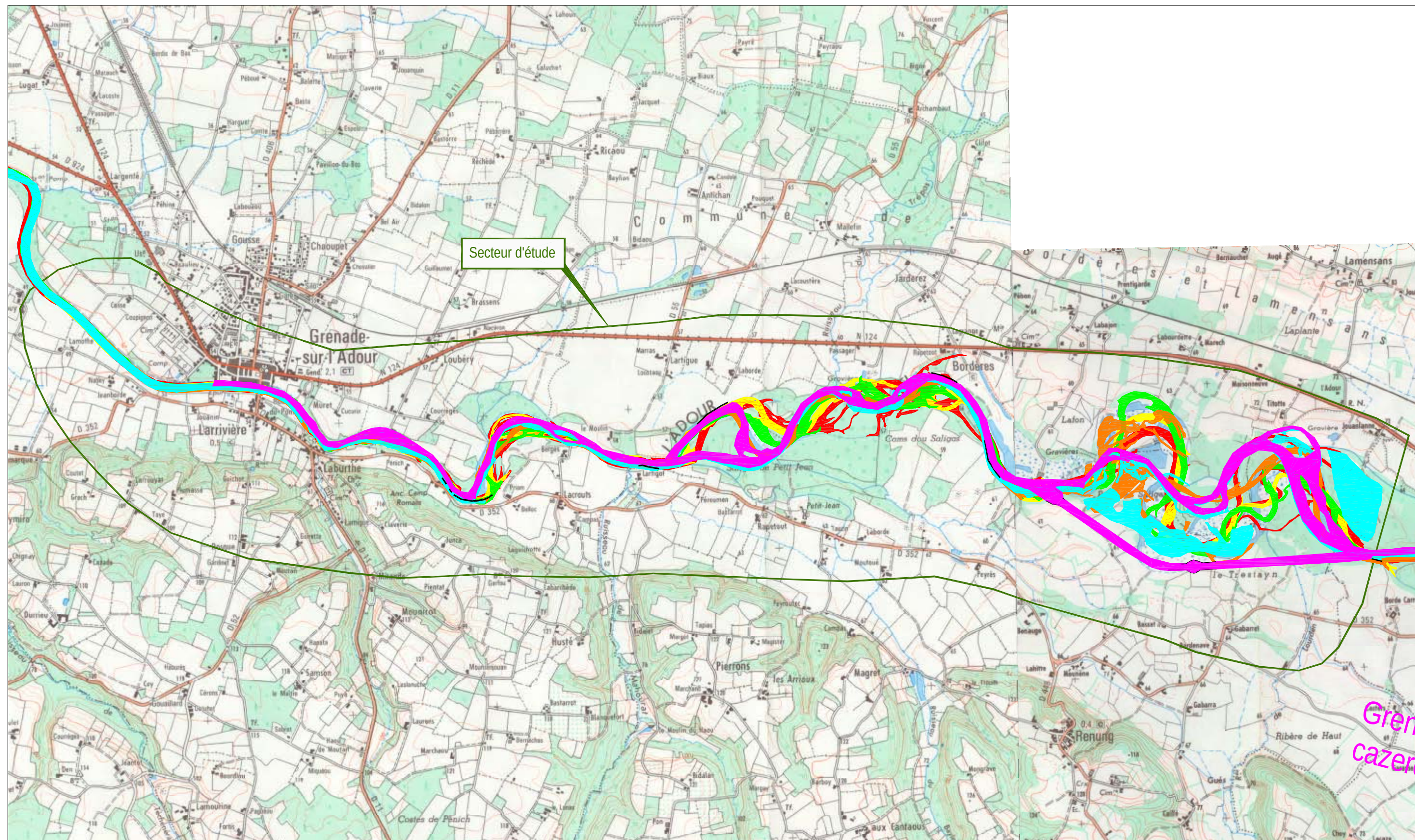
Secteur d'étude



Extrait IGN

Affaire :	N° : 3140033
Dessinateur	KCN
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 02/10/02
Nom fichier	situ100.dwg

Echelle : 1/100 000



Echelle : 1/25 000

Extrait IGN

— Lit de l'Adour en 1950

— Lit de l'Adour en 1960

— Lit de l'Adour en 1974

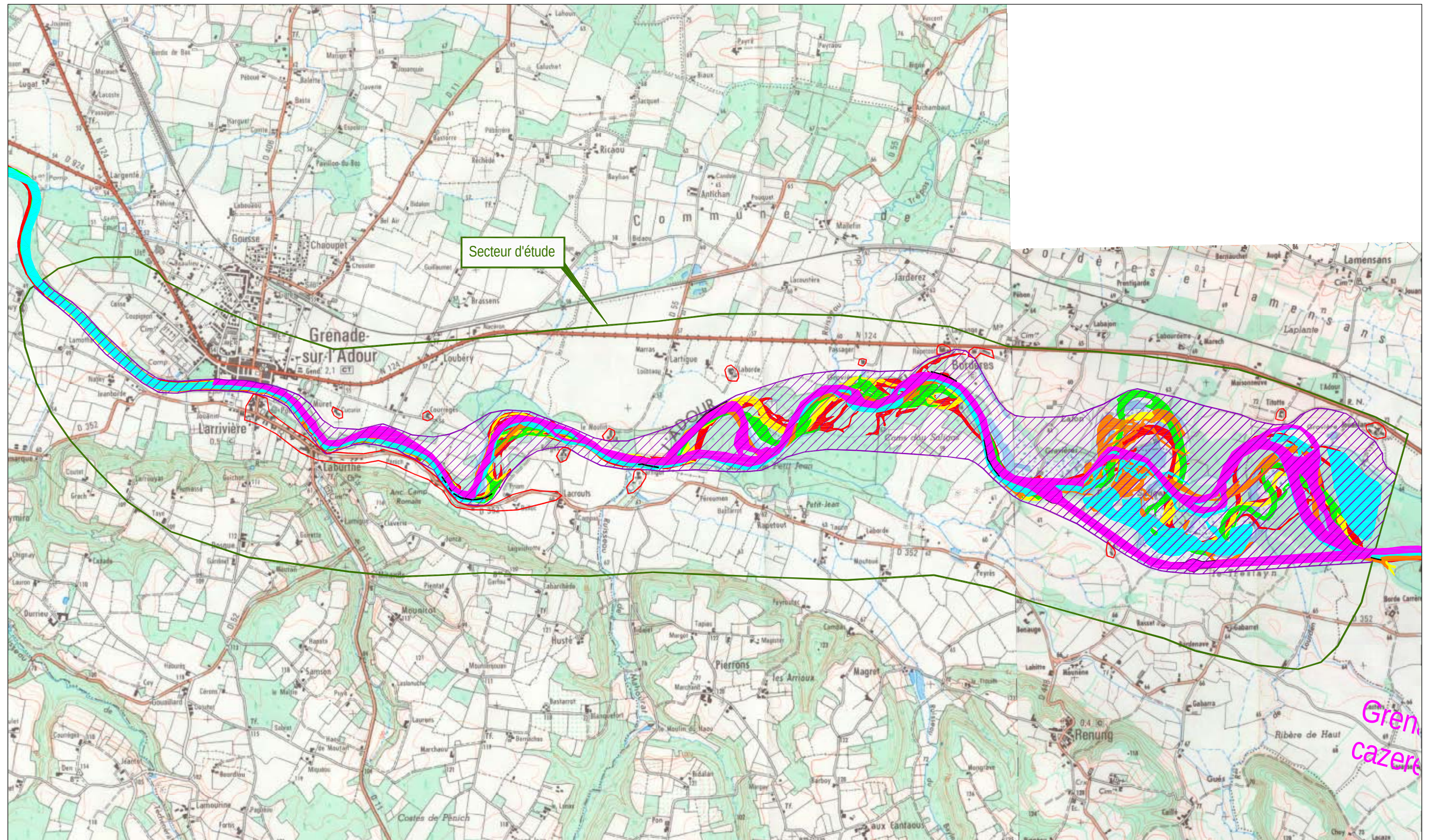
— Lit de l'Adour en 1985

— Lit de l'Adour en 1997

— Lit de l'Adour en 2000

— Protections

Affaire :	N° : 3 140 033
Dessinateur	KCN
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 02/10/02
Nom fichier	Divagations.dwg



Echelle : 1/25 000

Extrait IGN

Limites de l'espace de mobilité

Enjeux protégés

Lit de l'Adour en 1950

Lit de l'Adour en 1960

Lit de l'Adour en 1974

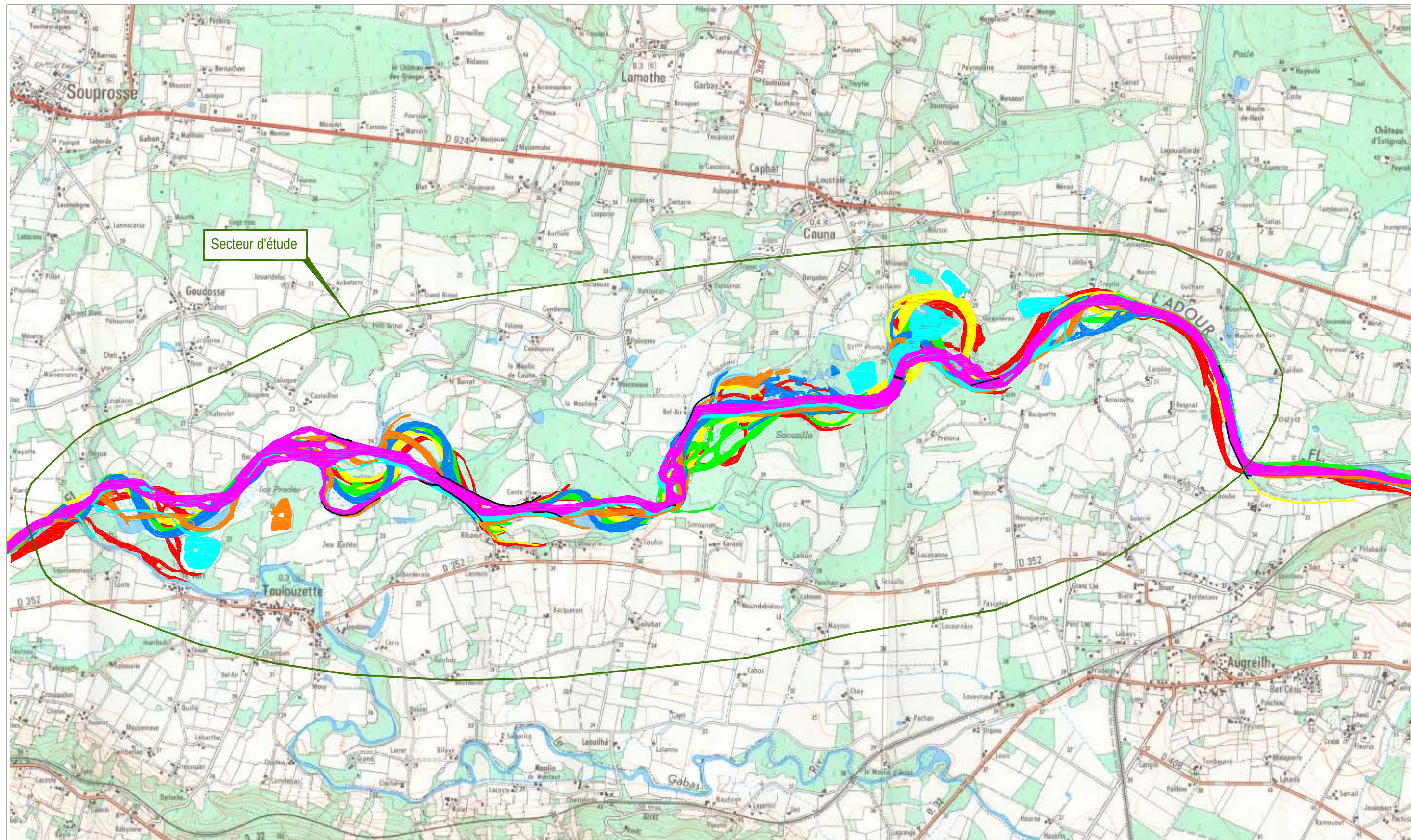
Lit de l'Adour en 1985

Lit de l'Adour en 1997

Lit de l'Adour en 2000

Protections

Affaire :	N° : 3 140 033
Dessinateur	KCN
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 02/10/02
Nom fichier	Divagations.dwg



Echelle : 1/25 000

Extrait IGN

— Lit de l'Adour en 1938

— Lit de l'Adour en 1950

— Lit de l'Adour en 1960

— Lit de l'Adour en 1969

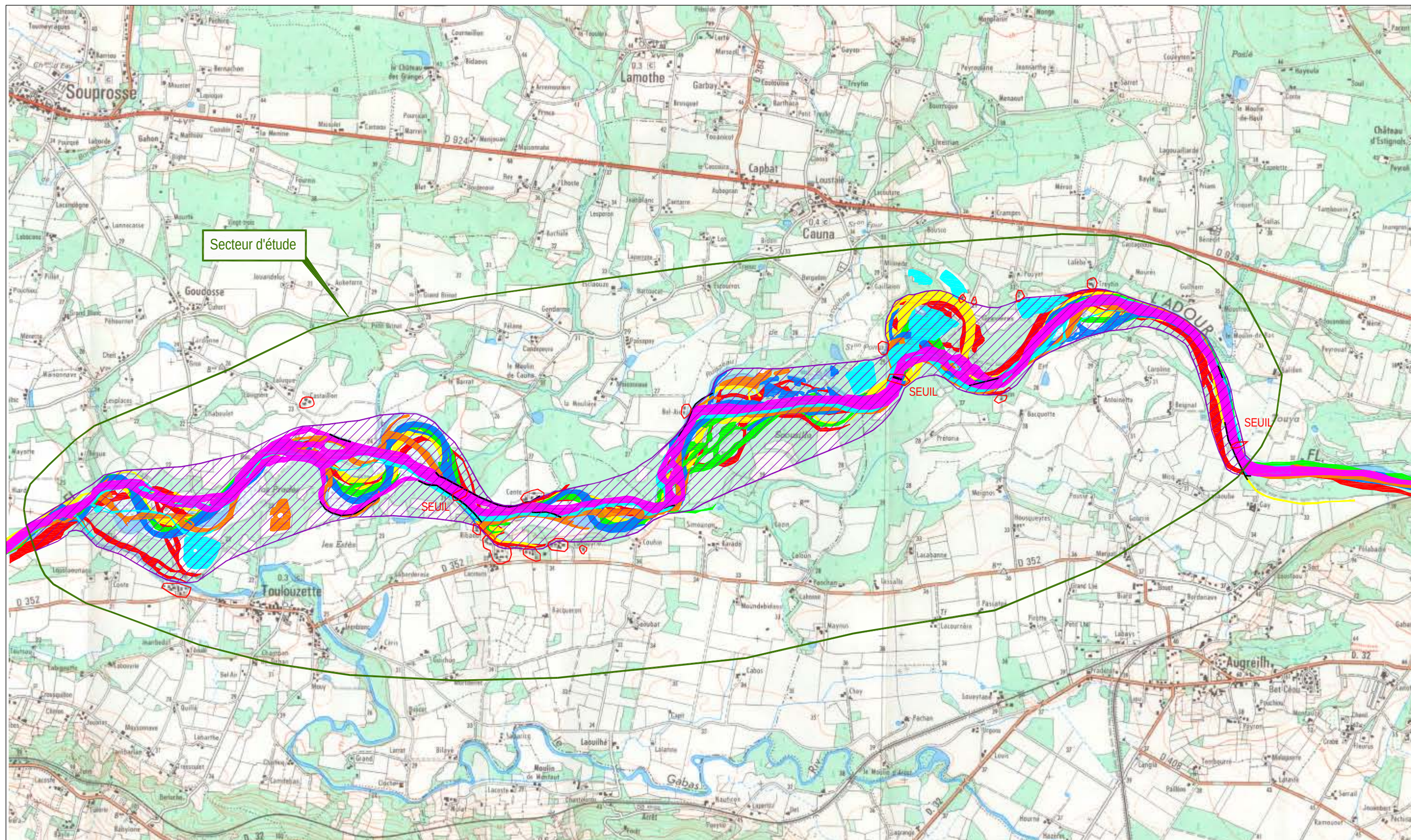
— Lit de l'Adour en 1985

— Lit de l'Adour en 1997

— Lit de l'Adour en 2000

— Protections

Affaire :	N° : 3 140 033
Dessinateur	KCN
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 02/10/02
Nom fichier	Divagations.dwg



Echelle : 1/25 000

Extrait IGN

Limites de l'espace de mobilité

Enjeux protégés

Lit de l'Adour en 1938

Lit de l'Adour en 1950

Lit de l'Adour en 1960

Lit de l'Adour en 1969

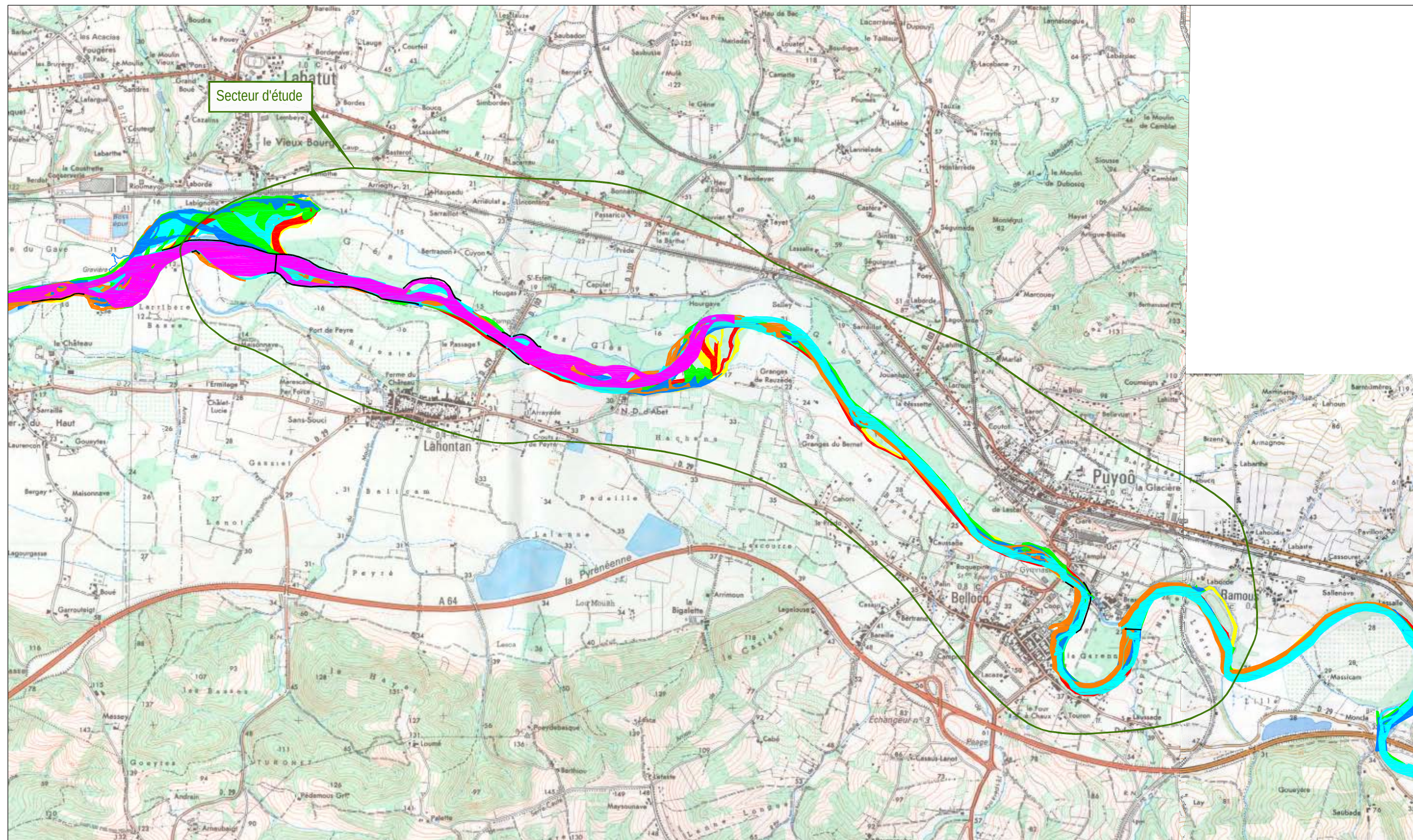
Lit de l'Adour en 1985

Lit de l'Adour en 1997

Lit de l'Adour en 2000

Protections

Affaire :	N° : 3 140 033
Dessinateur	JCS
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 23-08-02
Nom fichier	Divagations.dwg



Echelle : 1/25 000

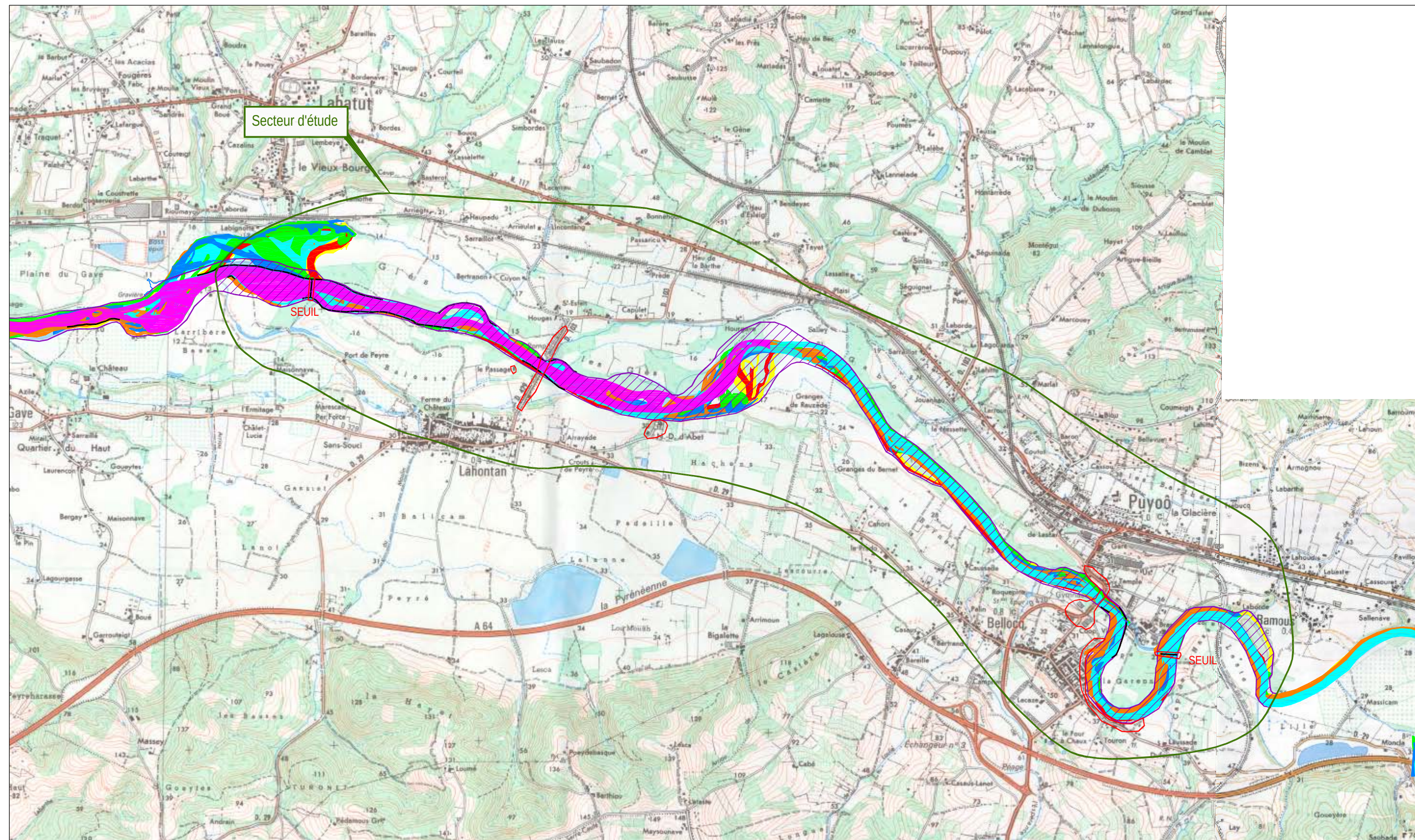
Extrait IGN

■ Lit du gave de Pau en 1948
■ Lit du gave de Pau en 1957
■ Lit du gave de Pau en 1977

■ Lit du gave de Pau en 1982
■ Lit du gave de Pau en 1989
■ Lit du gave de Pau en 1994

■ Lit du gave de Pau en 2000
— Protections

Affaire :	N° : 3 140 033
Dessinateur	KCN
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 02/10/02
Nom fichier	Divagations.dwg



Echelle : 1/25 000

Extrait IGN



Limites de l'espace de mobilité



Enjeux protégés



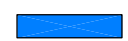
Lit du gave de Pau en 1948



Lit du gave de Pau en 1957



Lit du gave de Pau en 1977



Lit du gave de Pau en 1982



Lit du gave de Pau en 1989



Lit du gave de Pau en 1994



Lit du gave de Pau en 2000



Protections

Affaire :	N° : 3 140 033
Dessinateur	KCN
Ingénieur	GPI
Indice/date	A 02/10/02
Nom fichier	Divagations.dwg

Photographies

L'ADOUR



Secteur du projet abandonné de bassin compensateur de Bordères





L'Adour au droit du bourg de Bordères



L'Adour au droit de Lacrouts



L'Adour en amont de Grenade-sur-l'Adour





Le pont de Saint Sever et son seuil de protection



Le seuil d'Augreilh



Le secteur de Cauna amont





Le secteur de Cauna aval





Le seuil de Toulouzette en droit du hameau de Lacourt



La confluence avec le Gabas



La confluence avec le Gabas



LE GAVE DE PAU



Le Gave de Pau en aval de Labatut



Le seuil de Labatut



Le seuil de Labatut



La « boucle » de Lahontan et le pont en arrière plan



Le pont de Lahontan



Le Gave de Pau entre Lahontan et Bellocq



*Le Gave de Pau entre Lahontan et Bellocq
(Hourgaye en haut, Salley en bas)*





Le pont de Puyoo-Bellocq



Le seuil de la centrale de Puyoo



Le seuil de Puyoo-Bellocq



Le pont SNCF de Ramous

Annexe 1 : Transport solide : " Méthodes et outils "
Extrait de l'étude sur la gestion des rivières
"Transport solide et atterrissements
Guide méthodologique"

(Les études de l'Agence de l'Eau n°65 Sept.1999)



■ FORMULES GLOBALES

Ces formules expriment le transport solide principalement en fonction de la pente, du débit liquide et du diamètre caractéristique des matériaux et en second lieu de la densité du matériau et de l'étendue de la courbe granulométrique.

Notations :

Q_s : transport solide en volume apparent (m^3/s)
 dQ_s : transport solide sur un élément de section de largeur dl
 Q : débit liquide (m^3/s)
 Q_0 : débit liquide de début d'entraînement (m^3/s)
 q_s : transport solide par unité de largeur ($m^3/s/m$)
 q : débit liquide par unité de largeur ($m^3/s/m$)
 i : pente
 B : largeur (m)
 h : hauteur d'eau (m)
 h_0 : hauteur d'eau de début d'entraînement (m)
 $g = 9,81 m/s^2$
 ks : coefficient de rugosité du lit
 $u = ks/\rho$: rapport de la rugosité totale du lit à la rugosité des grains
 s : rapport de la densité des matériaux à la densité du fluide porteur
 (en général, fluide porteur = eau, densité = 1)
 la formule de Rickenmann permet seule de prendre en compte la densité du fluide chargé d'argiles

Toutes les formules sont exprimées en volume apparent, c'est à dire le volume qu'occupe le matériau au repos (y compris les vides entre les particules) : il n'y a donc aucun coefficient à appliquer pour en déduire la variation de volume du stock alluvial.

• Torrent à forte pente : formule de Meunier

$$\frac{Q_s}{Q} = 8,2 i^2$$

Q_s = Transport solide en volume apparent
 Q = débit liquide
 i = pente

Domaine d'application.

Torrents de pente supérieure à 5% et exclusivement pour les très fortes crues.

• Rivières torrentielles ou de piémont : formule Sogreah - Lefort (1991)

$$\frac{Q_0}{\sqrt{g d_m^3}} = 0,0776(s-1)^{0,3} i^{1,5} (1-1,2i)^{0,3}$$

$$\frac{Q_s}{Q} = 4,45 \left(\frac{d_{90}}{d_w} \right)^{0,2} \frac{i^{1,5}}{s-1} \left[1 - \left(\frac{Q_0}{Q} \right)^{0,375} \right]$$

soit, avec $s = 2,65$

$$Q_0 = 0,92 d_m^{5,2} i^{13,6} (1-1,2i)^{0,3}$$

$$\frac{Q_s}{Q} = 2,7 \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0,2} i^{1,5} \left[1 - \left(\frac{Q_0}{Q} \right)^{0,375} \right]$$

Domaine d'application

20 % > pente > 0,2 %

Lits naturels avec bancs de gravier ou peu rétrécis.

Diamètre > 1 mm

$Q/Q_0 < 25$

Cette formule a été établie à partir de la formule de Smart et Jaeggi. Elle repose sur des réflexions basées sur une hypothèse de rapport hauteur / largeur constant, mais s'applique en fait à tous les cours d'eau dont la géométrie varie librement et rapidement en période de crue (notamment, lits torrentiels rectilignes divaguants et lits en tresse).

Exemple numérique :

$i = 5 \%$, $d_m = 59 \text{ mm}$, $d_{90}/d_{30} = 5$

$Q_0 = 74 \text{ m}^3/s$

$Q = 518 \text{ m}^3/s \rightarrow Q_s/Q = 0,68 \%$, $Q_s = 0,25 \text{ m}^3/s = 30 \text{ 263 m}^3/\text{jour}$

• Lit à chenal simple : formule de Meyer-Peter

Sur les cours d'eau de plaine, la largeur varie peu avec le débit (du moins en ne prenant en compte que le débit s'écoulant dans le lit principal, à l'exclusion du débit débordant). Si, très grossièrement, on considère une section d'écoulement rectangulaire, la formule de Meyer-Peter s'exprime, en négligeant l'effet des parois (Lefort 1995) :

$$\frac{Q_0}{\sqrt{g d_m^3}} = 0,0948 B \mu^{3,2} i^{7,6}$$

$$\frac{Q_s}{Q} = 1,278 i^{7,6} \mu^{3,2} \left[1 - \left(\frac{Q_0}{Q} \right)^{0,8} \right]$$

soit avec $\mu = 0,8$

$$Q_0 = 0,42 B i^{7,6} d_m^{3,2}$$

$$\frac{Q_s}{Q} = 0,91 i^{7,6} \left[1 - \left(\frac{Q_0}{Q} \right)^{0,8} \right]$$

Domaine d'application

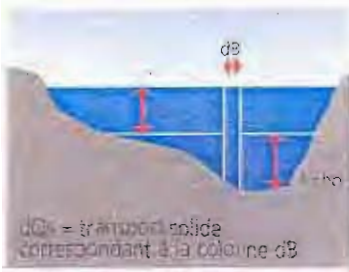
- Diamètre > 0,6 mm
- Rapport Q/Qo < 10 (frottement adimensionnel < 0,2)
- Pente i < 2,5%

Cette présentation de la célèbre formule est à réserver aux études de sensibilité ou de première approche, la vérification expérimentale n'ayant pas été faite.

Exemple numérique :
i = 2 ‰, dm = 50 mm, largeur = 30 m
Qo = 330 m³/s
Q = 1 000 m³/s → Q/Qo = 0.22 ‰, Qs = 0.22 m³/s = 18 955 m³/jour

• Comparaison des formules globales de transport solide loin du début d'entraînement

Pour une même valeur du débit de début d'entraînement, le tableau ci-après montre que les formules citées ci-dessus donnent des résultats assez proches aux limites de leur domaines respectifs d'application (dans un rapport inférieur à 1 pour 2, ce qui en matière de transport solide est déjà bien).



$$h_o = \frac{7,5 d_m^{3/4}}{i k_s^{3/2}}$$
$$dQ_s = \beta (h - h_o)^{3/2} dB$$
$$\beta = 0,02 k_s^{2,25} d_m^{3/8} i^{3/2}$$

Concentration en volume Qs/Q [%]			
Pente [%]	Meyer-Peter (section rectangulaire de largeur constante) Q/Qo = 10	Sograah-Lefort Q/Qo = 10	Meunier
0,1	0,17		
0,2	0,37	0,21	
0,3	0,60	0,39	
0,4	0,84	0,60	
0,5	1,1	0,84	
0,6	1,3	1,1	
0,7	1,6	1,4	
0,8	1,9	1,7	
0,9	2,2	2,0	
1	2,4	2,4	
1,2	3,0	3,1	
1,5	3,6	4,4	
2	5,5	6,7	
3		12	
4		19	
5		27	21
7		44	40
10		75	82
12		96	118
15		134	185
20		205	328

■ FORMULES PAR UNITÉ DE LARGEUR :

• Calcul du charriage seul sur des sections quelconques (formule de Meyer-Peter)

Lorsqu'on veut réaliser un calcul de transport solide par charriage en tenant compte de la forme de détail de la section, la formule de Meyer Peter reste la plus efficace, pour les pentes inférieures à 25 ‰ et supérieures à 0,4 ‰.

Nous proposons une présentation de cette formule basée sur les variables élémentaires de l'écoulement (J-C. Carré, 1988) : calcul de la hauteur de début d'entraînement ho, puis calcul du débit solide élémentaire dQs par élément de largeur dB, puis intégration sur toute la largeur.

Domaine d'application

- Diamètre > 0,6 mm
- Rapport Q/Qo < 25 (frottement adimensionnel < 0,2)
- Pente 0,4 ‰ < i < 25 ‰

Exemple numérique
i = 1 ‰, dm = 20 mm, ks = 28
h0 = 2,65 m
β = 0.000263
en fonction de la hauteur d'eau on aura les débits solides par unité de largeur suivants :
h = 3.5 m → qs = 1.7 m³/l/m
h = 5 m → qs = 80 m³/l/m

• Calcul du charriage seul sur des sections quelconques en domaine torrentiel (formule de Rickenmann)

En domaine torrentiel, la formule de Rickenmann (1990) est fréquemment utilisée. Donnant un débit solide par unité de largeur, elle permet des calculs prenant en compte la largeur du lit, mais elle devient délicate d'emploi sur les tronçons à largeur variable dans le temps et dans l'espace.



$$\frac{q_0}{\sqrt{gd_{50}^3}} = 0,065 (s-1)^{5/3} i^{1,12}$$

$$\frac{q_s}{q} = \frac{12,6}{(s-1)^{1,6}} \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0,2} i^2 \left(1 - \frac{q_0}{q} \right)$$

Domaine d'application

$5\% < i < 20\%$

$h/d_{90} < 20$

Comparaison avec la formule de Meunier

Avec des paramètres moyens ($s = 1,65$, $d_{90}/d_{30} = 7$), loin du début d'entraînement ($q_0/q \approx 0$), on trouve :

$$q_s/q = 8,3 i^2$$

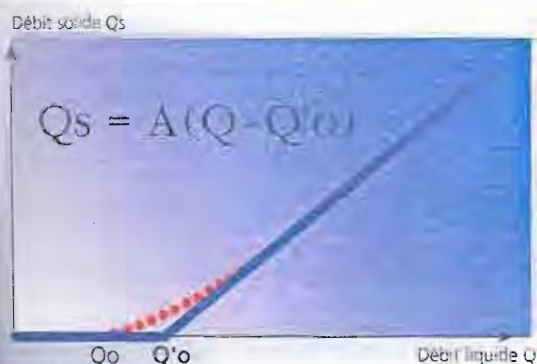
On retrouve la formule de Meunier.

■ APPROXIMATION PAR UNE FORMULE LINÉAIRE

On observe que les formules de charriage conduisent à des relations débit solide / débit liquide assez linéaires, à l'exception d'une courbure à la base. Cette courbe, calculée avec le diamètre des alluvions prises dans la masse, représente bien le transport solide aux forts débits.

En revanche, on a vu que le débit de début d'entraînement calculé avec ce diamètre moyen est souvent sous-estimé, en raison d'un pavage du lit.

Le débit de début d'entraînement corrigé, calculé sur les matériaux plus grossiers qui forment le fond du lit, peut souvent être aisément raccordé linéairement à la courbe débit solide/débit liquide calculée avec le diamètre moyen des alluvions du lit.



On a : $Q_s = A (Q - Q'_0)$

L'établissement de cette formule linéaire reposera :

- sur le débit de début d'entraînement corrigé (Q'_0), calculé en fonction des matériaux du fond du lit (souvent proche du d_{90} des alluvions dans la masse) ;
- sur un couple $Q_s(Q)$ calculé à fort débit à l'aide d'une des formules précédentes, ou lu sur le tableau de comparaison des formules présenté plus haut.

Dans le cas d'une relation linéaire, on montre que le volume solide charrié est proportionnel au volume d'eau écoulé au-dessus du débit de début d'entraînement, ce qui permet de sentir la variabilité inter-annuelle des apports, l'incidence des dérivations d'eau, etc.



■ CALCUL DU TRANSPORT SOLIDE TOTAL EN SECTION QUELCONQUE (formule d'Engelund-Hansen)

Le domaine des sables couvert par les formules du transport solide total telles que la formule d'Engelund-Hansen est complexe.

D'une part, on observe conformément à la définition donnée qu'une partie du matériau peut être transportée en suspension dans la veine liquide, avec une concentration décroissante lorsque l'on s'éloigne du fond.

D'autre part, le transport des sables conduit à un modelé de la surface du lit générant soit de petites ondulations appelées rides, soit des ondulations de grande amplitude appelées dunes ou anti-dunes.

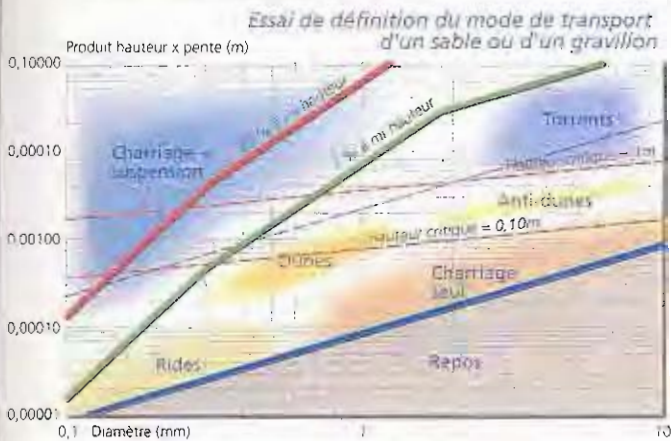
Nous essaierons ici de mieux cerner les limites du charriage et de la suspension à partir du critère de Schmidt-Rouse, puis nous citerons la formule d'Engelund-Hansen et son domaine d'application.

Critère de Schmidt-Rouse

On considérera que le charriage est accompagné d'un transport solide en suspension notable lorsque la grandeur Z appelée nombre de Schmidt-Rouse est supérieure à une valeur donnée.

$$Z = \frac{W}{0,4 \sqrt{ghi}}$$

W = vitesse de chute du matériel dans l'eau
 h = hauteur d'eau (m)
 i = pente
 g = accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)



Schmidt et Rouse et les expériences de Vanoni ont montré que le rapport de la concentration en suspension en un point quelconque de la veine liquide à la concentration au fond était fonction du nombre de Schmidt Rouse et de la hauteur dans la veine liquide. Nous avons calculé (1) les valeurs du produit hi en fonction du diamètre, pour lesquelles ce rapport de concentration est à mi-hauteur de la veine liquide de 1 % ($Z = 1,5$) et de 20 % ($Z = 0,52$). La courbe de concentration à 20 % correspond à un transport en suspension très important.

La courbe de concentration à 1 % (de la concentration au fond) peut situer la limite du transport solide total (transport en suspension négligeable).

La courbe inférieure exprime la limite d'entraînement par charriage, suivant le critère exprimé au début du § 5.4.

Sur ce même graphique, nous avons tracé (en tirets) les droites correspondant de manière approximative au régime critique pour un écoulement uniforme de hauteurs : 0,1 m et 1,0 m. Au-dessus des droites, on est en régime torrentiel et au-dessous en régime fluvial.

En comparant ce graphique avec les résultats de la littérature, on peut situer les différents régimes d'écoulement liquide et d'entraînement des matériaux pour les sables et gravillons utilisés en laboratoire.

Le régime d'entraînement sera alors :

- le charriage seul avec notes pour $d < 0,5$ mm et les faibles valeurs du produit hi ;
- le charriage seul à lit plat pour $d > 0,5$ mm et les faibles valeurs de hi ;
- lorsque le produit hi augmente, on voit apparaître les dunes en régime fluvial et les anti-dunes en régime critique ;
- le transport solide avec charriage et suspension est observé au-dessus de la courbe 1 % à mi-hauteur.

(1) Les valeurs des constantes physiques sont :

température de l'eau = 12° C et densité du matériau = 2,65

Formule de Engelund-Hansen

L'adaptation que nous donnons de cette formule considère comme toutes les autres la concentration en volume apparent.

Le débit solide calculé est le débit solide de sable par unité de largeur exprimé en m³/s/m.

$$\frac{q_s}{q} = 0,023 i^{3/2} \frac{v}{\sqrt{gd}} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/2}$$

d = d_{50} diamètre médian (m)
 v = vitesse moyenne

Domaine d'application

Rivières à sable pour les matériaux de 0,15 mm à 1,6 mm, soit la partie gauche du diagramme ci dessus, jusqu'à des valeurs très élevées du produit hi .

Elle recouvre le domaine du transport à fond plat, par dunes ou anti-dunes, et avec une fraction du matériau transporté en suspension.

Mais elle a été établie pour une granulométrie étroite : son application devient incertaine lorsque la granulométrie est étendue et comporte une proportion notable de fines.

Exemple numérique

$i = 0,5 \%$, $d = 0,3$ mm, $q = 5$ m³/s/m, $h = 3,2$ m, $v = 1,56$ m/s
 $q_{sl}/q = 0,75 \%$

5.5 LES BILANS VOLUMÉTRIQUES

■ VOLUMES CHARRIÉS LORS D'UNE CRUE

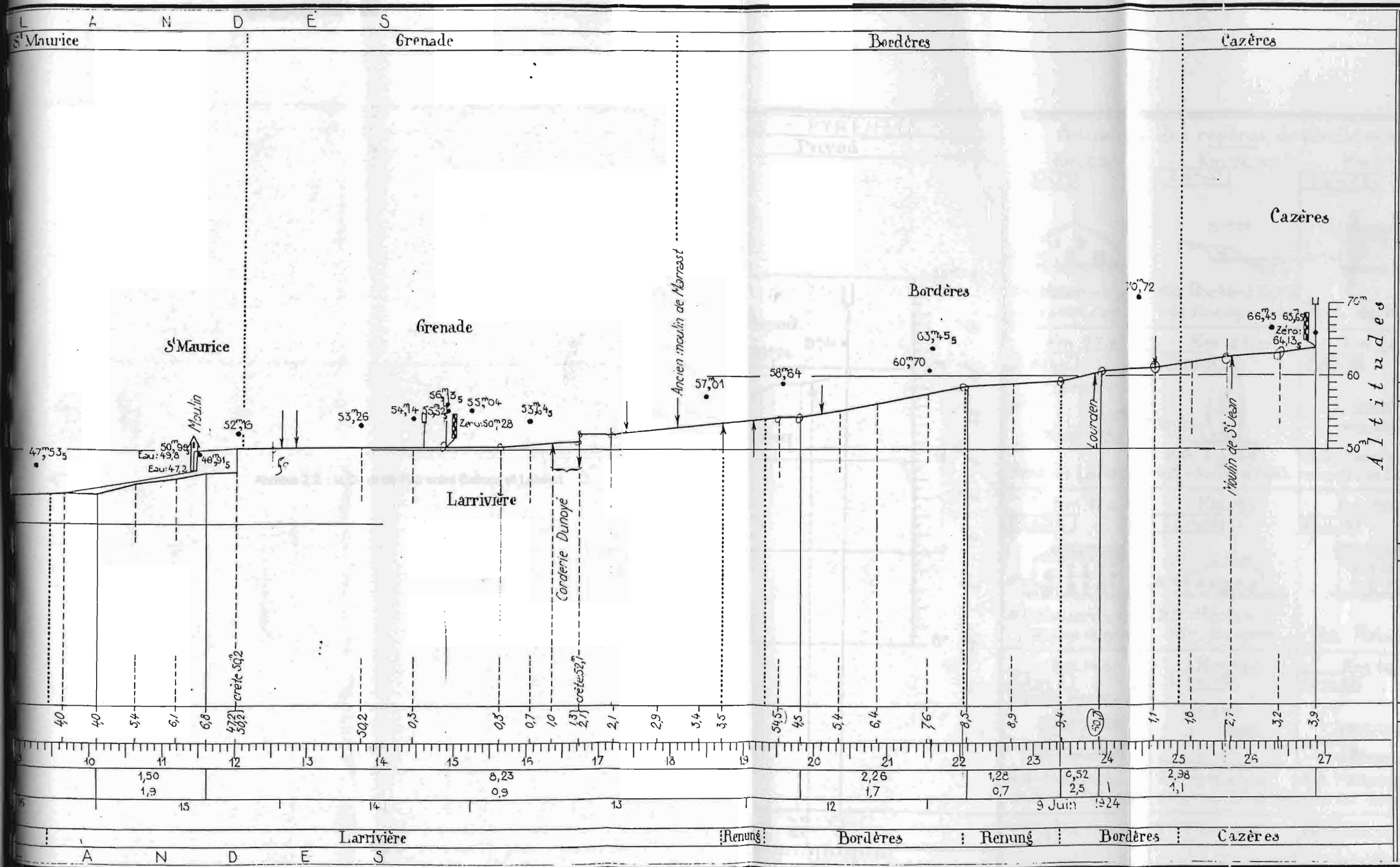
Lors des crues exceptionnelles, le débit de début d'entraînement est très largement dépassé, et les incertitudes qui pèsent dessus sont estompées. En outre, dans les tronçons librement divaguants, l'ensemble des matériaux disponibles a pu être mobilisé, après rupture de l'armure superficielle : on peut donc considérer le plus souvent que la capacité de transport a été saturée, à l'exception :

- des parties amont des bassins torrentiels, lorsque le lit est rocheux,
- des tronçons à l'aval immédiat de points d'interruption du transit (barrages, ...),
- des cours d'eau totalement endigués, sans zone de mobilisation possible des alluvions.

Annexe 2 : profils en long IGN 1921

Annexe 2.1 : l'Adour entre Cazères et Grenade-sur-l'Adour

PONTS DE S^t SEVER ET DE CAZÈRES



Situ.

Tf. q3-46

Tf. q3-17 Km. 21

63.45

R.D. Eglise de

Tf. q3-41 Km. 18

R.D. Ancien moulin de Marcast

Tf. q3-24 Km. 14

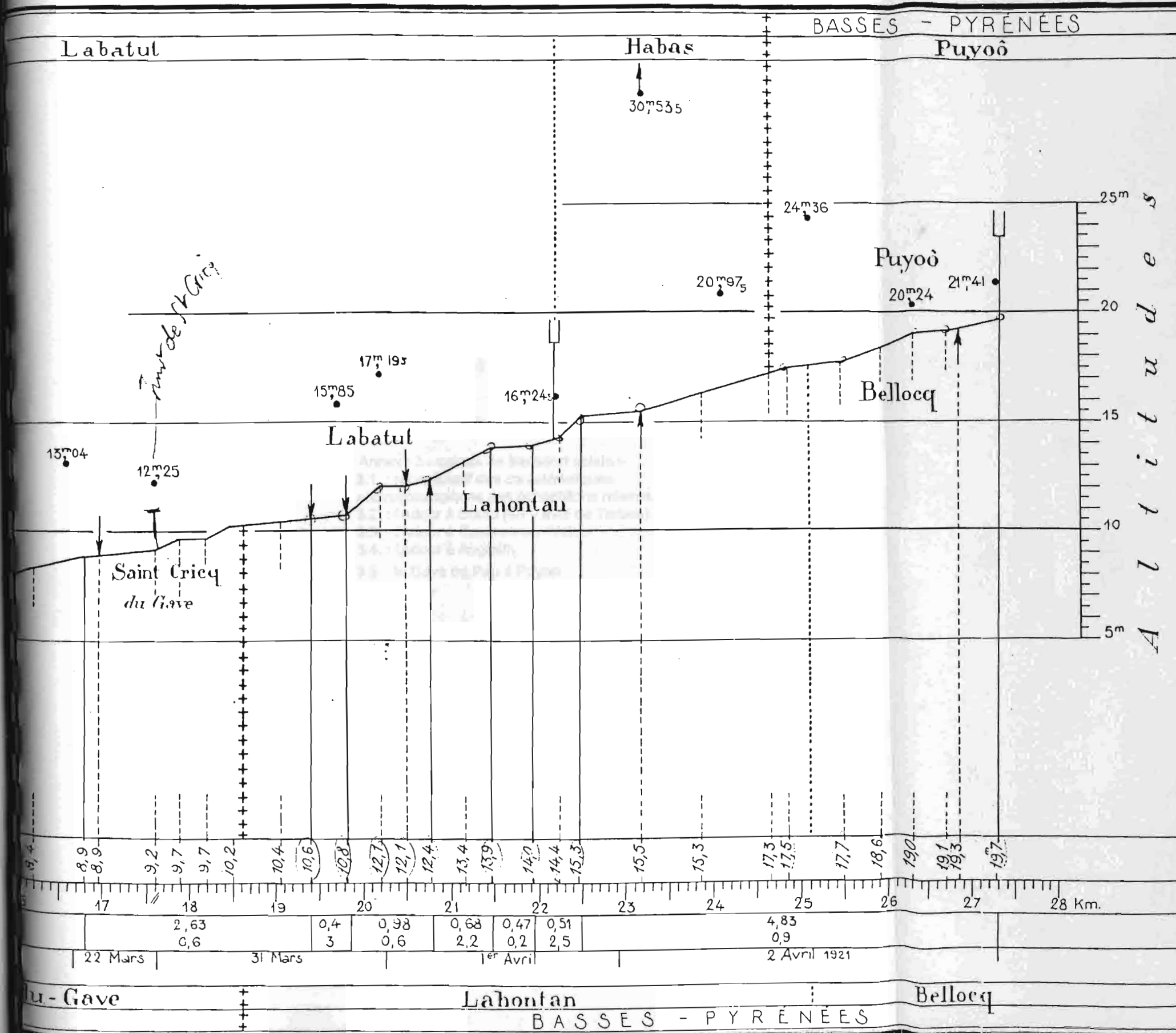
R.D. Eglise de

Tf. q3-38 Km. 14

R.D. Ecurie - apart. à M. Cr

Profil relevé et dressé par le service du Nivellement général de la France sur les indications et po

Annexe 2.2. : le Gave de Pau entre Bellocq et Labatut



Situation des repères de nivellement		
Km. 25,1 Ea.n. 20	Km. 26,3 Ea.n. 21	Km. 27,3 Ea.n. 22
 R.G. Maison près de la pointe amont d'une île	 R.G. Rocher à l'extré- mité d'une digue en ruines	 R.D. Pont de Puyoô
Km. 22,2 Ea.n. 17	Km. 23,2 Ea.n. 18	Km. 24,1 Ea.n. 19
 Pont de Lahontan	 R.G. Eglise Notre-Dame d'Abet	 R.G. Maison à la rencontre de 2 chemins
Km. 17,6 Ea.n. 14	Km. 19,7 Ea.n. 15	Km. 20,2 Ea.n. 16
 R.D. Maison du bac (passage du gave)	 R.D. Maison à 50 m du gave	 R.D. Maison
Km. 14,5 Ea.n. 11	Km. 15,3 Ea.n. 12	Km. 16,6 Ea.n. 13
 Signal disparu en 1957	 R.D. Pont au km. 280,25 du ch ⁿ de fer	 R.D. Maison en amont d'un îlot du gave
Km. 11,0 EO. 16	Km. 11,8 EO. 15	Km. 13,9 EO. 13
 R.D. P.N. 318 de Larrègle	 R.D. P.N. 317 du Checq	 R.D. P.N. 315 de Lahontan

Le GAVE DE PAU. Pl. 1
Bassin de l'ATLANTIQUE

Profil relevé et dressé par le Service du Nivellement Général de la France sur les indications et pour le compte du Service des Forces Hydrauliques

- Annexe 3 : calculs de transport solide
- 3.1. : récapitulatif des caractéristiques sédimentologiques des échantillons relevés
 - 3.2. : l'Adour à Bours (65 – aval de Tarbes)
 - 3.3. : l'Adour à Cazères-sur-l'Adour
 - 3.4. : l'Adour à Augreilh
 - 3.5. : le Gave de Pau à Puyoo

UNICEM - Espace de mobilité**caractéristiques granulométriques des atterrissements de l'Adour et du Gave de Pau**

diamètre %	L'Adour à Tarbes - Bours1	L'Adour à Tarbes - Bours2	relevés Cazères	relevés Grenade sur l'Adour	L'Adour à St Sever	L'Adour à Augreilh	L'Adour en aval du seuil de Toulouzette	Le Gave de Pau à Puyoo	Le Gave de Pau à Puyoo
d10 (m)	0,005	0,005	0,01	0,01	0,007	0,001	0,007	0,002	0,02
d30 (m)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,002	0,012	0,005	0,03
d50 (m)	0,03	0,035	0,03	0,04	0,04	0,008	0,023	0,012	0,08
d90 (m)	0,1	0,1	0,07	0,13	0,11	0,04	0,08	0,08	0,2
d90/d30	5	5	3,5	6,5	6	20	6,7	16	6,7

Calcul de débit solide par la méthode de SMART et JAEGGI

Cours d'eau : l'Adour à Toulouzette

Hypothèses :

Résultats :

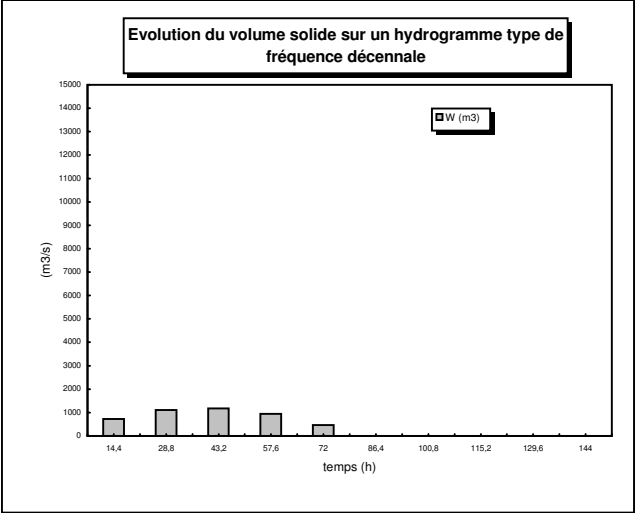
Aval seuil de Toulouzette

Q0 = 215,0 m3/s

dm (m)	0,023
i (m/m)	0,001
rd(d90/d30)	6,7
Tc (h)	48
Q (m3/s)	500
densité :	2,6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0,1	14,4	450	0,01	726	0,00%
0,2	28,8	400	0,01	1108	0,00%
0,3	43,2	350	0,01	1170	0,00%
0,4	57,6	300	0,00	940	0,00%
0,5	72	250	0,00	459	0,00%
0,6	86,4	200	0,00	0	0,00%
0,7	100,8	150	0,00	0	0,00%
0,8	115,2	100	0,00	0	0,00%
0,9	129,6	50	0,00	0	0,00%
1	144	0	0,00	0	

Volume total = 4403 m3



Calcul de débit solide par la méthode de SMART et JAEGGI

Cours d'eau : l'Adour à Toulouzette

Hypothèses :

Résultats :

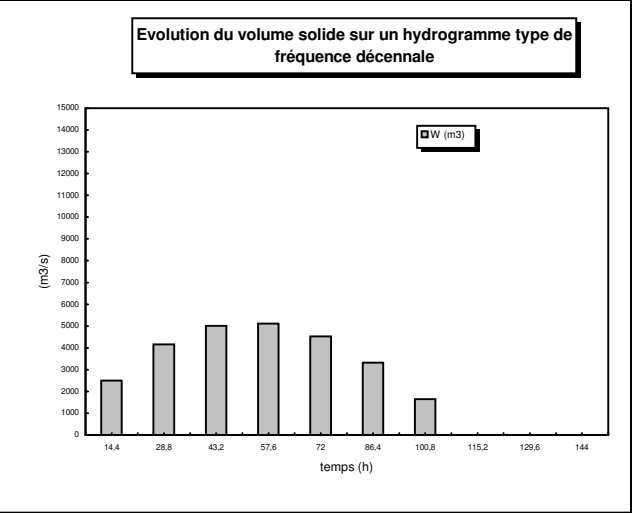
Aval seuil de Toulouzette

Q0 = 215,0 m3/s

dm (m)	0,023
i (m/m)	0,001
rd(d90/d30)	6,7
Tc (h)	48
Q (m3/s)	1000
densité :	2,6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0,1	14,4	900	0,05	2493	0,01%
0,2	28,8	800	0,04	4151	0,01%
0,3	43,2	700	0,03	5008	0,00%
0,4	57,6	600	0,02	5112	0,00%
0,5	72	500	0,02	4523	0,00%
0,6	86,4	400	0,01	3324	0,00%
0,7	100,8	300	0,00	1645	0,00%
0,8	115,2	200	0,00	0	0,00%
0,9	129,6	100	0,00	0	0,00%
1	144	0	0,00	0	

Volume total = 26256 m3



Calcul de débit solide par la méthode de SMART et JAEggi

Cours d'eau : l'Adour à Bours

Hypothèses :

Résultats :

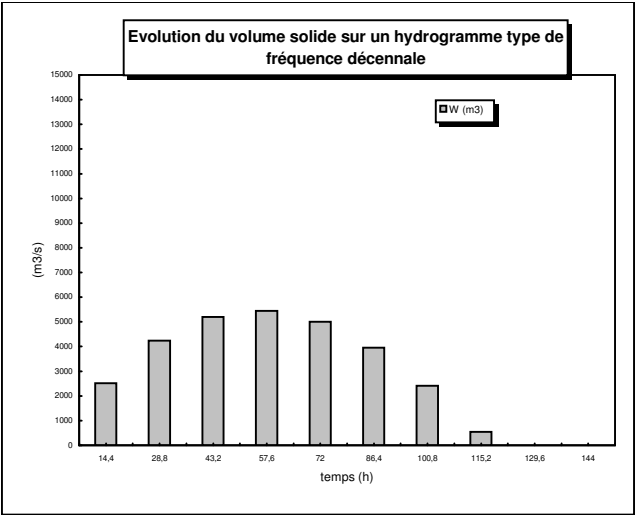
amont seuil de Bours

Q0 = 20,5 m3/s

dm (m)	0,03
i (m/m)	0,004
rd(d90/d30)	5
Tc (h)	48
Q (m3/s)	120
densité :	2,6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0,1	14,4	108	0,05	2518	0,04%
0,2	28,8	96	0,04	4243	0,04%
0,3	43,2	84	0,03	5204	0,04%
0,4	57,6	72	0,03	5439	0,04%
0,5	72	60	0,02	4999	0,03%
0,6	86,4	48	0,01	3953	0,03%
0,7	100,8	36	0,01	2409	0,02%
0,8	115,2	24	0,00	551	0,01%
0,9	129,6	12	0,00	0	0,00%
1	144	0	0,00	0	

Volume total = 29316 m3



Calcul de débit solide par la méthode de SMART et JAEggi

Cours d'eau : l'Adour à Bours

Hypothèses :

Résultats :

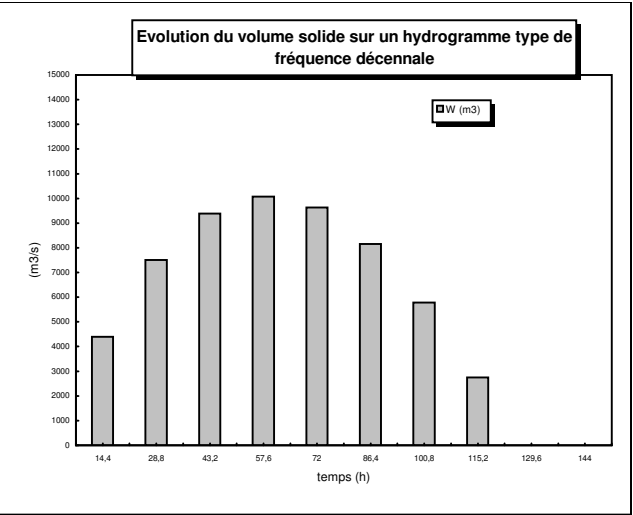
amont seuil de Bours

Q0 = 20,5 m3/s

dm (m)	0,03
i (m/m)	0,004
rd(d90/d30)	5
Tc (h)	48
Q (m3/s)	180
densité :	2,6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0,1	14,4	162	0,08	4394	0,05%
0,2	28,8	144	0,07	7510	0,05%
0,3	43,2	126	0,06	9387	0,05%
0,4	57,6	108	0,05	10073	0,04%
0,5	72	90	0,04	9633	0,04%
0,6	86,4	72	0,03	8159	0,04%
0,7	100,8	54	0,02	5786	0,03%
0,8	115,2	36	0,01	2753	0,02%
0,9	129,6	18	0,00	0	0,00%
1	144	0	0,00	0	

Volume total = 57695 m3



Hypothèses

Résultats :

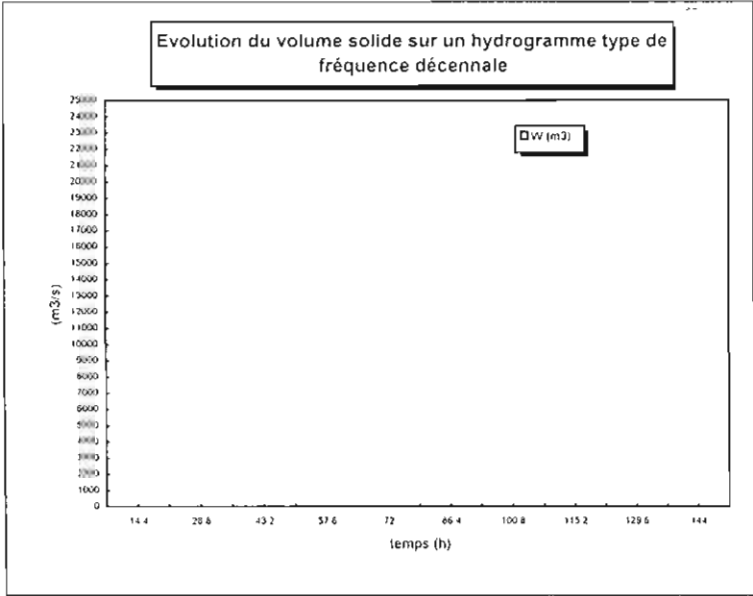
aval pont

Q0 = 524.9 m3/s

dm (m)	0.03
i (m/m)	0.0009
rd(d90/d30)	3.5
Tc (h)	48
Q (m3/s)	500
densité	2.6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0.1	14.4	450	0.00	0	0.00%
0.2	28.8	400	0.00	0	0.00%
0.3	43.2	350	0.00	0	0.00%
0.4	57.6	300	0.00	0	0.00%
0.5	72	250	0.00	0	0.00%
0.6	86.4	200	0.00	0	0.00%
0.7	100.8	150	0.00	0	0.00%
0.8	115.2	100	0.00	0	0.00%
0.9	129.6	50	0.00	0	0.00%
1	144	0	0.00	0	

Volume total = 0 m3



Hypothèses :

Résultats :

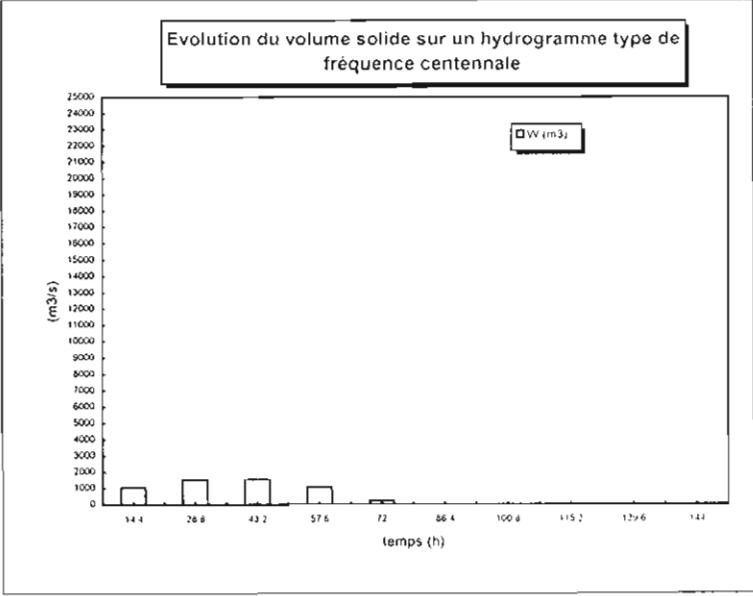
aval pont

Q0 = 524.9 m3/s

dm (m)	0.03
i (m/m)	0.0009
rd(d90/d30)	3.5
Tc (h)	48
Q (m3/s)	1100
densité	2.6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0.1	14.4	990	0.02	1048	0.00%
0.2	28.8	880	0.01	1550	0.00%
0.3	43.2	770	0.01	1545	0.00%
0.4	57.6	660	0.01	1086	0.00%
0.5	72	550	0.00	238	0.00%
0.6	86.4	440	0.00	0	0.00%
0.7	100.8	330	0.00	0	0.00%
0.8	115.2	220	0.00	0	0.00%
0.9	129.6	110	0.00	0	0.00%
1	144	0	0.00	0	

Volume total = 5467 m3



Hypotheses

Résultats :

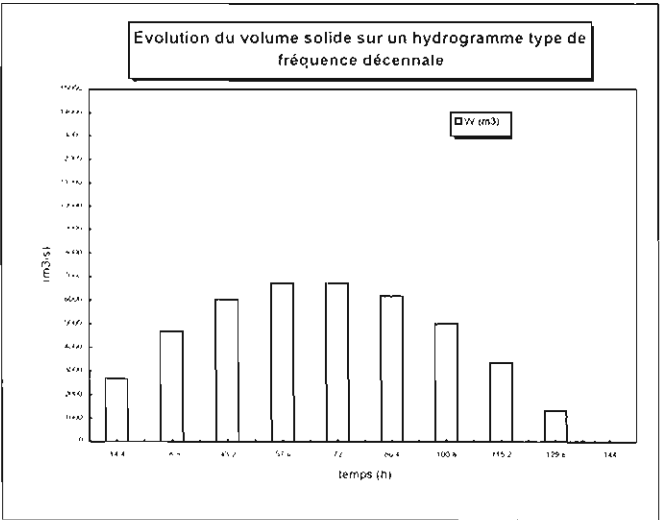
atterrissement berge

Q0 = 15.3 m3/s

dm (m)	0.008
i (m/m)	0.001
rd(d90/d30)	20
Tc (h)	48
Q (m3/s)	500
densité	2.6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0.1	14.4	450	0.05	2682	0.01%
0.2	28.8	400	0.05	4684	0.01%
0.3	43.2	350	0.04	6016	0.01%
0.4	57.6	300	0.03	6692	0.01%
0.5	72	250	0.03	6730	0.01%
0.6	86.4	200	0.02	6156	0.01%
0.7	100.8	150	0.01	5007	0.01%
0.8	115.2	100	0.01	3352	0.01%
0.9	129.6	50	0.00	1337	0.01%
1	144	0	0.00	0	

Volume total = 42654 m3



Hypothèses :

Résultats :

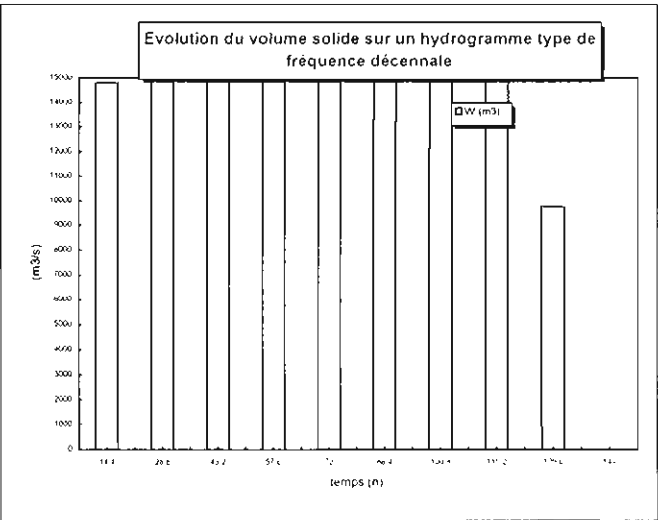
atterrissement berge

Q0 = 15.3 m3/s

dm (m)	0.008
i (m/m)	0.001
rd(d90/d30)	20
Tc (h)	48
Q (m3/s)	1000
densité :	2.6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0.1	14.4	900	0.11	5845	0.01%
0.2	28.8	800	0.10	10262	0.01%
0.3	43.2	700	0.09	13266	0.01%
0.4	57.6	600	0.07	14878	0.01%
0.5	72	500	0.06	15127	0.01%
0.6	86.4	400	0.05	14051	0.01%
0.7	100.8	300	0.03	11710	0.01%
0.8	115.2	200	0.02	8207	0.01%
0.9	129.6	100	0.01	3770	0.01%
1	144	0	0.00	0	

Volume total = 97116 m3



Calcul de débit solide par la méthode de SMART et JAEGGI

Cours d'eau : Le Gave de Pau en aval de Puyoo

Fréquence décennale

Hypothèses :

Résultats :

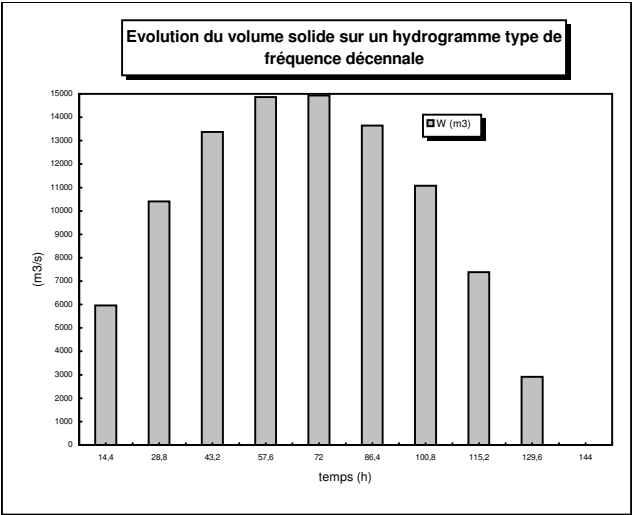
aval seuil Puyoo

Q0 = 28,5 m3/s

dm (m)	0,012
i (m/m)	0,0012
rd(d90/d30)	16
Tc (h)	48
Q (m3/s)	890
densité :	2.6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0,1	14,4	801	0,12	5965	0,01%
0,2	28,8	712	0,10	10412	0,01%
0,3	43,2	623	0,09	13367	0,01%
0,4	57,6	534	0,07	14860	0,01%
0,5	72	445	0,06	14932	0,01%
0,6	86,4	356	0,04	13641	0,01%
0,7	100,8	267	0,03	11075	0,01%
0,8	115,2	178	0,02	7385	0,01%
0,9	129,6	89	0,01	2907	0,01%
1	144	0	0,00	0	

Volume total = 94545 m3



Calcul de débit solide par la méthode de SMART et JAEGGI

Cours d'eau : Le Gave d'Azun - crue de fréquence centennale

Hypothèses :

Résultats :

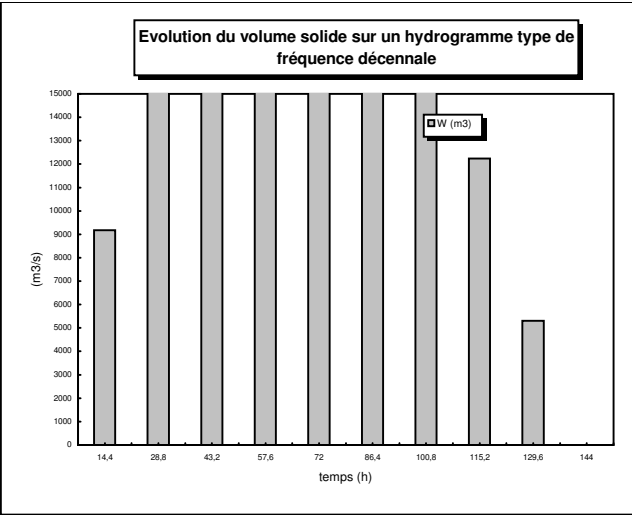
aval seuil Puyoo

Q0 = 28,5 m3/s

dm (m)	0,012
i (m/m)	0,0012
rd(d90/d30)	16
Tc (h)	48
Q (m3/s)	1300
densité :	2.6

	dt (h)	Q (m3/s)	Qs (m3/s)	W (m3)	Qs/Q
0,1	14,4	1170	0,18	9175	0,02%
0,2	28,8	1040	0,15	16068	0,01%
0,3	43,2	910	0,13	20710	0,01%
0,4	57,6	780	0,11	23141	0,01%
0,5	72	650	0,09	23412	0,01%
0,6	86,4	520	0,07	21597	0,01%
0,7	100,8	390	0,05	17806	0,01%
0,8	115,2	260	0,03	12232	0,01%
0,9	129,6	130	0,01	5300	0,01%
1	144	0	0,00	0	

Volume total = 149442 m3



Annexe 4 : relevés topographiques de la ligne
d'eau de l'Adour le 24 juin 2002

DEPARTEMENT DES LANDES

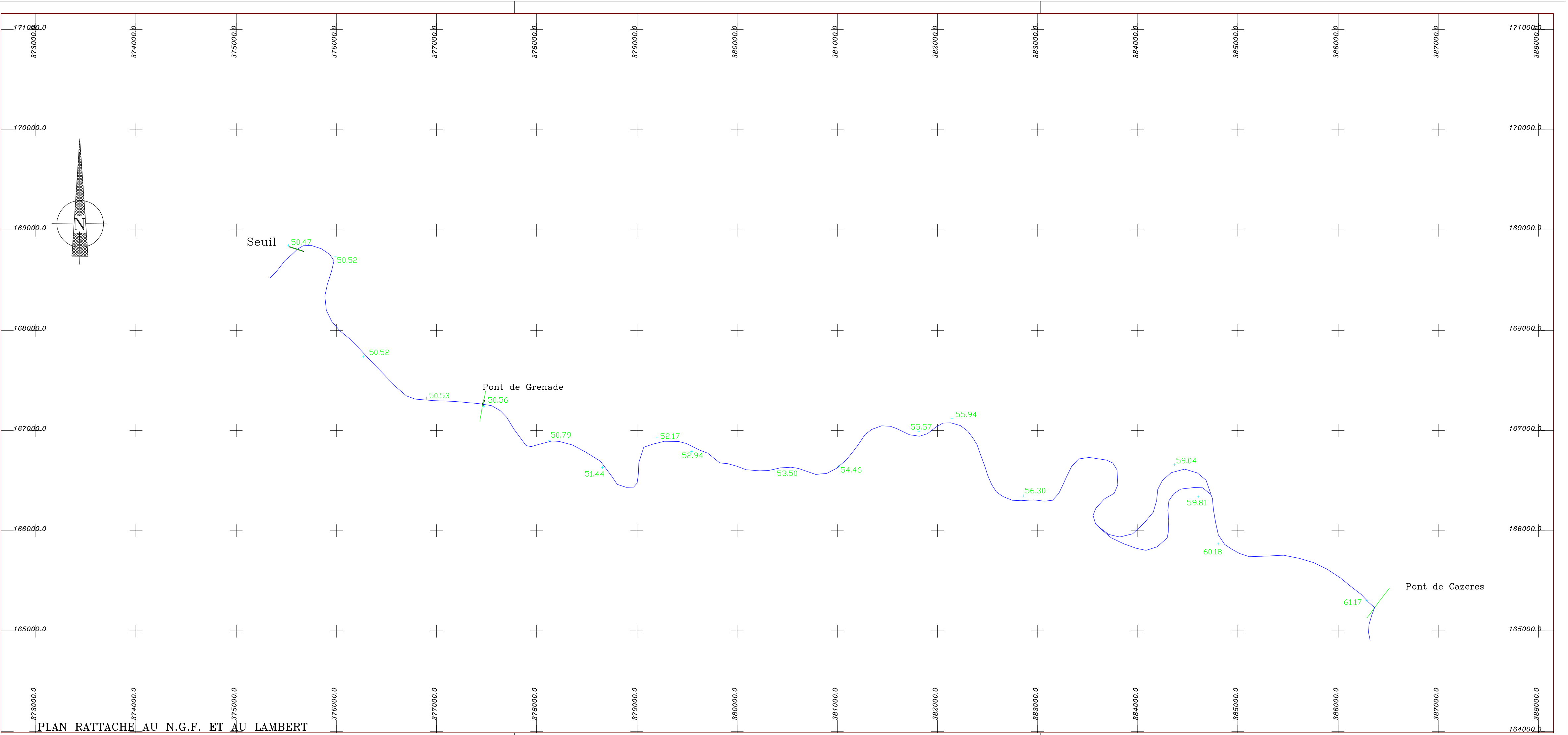
ESPACE DE MOBILITE DE L'ADOUR

TRONCON CAZERES SUR L'ADOUR-POUY
Ligne d'Eau le 20 juin 2002

Annexe 4.1.

Echelle : 1/25000°

Dossier n° 2058at PLAN DRESSE le 20 juin 2002 PAR LA SOCIETE DES GEOMETRES EXPERTS ATURINS. 40800 AIRE-sur-l'ADOUR. TEL : 58.71.62.73



DEPARTEMENT DES LANDES

ESPACE DE MOBILITE DE L'ADOUR

TRONCON AUGREILH-TOULOUZETTE
Ligne d'Eau le 24 juin 2002

Annexe 4.2.

Echelle : 1/25000°

