



HAL
open science

Caractérisation des vallées alluviales

H. Pella, J.G. Wasson, Yves Souchon

► **To cite this version:**

H. Pella, J.G. Wasson, Yves Souchon. Caractérisation des vallées alluviales. irstea. 2001, pp.125.
hal-02579949

HAL Id: hal-02579949

<https://hal.inrae.fr/hal-02579949>

Submitted on 14 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

01/0369



ifen

Caractérisation des vallées alluviales

**Hervé PELLA, Jean-Gabriel WASSON,
Yves SOUCHON**

Département Gestion des Milieux Aquatiques
Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative

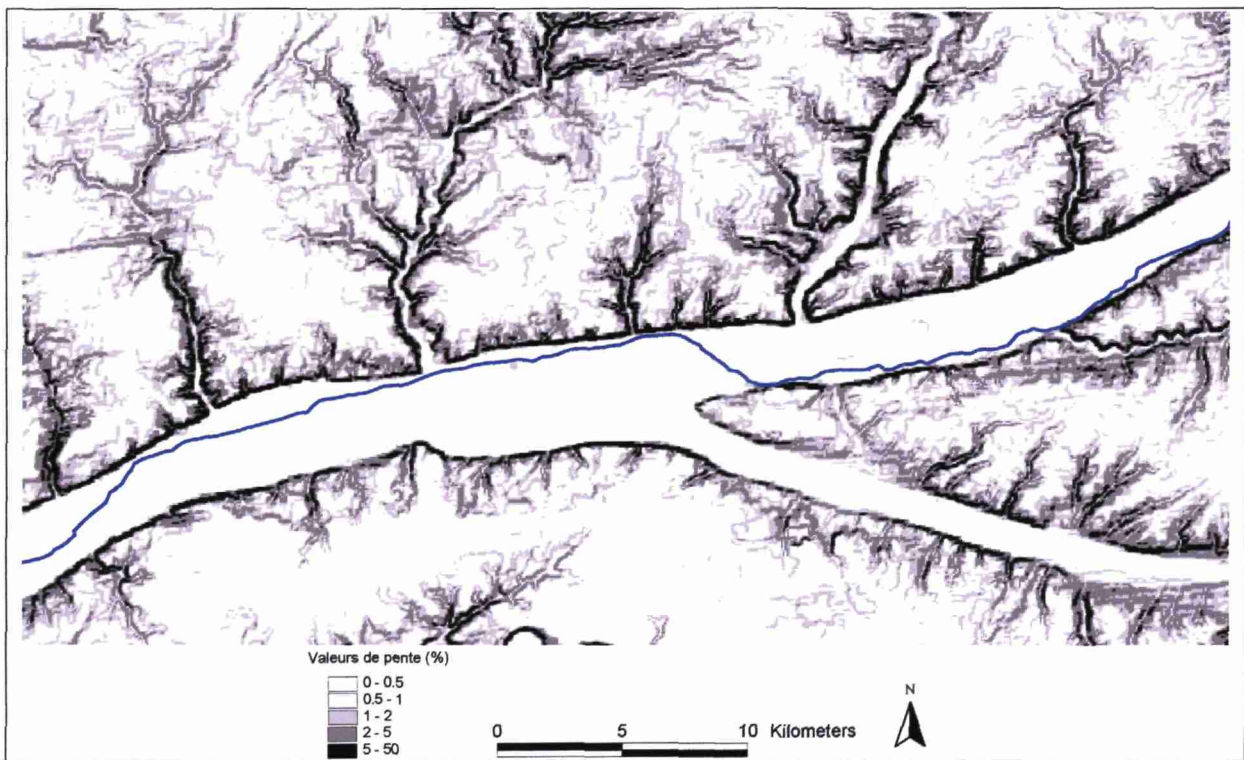
Groupement de Lyon
3 bis Quai Chauveau, CP 220
69336 Lyon cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87 - Fax 04 78 47 78 75

Septembre 2001



Caractérisation des vallées alluviales

Rapport Final



H. Pella, J.G. Wasson, Y. Souchon

Table des matières

RÉSUMÉ	2
INTRODUCTION	3
1. LA CARTOGRAPHIE ÉCOLOGIQUE DES ÉCOSYSTÈMES D'EAU COURANTE.....	4
1.1 HYDROSYSTÈME.....	4
1.2 NIVEAUX DE PERCEPTION.....	7
2. ÉTUDE GÉOMORPHOLOGIQUE DES VALLÉES	10
2-1 CRITIQUE DES DONNÉES	10
2-1-1 <i>BD Carthage</i>	10
2-1-1-1 <i>Analyse de la sinuosité</i>	10
2-1-1-2 <i>Ordination de Strahler</i>	11
2-1-2 <i>Modèle numérique d'élévation (MNE)</i>	12
<i>Mise en garde (d'après Culoz et Puech, 1994)</i>	14
2-1-3 <i>Corine LandCover</i>	14
2-2 ANALYSE SPATIALE.....	14
2-2-1 <i>Largeur du fond de vallée</i>	14
2-2-2 <i>Longueur du lit</i>	15
2-2-3 <i>Longueur médiane de la vallée</i>	16
2-2-4 <i>Calcul de la sinuosité</i>	16
2-2-5 <i>Pente de la vallée</i>	16
2-2-6 <i>Profils en travers</i>	16
2-2-7 <i>Largeur du lit mineur</i>	17
2-2-8 <i>Largeur théorique du lit majeur</i>	17
2-2-9 <i>Pente des versants</i>	17
2-2-10 <i>Type de la vallée</i>	17
2-2-11 <i>Occupation du sol</i>	20
CONCLUSION	21
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	22
3. RÉSULTATS	24
4. ANNEXE CARTOGRAPHIQUE.....	28
4.1 LOIRE	28
4-1-1 <i>Analyse de l'occupation du sol</i>	28
4-1-2 <i>Analyse morphologique</i>	28
Figure 3 : <i>représentation en boîte d'une distribution de valeurs</i>	30
4-1-3 <i>Représentation Cartographique</i>	31
4.2 RHÔNE.....	57
4-2-1 <i>Analyse de l'occupation du sol</i>	57
4-2-2 <i>Analyse morphologique</i>	57
4-2-3 <i>Représentation Cartographique</i>	60
4.3 SAÔNE.....	87
4-3-1 <i>Analyse de l'occupation du sol</i>	87
4-3-2 <i>Analyse morphologique</i>	87
4-3-3 <i>Représentation Cartographique</i>	89
4.4 AIN.....	108
4-4-1 <i>Analyse de l'occupation du sol</i>	108
4-4-2 <i>Analyse morphologique</i>	108
4-4-3 <i>Représentation Cartographique</i>	110
4.5 ALLIER	115
4-5-1 <i>Analyse de l'occupation du sol</i>	115
4-5-2 <i>Analyse morphologique</i>	115
4-5-3 <i>Représentation Cartographique</i>	117



Résumé

L'objectif de l'étude "Caractérisation des vallées alluviales" est de proposer un découpage du linéaire principal de cinq vallées alluviales françaises qui prenne en compte des paramètres physiques à l'échelle du bassin versant.

La première partie de ce rapport, essentiellement bibliographique, replace la démarche de cartographie écologique dans un contexte plus général.

La seconde partie expose la méthodologie employée pour ce découpage en fonction des données géographiques disponibles.

Enfin, une annexe cartographique présente les résultats du découpage.



Introduction

Pour comprendre des phénomènes observés au niveau local dans les cours d'eau (processus, distribution des organismes), on s'attache désormais à les situer dans le contexte du bassin hydrographique et de la vallée en se focalisant sur les facteurs de contrôle ou de forçage à large échelle. C'est un thème de travail qui fait partie intégrante du programme de recherche HYDRECO du département Gestion des Milieux Aquatiques (GMA) du *Cemagref*, intitulé "Déterminants physiques du fonctionnement écologique des hydrosystèmes d'eau courante". Ceux-ci définissent à la fois un cadre fonctionnel régional des hydrosystèmes ainsi qu'un cadre global et cohérent de gestion. Dans ce sens, le Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative a développé une approche macroscopique des écosystèmes aquatiques pour un grand bassin versant français, le bassin de la Loire (117 000 km²) (Wasson *et al.*, 1993, Wasson, 1996, Souchon *et al.*, 2000).

C'est en référence au savoir faire développé lors de cette approche, que l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) nous a confié une étude dont l'objectif est de proposer un découpage du linéaire principal de cinq vallées alluviales françaises qui prenne en compte des paramètres physiques à l'échelle du bassin versant. Ce travail fait l'objet d'une convention entre l'IFEN et l'unité de recherche Biologie des Ecosystème Aquatique du *Cemagref* de Lyon.

La première partie de ce rapport, essentiellement bibliographique, replace la démarche de cartographie écologique dans un contexte plus général.

La seconde partie expose la méthodologie employée pour ce découpage en fonction des données géographiques disponibles.

Enfin, une annexe cartographique présente les résultats du découpage.

1. La Cartographie écologique des écosystèmes d'eau courante

Cette présentation de la cartographie écologique des écosystèmes d'eau s'inspire du rapport "Caractérisation écologique du lit majeur de la rivière Saint-Charles" par Lajeunesse *et al.* (1997), qui s'appuie sur les travaux de Amoros et Petts (1993), Wasson *et al.* (1993), Andriamahefa (1993) et Wasson (1996).

1.1 Hydrosystème

L'approche traditionnelle de l'étude des cours d'eau est linéaire et unidirectionnelle ; le fonctionnement hydraulique et hydrobiologique suit les forces gravitationnelles qui entraînent l'eau de l'amont vers l'aval dans un chenal isolé de son environnement. C'est une vision qui facilite le traitement numérique des phénomènes hydrauliques et hydrobiologiques où chaque segment de rivière est dépendant des segments amont. Cette approche ne tient généralement pas compte des facteurs de limitation de l'ensemble du bassin versant. Ainsi, la majorité des études hydrobiologiques s'appuie sur une connaissance de la qualité de l'eau en divers points des rivières, sans pouvoir établir des liens étroits et précis avec les facteurs causaux de cette qualité. Les plaidoyers pour une gestion dite "intégrée" des bassins versants ont pour ambition de dépasser un regard trop souvent confiné aux quelques mètres de bordure des cours d'eau.

Depuis une vingtaine d'années, on voit une approche écosystémique s'imposer petit à petit (Amoros et Petts, 1993 ; Wasson *et al.*, 1993). *Cette approche écosystémique considère le milieu aquatique comme un ensemble de systèmes influencé par de nombreux facteurs (physiques, biologiques, anthropiques) dans une hiérarchie emboîtée dans laquelle les niveaux supérieurs contrôlent les niveaux inférieurs.* Cette définition générale correspond à la notion de système fluvial et est en tout point conforme au concept moderne d'écosystème terrestre. Cette notion de système fluvial s'étend, avec les réserves qu'impose l'échelle spatiale, à tout système d'eau courante ; nous utiliserons désormais l'expression écosystème d'eau courante.

Le bassin versant, défini selon cette acception, est alors beaucoup plus complexe que sa seule acceptation hydraulique. En effet, il faut maintenant considérer que le bassin versant ou *le système d'eau courante est multiscalaire, plurifactoriel, multidimensionnel et dynamique.*

✓ Il est *multiscalaire*, car il fonctionne et peut être appréhendé à divers niveaux de perception et de complexité et donc exprimé à différentes échelles (du régional au local),



✓ Il est *plurifactoriel*, car maîtrisé, structuré selon les facteurs du milieu : le climat régional et local (saisons, précipitations, enneigement, température, orages), la géologie, l'hydrogéologie et la géomorphologie, la topographie (formes de terrain, déclivité, dénivelé), le couvert végétal et la faune, et les activités humaines (déboisement, urbanisation, chenalisation),

✓ Il est *multidimensionnel*, car il se caractérise par des échanges et des flux de matière et d'énergie longitudinaux (amont-aval), transversaux (lit mineur-lit majeur, versant-vallée) et verticaux (eau de surface- milieu souterrain),

✓ Il est enfin *dynamique*, car il est en perpétuel ajustement aux modifications de l'état des facteurs de contrôle. On reconnaît quatre dynamiques :

✓ une dynamique courte associée à des éléments brefs et aléatoires qui agissent localement (crues d'orage),

✓ une dynamique saisonnière, prévisible, dont le cycle est annuel (hautes et basses eaux). A ces deux échelles de temps, les systèmes sont stables globalement et instables localement,

✓ une dynamique intermédiaire (10-100 ans) dans laquelle l'érosion et l'alluvionnement modèlent un tracé en quasi-équilibre (modifications locales du parcours des méandres),

✓ la dynamique longue (1 000-10 000 ans) est soumise aux changements climatiques et est associée aux grands cycles géomorphologiques qui prennent place sur des grands espaces. Le système fluvial est alors considéré en équilibre dynamique.

Le système d'eau courante constitue donc le niveau le plus élevé de la hiérarchie hydro-écologique : c'est l'ensemble du réseau hydrographique et son bassin versant (figure 1.1).

Sous ce niveau supérieur se place plus spécifiquement l'hydrosystème. L'hydrosystème est constitué par l'association étroite du cours d'eau et de sa zone d'inondation (figure 1.1). Cet espace écologique se matérialise par des échanges de matière, d'énergie et d'organismes dans les sens longitudinaux, transversaux et verticaux. Étant donné l'importance des relations transversales rivière-plaine d'inondation, la notion d'hydrosystème s'applique surtout aux cours d'eau de rang intermédiaire à élevé, les cours d'eau en tête de réseau étant généralement dépourvus, de par leur topographie et leur faible débit, de plaine alluviale.

L'hydrosystème est lui-même composé d'éléments terrestres et aquatiques plus fins. Ces éléments, agencés selon la structure géomorphologique dominée par les niveaux supérieurs, forment un ensemble d'écosystèmes interactifs. Ainsi, méandres, bras morts, étangs, marais, levées, terrasses et dépressions sont-ils plus ou moins souvent en contact selon les événements climatiques, hydrologiques ou géomorphologiques et selon un rythme qui peut être saisonnier, centennal ou millénaire. Lors de ces mises en contact, ils échangent de l'énergie (calorique,



cinétique), des matériaux (débris, sédiments) et des organismes (végétaux, animaux). Le respect de l'intégrité des plaines alluviales permet de conserver cette dynamique d'échange.

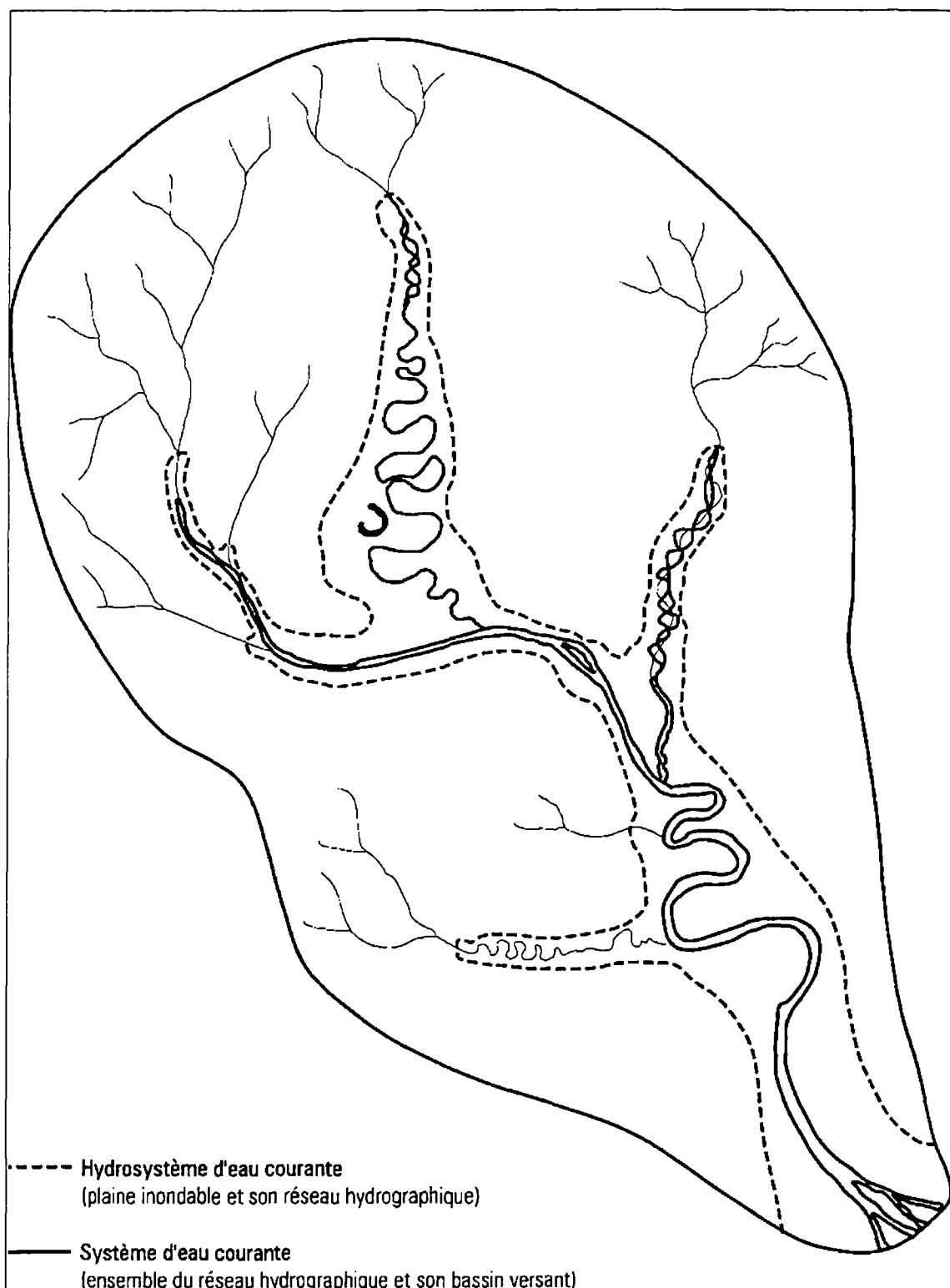


Figure 1.1 Système et hydrosystème d'eau courante (d'après Amoros et Petts, 1993).



1.2 Niveaux de perception

On peut identifier plusieurs niveaux de perception emboîtés pour l'étude des bassins versants, des hydrosystèmes et des rivières (figure 1.2, d'après Wasson *et al.* 1998).

L'**hydroécorégion** constitue le niveau supérieur applicable à de grands bassins versants ($10^3 - 10^5 \text{ km}^2$). Les hydroécorégions sont déterminées par la combinaison des facteurs de contrôle primaires non anthropisés : **géologie, hydrogéologie, relief, climat et végétation potentielle**.

La structuration physique et écologique des écosystèmes aquatiques est conditionnée par le relief, la géologie et la climatologie générale (Wasson, 1996). Ces variables permettent aussi d'intégrer implicitement les caractères globaux contrôlant la morphologie des cours d'eau. Ainsi :

- ✓ le **relief** donnera la gamme des pentes et les formes générales des profils en long. Il permettra de dégager les contraintes structurales limitant les possibilités d'évolution des systèmes fluviaux,
- ✓ la **géologie** permettra de connaître la gamme de sédiments disponibles au transport qui contribueront à la formation des alluvions du lit et contrôleront en partie le développement des faciès d'écoulement,
- ✓ le **climat** intégrera les principales caractéristiques des régimes hydrologiques, dernière variable de contrôle de la morphologie des lits fluviaux.

Le niveau suivant ne s'applique déjà plus au bassin versant, mais définit des **tronçons**, correspondant à un type géomorphologique de vallée et à une dimension (rang) du cours d'eau ; la longueur de ces tronçons est de l'ordre de 10^3 fois la largeur du lit à débit plein bord (noté W). Le **segment de rivière** redécoupe les tronçons en unités géomorphologiques plus homogènes, souvent agencées de manière répétitives dans les vallées. Leur amplitude spatiale est de l'ordre de 10^2 fois la largeur à plein bord. Le tronçon et le segment s'appliquent surtout à la géomorphologie de la vallée et au tracé de la rivière tandis que les niveaux de perception inférieurs se concentrent sur la partie aquatique. En effet, de la séquence de faciès au microhabitat, ce sont les paramètres descriptifs du lit mineur qui interviennent : forme transversale et longitudinale du lit mineur, matériaux des berges et du fond, profondeur de l'eau et vitesse du courant. À partir des travaux de de Andriamahefa (1993) et de Wasson *et al.* (1998), le service de la cartographie écologique du ministère de l'environnement et de la faune de Québec (Ducruc et al. 1997, Gérardin et al. 1997) propose les définitions suivantes :

- ✓ Le **tronçon de vallée** se définit essentiellement selon la morphologie de la vallée. C'est une longue section de vallée (environ 1 000 fois la largeur du lit mouillé) caractérisée par un profil (pente des versants, largeur du fond de vallée), une géologie, une genèse sédimentologique distinctes et une position propre dans la hiérarchie du réseau hydrographique,



✓ Le **segment de rivière** (subdivision du tronçon) est une portion de rivière et de son lit majeur caractérisée par une géologie et une géomorphologie (forme et matériau) propres et une largeur, une forme longitudinale et transversale et une pente longitudinale particulières. L'amplitude spatiale du segment de rivière est de l'ordre de 100 fois la largeur du lit mouillé,

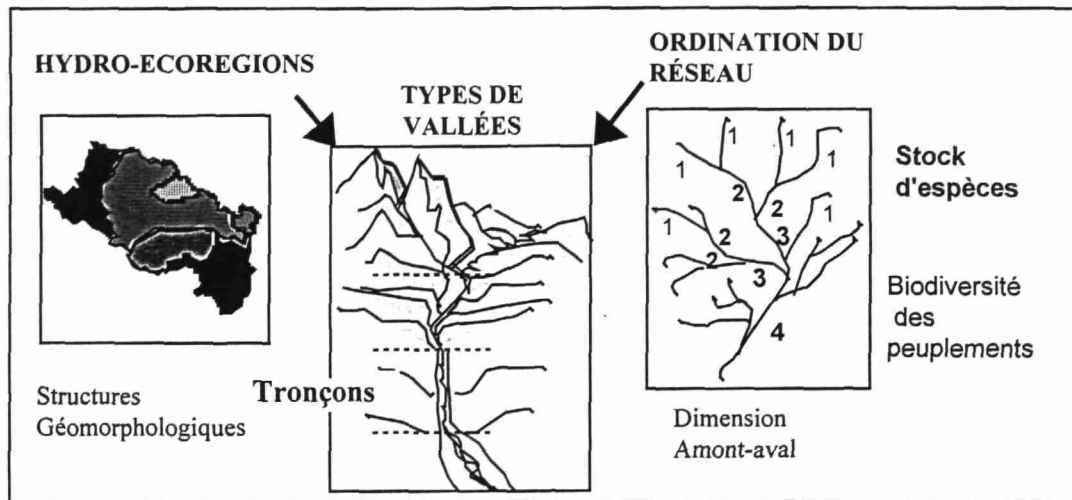
✓ La **séquence de faciès** est une subdivision de la partie aquatique du segment de rivière caractérisée par un patron répétitif et régulier d'un nombre restreint de faciès d'écoulement associés à une sinuosité, une largeur, un matériau du lit et une déclivité générale. La longueur d'une séquence de faciès oscille entre 5 et 7 largeurs à débit de plein bord,

✓ Le **faciès d'écoulement**, subdivision de la séquence, est une portion de rivière homogène quant à la forme longitudinale et transversale du lit, au matériau du fond et des berges, à la profondeur de l'eau et à la vitesse du courant. Un faciès d'écoulement peut s'étendre sur au plus 3 à 4 fois la largeur de son lit mouillé.

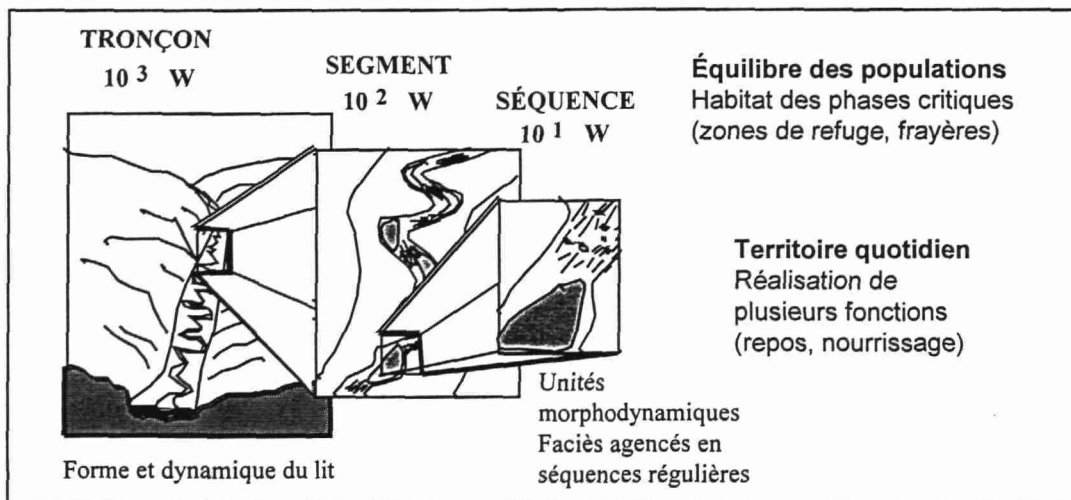
Dans ce travail, nous nous intéressons aux échelles des tronçons et segments. Dans la numérotation, le premier chiffre correspond aux tronçons, le deuxième aux segments identifiés à l'intérieur de chaque tronçon (ex : 51 = tronçon 5, segment 1).

CADRE PHYSIQUE
ECHELLE REGIONALE

FONCTIONS
BIOLOGIQUES



ECHELLE LINEAIRE



ECHELLE LOCALE

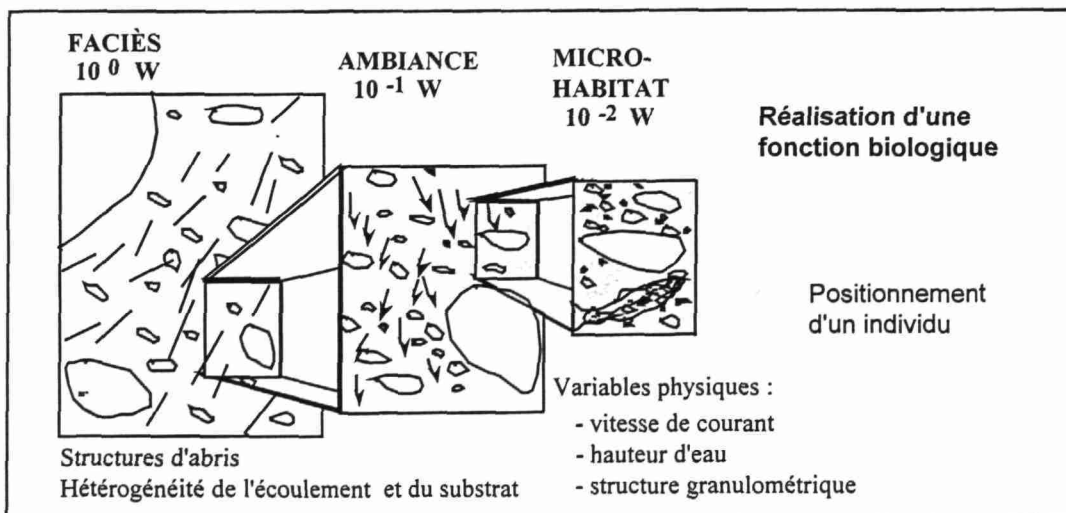


Figure 1.2 Niveaux de perception des hydrosystèmes. D'après Wasson *et al.* (1998).

W : Largeur du lit mouillé à débit de plein bord.



2. Étude géomorphologique des vallées

L'étude géomorphologique confiée au *Cemagref* porte sur les vallées alluviales suivantes :

- Ain,
- Allier,
- Loire,
- Rhône,
- Saône.

Ces vallées étudiées font partie de celles qui nous ont été fournies par les services cartographiques de l'IFEN. Le linéaire considéré pour chacune de ces vallées est issu de la couche d'information polygonale qui porte le nom de "perimetr.shp" et se présente sous la forme d'une zone tampon délimitant le linéaire constituant le cours d'eau.

2-1 Critique des données

2-1-1 BD Carthage

La BD Carthage, acronyme de Base de Données de Cartographie Thématique de l'Agence de l'Eau, a été créée pour servir de référentiel spatial commun à l'ensemble des services de l'état en charge d'une « mission » environnement sur le bassin. Cette couche de données a été constituée à partir des fichiers numériques de la BD Carto de l'IGN, saisis au 1/50.000 ème.

2-1-1-1 Analyse de la sinuosité

L'analyse de la sinuosité du linéaire principal du cours d'eau étudié est une information importante pour appréhender l'écoulement. Cependant l'analyse à large échelle d'un tel paramètre, assez simple à caractériser à partir du tracé en plan du cours d'eau, reste délicate.

Une des premières raisons à cette difficulté d'analyse est liée au processus même de cartographie qui implique une opération de simplification. Au 1/50 000 ème, le tracé du linéaire de la base de donnée Carthage est forcément simplifié. Même si le profil général du tracé en plan est correct à cette échelle, les méandres de petite taille en tête de bassin n'apparaissent pas forcément à ce rapport d'échelle. Le calcul de la sinuosité, même s'il est possible à toute échelle, reste donc fortement lié à l'exactitude du tracé du cours d'eau en plan.

Un autre problème pour analyser les résultats du calcul de sinuosité est lié aux nombreux endiguements pratiqués sur le cours aval de la Loire. Les conclusions sur ce paramètre imposent donc une très bonne connaissance du terrain sur l'ensemble du linéaire.



Compte tenu des difficultés d'analyse présentées précédemment, cette variable n'a pas été prise en compte pour le découpage en tronçons du linéaire.

2-1-1-2 Ordination de Strahler

Un des paramètres importants pour établir un découpage en tronçons consiste à déterminer l'ordre de Strahler ou position hiérarchique d'une partie du cours d'eau sur l'ensemble du réseau hydrographique. En effet, les changements d'ordre le long de l'écoulement conditionnent le premier niveau de découpage. Les confluences avec un cours d'eau de même ordre entraînent des changements importants au niveau hydrologique et par conséquent au niveau morphologique. Nous avons dans un premier temps retenu les confluences de même ordre ou d'un ordre immédiatement inférieur comme paramètre de découpage.

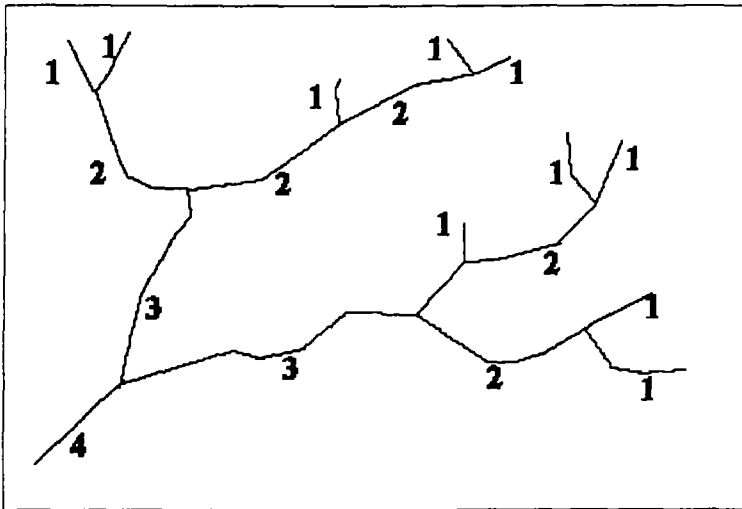


Figure 2.1 Principe de l'ordination de Strahler (1957)

Pour cette opération de calcul d'ordre, la base de donnée Carthage organisée par grand bassin versant a été considérée dans son ensemble. Cette base qui représente le chevelu hydrologique comporte deux sources d'erreurs importantes pour l'opération d'ordination.

Sens de saisie

L'algorithme utilisé pour cette détermination consiste à parcourir le réseau depuis l'exutoire jusqu'aux cours d'eau de tête de bassin, ce qui suppose une connaissance précise du sens d'écoulement qui doit impérativement correspondre au sens de saisie de l'information linéaire. Même si, au moment de la constitution de la couche hydrologique cette correspondance est majoritairement respectée, il demeure encore quelques problèmes d'orientation des arcs.



Connexité

Le deuxième problème de cette couche d'information est un manque de connexion topologique entre des arcs qui devraient être parfaitement reliés entre eux. L'un étant à l'amont immédiat de l'autre, ils devraient nécessairement avoir un nœud commun. De la même manière que pour le problème précédent, cette erreur de topologie ne porte que sur un nombre d'arcs très réduit.

Ces deux sources d'erreurs limitent le traitement automatisé de l'ordination. Pour obtenir une bonne approche du Strahler, il est donc nécessaire de détecter au maximum ces erreurs. Etant donné le nombre d'arcs constituant le réseau, cette opération ne peut être manuelle (environ 120 000 arcs pour le réseau du bassin de la Loire, 150 000 pour le Rhône). La manière de procéder la plus simple consiste donc à faire le calcul depuis l'exutoire du réseau pour repérer, lorsque le programme s'arrête, les arcs mal orientés ou mal connectés qui bloquent la remontée à l'amont du réseau. Ce genre d'aller-retour pénalise énormément l'automatisation d'un tel traitement à tel point que cette opération s'est révélée la plus longue à réaliser.

2-1-2 Modèle numérique d'élévation (MNE)

Un autre paramètre important à considérer pour le découpage en tronçons est la géomorphologie du lit majeur du cours d'eau principal. Pour cette étude, le modèle numérique de terrain doit être suffisamment précis pour permettre une analyse des profils en travers au niveau du cours d'eau. Le modèle fourni dans le cadre de la commande par l'institut Français de l'Environnement s'est avéré insuffisant pour cette partie. En effet, une précision d'un point tous les 250 m ne permet pas une bonne appréhension du relief. Pour cette analyse, une information discrétisée de manière précise est primordiale et conditionne le résultat final de la sectorisation.

Pour cette détermination, nous avons donc utilisé le modèle numérique de terrain sur la France issu de VisualDem® au pas de 75 m. Un tel modèle présente un échantillonnage inférieur à 100 m, ce qui pour la détermination du fond de vallée apparaît suffisant. Néanmoins, l'utilisation d'un tel modèle présente deux inconvénients majeurs pour une approche précise du relief. Le premier se rapporte à la précision en altitude de cette information qui n'est pas précisée dans les spécificités de Visual Dem. Le second se rapporte à l'exactitude au niveau du calage de la grille de données en projection.



Dans l'optique de l'utilisation de cette source de données, il nous a paru important de la comparer avec la base de donnée Alti de l'Institut Géographique National qui fait référence en France en la matière (pas d'échantillonnage : 50 m). Cette comparaison a été possible dans le cadre de la convention entre le Cemagref de Lyon et l'agence de l'eau Loire-Bretagne intitulée : « Impact de l'entretien de la végétation rivulaire sur les communautés biologiques et la morphologie des cours d'eau ». A partir d'un extrait de la BD Alti de l'Ign sur les deux bassins versant étudiés situés en Haute-Loire (la Crouce et le Doulon), nous avons pu contrôler qu'à l'échelle de la vallée alluviale et en ce qui concerne la délimitation du fond de vallée, les données issues du Visual Dem sont comparables à la BD Alti. Par contre, des différences significatives demeurent au niveau du calage du modèle numérique de terrain au réseau hydrographique ainsi que pour la détermination des altitudes ponctuelles (Blois, 1996). L'usage de Visual Dem nous a donc permis une approche correcte de la délimitation du fond de vallée (fig 1). Il aurait tout de même été préférable d'utiliser la BD Alti, pour affiner le découpage. Il est en effet possible que certains transects ne soient pas suffisamment précis avec des données à 75 m (Robin 2000).

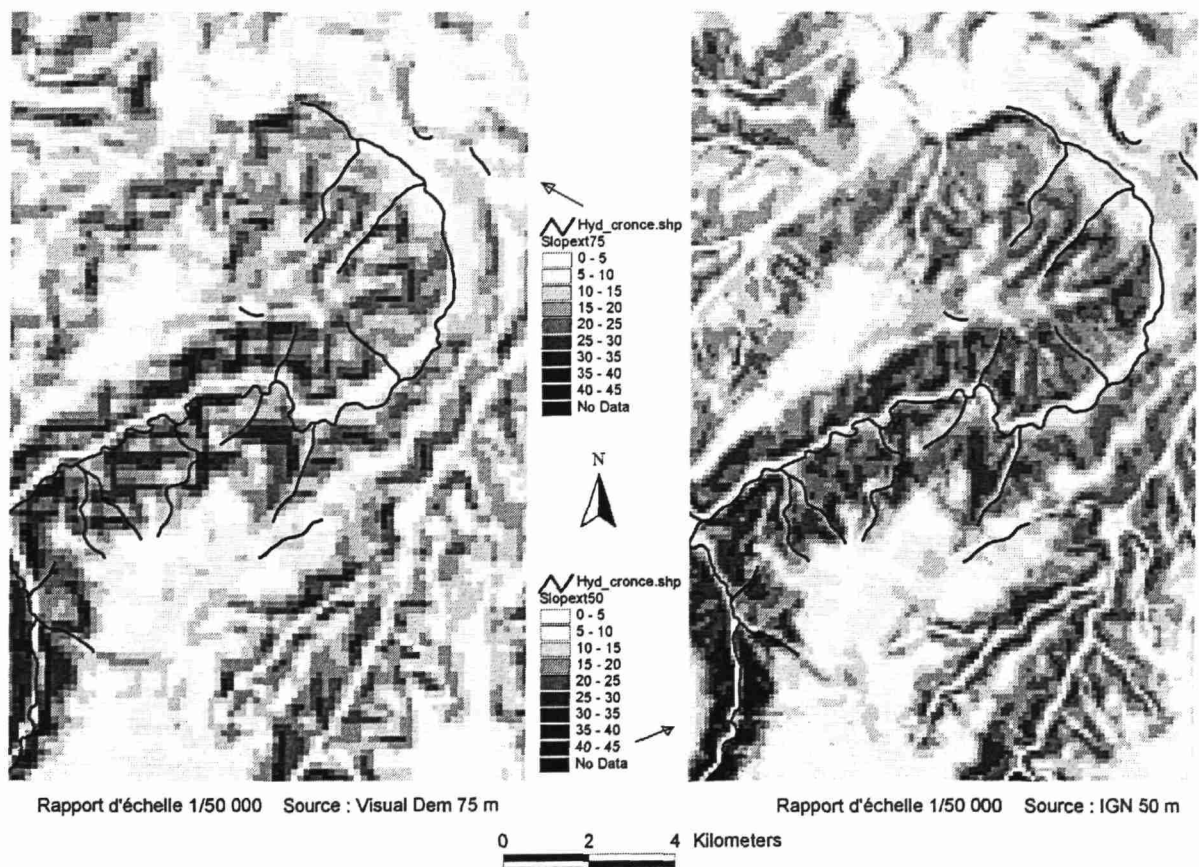


Figure 1 : Comparaison des valeurs de pentes issues du modèle numérique d'élévation de visual Dem (gauche) et celles issues de la DB Alti (droite).



Mise en garde (d'après Culoz et Puech, 1994)

Malgré les avantages indéniables du Modèle Numérique d'Élévation (MNE), il convient d'en souligner aussi quelques limites. La qualité du MNE dépend de sa résolution et de sa méthode d'obtention. Dans la plupart des cas, les MNE sont élaborés à partir des courbes de niveau de cartes topographiques. Leur précision correspond à celle des documents d'origine. Le mode d'interpolation n'est, de surcroît, pas neutre. Il peut se produire des artefacts tels que les minimums locaux artificiels perturbant le calcul. La création du réseau hydrographique à partir du MNE doit donc servir de première approche, l'épuration des erreurs se réalisant ensuite de manière interactive.

2-1-3 Corine LandCover

La base de données Corine LandCover est issue d'un travail de photo-interprétation à l'échelle de l'Europe. Elle se présente sous la forme d'un parcellaire qui reflète l'occupation du sol déclinée en 44 postes.

2-2 Analyse spatiale

2-2-1 Largeur du fond de vallée

A partir du modèle numérique d'élévation, il est possible de calculer les pentes entre chaque cellule. Une représentation par seuil de ces valeurs de pente permet d'appréhender le fond de vallée défini comme l'espace plat situé entre les premières zones à forte pente situées de part et d'autre du cours d'eau, supposés correspondre aux bords de la vallée alluviale. A partir de cette représentation, une nouvelle couche d'information de type polygonal a été saisie le long du linéaire considéré. Cette information est importante puisqu'elle nous a permis de repérer les séquences d'élargissement – rétrécissement et par conséquent les zones où l'écoulement est forcé par des caractéristiques morphologiques particulières.

Il est nécessaire d'effectuer une mise en garde vis à vis de l'utilisation future d'une telle couche de donnée. Hormis le fait que toute opération de cartographie comporte une part de simplification plus ou moins importante selon l'échelle de travail, la délimitation du fond de vallée dépend principalement de la source des données. En effet, et comme nous l'avons déjà précisé en 2-2-1, la précision de la délimitation est liée intrinsèquement à la précision du modèle numérique de terrain à partir duquel sont calculées les valeurs de pente. Dans le cas où l'utilisation de cette couche pour des analyses plus poussées se révélerait intéressante, il serait bon d'affiner les contours des polygones. Dans le cadre de ce travail, le seuil utilisé pour la délimitation du fond de vallée est celui de 2 %, compatible avec la précision du MNE. La



figure 2 donne une illustration de l'augmentation de précision qui pourrait être obtenue avec des seuils plus faible (0,5 ou 1 %). Si cette information est utile, la délimitation du fond de vallée pourrait donc être améliorée, dans le cadre d'une prolongation du travail et sous réserve d'en vérifier la validité par rapport à la précision du MNE utilisé.

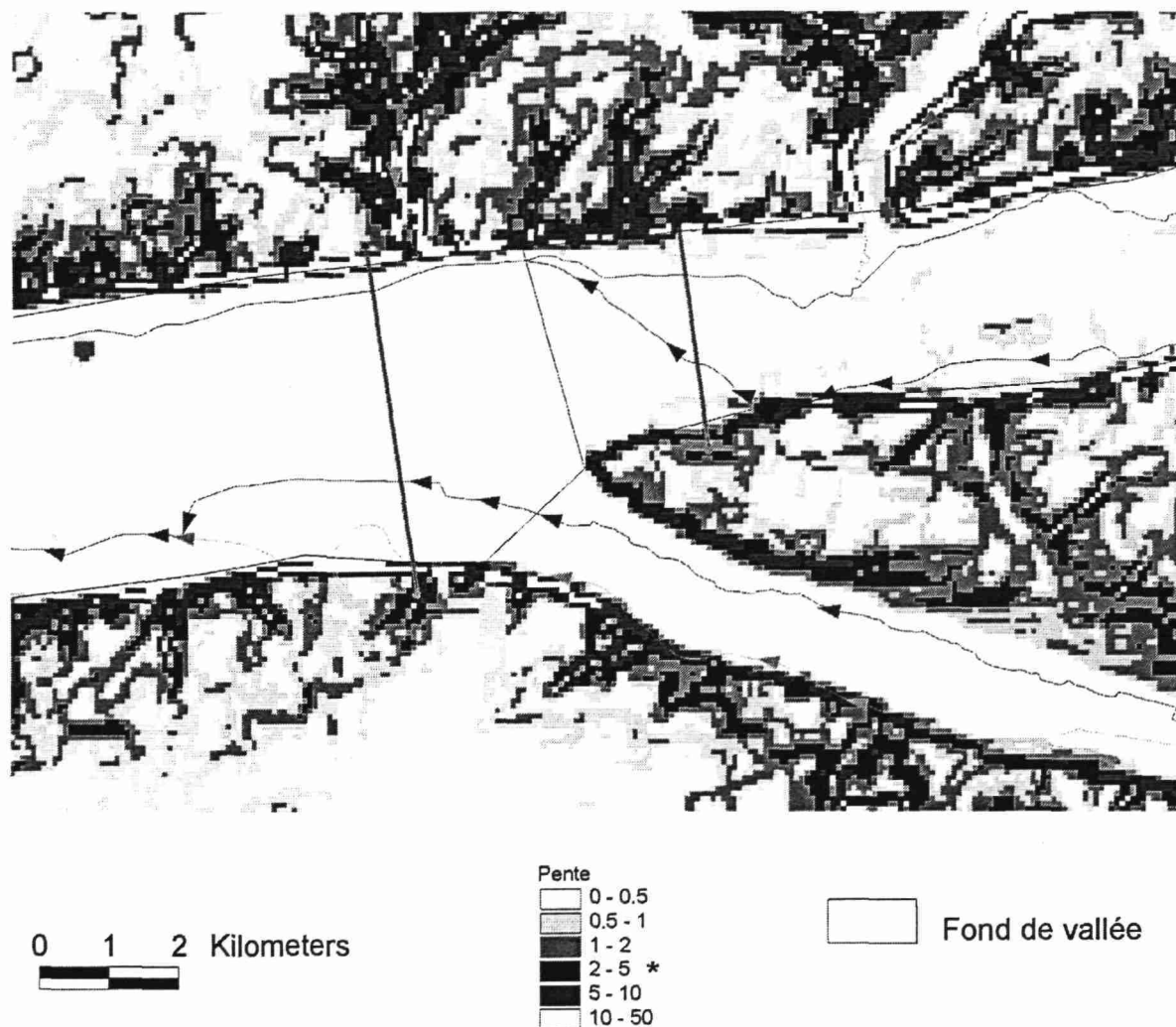


Figure 2 : Typologie des pentes issues du Visual Dem

* seuil de pente utilisé pour la délimitation approximative du fond de vallée (2-5 %)

2-2-2 Longueur du lit

Cette longueur est calculée à partir de la BD Carthage par sélection et addition des longueurs des segments définissant le cours principal du cours d'eau étudié.



2-2-3 Longueur médiane de la vallée

Cette longueur correspond à la ligne médiane du polygone délimitant le fond de vallée. En traitement d'image cette ligne est généralement désignée comme étant le squelette du polygone considéré. Cette ligne est saisie à partir du thème fond de vallée et doit passer par le point central de chaque transect perpendiculaire à l'écoulement.

2-2-4 Calcul de la sinuosité

La sinuosité est le rapport entre la longueur du lit et la longueur médiane de la vallée telles que définies précédemment.

2-2-5 Pente de la vallée

La pente de la vallée a été déterminée par portion de cours d'eau en considérant la différence entre l'altitude du point amont et l'altitude du point aval divisée par la longueur médiane de la vallée.

Etant donné l'analyse présentée en 2-2-1 qui concerne la comparaison entre les différents modèles numériques de terrain, nous avons déterminé les altitudes des points amont et aval à partir du MNE de l'Institut Géographique National au pas de 250 m fourni dans le cadre de l'étude. La précision de l'altitude est relative à celle du MNE (quelques pentes nulles figurent parmi les résultats).

2-2-6 Profils en travers

La partie « Annexe cartographique » présente les tronçons et segments déterminés par l'analyse combinée du rang fluvial, du fond de vallée et du relief. Pour chaque portion, au moins trois profils en travers sont présentés. Ces transects ont été tracés de la rive gauche (point vert) à la rive droite (point rouge). La largeur du transect est déterminée pour inclure le lit mineur et majeur du cours d'eau. Chaque division au niveau de la représentation en abscisse du transect correspond au pas d'échantillonnage du modèle numérique de terrain à 75 m. Pour respecter l'échelle qui permet de comparer les profils entre eux, les graphiques ont des dimensions communes. Ainsi, la longueur totale en abscisse représente 5 km, la légende de l'axe permet de définir la longueur exacte du transect. Lorsque la longueur du profil dépasse 5 km, un second graphe sur 5 km est tracé pour représenter la rive manquante. En ordonnée, les valeurs d'altitude sont comprises entre l'altitude minimale et cette dernière augmentée de 40m



à 60 m suivant le type de cours d'eau étudié. Lorsque des altitudes sont supérieures à cette fourchette, elles sont seuillées à la valeur maximale.

2-2-7 Largeur du lit mineur

La précision du modèle numérique de terrain permet pas la détermination du lit mineur du cours d'eau. Il est impossible de déterminer la largeur du lit mineur (à débit de plein bord) à partir d'un MNE à 50 ou 75 m. Seul le fond carto (BD Carto) de l'IGN permettrait une estimation de ce paramètre pour les grands cours d'eau .

2-2-8 Largeur théorique du lit majeur

Cette caractéristique est déterminée à partir du modèle numérique de terrain combiné à la couverture fond de vallée. L'analyse consiste à calculer des transects successifs par rapport au cours d'eau principal. Pour chaque transect, on détermine l'altitude minimale puis la zone théoriquement inondable de part et d'autre pour une augmentation de niveau d'une valeur de 2 mètres. Pour chaque cours d'eau étudié, un tableau présente la médiane par segment des valeurs mesurées sur chacun des transects espacés d'un kilomètre.

2-2-9 Pente des versants

Cette caractéristique est déterminée à partir de la couverture des pentes issues de l'analyse du modèle numérique de terrain Visual Dem combinée à la couverture fond de vallée. De la même manière que pour caractériser le lit majeur, l'analyse consiste à calculer des transects successifs par rapport au cours d'eau principal. Pour chaque transect, on considère les valeurs de pente dans la zone tampon extérieure de 750 mètres (10 pixels du MNE) de part et d'autre de la couverture du fond de vallée. Les graphiques, du même type que ceux présentés ci dessus, représentent la distribution de cette variable.

2-2-10 Type de la vallée

La forme de la vallée est définie d'après la typologie illustrée par la figure 3, simplifiée d'après Cupp (1989) et Rosgen (1996). Cette typologie est basée sur trois paramètres ; la pente de la vallée, la largeur du fond de vallée et la pente des versants (Souchon et al., 2000). Selon cette classification, la majeure partie des vallées étudiées correspond au type P1V2 (vallées tranquilles avec terrasses).





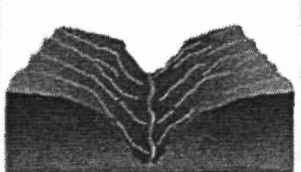
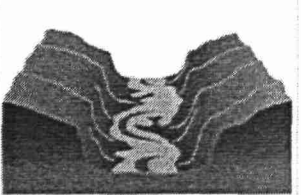
Type de vallée	Forme de la vallée	Pente de la vallée	Descriptions
P1V1		$< 2 ‰$	Faible pente de la vallée Faible pente de versants Faible largeur fond de vallée
P2V1		$2 ‰ < < 6 ‰$	Pente de la vallée moyenne Faible pente de versants Faible largeur fond de vallée
P3V1		$> 6 ‰$	Forte pente de la vallée Faible pente de versants Faible largeur fond de vallée
P1V2		$< 2 ‰$	Faible pente de la vallée Faible pente de versants Forte largeur fond de vallée
P2V2		$2 ‰ < < 6 ‰$	Pente de la vallée moyenne Faible pente de versants Forte largeur fond de vallée
P3V2		$> 6 ‰$	Forte pente de la vallée Faible pente de versants Forte largeur fond de vallée
P3V3		$> 6 ‰$	Forte pente de la vallée Forte pente de versants Faible largeur fond de vallée
P3V4		$> 6 ‰$	Forte pente de la vallée Forte pente de versants Forte largeur fond de vallée

Figure 3 : Typologie des formes de la vallée (d'après Souchon et al., 2000)

Suivant les mêmes principes, pour une typologie adaptée aux vallées alluviales, nous avons considéré deux paramètres ; la pente de la vallée ($‰$) et le ratio fond de vallée (d'après Wasson *et al.* 1998). Ce dernier paramètre est défini par le rapport entre la largeur moyenne du fond de vallée (définie en 2-2-1) et la moyenne du lit de plein bord telle qu'elle est cartographiée sur les cartes de la série verte au 1 :100 000 de l'IGN. La pente des versants (%) et la sinuosité ont eux aussi été classés mais sont présentés à titre descriptif.



Pente de la vallée ‰

très faible	< 0,3 ‰	1
faible	0,3 à 1 ‰	2
moyen	> 1 ‰	3

Ratio fond de vallée

Très faible	< 6	1 contraint	A
faible	6 à 12	2 moyen	A
moyen	12 à 24	3 large	B
fort	> 24	4 très large	B

Pente des versants %

faible	< 5 %	1
moyen	5 à 10 %	2
fort	>10 %	3

Sinuosité

faible	1 à 1,09	1
moyen	1,1 à 1,25	2
fort	> 1,25	3

En combinant la pente de la vallée et le ratio fond de vallée, on obtient six types :

- 1A Pente de vallée très faible et fond de vallée contraint à moyen
- 1B Pente de vallée très faible et fond de vallée large à très large
- 2A Pente de vallée faible et fond de vallée contraint à moyen
- 2B Pente de vallée faible et fond de vallée large à très large
- 3A Pente de vallée moyenne et fond de vallée contraint à moyen
- 3B Pente de vallée moyenne et fond de vallée large à très large

Ces types peuvent être interprétés comme suit :

Vals	1A	Pente des versants généralement faible
	1B	
Vallées alluviales	2A	Pente des versants faible à moyen
	2B	
Tronçons encaissées	3A	Pente des versants moyen à fort
Vallées de piémont	3B	Pente des versants moyen à fort



	Seg	Type	CI PVal	CI FV	CI PVer	CI Sinu	Pente val	Ratio FVallée	Pente vers
AIN	12	3B	3	3	3	2	moyenne	fort	fort
AIN	11	3B	3	4	3	2	moyenne	très fort	fort
ALLIER	11	2B	2	3	2	3	faible	fort	moyen
ALLIER	22	2B	2	3	2	1	faible	fort	moyen
ALLIER	21	2B	2	3	2	2	faible	fort	moyen
ALLIER	12	2B	2	4	2	3	faible	très fort	moyen
LOIRE	51	1A	1	2	1	1	très faible	moyen	faible
LOIRE	42	1B	1	3	1	1	très faible	fort	faible
LOIRE	41	2A	2	2	1	1	faible	moyen	faible
LOIRE	34	2A	2	2	1	2	faible	moyen	faible
LOIRE	32	2A	2	2	1	1	faible	moyen	faible
LOIRE	31	2A	2	2	1	2	faible	moyen	faible
LOIRE	21	2B	2	3	1	3	faible	fort	faible
LOIRE	33	2B	2	3	1	2	faible	fort	faible
LOIRE	22	2B	2	3	1	2	faible	fort	faible
LOIRE	11	2B	2	4	1	3	faible	très fort	faible
RHONE	12	1B	1	3	3	2	très faible	fort	fort
RHONE	41	1B	1	3	1	2	très faible	fort	faible
RHONE	15	2A	2	1	2	1	faible	faible	moyen
RHONE	33	2A	2	1	3	2	faible	faible	fort
RHONE	32	2A	2	2	1	1	faible	moyen	faible
RHONE	42	2A	2	2	2	1	faible	moyen	moyen
RHONE	14	2B	2	3	1	2	faible	fort	faible
RHONE	21	2B	2	3	1	3	faible	fort	faible
RHONE	31	3A	3	1	2	1	moyenne	faible	moyen
RHONE	11	3A	3	1	2	1	moyenne	faible	moyen
RHONE	13	3A	3	1	3	1	moyenne	faible	fort
RHONE	43	3B	3	3	2	1	moyenne	fort	moyen
SAONE	31	1B	1	3	1	1	très faible	fort	faible
SAONE	21	1B	1	4	1	3	très faible	très fort	faible
SAONE	22	1B	1	4	1	3	très faible	très fort	faible
SAONE	23	1B	1	4	1	2	très faible	très fort	faible
SAONE	12	1B	1	4	1	3	très faible	très fort	faible
SAONE	11	3B	3	4	1	3	moyenne	très fort	faible

2-2-11 Occupation du sol

L'analyse de l'occupation du sol est faite à partir des données Corine LandCover regroupées en cinq principaux postes ; urbain, culture, prairie, eau, forêt. Les résultats présentés sont issus d'une analyse entre le polygone définissant le fond de vallée et l'occupation du sol.



Conclusion

L'objectif de ce travail est très général puisqu'il s'agit de proposer un découpage du linéaire principal de cinq vallées alluviales françaises qui prenne en compte des paramètres physiques à l'échelle du bassin versant dans une référence spatiale permanente commune aux principaux gestionnaires des ressources en eau d'un territoire.

Les principaux paramètres pris en compte pour établir ce découpage en tronçons à l'échelle du bassin versant sont l'ordre de Strahler ou position hiérarchique d'une partie du cours d'eau sur l'ensemble du réseau hydrographique, ainsi que la géomorphologie du lit majeur du cours d'eau principal et notamment les séquences d'élargissement – rétrécissement qui conditionnent les zones où l'écoulement est forcé. La sinuosité qui présente une interprétation difficile compte tenu de la précision des données et de l'anthropisation est donnée à titre indicatif.

Ces différents paramètres sont dérivés d'informations géographiques précises et leur analyse fait largement appel aux techniques d'analyse spatiale implémentées dans le logiciel ArcView® complété par le module Spatial Analyst®.

Cette analyse précise nous permet de formuler une critique constructive des données géographiques utilisées et de préciser les limites de leur utilisation dans le cadre de notre thématique.



Références bibliographiques

Amoros C. et G.E. Petts, 1993. Hydrosystème fluviaux. Masson, collection d'écologie 24, Paris. 300 p.

Andriamahefa H., 1993. Éléments pour une typologie morphologique des cours d'eau du bassin de la Loire. Cemagref, Groupement de Lyon, Division Biologie des écosystèmes aquatiques, 48 p. + appendices.

Bois P., 1996. Notice sur l'utilisation des Modèles Numériques de Terrain tirés du CD Visual Dem. Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement, 10p.

Culoz R., C. Puech, 1994. Hydrologie et imagerie satellitaire in Précis de télédétection, Volume 2 : Applications thématiques, sous la direction de Ferdinand Bonn. Presses de l'Université de Québec / AUPEFL.

Ducruc J.-P. et V. Gérardin, 1997. La gestion intégrée du bassin hydrographique de la rivière Saint-Charles : la cartographie d'unités naturelles de gestion. Développement durable et rationnel des ressources hydriques. Collection environnement de l'université de Montréal, n° 6 (h.s.) volume II, 609-618.

Gérardin V. et Y. Lachance, 1997. Vers une gestion intégrée des bassins versants. Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière St-Charles, Québec, Canada. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 58p.

Lajeunesse D., J. Bissonnette, V. Gérardin, J. Labrecque, 1997. Caractérisation écologique du lit majeur de la rivière Saint-Charles, Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Ministère de l'environnement du Canada, 122 p.

Robin N., 2000. Analyse du risque d'inondation à partir de données satellitales SPOT. Mémoire de Dea « Systèmes Spatiaux et Environnement ».

Strahler A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Of the American Geophysical Union, 38, p. 913-920.

Souchon Y.,H. Andriamahefa, P. Cohen, P. Breil, H. Pella, N. Lamouroux, J.R. Malavoi, J.G. Wasson, 2000. Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. 261 p. + annexes. *Cemagref*.

Wasson J.G., J. Bethemont, J.N. Degorge, B. Dupuis, T. Joliveau, 1993. Approche écosystémique du bassin de la Loire. Éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase 1. Etat initial- Problématique. Cemagref, Groupement de Lyon et Université Jean Monnet de St Etienne, France, 102 p.

Wasson J.-G., 1996. Structures régionales du bassin de la Loire. *La Houille Blanche*, N°6/7 (1996): 25-31.

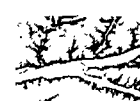
Wasson J.G., Malavoi J.R., Maridet L., Souchon Y. & Paulin L., 1998. *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières*. Cemagref éditions, coll. Etudes, série Gestion des Milieux Aquatiques n°14, 158p.

3. Résultats

AIN						
Segment	Strahler	Longueur (m)	Long Median (m)	Sinuosité	AltiAmont (m)	AltiAval (m)
11	5	22073	18288	1.21	220	191
12	5	27192	22460	1.21	304	220
ALLIER						
Segment	Strahler	Longueur (m)	Long Median (m)	Sinuosité	AltiAmont (m)	AltiAval (m)
11	6	30030	23784	1.26	263	240
12	6	24865	18718	1.33	240	225
21	7	61853	53075	1.17	225	185
22	7	25734	24274	1.06	185	167
SAONE						
Segment	Strahler	Longueur (m)	Long Median (m)	Sinuosité	AltiAmont (m)	AltiAval (m)
11	5	114397	77144	1.48	399	210
12	6	115995	84135	1.38	210	189
21	6	50151	36181	1.39	189	180
22	6	40175	26676	1.51	180	175
23	7	59187	47508	1.25	175	175
31	7	46957	53125	1	175	170
RHONE						
Segment	Strahler	Longueur (m)	Long Median (m)	Sinuosité	AltiAmont (m)	AltiAval (m)
11	6	60891	57117	1.07	392	267
12	7	23701	21223	1.12	267	267
13	7	23745	22635	1.05	267	217
14	7	16498	14811	1.11	217	211
15	7	33241	31237	1.06	211	201
21	7	97667	41894	2.33	201	165
31	8	37951	36500	1.04	125	80
32	8	28264	26743	1.06	80	60
33	8	18644	16963	1.1	60	53
41	8	49226	44409	1.11	165	160
42	8	29071	27778	1.05	140	140
43	8	14727	16879	1	160	125
LOIRE						
Segment	Strahler	Longueur (m)	Long Median (m)	Sinuosité	AltiAmont (m)	AltiAval (m)
11	6	71891	51885	1.39	256	211
21	7	57366	39577	1.45	211	190
22	7	46686	42081	1.11	190	169
31	8	56184	50435	1.11	169	145
32	8	59994	56160	1.07	145	119
33	8	68877	56096	1.23	119	89
34	8	107221	95842	1.12	89	50
41	8	47387	45875	1.03	50	40
42	8	75162	73910	1.02	33	15
51	8	85967	83946	1.02	15	5



AIN						
Segment	Moy FV (m)	Min FV (m)	Max FV (m)	Moy Lit Maj (LM) (m)	Min LM (m)	Max LM (m)
11	2659	157	5423	1229	150	2775
12	2131	722	5383	845	75	2925
ALLIER						
Segment	Moy FV (m)	Min FV (m)	Max FV (m)	Moy Lit Maj (LM) (m)	Min LM (m)	Max LM (m)
11	1944	1180	2769	832	75	1875
12	3236	1664	5312	1753	525	3300
21	2756	1105	5281	917	150	2325
22	3304	783	7294	1500	225	3525
SAONE						
Segment	Moy FV (m)	Min FV (m)	Max FV (m)	Moy Lit Maj (LM) (m)	Min LM (m)	Max LM (m)
11	1108	208	5930	745	75	3225
12	1780	584	4034	1576	150	2925
21	5159	3056	7016	3242	1200	5925
22	5526	2573	10518	2740	1275	5175
23	4197	621	7758	3019	675	6150
31	4204	1302	6620	2152	525	4725
RHONE						
Segment	Moy FV (m)	Min FV (m)	Max FV (m)	Moy Lit Maj (LM) (m)	Min LM (m)	Max LM (m)
11	453	1835	1835	424	75	1350
12	3330	8129	8129	3700	300	7950
13	958	2331	2331	910	150	2175
14	3457	8967	8967	4088	150	8850
15	1051	2185	2185	627	150	1875
21	4282	8366	8366	1798	75	5850
31	1085	2526	2526	869	300	1425
32	2962	4783	4783	1454	225	2850
33	1244	1638	1638	928	225	1425
41	4808	9371	9371	799	150	1875
42	3125	6877	6877	1031	375	2025
43	5884	8777	8777	1777	600	4050
LOIRE						
Segment	Moy FV (m)	Min FV (m)	Max FV (m)	Moy Lit Maj (LM) (m)	Min LM (m)	Max LM (m)
11	2799	473	5433	1149	150	2850
21	4585	740	6613	2060	150	5025
22	2420	1049	5293	1430	225	3000
31	2578	1107	4900	1218	225	3075
32	2183	927	4228	998	150	2700
33	6284	1533	9689	3524	225	7425
34	2383	1381	3631	1716	225	3375
41	3426	2427	4728	2914	825	4500
42	8537	3538	15999	5113	525	9225
51	3026	1035	8431	2204	375	5475



AIN				
Segment	Pente 1 (%)	Pente 2 (%)	Moy lit carto (m)	Ratio FV
11	38	40	90	30
12	15	18	119	18
ALLIER				
Segment	Pente 1 (%)	Pente 2 (%)	Moy lit carto (m)	Ratio FV
11	9	7	110	18
12	6	4	110	29
21	7	5	228	12
22	9	7	212	16
SAONE				
Segment	Pente 1 (%)	Pente 2 (%)	Moy lit carto (m)	Ratio FV
11	3.73	3.46	40	28
12	2.92	2.67	74	24
21	0.88	0.81	119	43
22	0.71	0.62	147	37
23	1.36	1.26	158	27
31	2	1.81	203	21
RHONE				
Segment	Pente 1 (%)	Pente 2 (%)	Moy lit carto (m)	Ratio FV
11	8.72	8.02	145	3
12	15.74	14.04	343	10
13	15.85	14.81	296	3
14	3.11	2.41	179	19
15	5.75	4.9	205	5
21	1.58	1.22	223	19
31	8.65	7.9	273	4
32	4.75	3.55	328	9
33	15.07	13.87	269	5
41	4.73	3.47	285	17
42	6.19	4.52	439	7
43	6.53	5.66	414	14
LOIRE				
Segment	Pente 1 (%)	Pente 2 (%)	Moy lit carto (m)	Ratio FV
11	2.38	2.12	104	27
21	1.78	1.57	207	22
22	2.47	2.18	200	12
31	2.69	2.47	417	6
32	2.73	2.49	333	7
33	1.24	1.18	338	19
34	1.94	1.81	297	8
41	3.68	3.48	380	9
42	3.34	3.26	470	18
51	3.17	2.98	480	6

AIN					
Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)
11	0,0	37,1	50,3	11,1	1,5
12	7,6	81,3	6,2	3,5	1,3
ALLIER					
Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)
11	15.04	50.16	2.40	28.93	3.47
12	1.84	83.25	5.01	5.74	4.16
21	0.46	5.62	0.52	92.88	0.51
22	0.02	1.54	2.30	95.92	0.22
SAONE					
Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)
11	1	47	24.4	27.3	0.2
12	4.1	57.6	25.2	11.7	1.4
21	7.1	58.3	24	10.4	0.2
22	6.9	40.9	45.6	5.6	1
23	7.1	57.4	19.3	15.5	0.7
31	22	49	19.2	8.9	0.9
RHONE					
Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)
11	1.4	84	7	6.4	1.2
12	7	38.4	27.3	24.2	3.1
13	13.6	54.5	25.8	4.8	1.3
14	4.9	35.4	38.4	19.1	2.3
15	1.7	64.2	22.5	11.3	0.3
21	14.9	54.6	19.3	10.4	0.8
31	28.2	26.6	31.5	12.5	1.3
32	18.9	29.7	33.3	15	3.1
33	30	28	27.6	9.8	4.5
41	15.9	30.8	37.3	13.5	2.5
42	17.8	21.3	40.6	20.4	0
43	7.9	58.1	26.7	4.4	2.9
LOIRE					
Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)
11	2.6	61.9	29.3	6	0.1
21	5.9	49	33.4	9.6	2
22	9.9	52.5	27.4	10.1	0.1
31	23.2	40.4	27.5	7.7	1.3
32	9	41.4	32	16.7	0.9
33	3.2	24.5	44	28.3	0.1
34	8.3	56.3	12.2	22.9	0.4
41	2.3	65	17.6	14.7	0.5
42	7.4	64.8	17.6	9.4	0.8
51	6.9	44.8	31.1	10.7	6.5

4. Annexe Cartographique

4.1 LOIRE

4-1-1 Analyse de l'occupation du sol

Dans la zone du fond de vallée

Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)	Total
11	2,6	61,9	29,3	6,0	0,1	100
21	5,9	49,0	33,4	9,6	2,0	100
22	9,9	52,5	27,4	10,1	0,1	100
31	23,2	40,4	27,5	7,7	1,3	100
32	9,0	41,4	32,0	16,7	0,9	100
33	3,2	24,5	44,0	28,3	0,1	100
34	8,3	56,3	12,2	22,9	0,4	100
41	2,3	65,0	17,6	14,7	0,5	100
42	7,4	64,8	17,6	9,4	0,8	100
51	6,9	44,8	31,1	10,7	6,5	100
Total	7,2	52,0	25,7	13,9	1,3	100

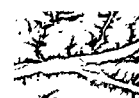
4-1-2 Analyse morphologique

4-1-2-1 Largeur du fond de vallée

Segment	MAX (m)	MIN (m)	MOYENNE (m)
11	5433	473	2799
21	6613	740	4585
22	5293	1049	2420
31	4900	1107	2578
32	4228	927	2183
33	9689	1533	6284
34	3631	1381	2383
41	4728	2427	3426
42	15999	3538	8537
51	8431	1035	3026

4-1-2-2 Longueur du lit, longueur du squelette du fond de vallée et valeur de sinuosité

Segment	Long troncon(m)	Long Median (m)	Sinuosité	Ordre
11	71891	51885	1,39	6
21	57366	39577	1,45	7
22	46686	42081	1,11	7
31	56184	50435	1,11	8
32	59994	56160	1,07	8
33	68877	56096	1,23	8
34	107221	95842	1,12	8
41	47387	45875	1,03	8
42	75162	73910	1,02	8
51	85967	83946	1,02	8

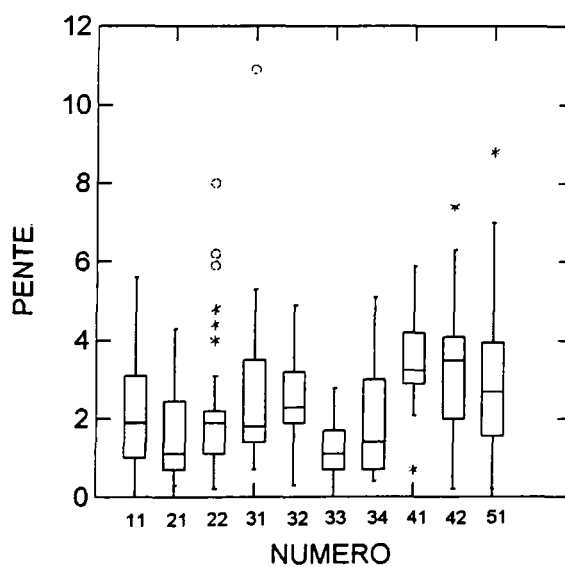
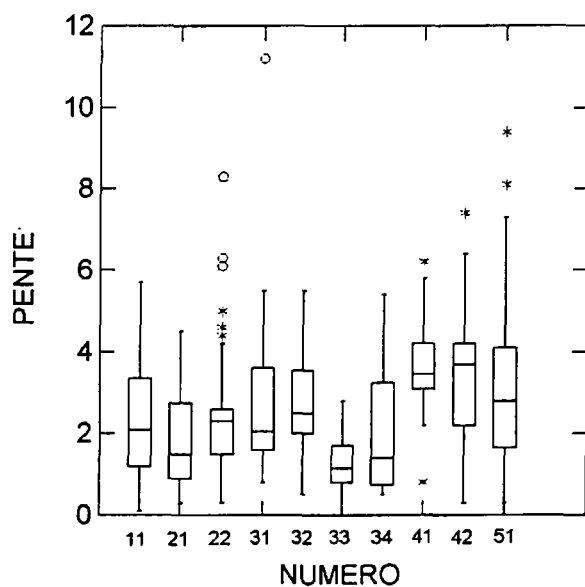


4-1-2-3 Pente des vallées

Segment	Altitude nœud Amont (m)	Altitude nœud Aval (m)	Pente (‰)
11	256	211	0,87
21	211	190	0,53
22	190	169	0,50
31	169	145	0,48
32	145	119	0,46
33	119	89	0,53
34	89	50	0,41
41	50	40	0,34
42	33	15	0,24
51	15	5	0,12

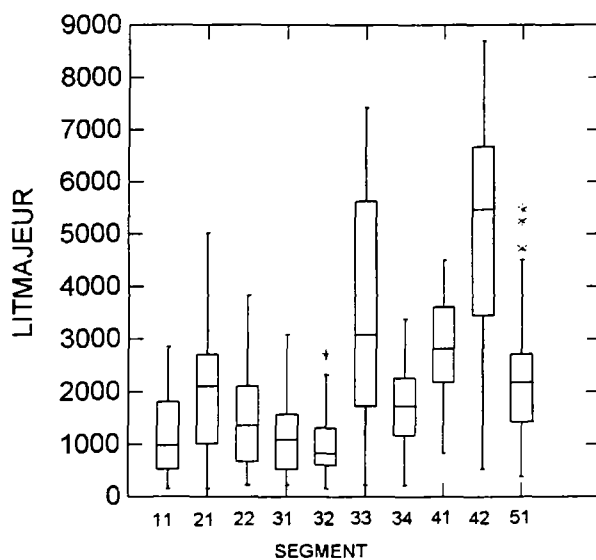
4-1-2-4 Pente des versants

Segment	Moy Pent Versant 1 (%)	Moy Pent Versant 2 (%)
11	2,38	2,12
21	1,78	1,57
22	2,47	2,18
31	2,69	2,47
32	2,73	2,49
33	1,24	1,18
34	1,94	1,81
41	3,68	3,48
42	3,34	3,26
51	3,17	2,98



4-1-2-5 Largeur théorique du lit majeur

Segment	Moyenne (m)	Médiane (m)
11	1149	975
21	2060	2100
22	1430	1350
31	1218	1088
32	998	825
33	3524	3075
34	1716	1725
41	2914	2813
42	5113	5475
51	2204	2175



Les graphiques placés sous le tableau représentent l'étendue de la distribution selon la figure suivante :

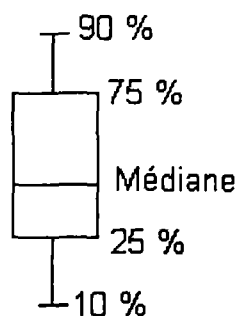
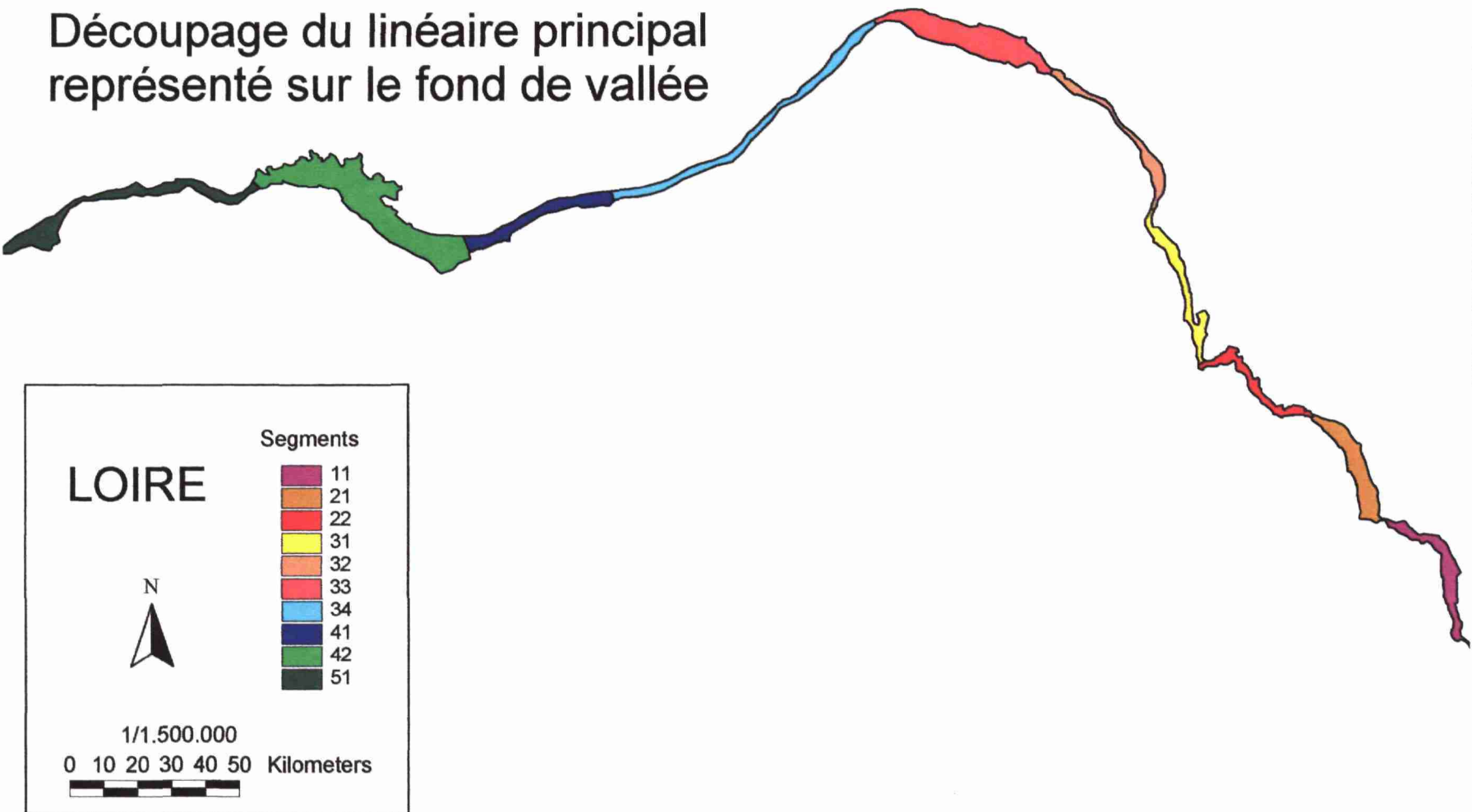


Figure 3 : représentation en boîte d'une distribution de valeurs.

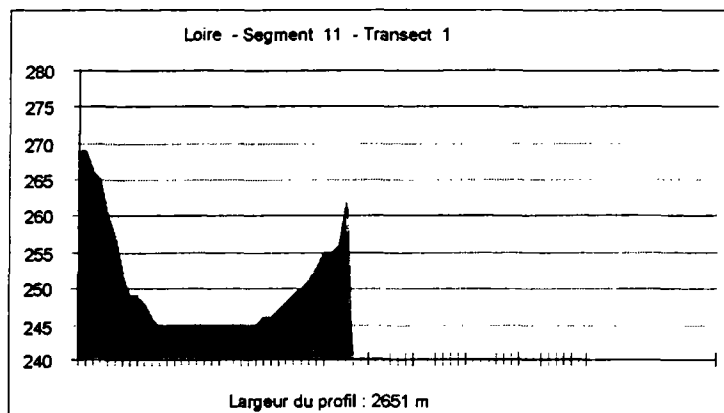
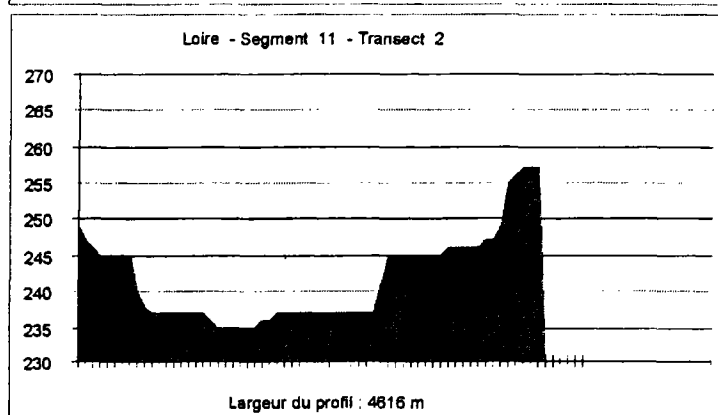
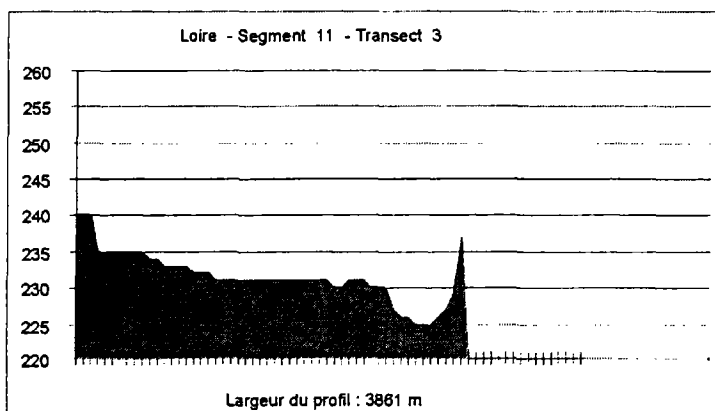
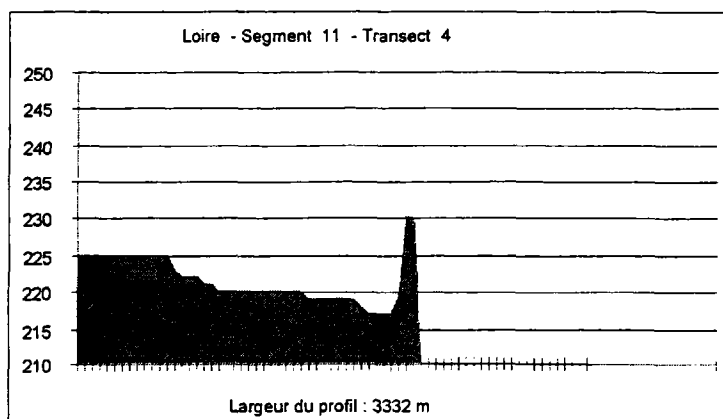
4-1-3 Représentation Cartographique

4-1-3-1A l'échelle du bassin versant

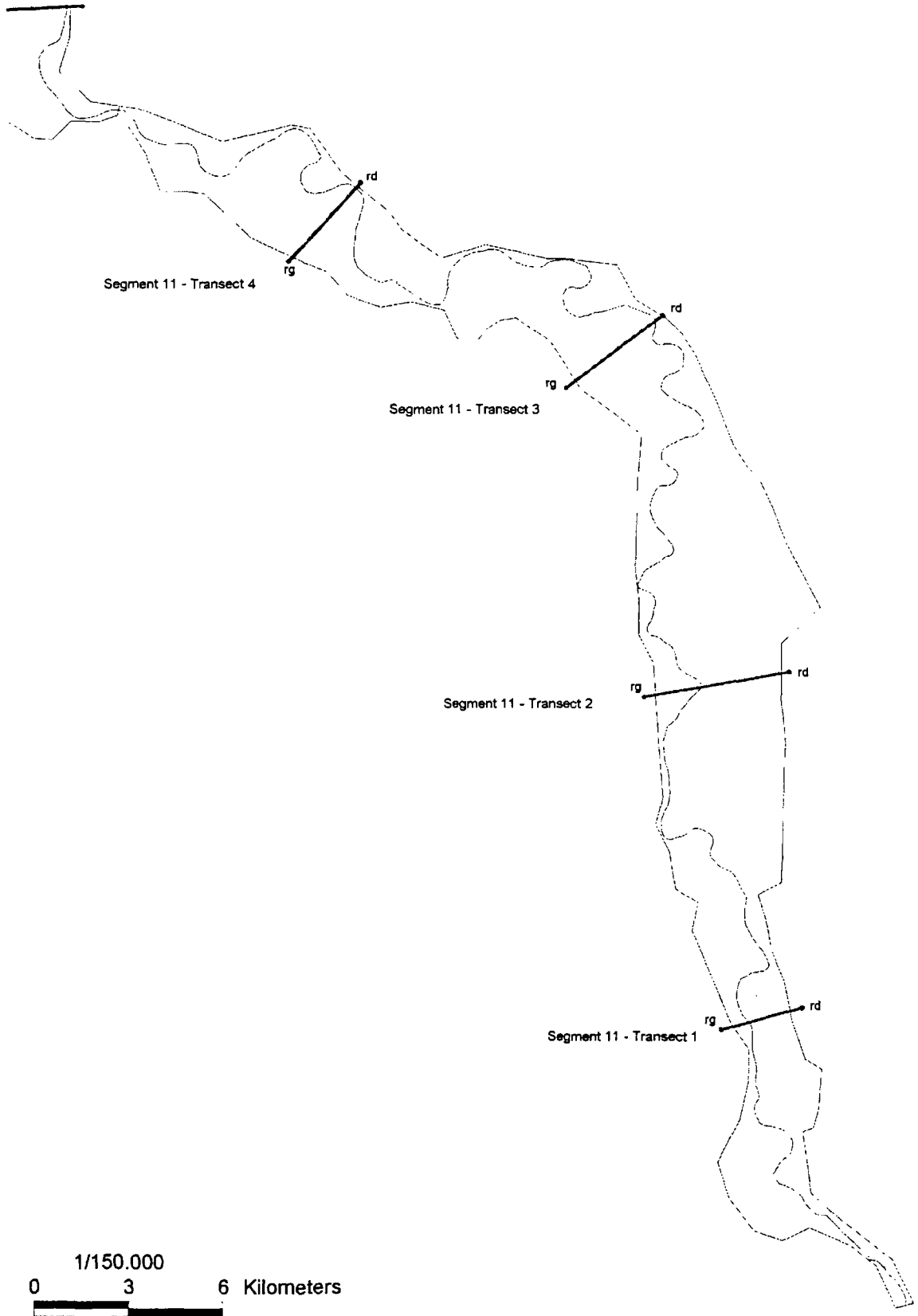


4-1-3-2 Représentation par tronçon

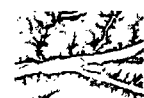
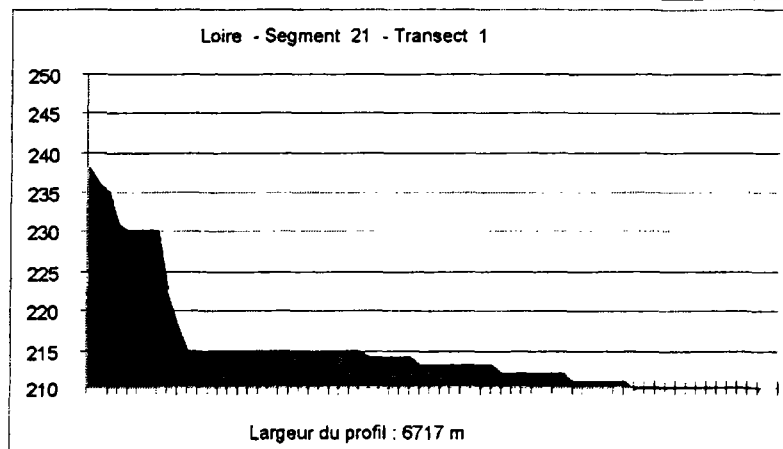
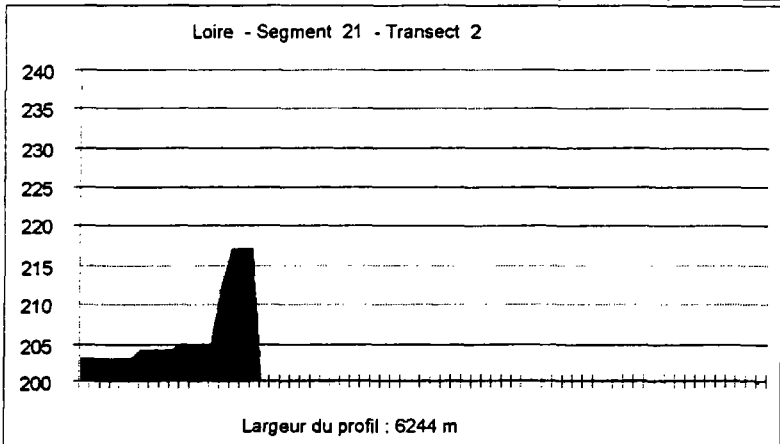
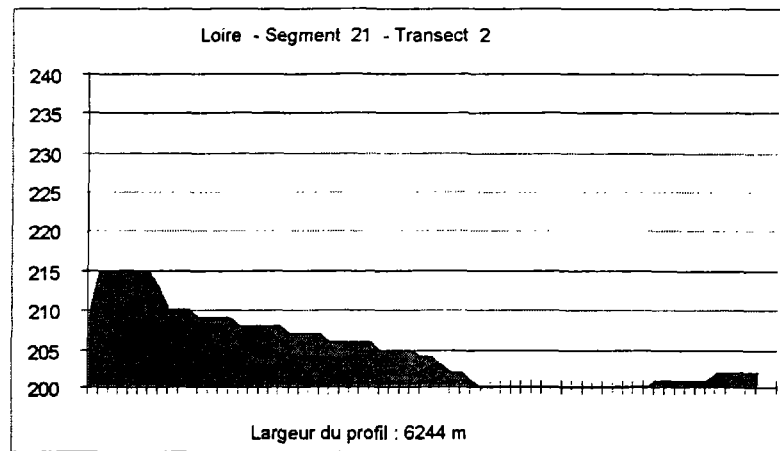
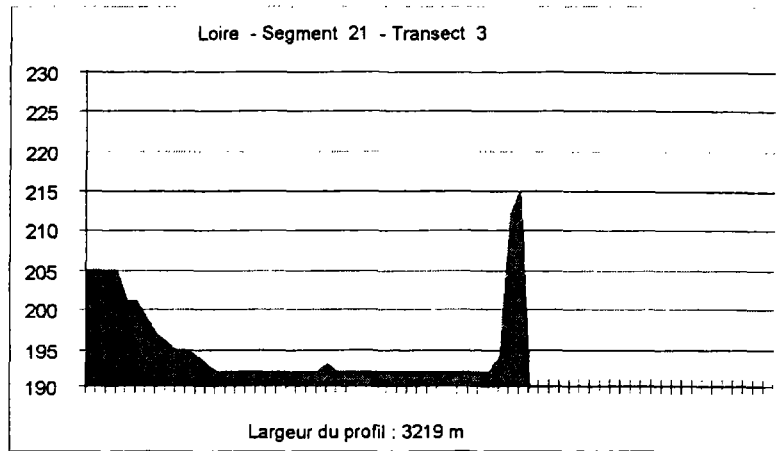
Loire - Tronçon 1 – Segment 1



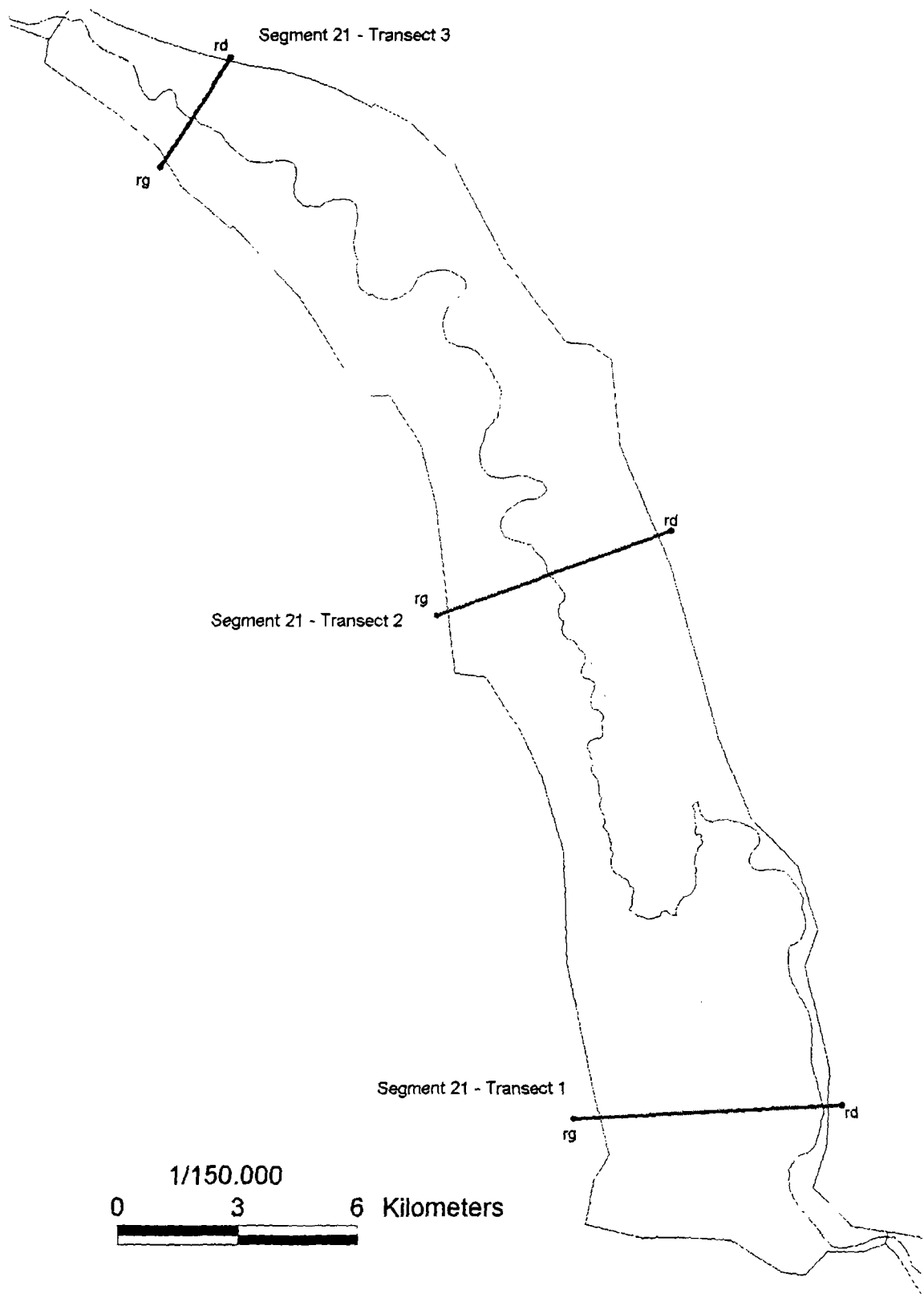
Loire - Tronçon 1 – Segment 1



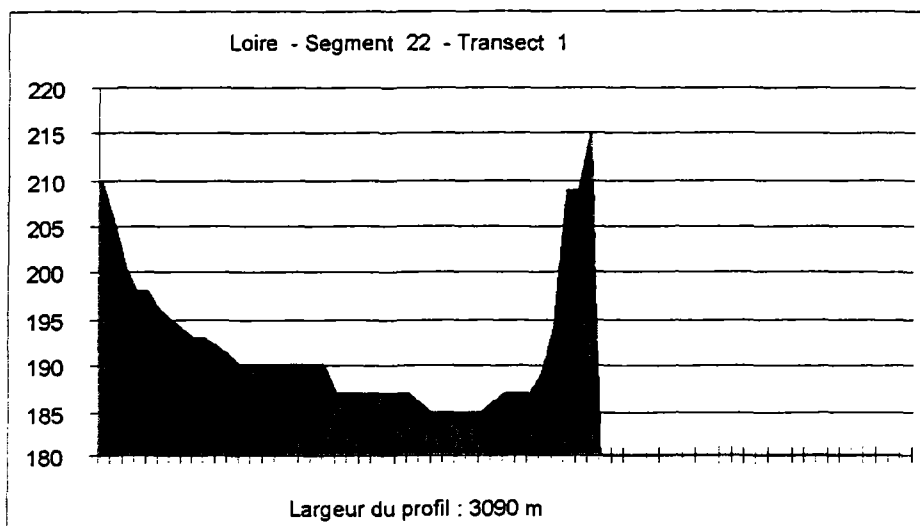
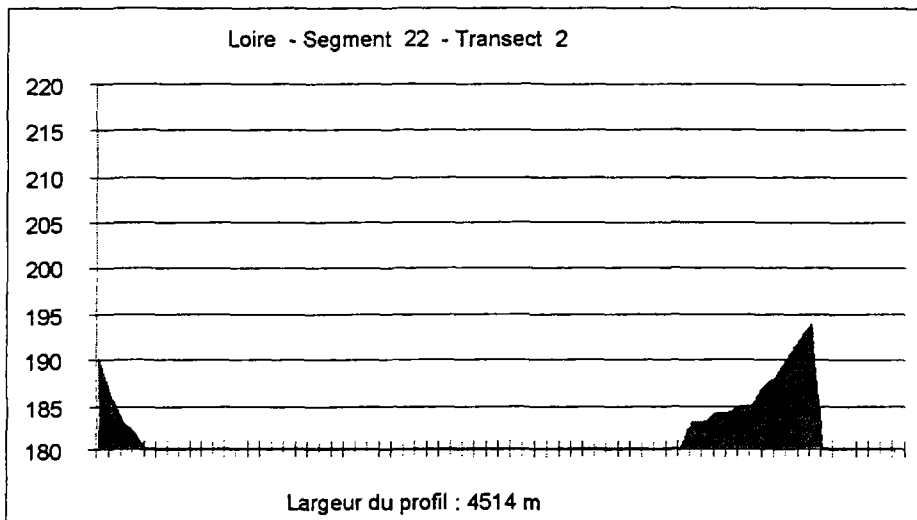
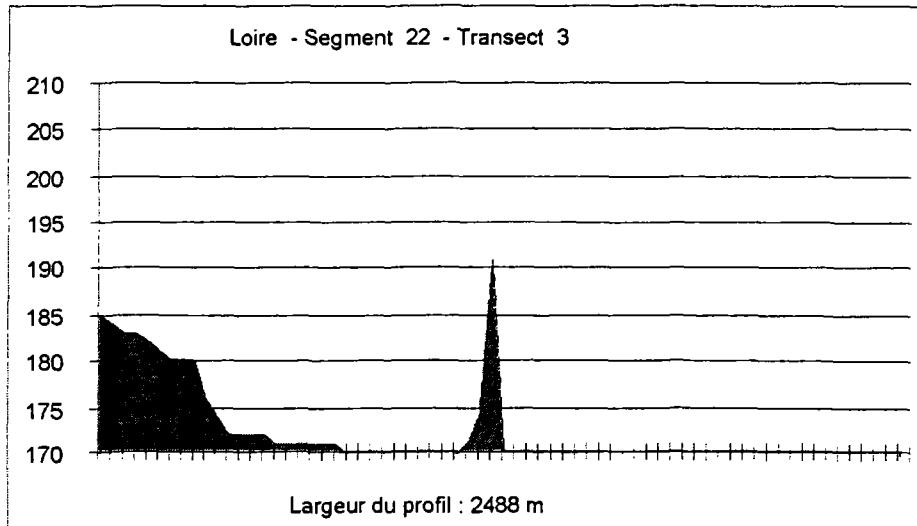
Loire - Tronçon 2 – Segment 1

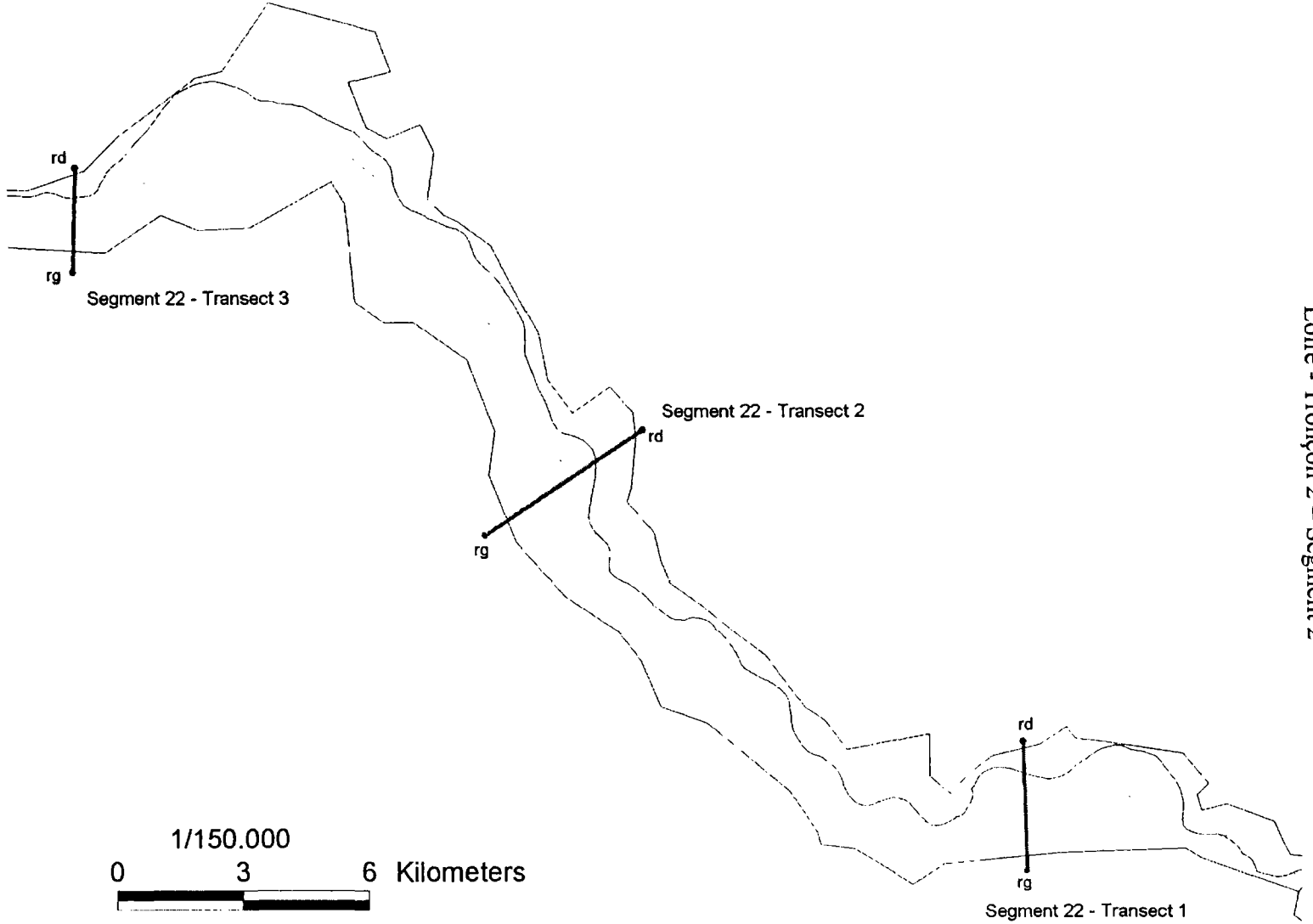


Loire - Tronçon 2 – Segment 1



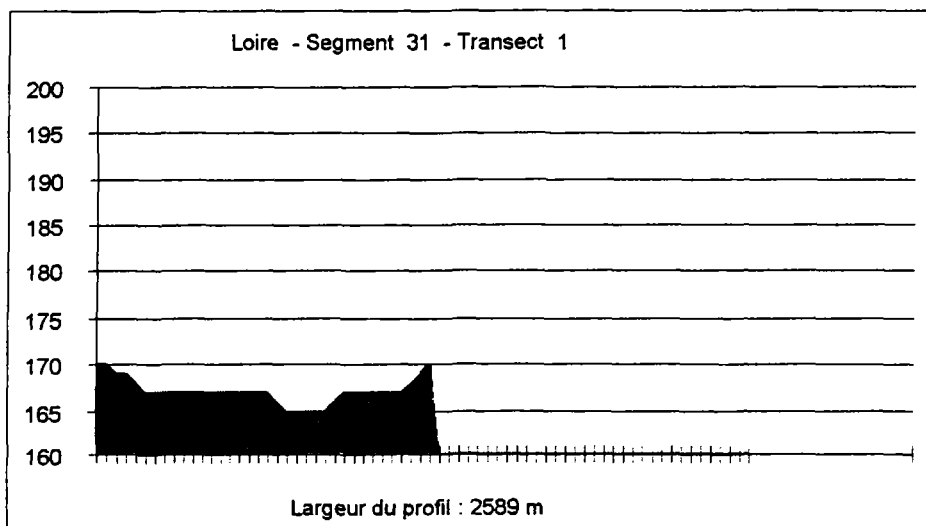
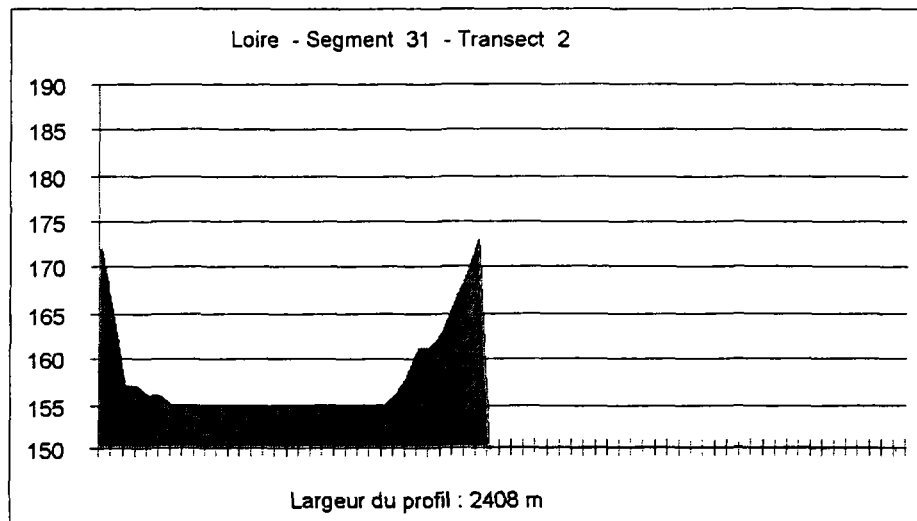
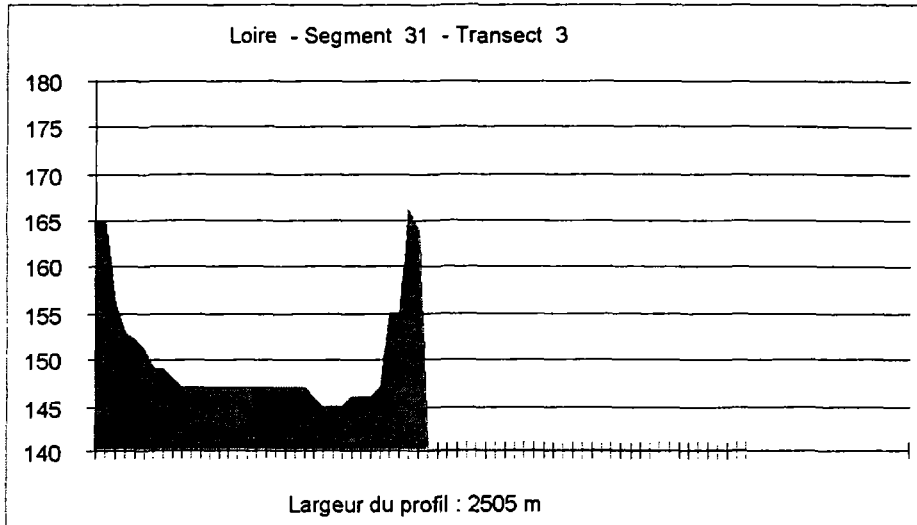
Loire - Tronçon 2 – Segment 2



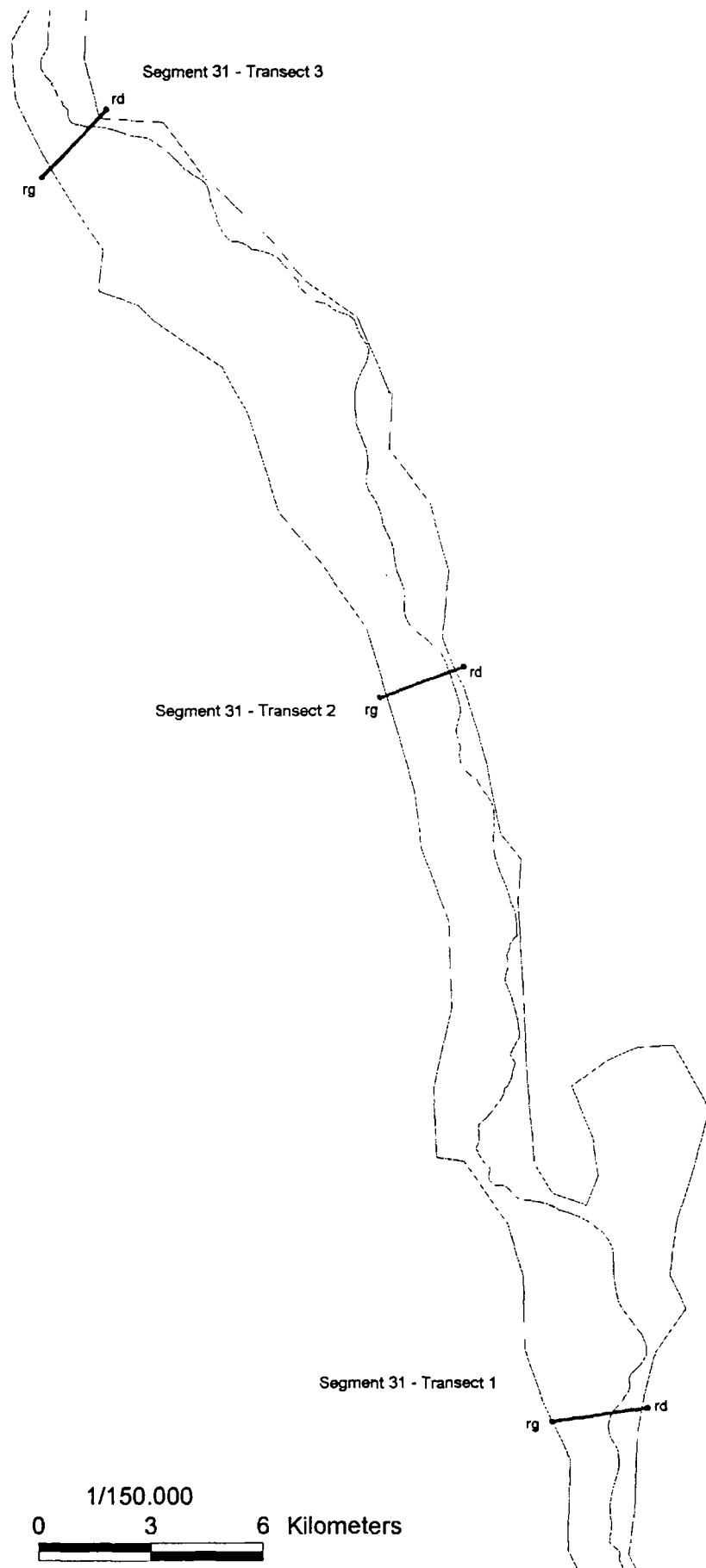


Loire - Tronçon 2 - Segment 2

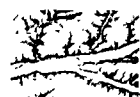
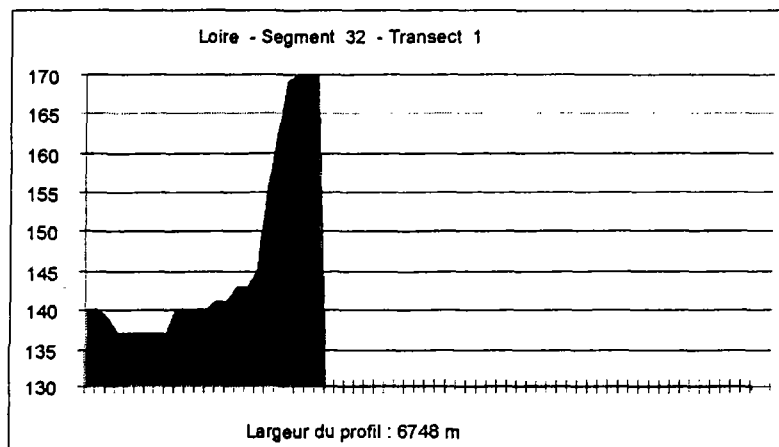
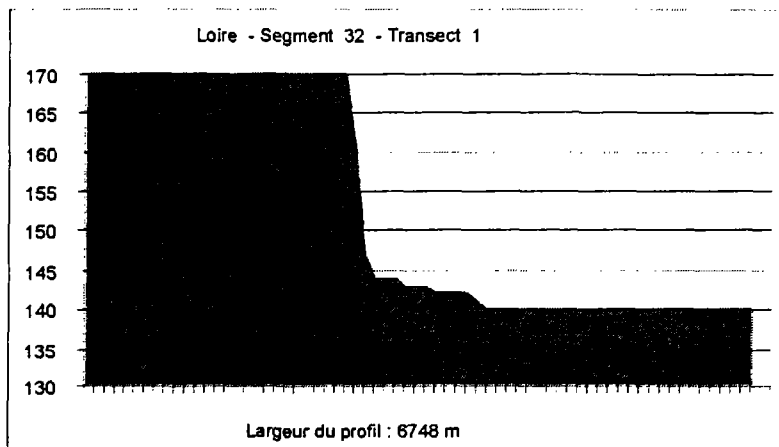
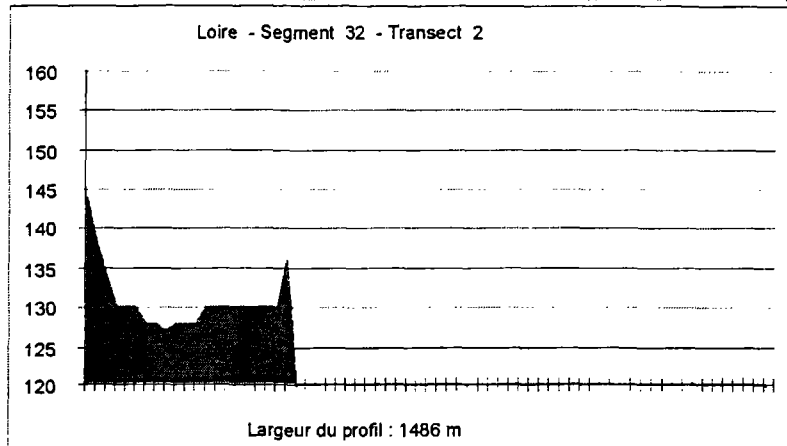
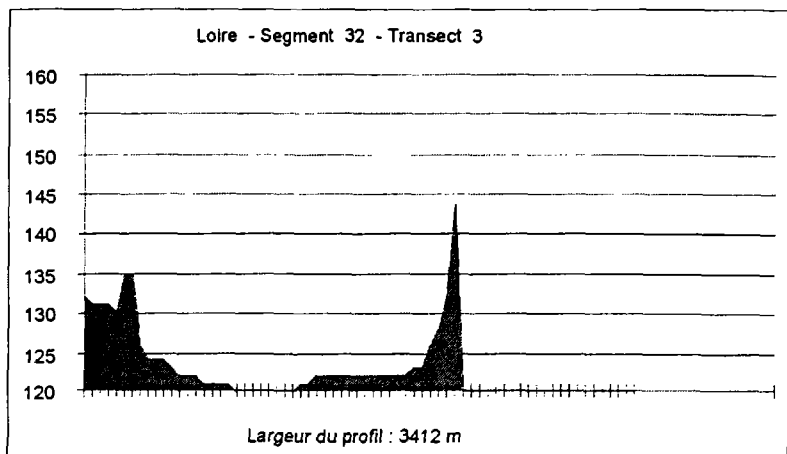
Loire - Tronçon 3 – Segment 1



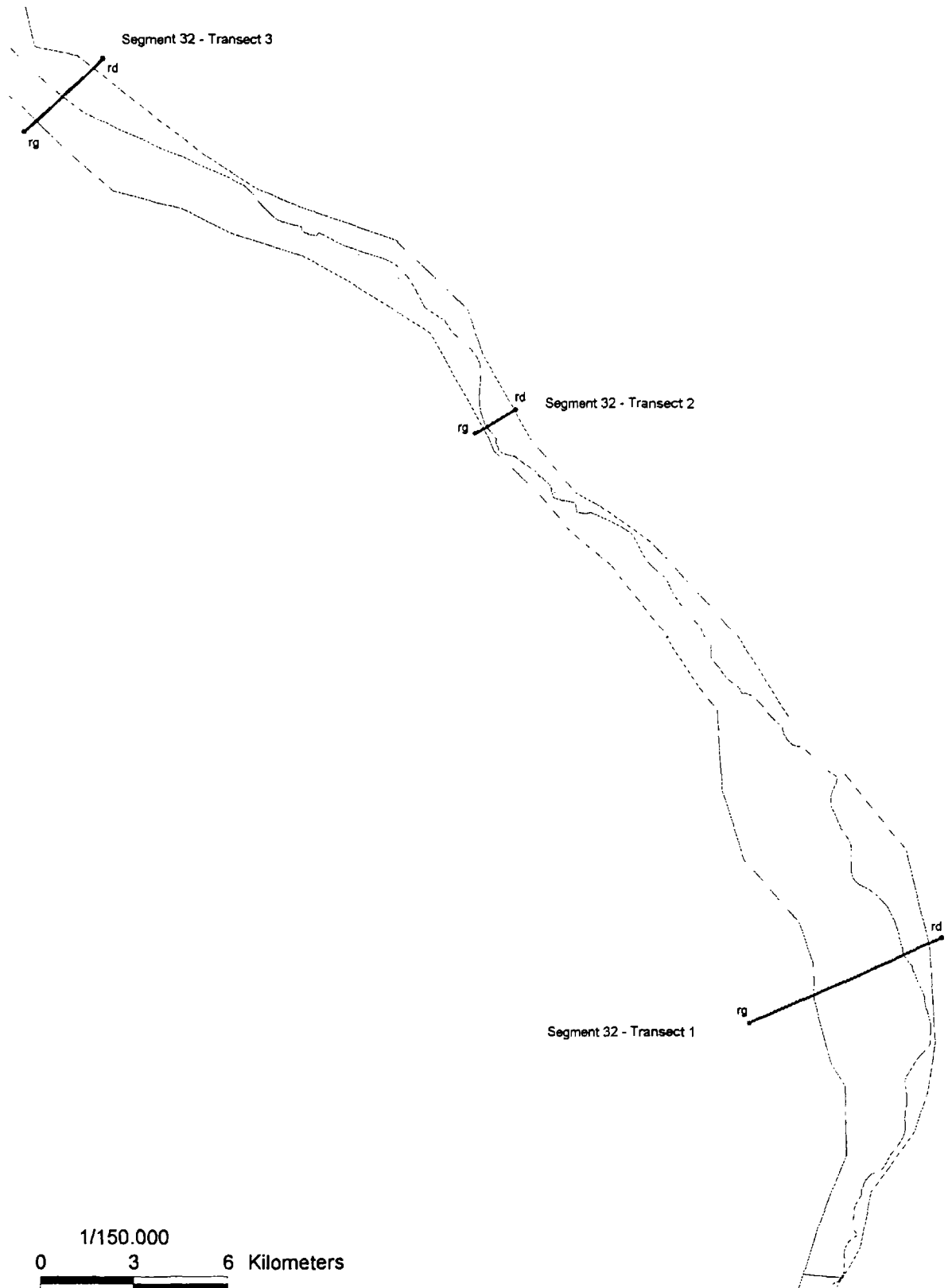
Loire - Tronçon 3 – Segment 1



Loire - Tronçon 3 – Segment 2

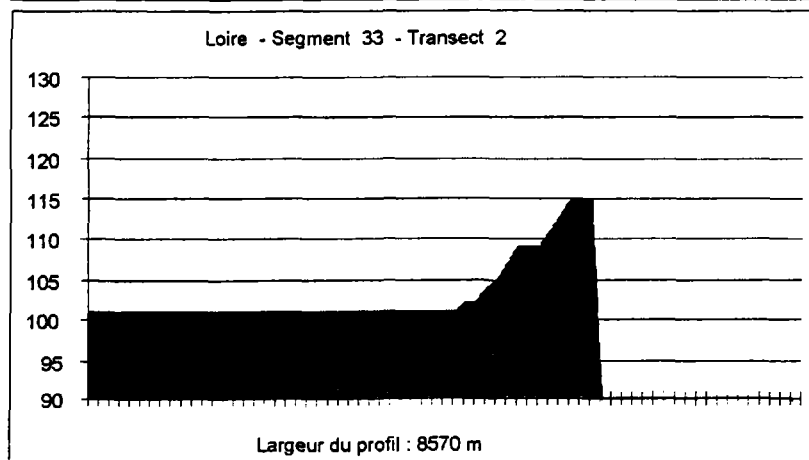
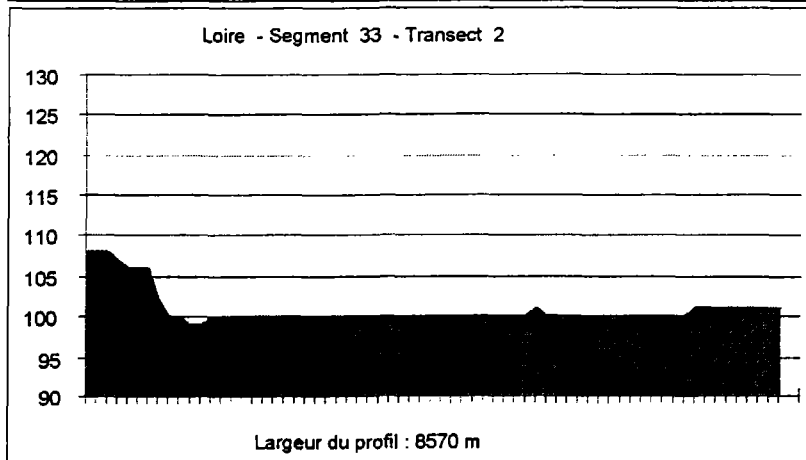
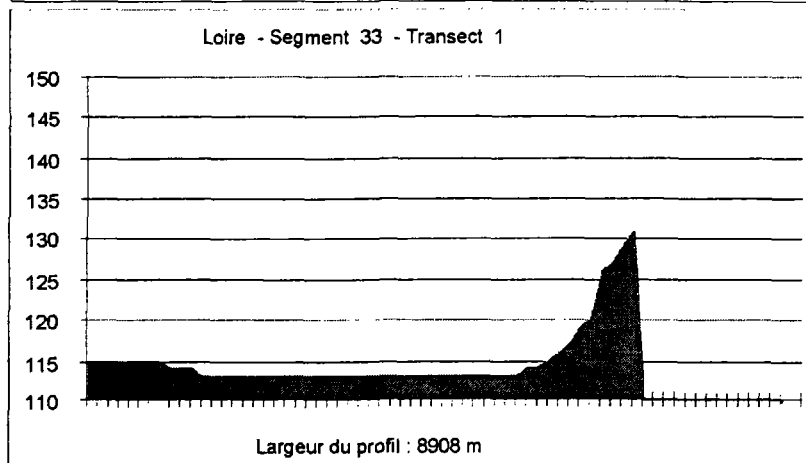
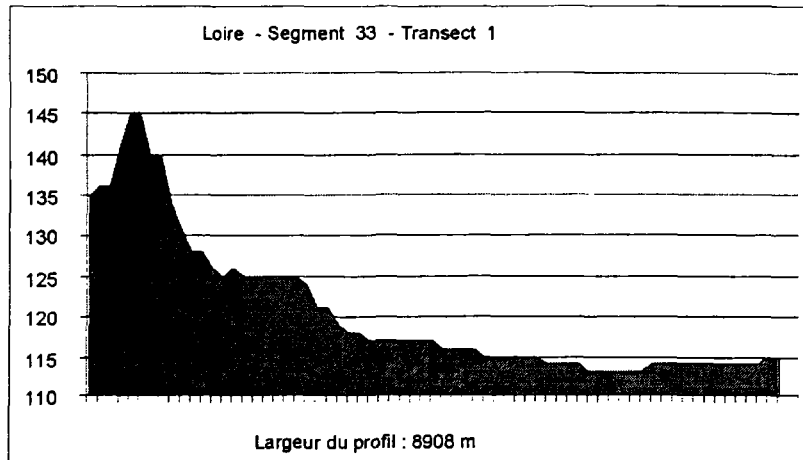


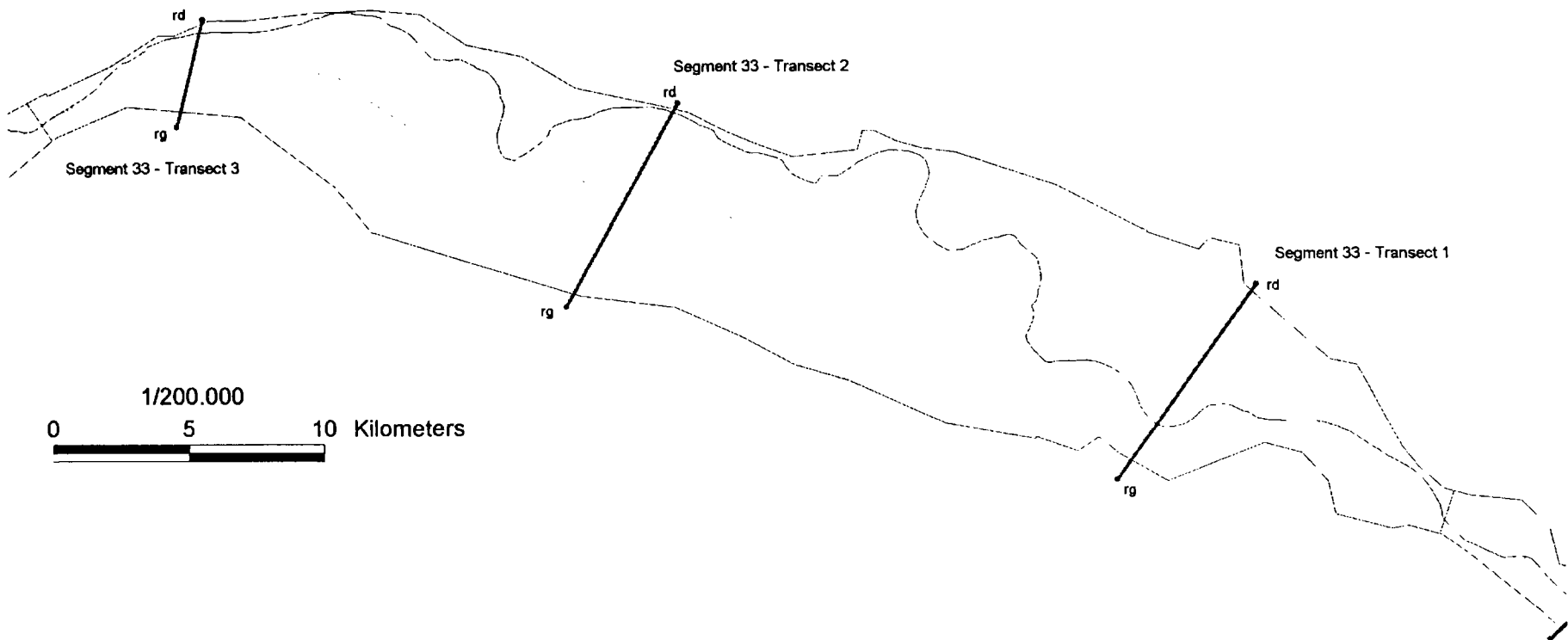
Loire - Tronçon 3 – Segment 2



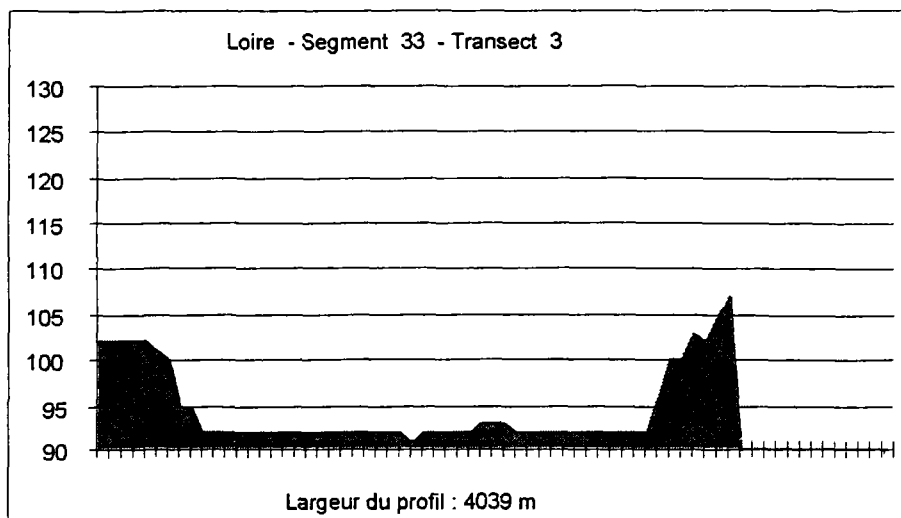
CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Loire - Tronçon 3 – Segment 3

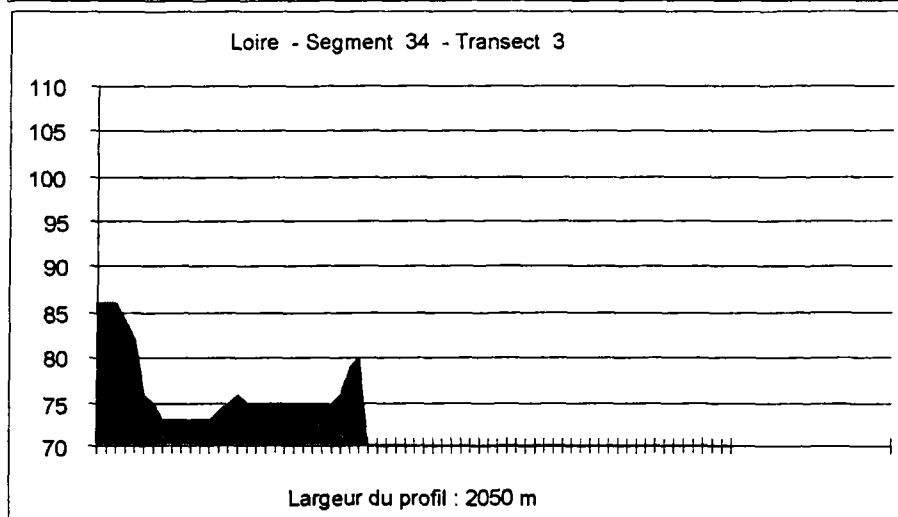
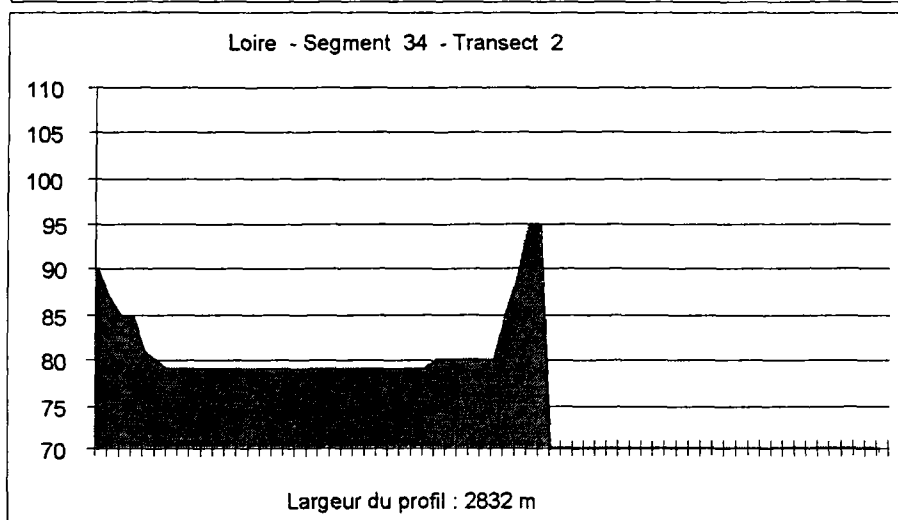
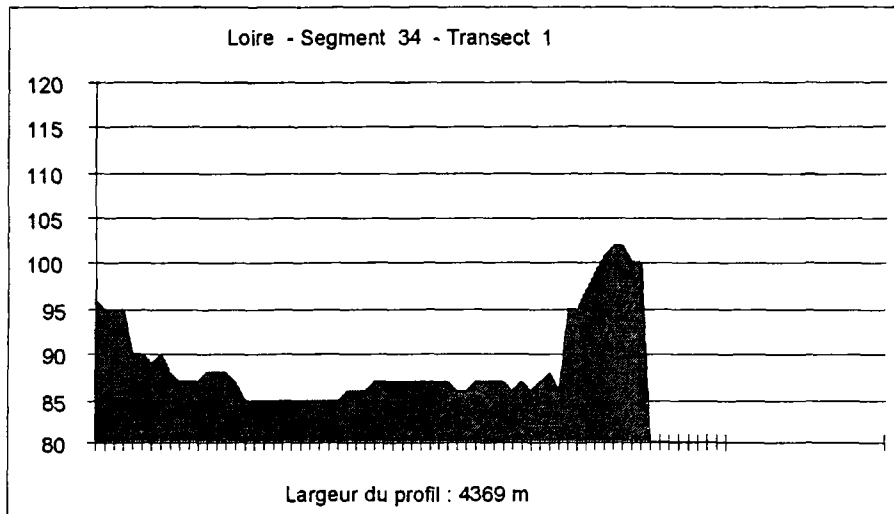




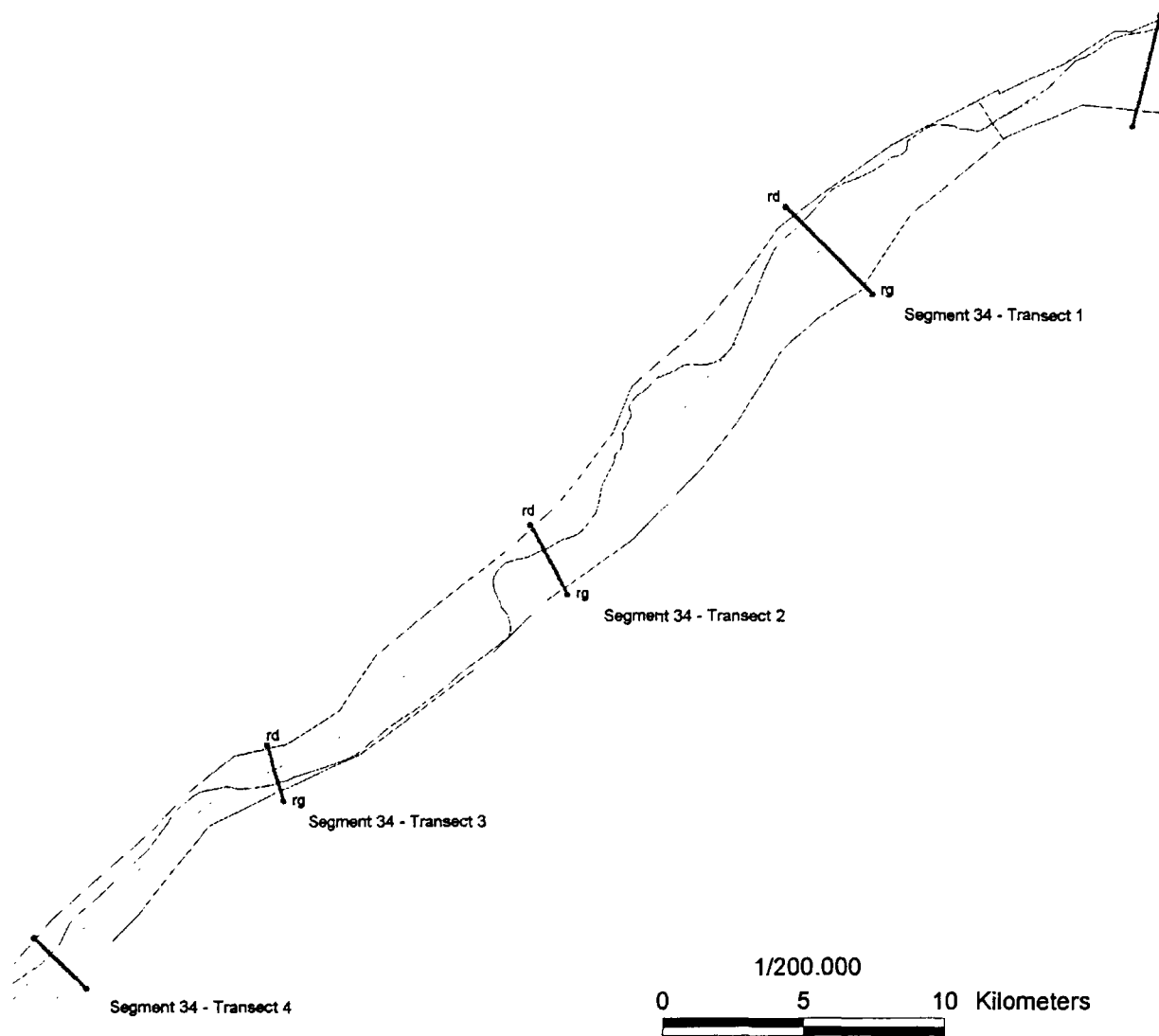
Loire - Tronçon 3 – Segment 3



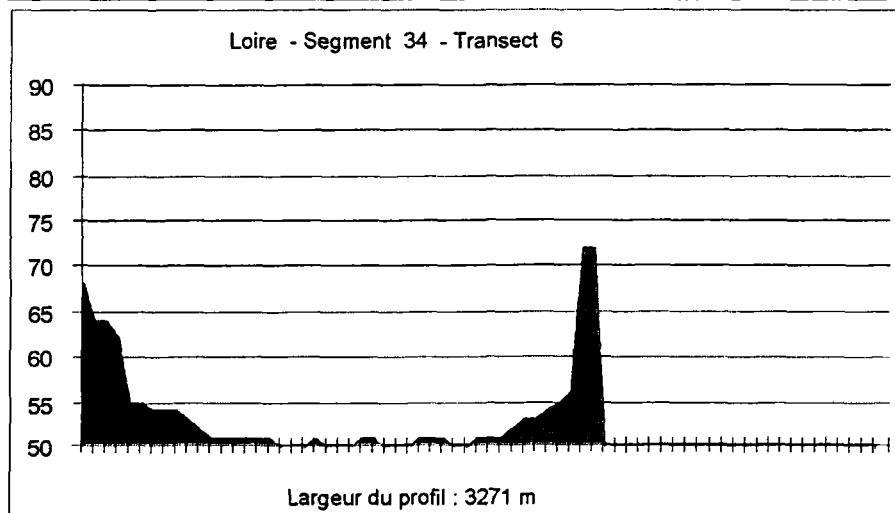
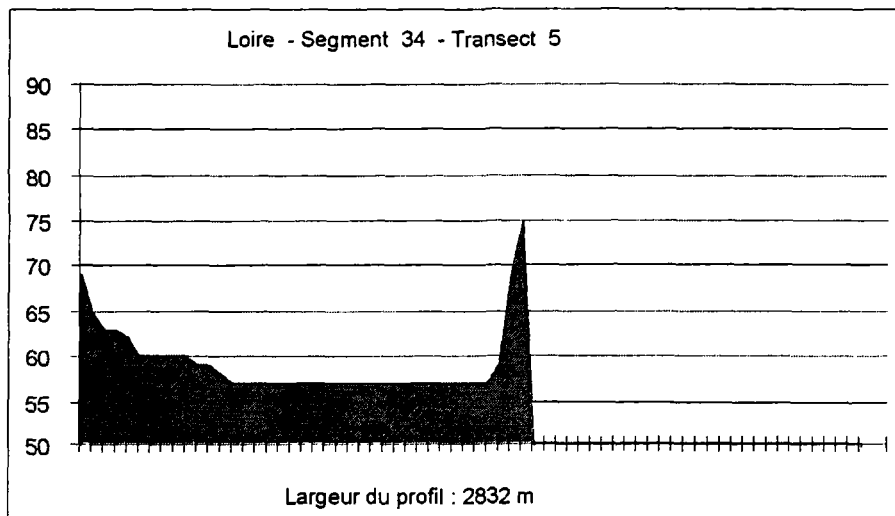
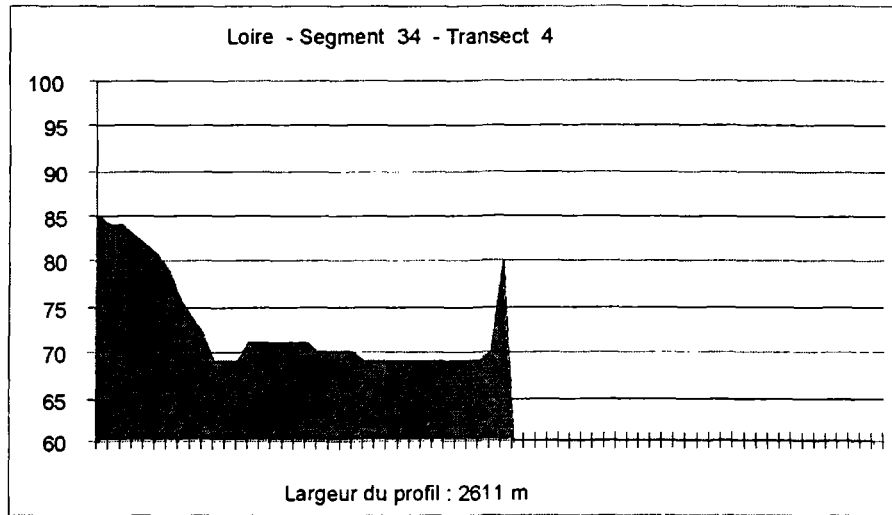
Loire - Tronçon 3 – Segment 4

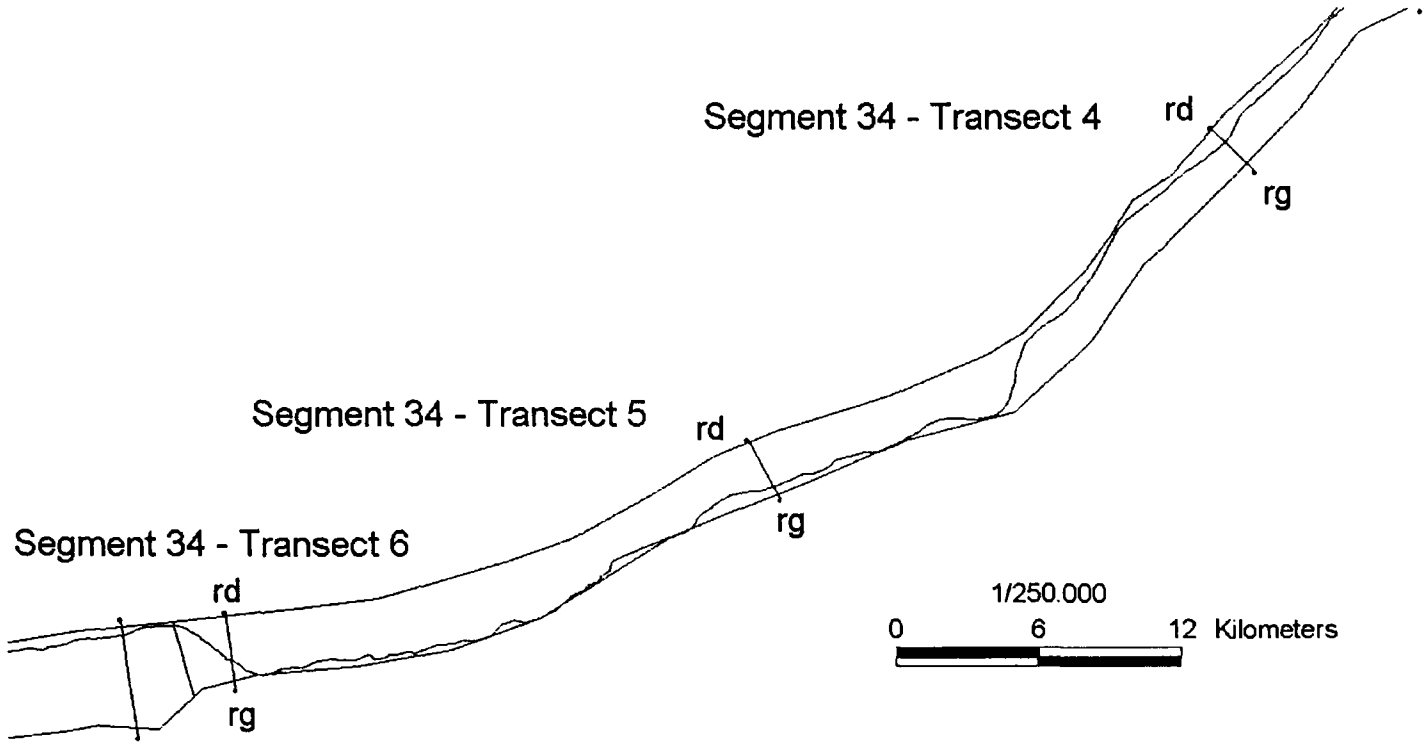


Loire - Tronçon 3 – Segment 4

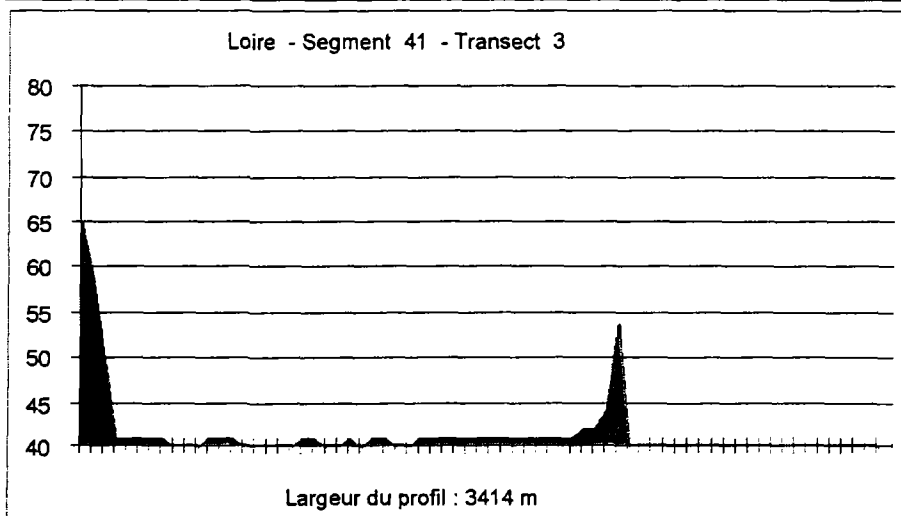
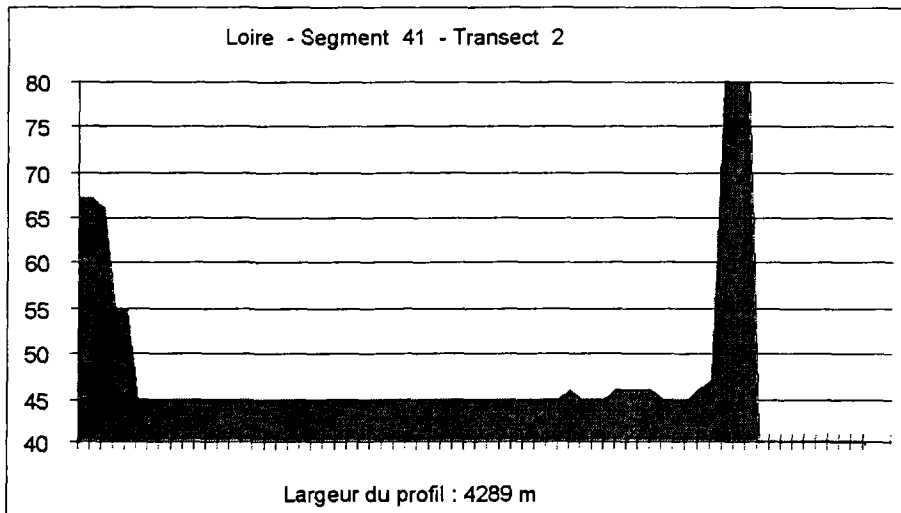
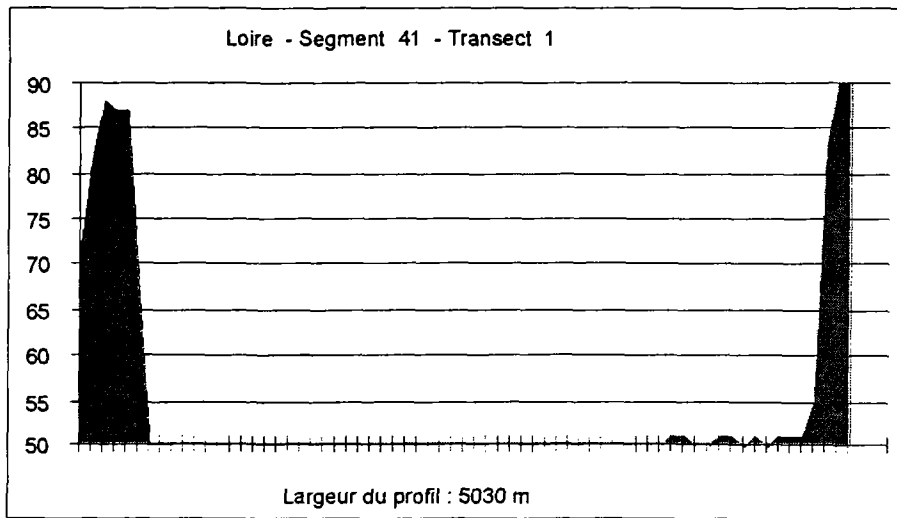


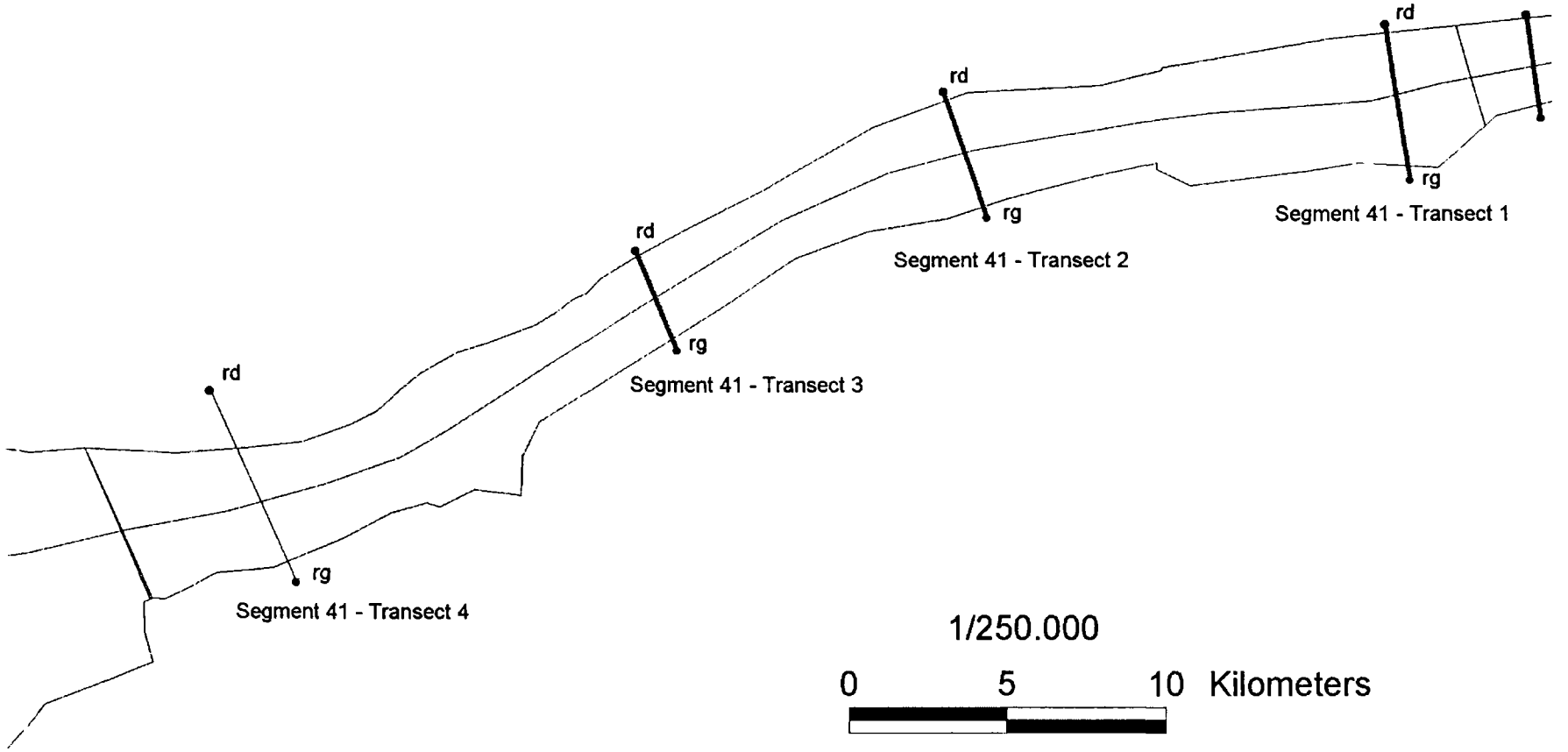
Loire - Tronçon 3 – Segment 4





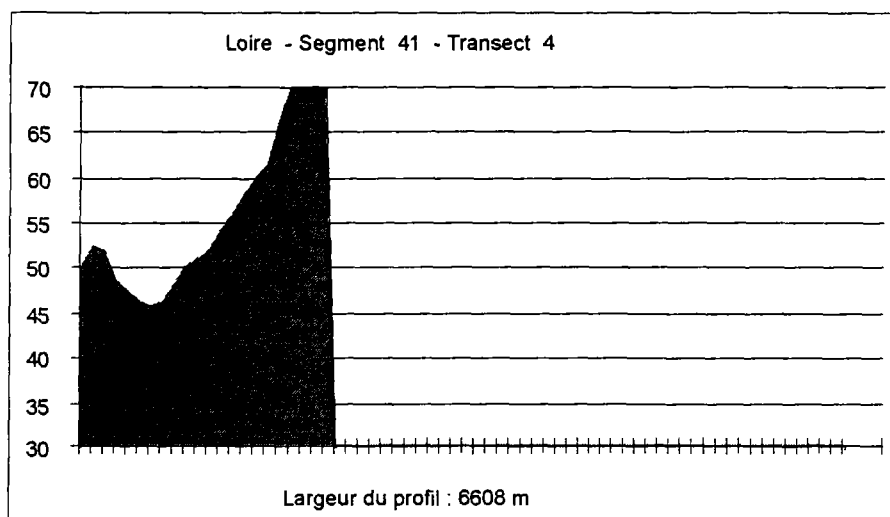
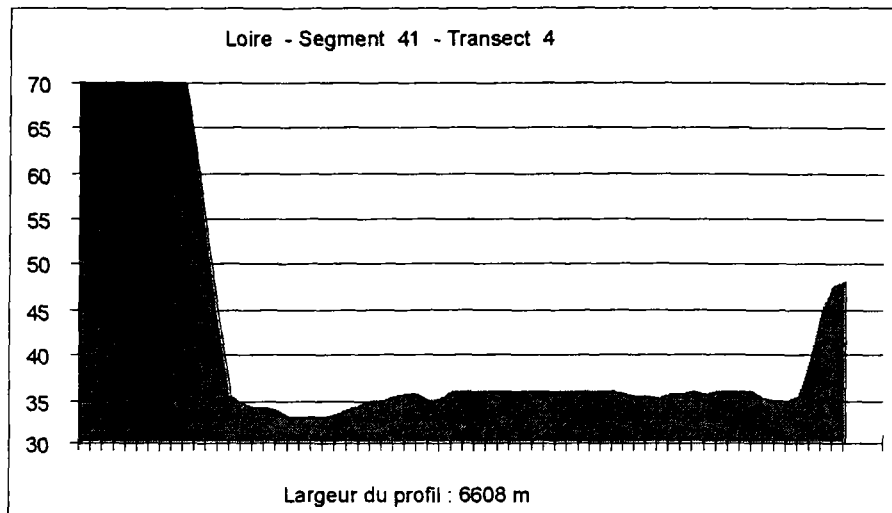
Loire - Tronçon 4 – Segment 1



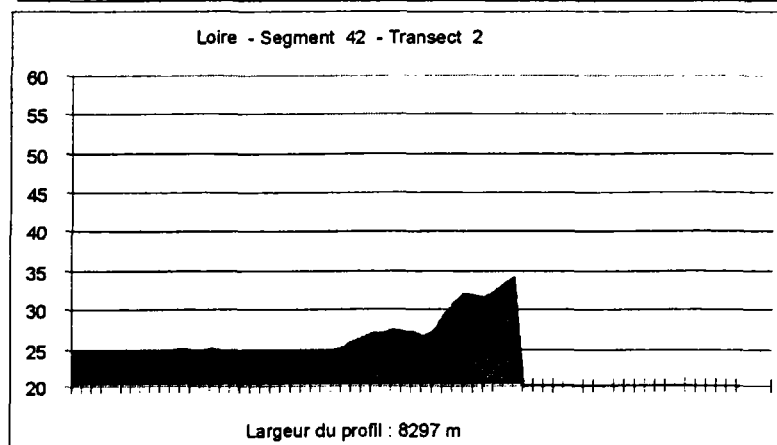
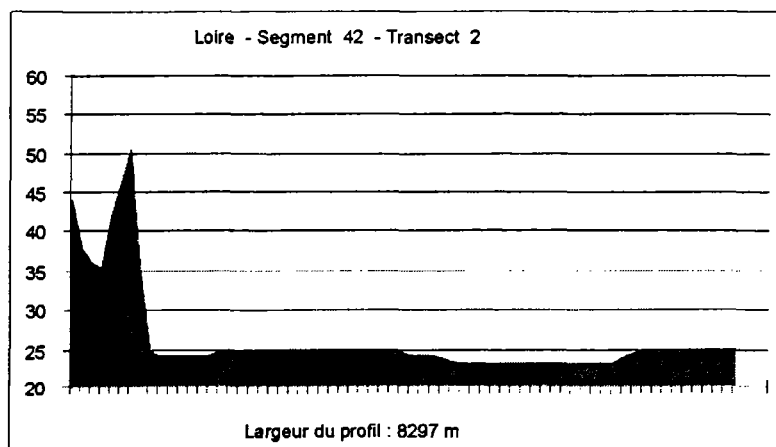
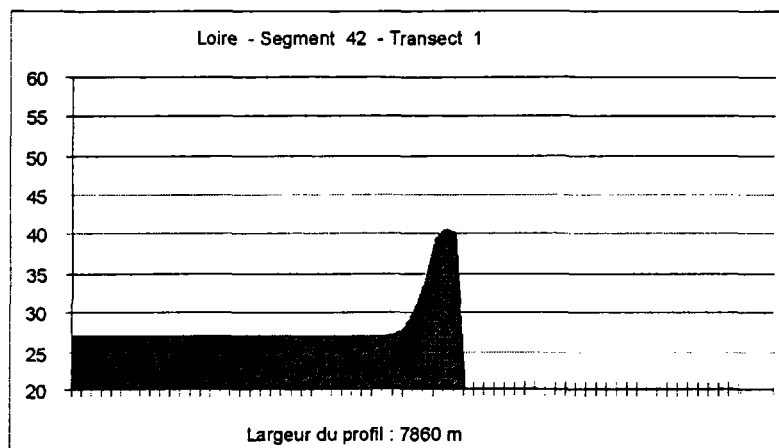
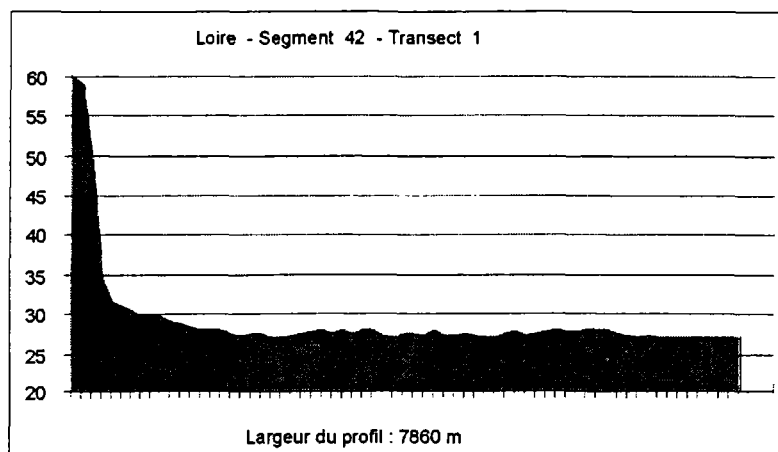


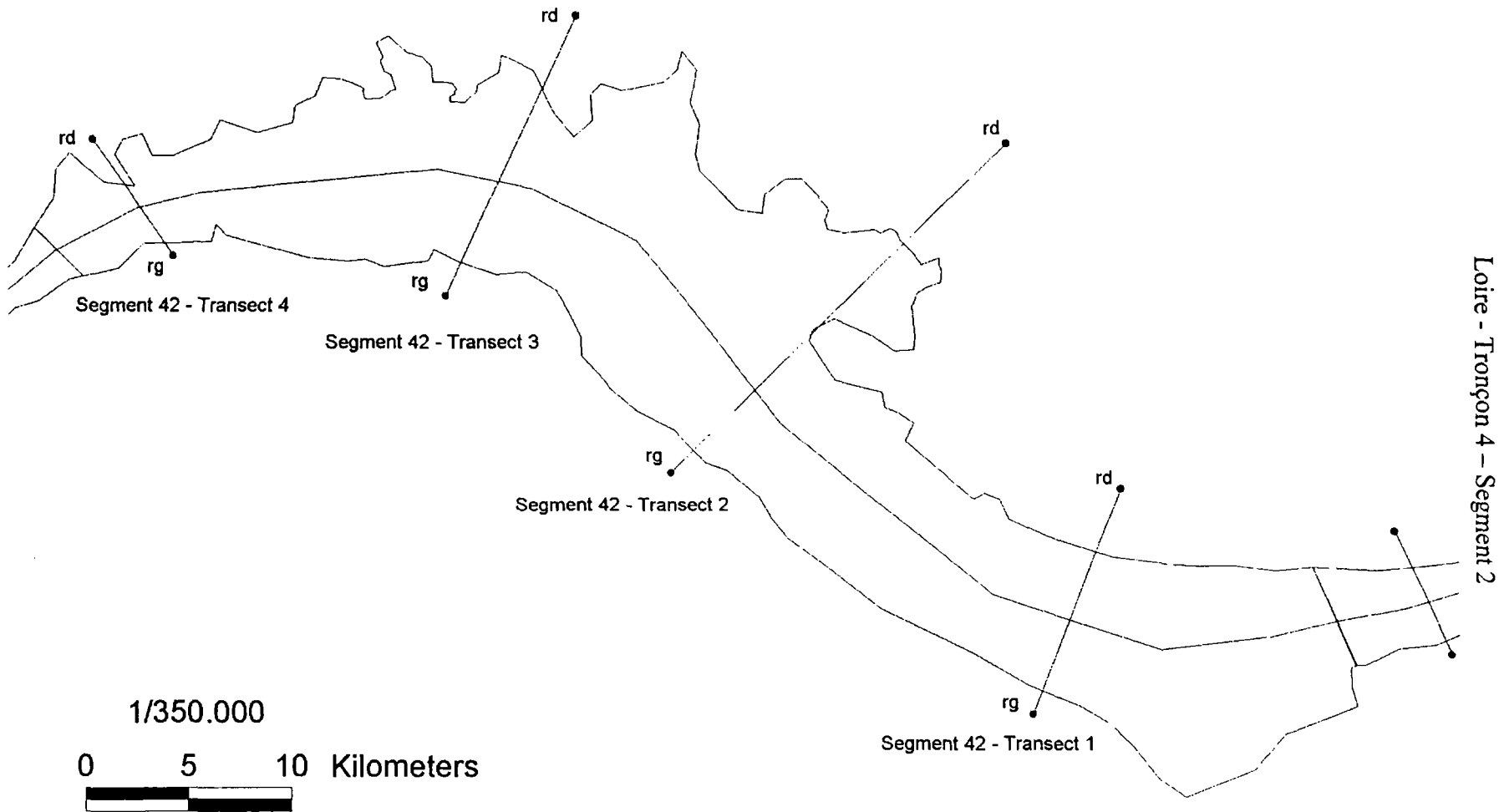
Loire - Tronçon 4 -- Segment 1

Loire - Tronçon 4 – Segment 1

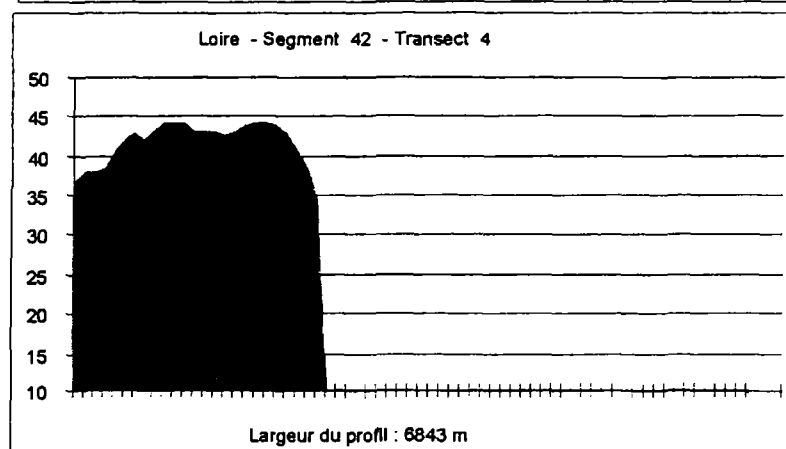
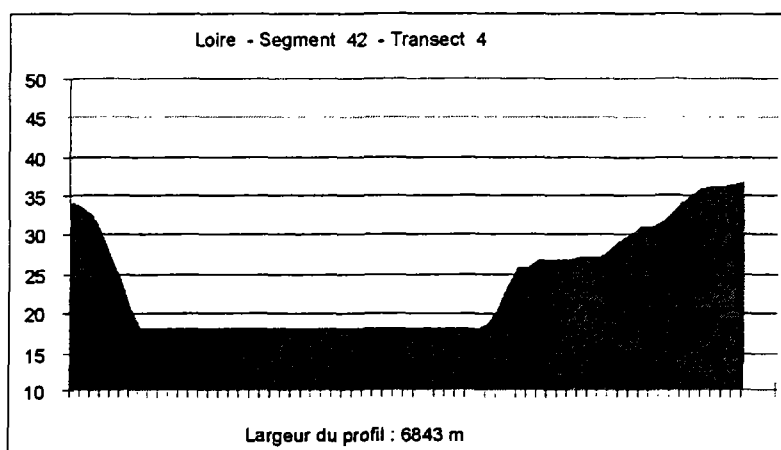
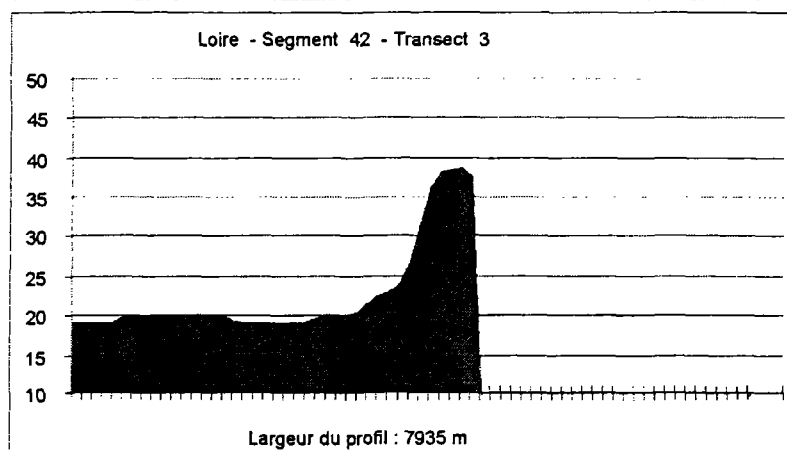
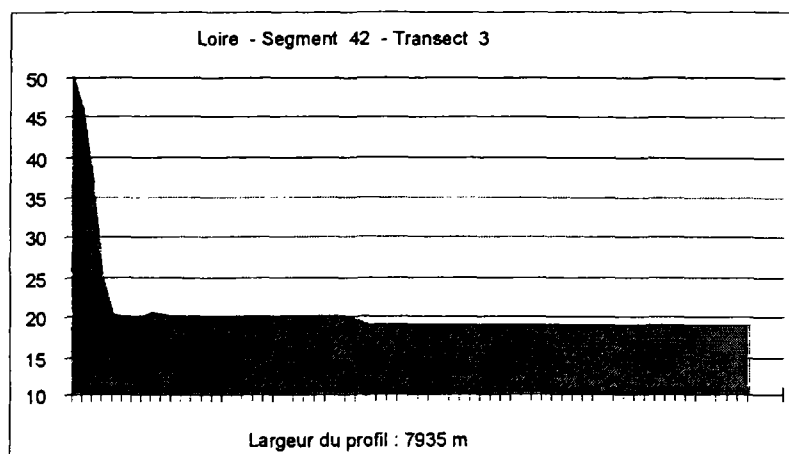


Loire - Tronçon 4 – Segment 2

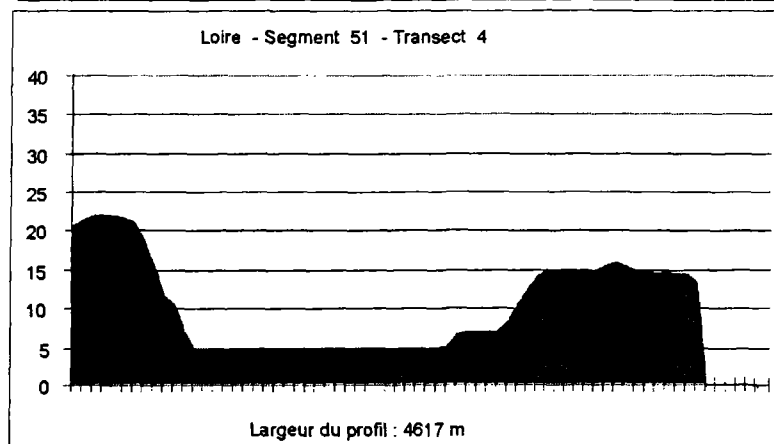
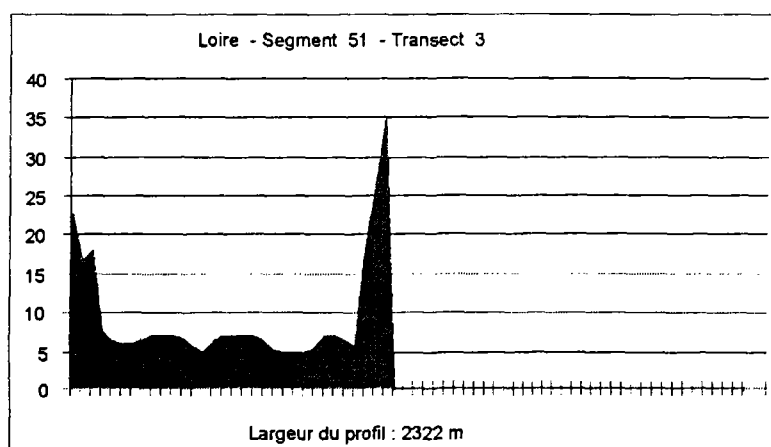
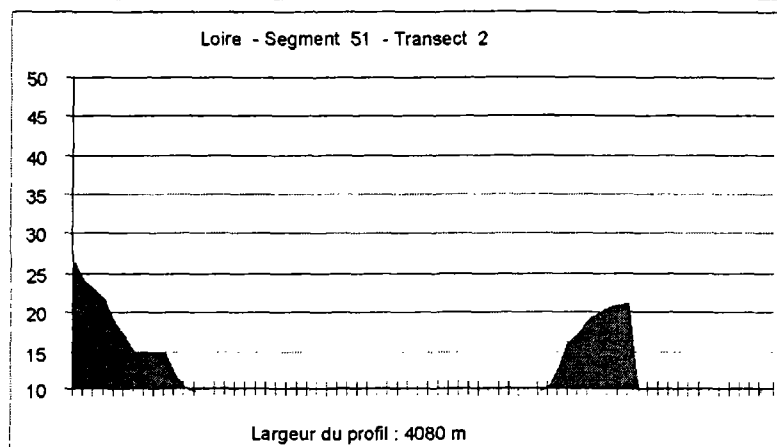
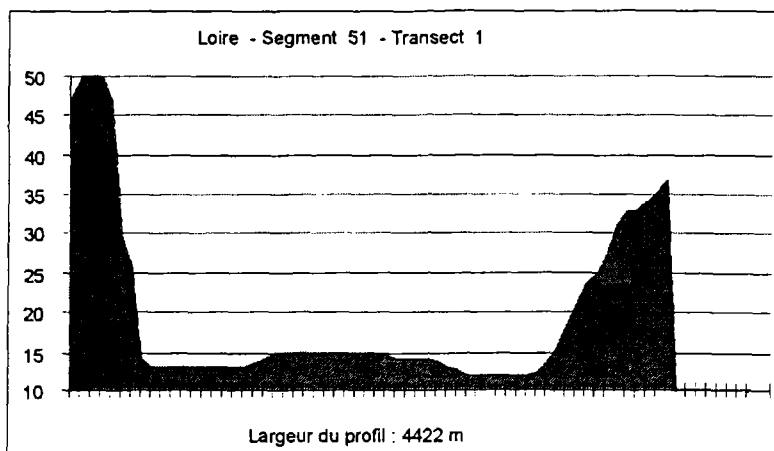


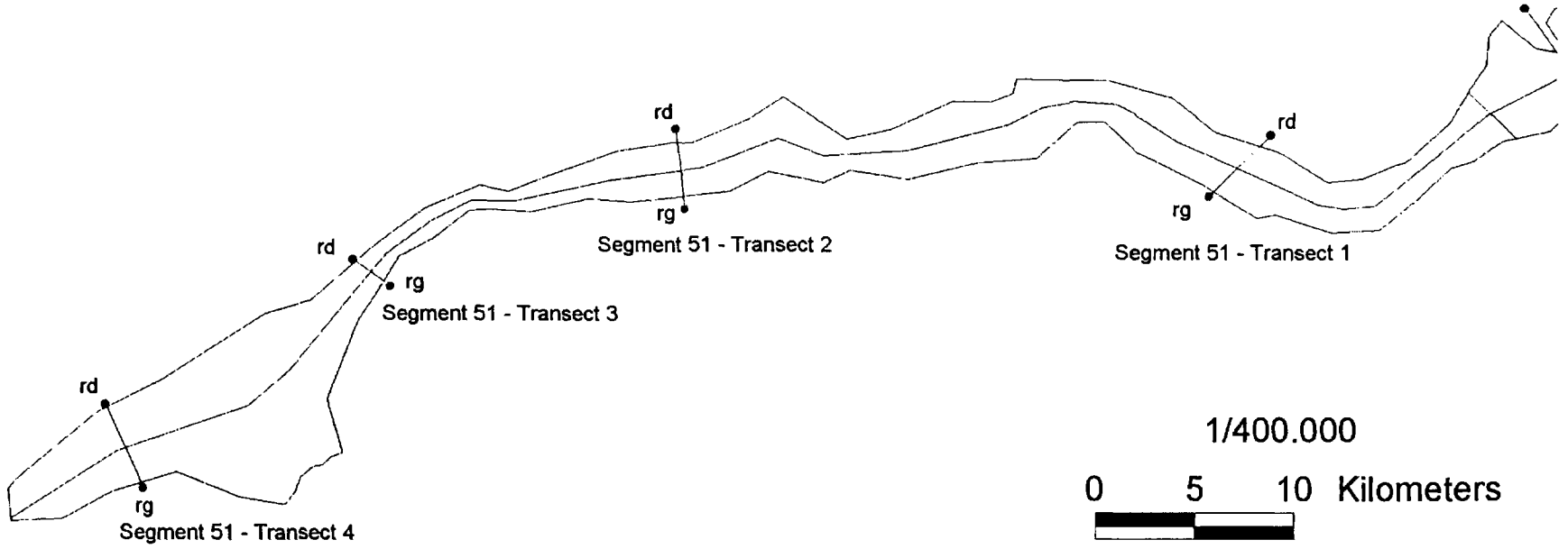


Loire - Tronçon 4 - Segment 2



Loire - Tronçon 5 – Segment 1





4.2 Rhône

4-2-1 Analyse de l'occupation du sol

4-2-1-1 Dans la zone du fond de vallée

Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)	Total
11	1,4	84,0	7,0	6,4	1,2	100
12	7,0	38,4	27,3	24,2	3,1	100
13	13,6	54,5	25,8	4,8	1,3	100
14	4,9	35,4	38,4	19,1	2,3	100
15	1,7	64,2	22,5	11,3	0,3	100
21	14,9	54,6	19,3	10,4	0,8	100
31	28,2	26,6	31,5	12,5	1,3	100
32	18,9	29,7	33,3	15,0	3,1	100
33	30,0	28,0	27,6	9,8	4,5	100
41	15,9	30,8	37,3	13,5	2,5	100
42	17,8	21,3	40,6	20,4	0,0	100
43	7,9	58,1	26,7	4,4	2,9	100
Total	13,5	43,8	28,1	12,6	1,9	100

4-2-2 Analyse morphologique

4-2-2-1 Largeur du fond de vallée (m)

Segment	MAX	MIN	MOYENNE
11	1835	138	453
12	8129	225	3330
13	2331	187	958
14	8967	195	3457
15	2185	358	1051
21	8366	1330	4282
31	2526	462	1085
32	4783	1587	2962
33	1638	891	1244
41	9371	1756	4808
43	8777	624	5884
42	6877	1423	3125



4-2-2-2 Longueur du lit, longueur du squelette du fond de vallée et valeur de sinuosité

Segment	Long tronçon (m)	Long Median (m)	Sinuosité	Ordre
11	60891	57117	1,07	6
12	23701	21223	1,12	7
13	23745	22635	1,05	7
14	16498	14811	1,11	7
15	33241	31237	1,06	7
21	97667	41894	2,33	7
31	37951	36500	1,04	8
32	28264	26743	1,06	8
33	18644	16963	1,10	8
41	49226	44409	1,11	8
43	14727	16879	0,87	8
42	29071	27778	1,05	8

4-2-2-3 Pente de la vallée

Segment	Altitude nœud amont (m)	Altitude nœud aval (m)	Pente (°/°)
11	392	267	2,19
12	267	267	0,00
13	267	217	2,21
14	217	211	0,41
15	211	201	0,32
21	201	165	0,86
31	125	80	1,23
32	80	60	0,75
33	60	53	0,41
41	165	160	0,11
43	160	140	1,18
42	140	125	0,54



4-2-2-4 Pente des versants

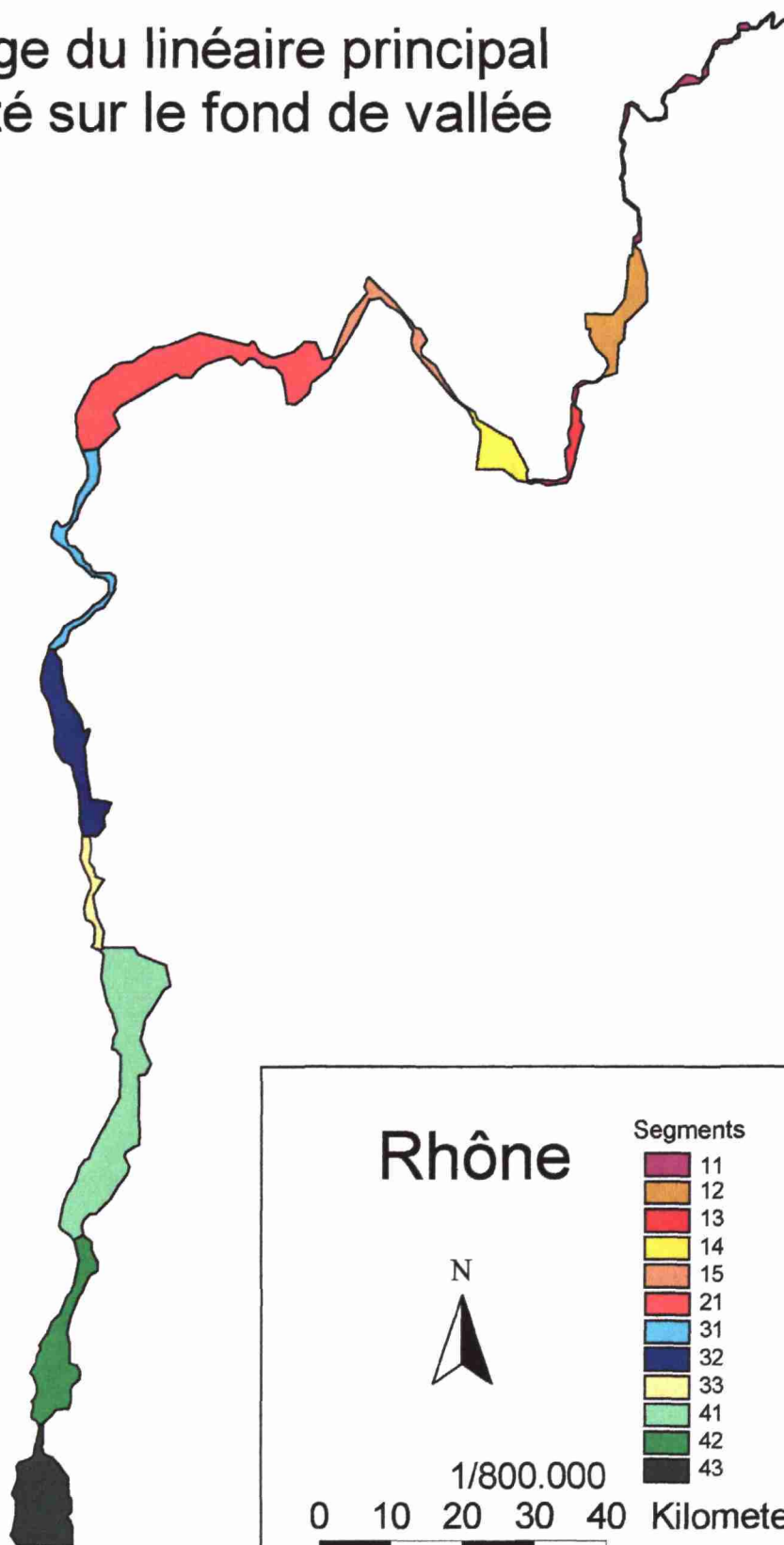
Segment	Moy Pent Versant 1 (%)	Moy Pent Versant 2 (%)
11	8,72	8,02
12	15,74	14,04
13	15,85	14,81
14	3,11	2,41
15	5,75	4,90
21	1,58	1,22
31	8,65	7,90
32	4,75	3,55
33	15,07	13,87
41	4,73	3,47
42	6,19	4,52
43	6,53	5,66

4-2-2-5 Largeur théorique du lit majeur

Segment	Moyenne (m)
11	424
12	3700
13	910
14	4088
15	627
21	1798
31	869
32	1454
33	928
41	799
42	1031
43	1777

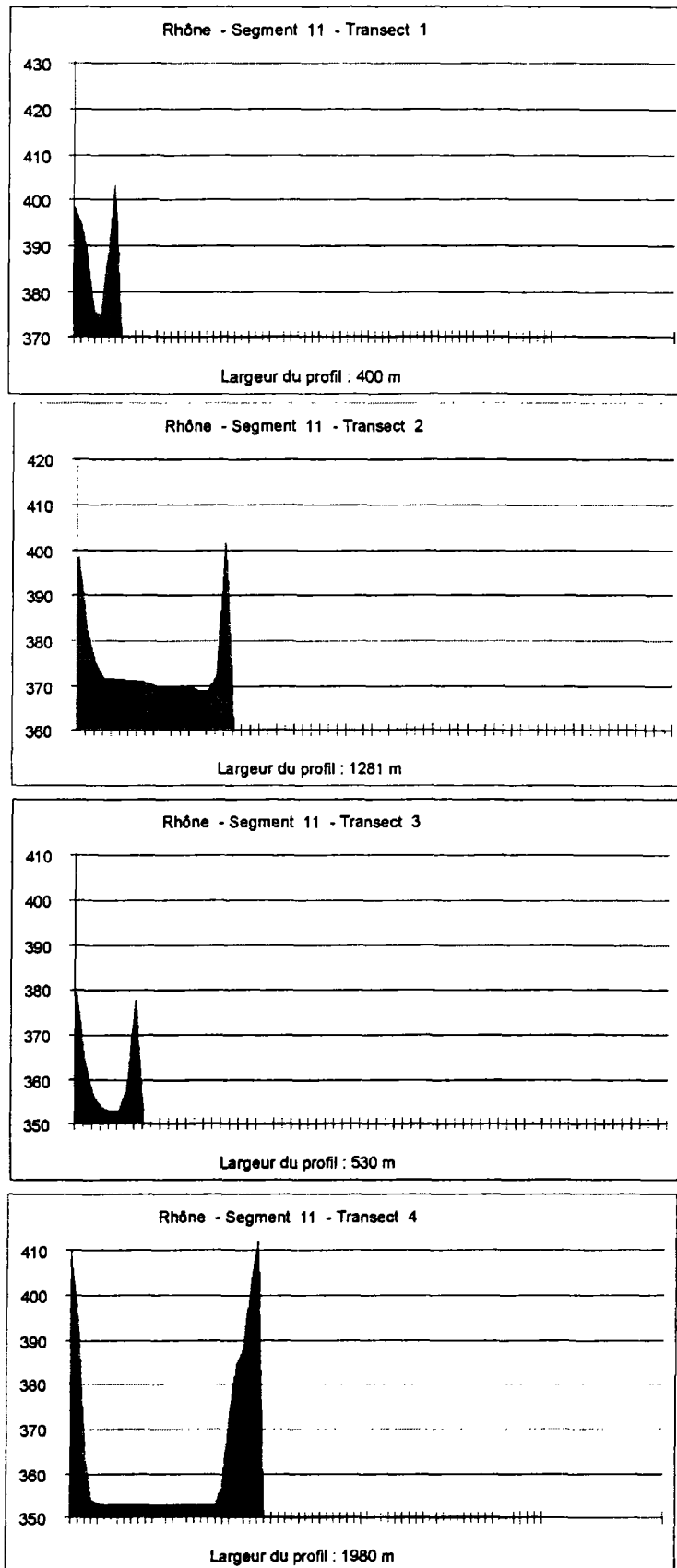


Découpage du linéaire principal représenté sur le fond de vallée



4-2-3-2 Par tronçon

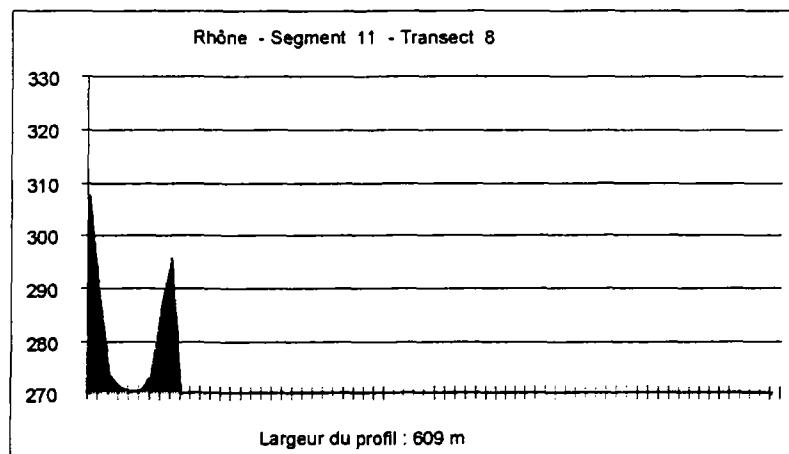
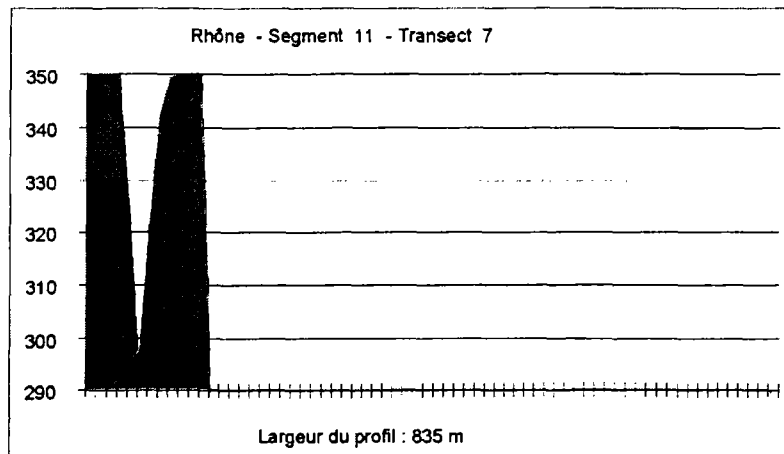
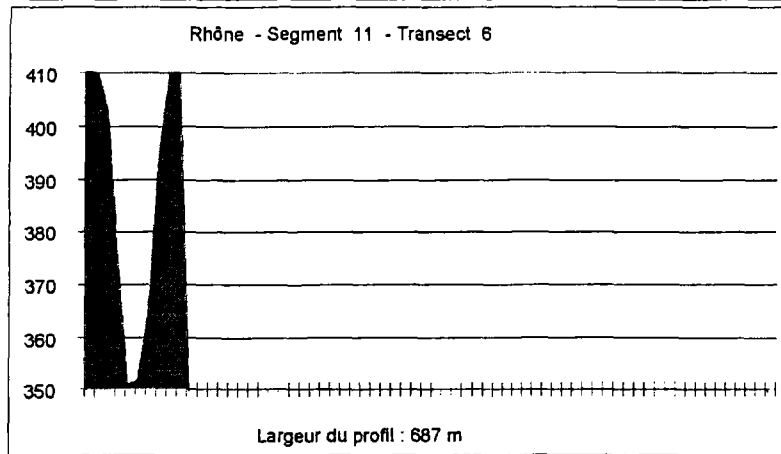
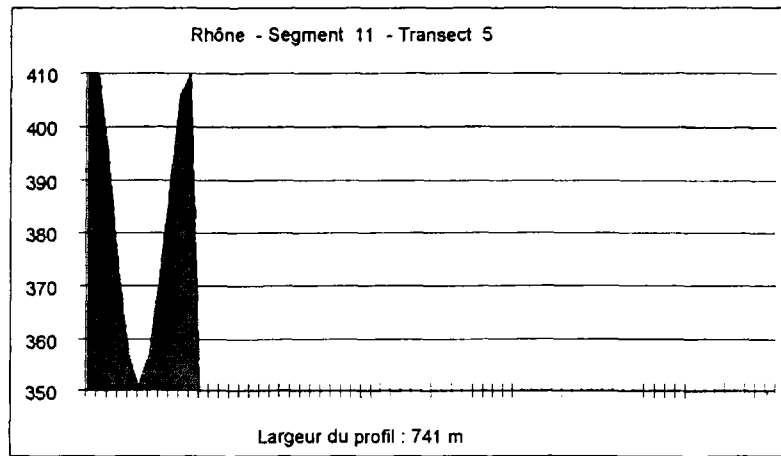
Rhône - Tronçon 1 – Segment 1



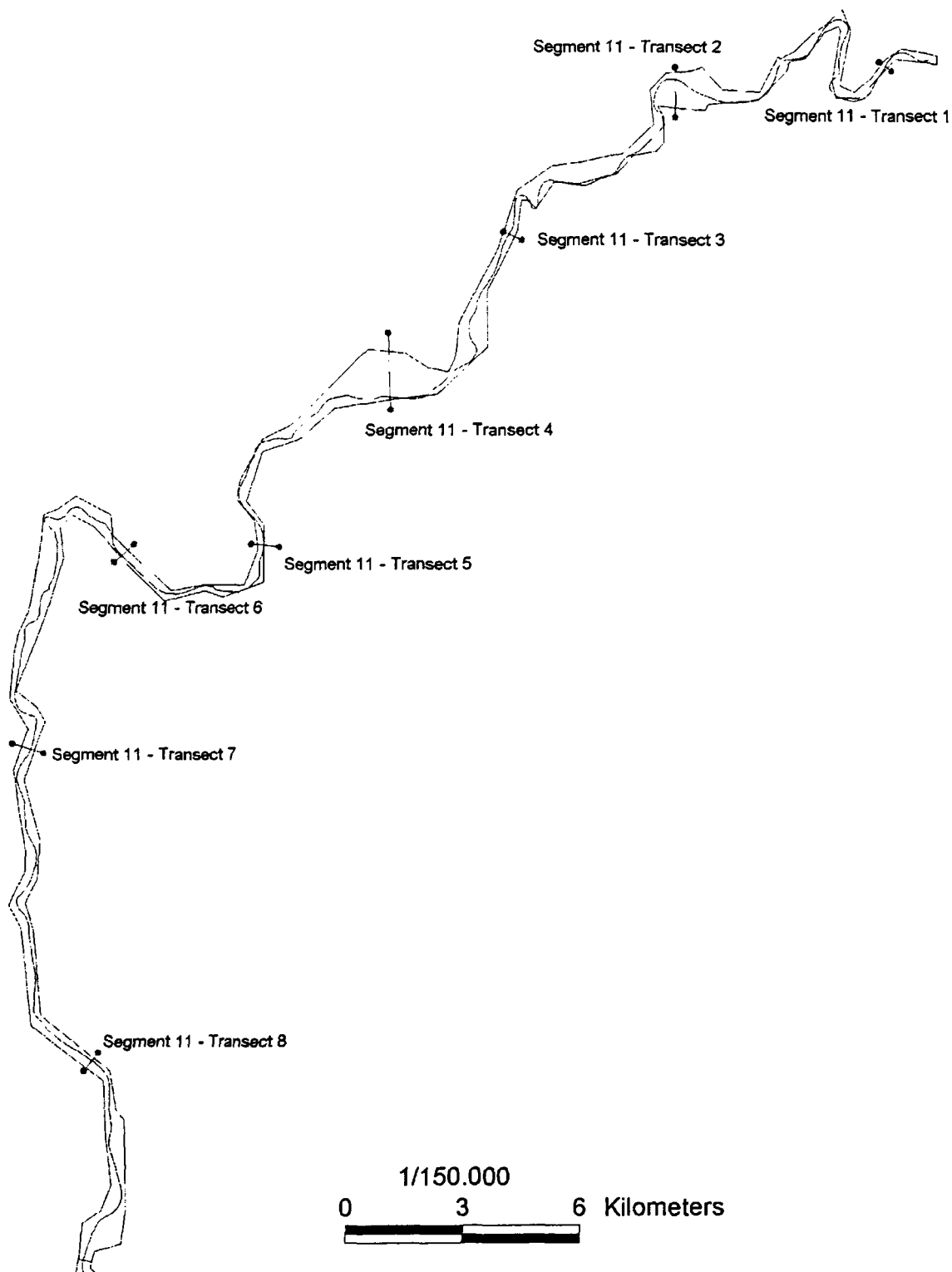
CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



Rhône - Tronçon 1 – Segment 1

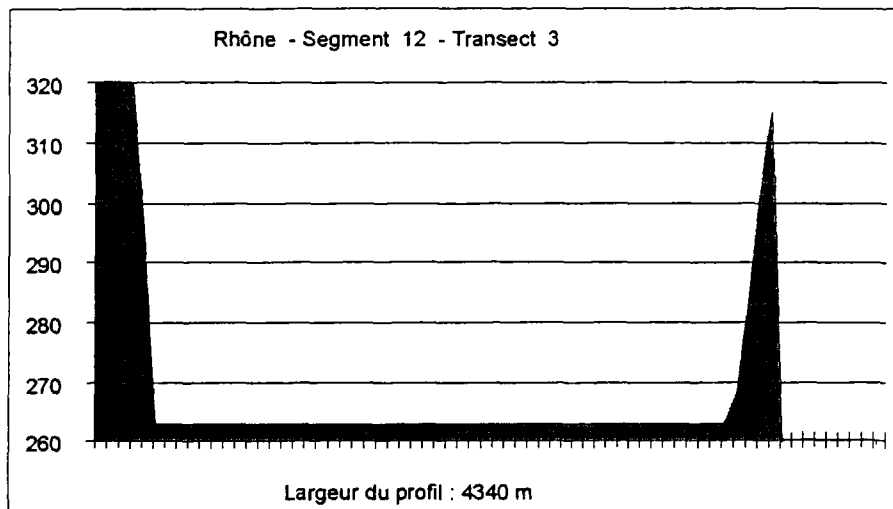
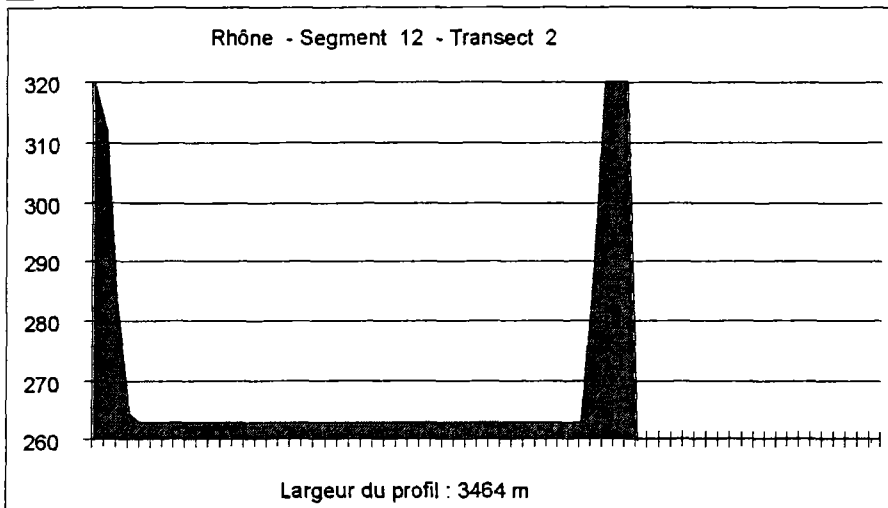
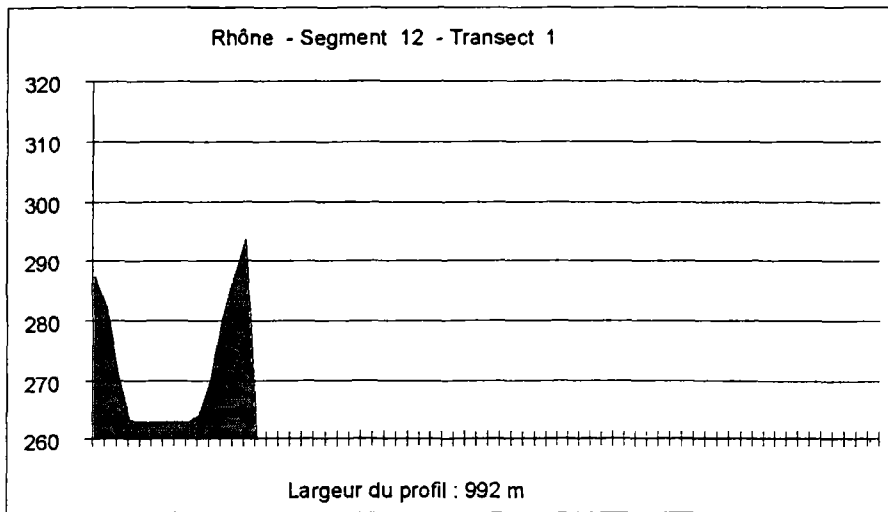


Rhône - Tronçon 1 – Segment 1

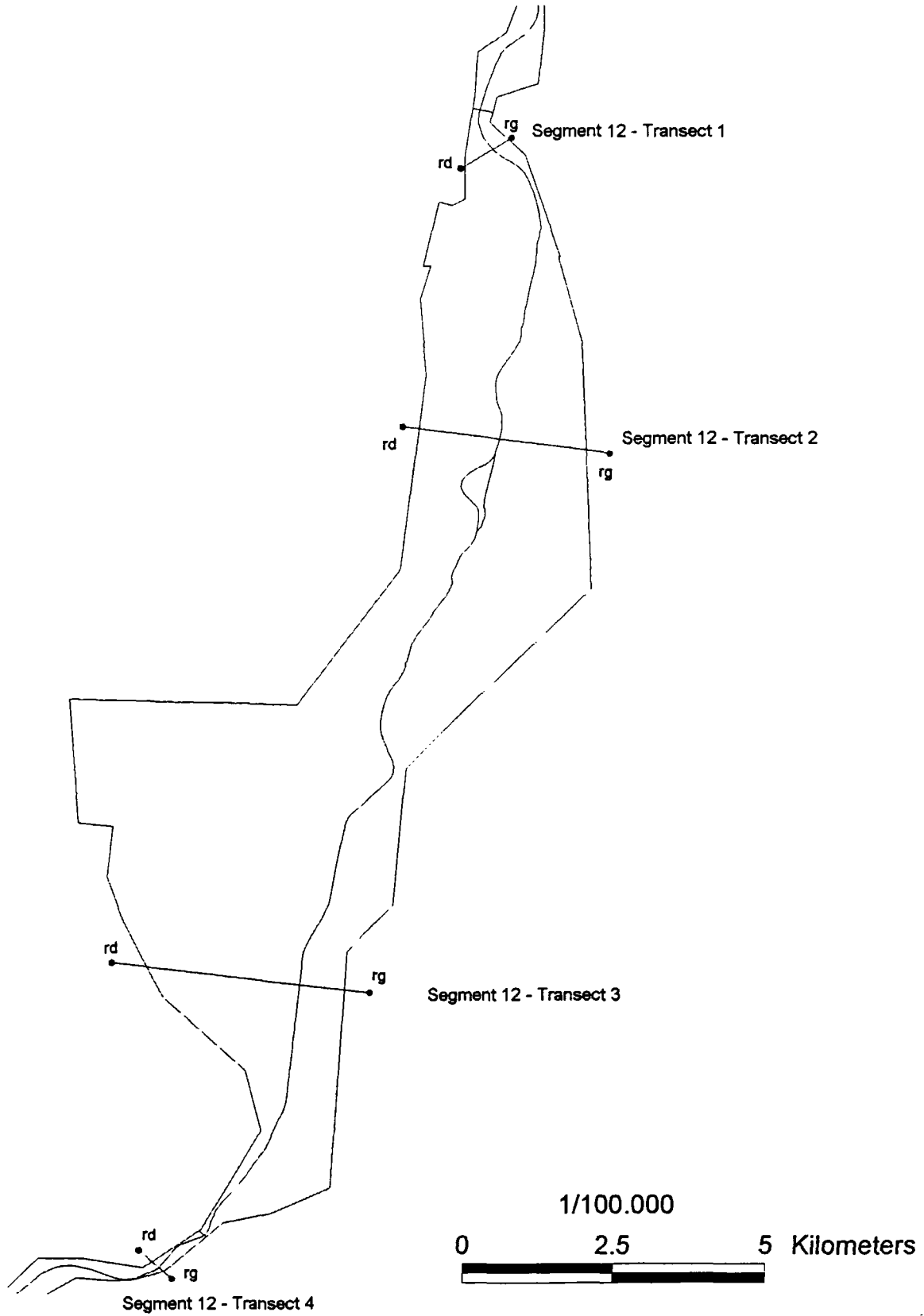


CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

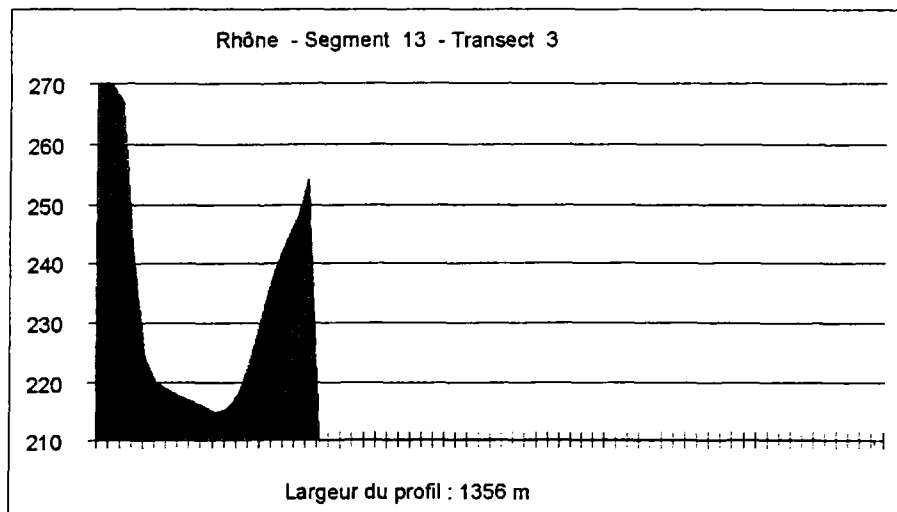
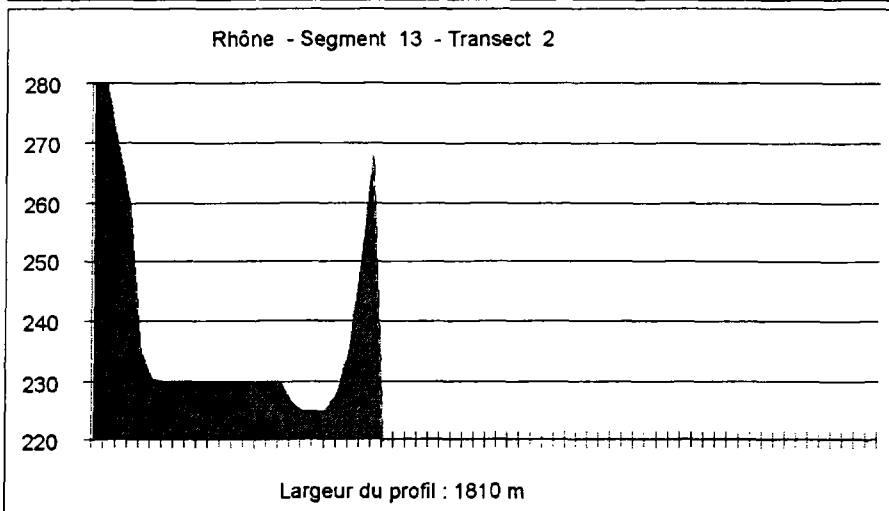
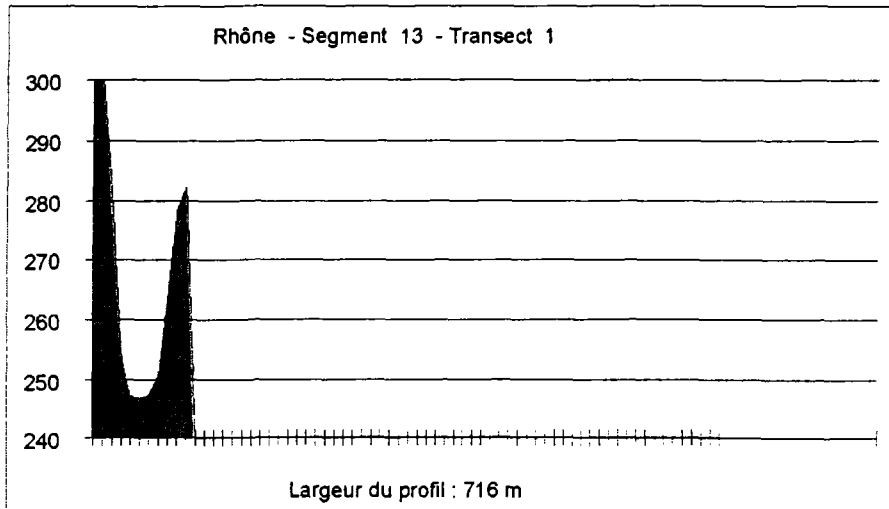
Rhône - Tronçon 1 – Segment 2



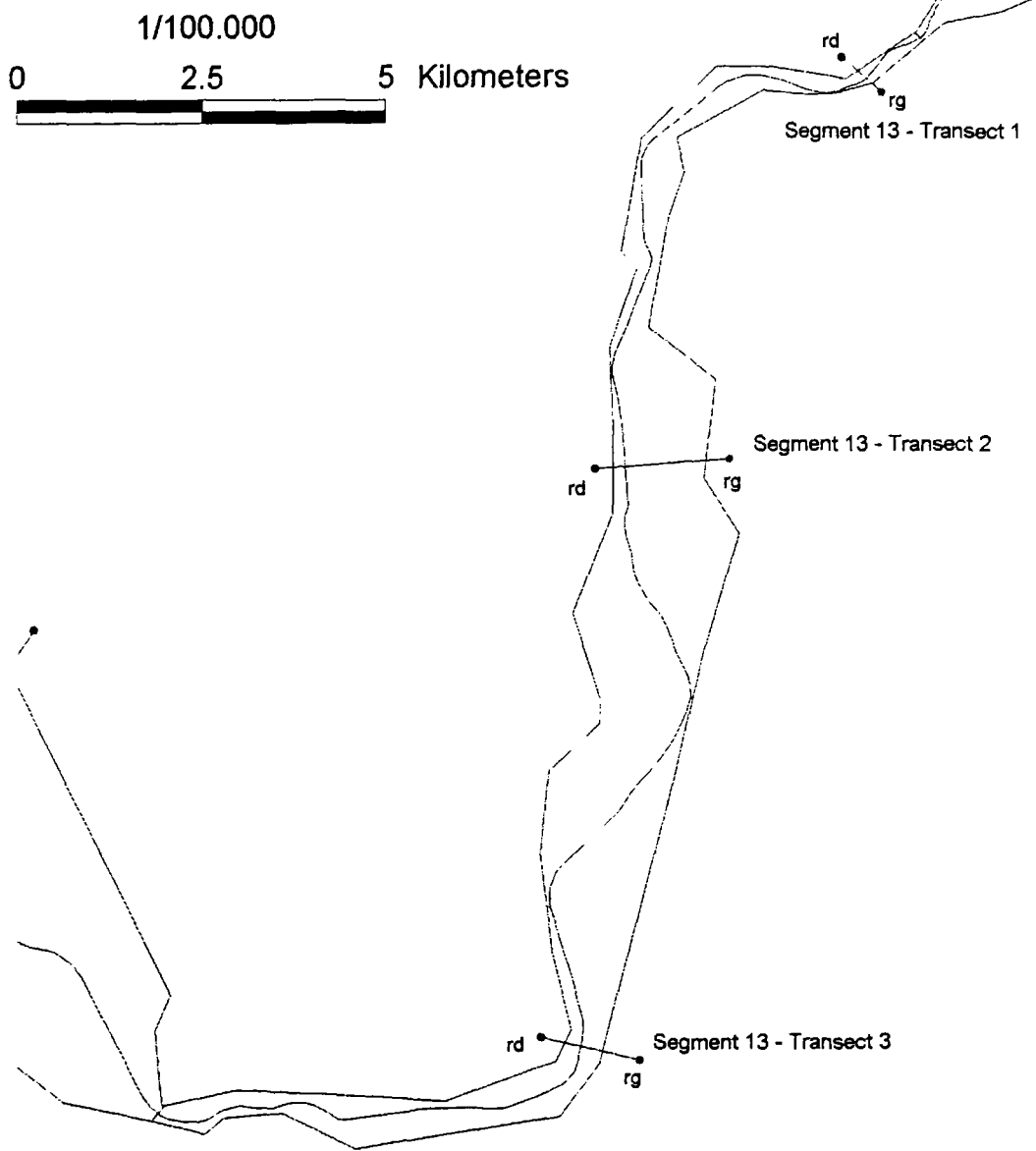
Rhône - Tronçon 1 – Segment 2



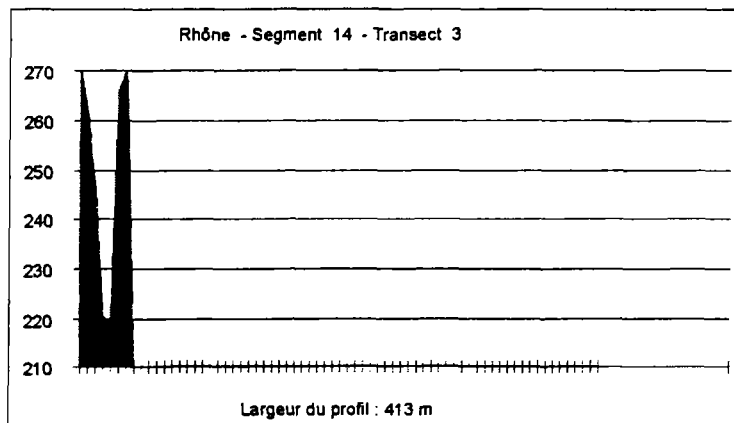
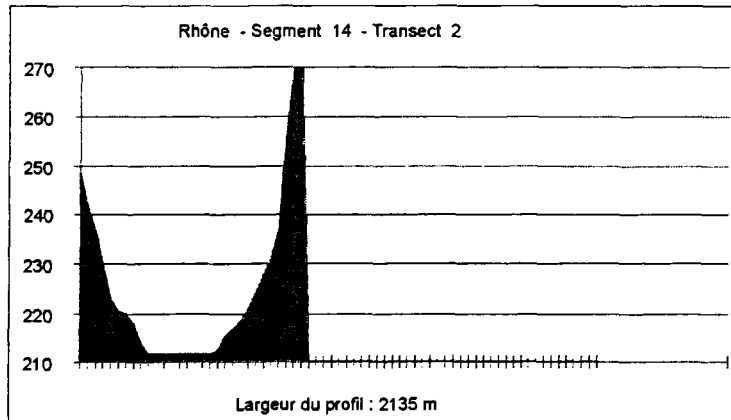
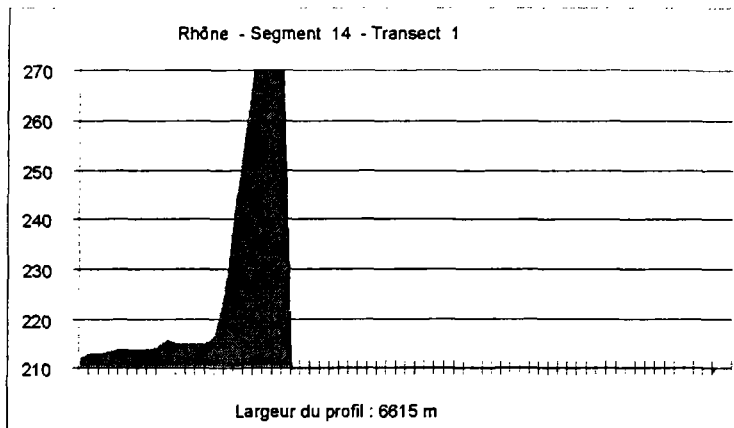
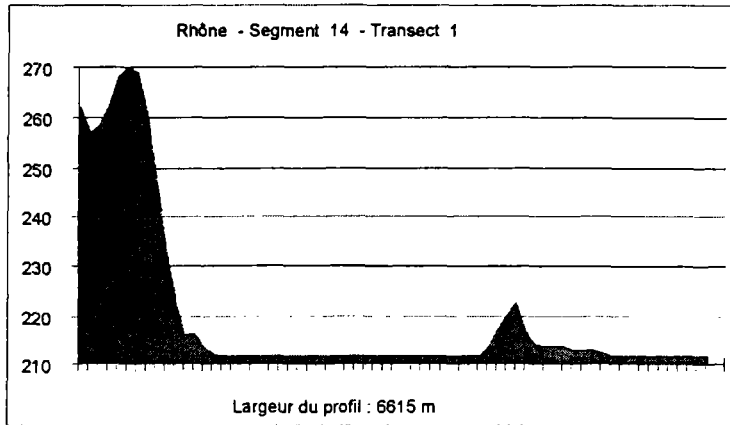
Rhône - Tronçon 1 – Segment 3



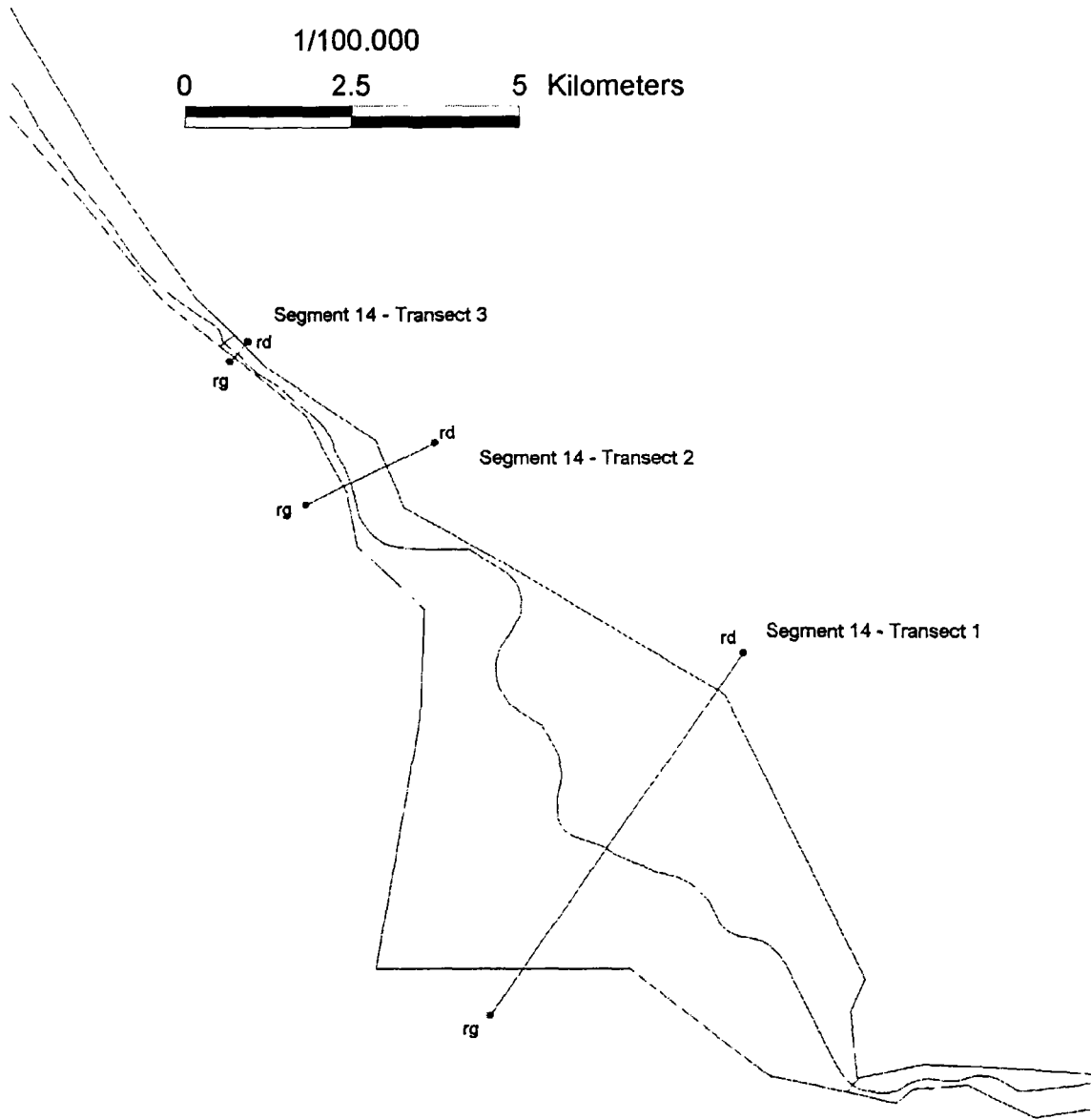
Rhône - Tronçon 1 – Segment 3



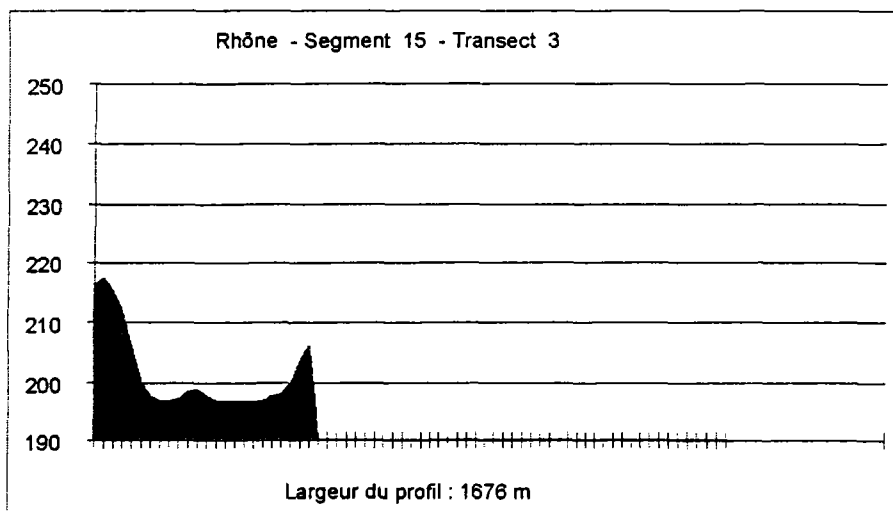
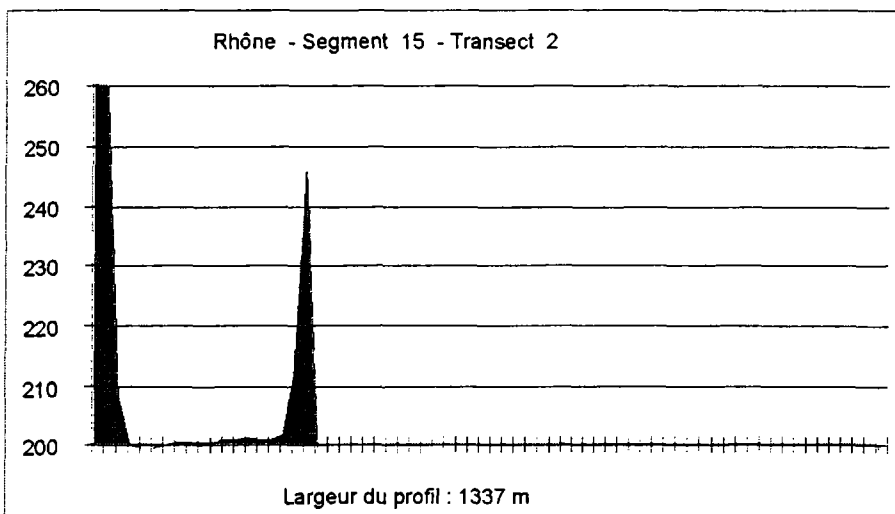
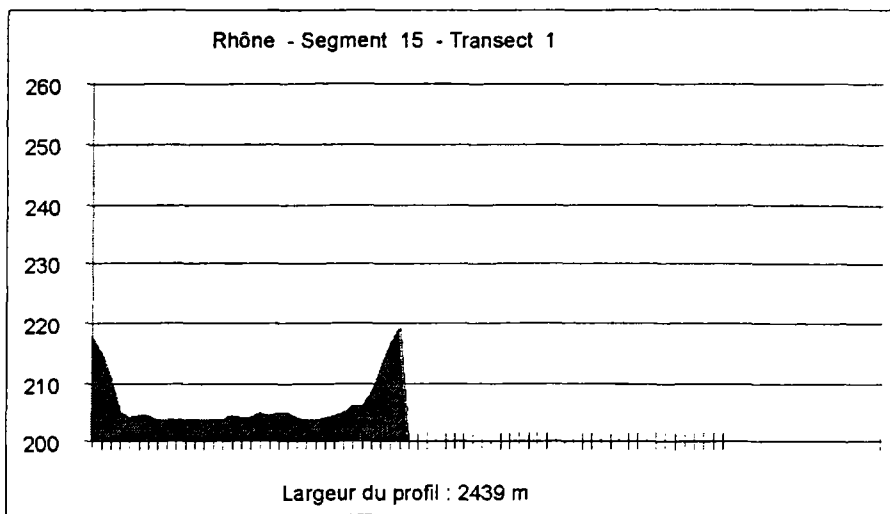
Rhône - Tronçon 1 – Segment 4



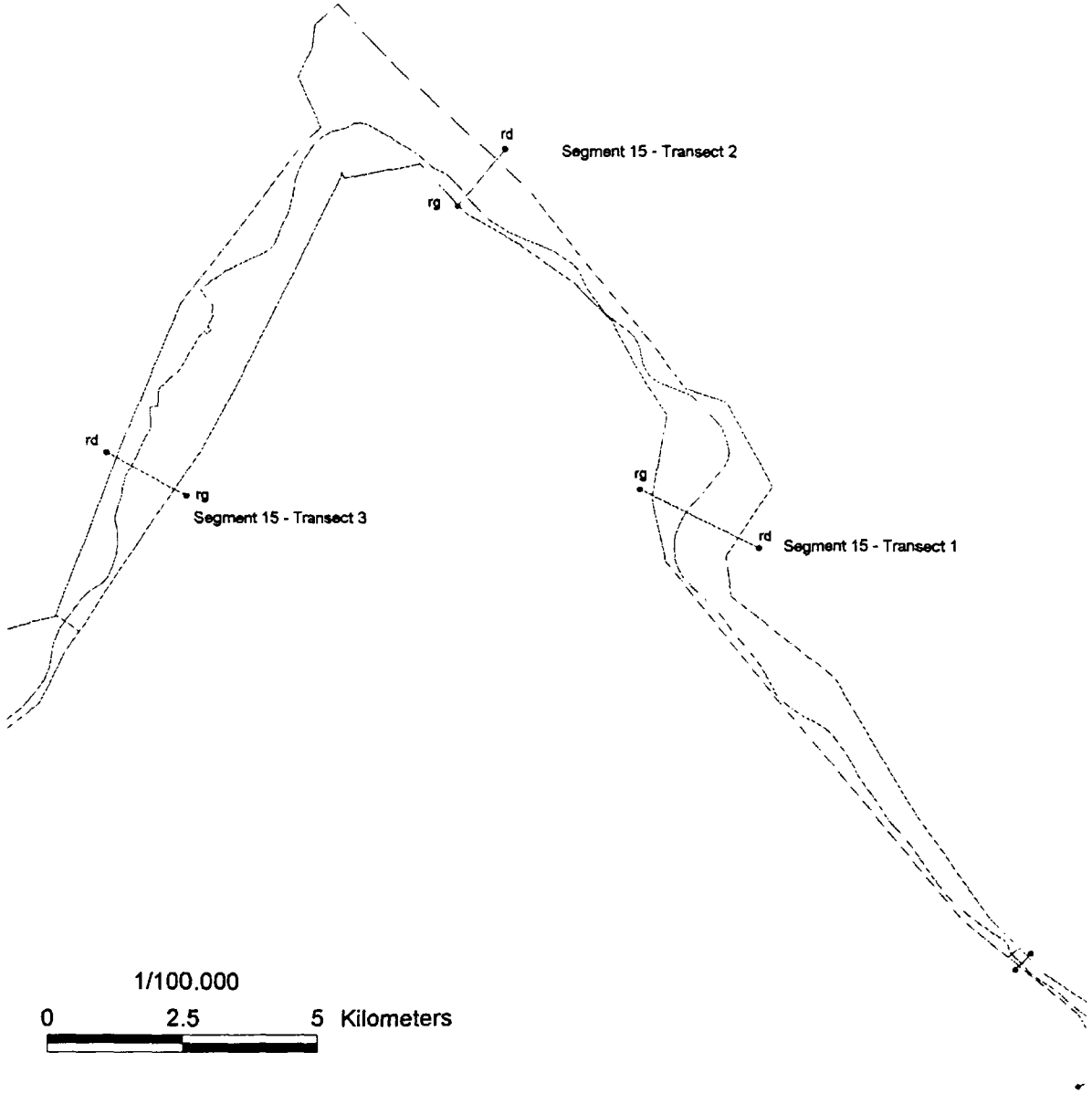
Rhône - Tronçon 1 – Segment 4



Rhône - Tronçon 1 – Segment 5



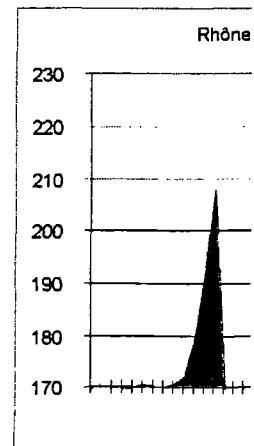
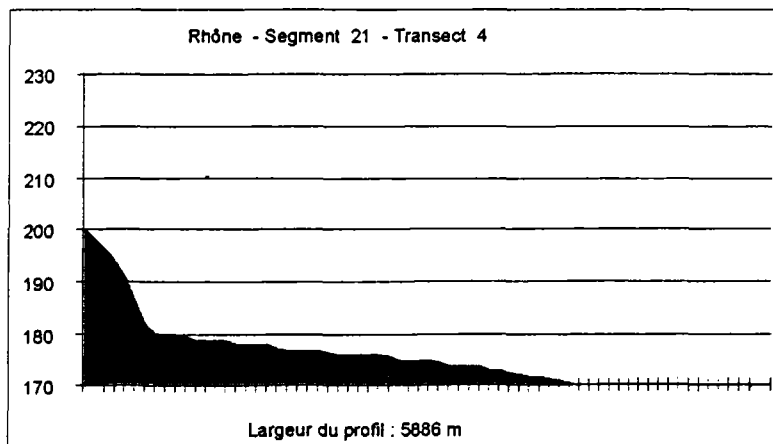
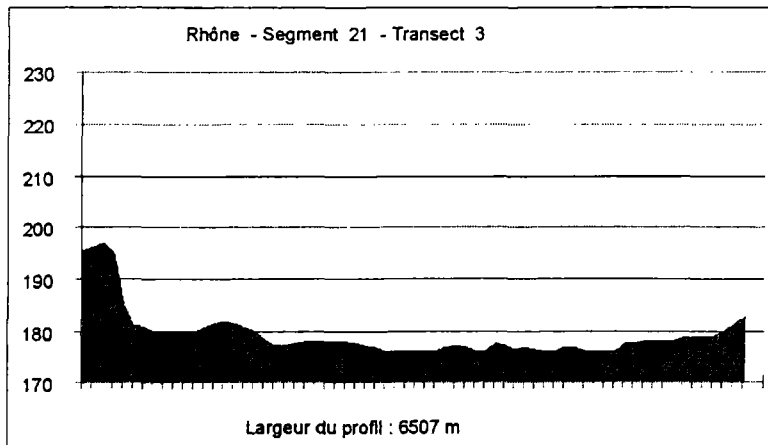
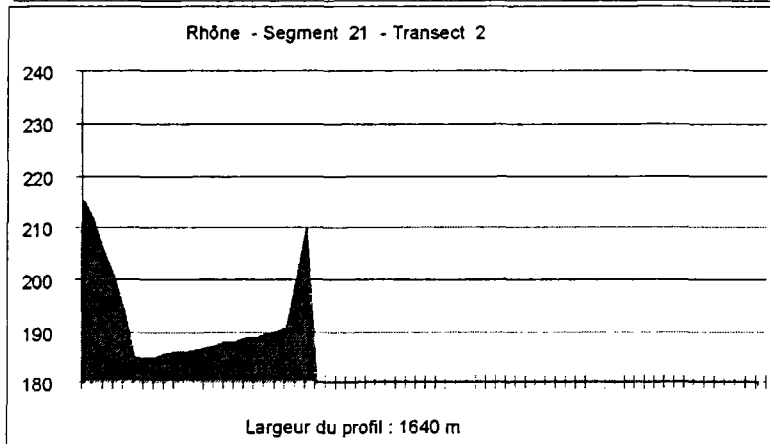
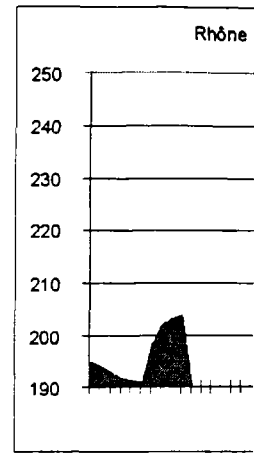
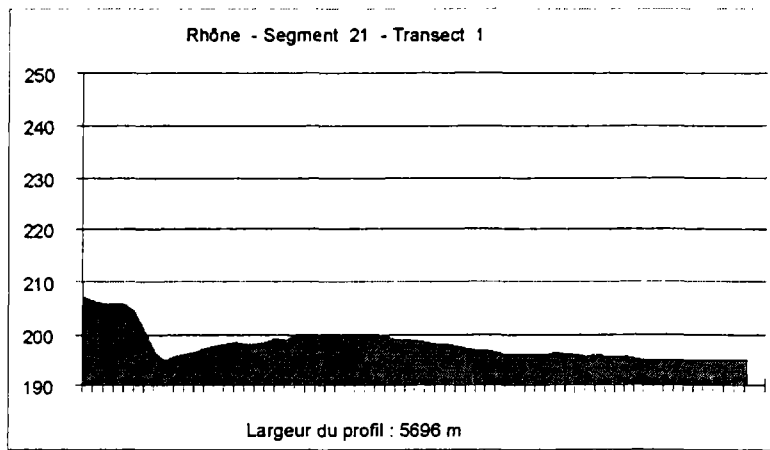
Rhône - Tronçon 1 – Segment 5



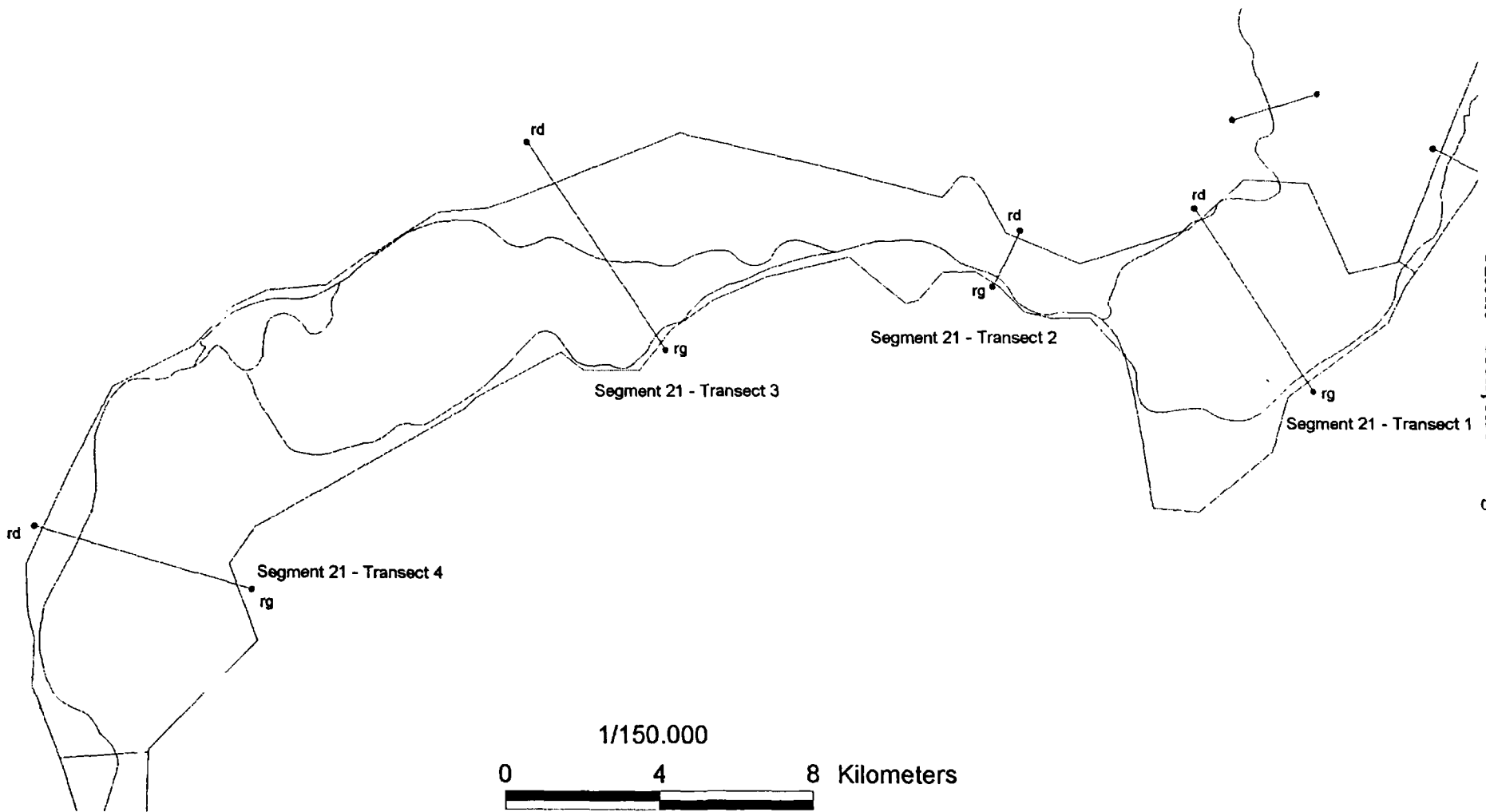
CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



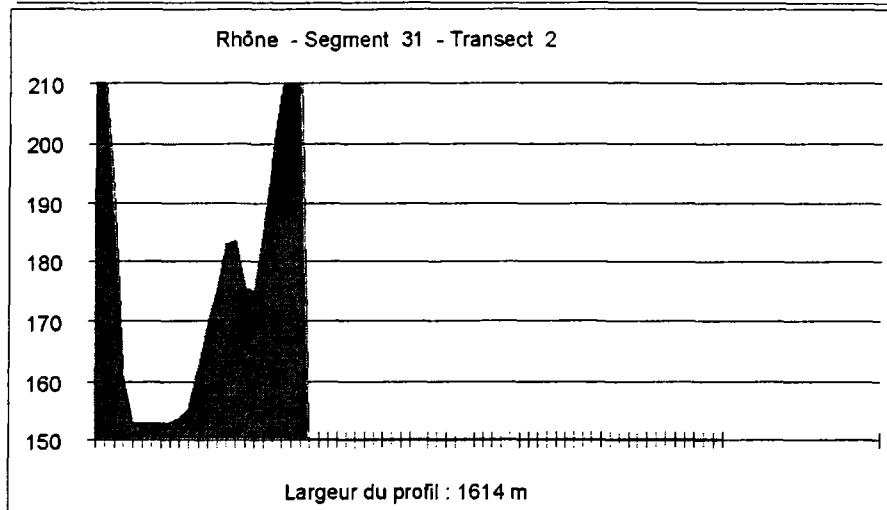
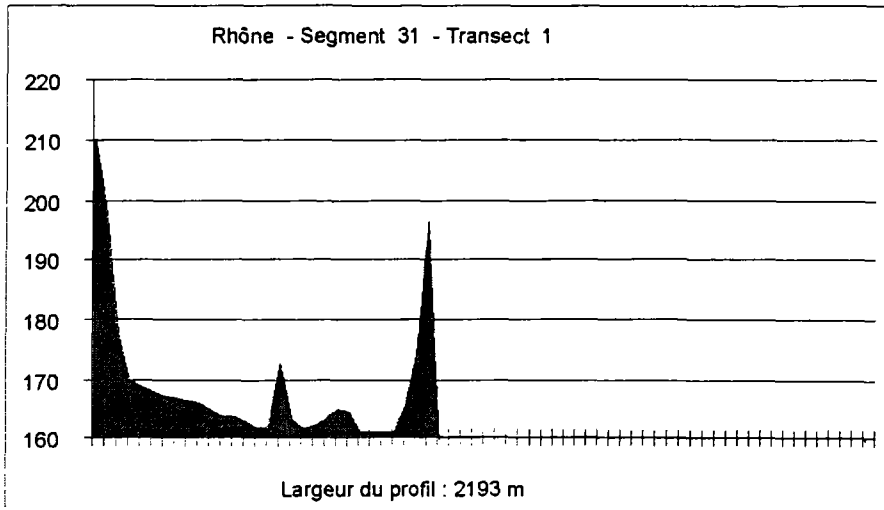
Rhône - Tronçon 2 – Segment 1



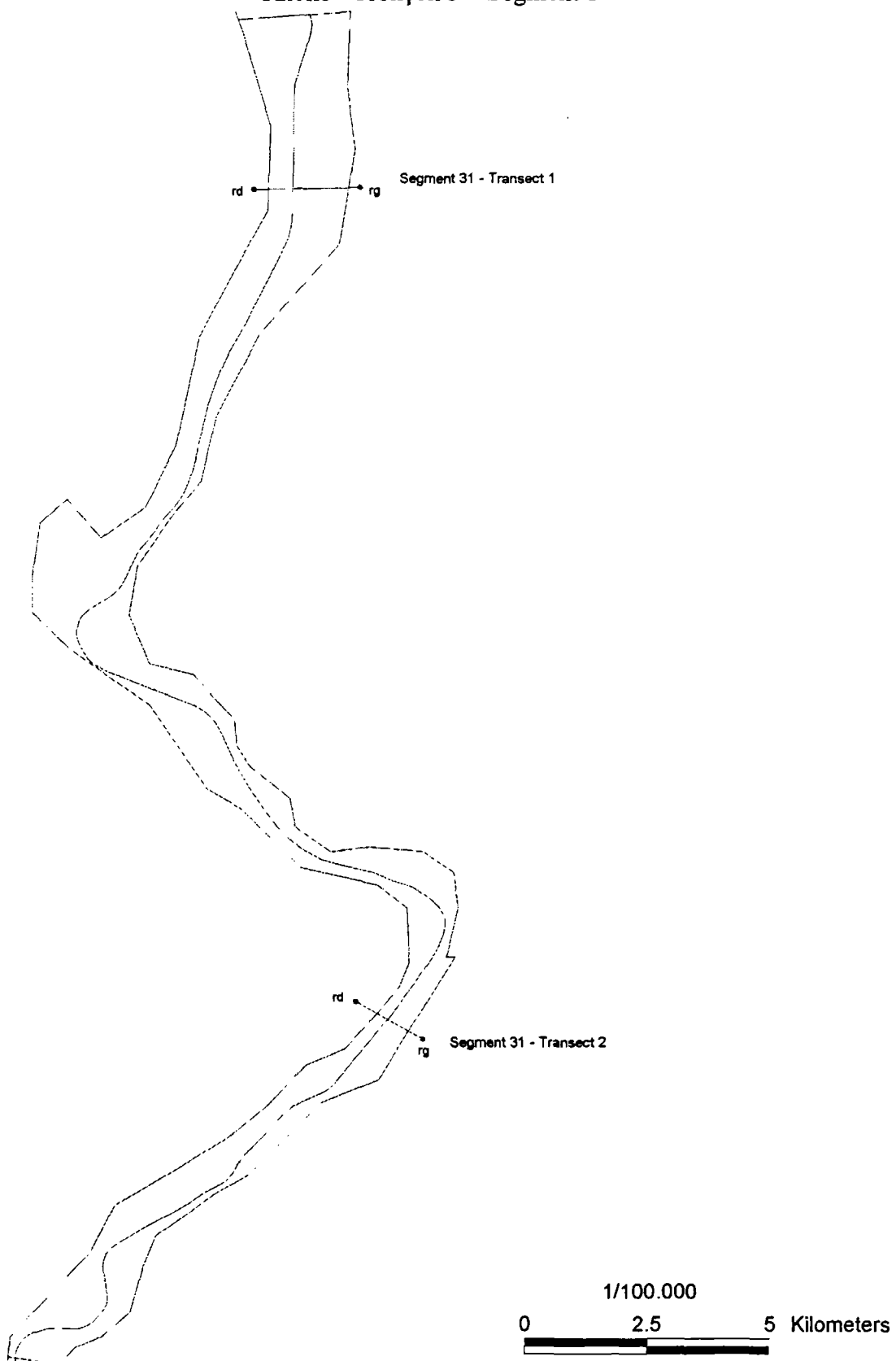
Rhône - Tronçon 2 – Segment 1



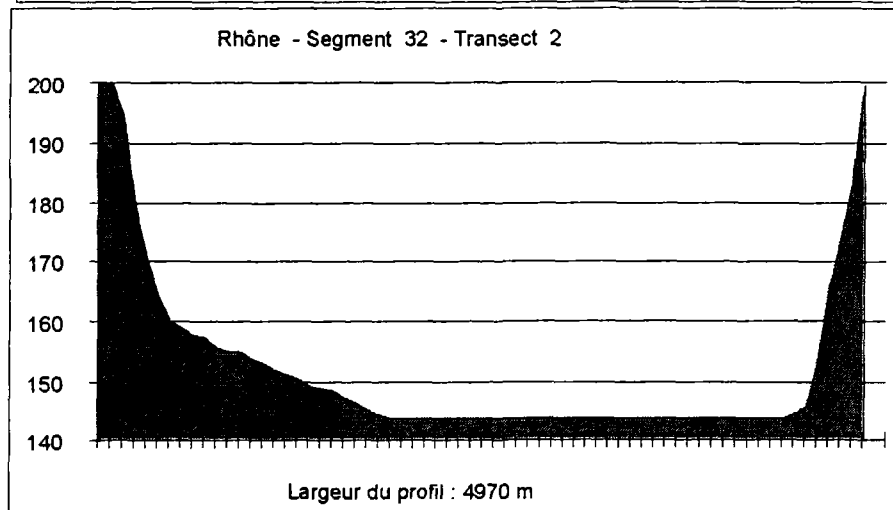
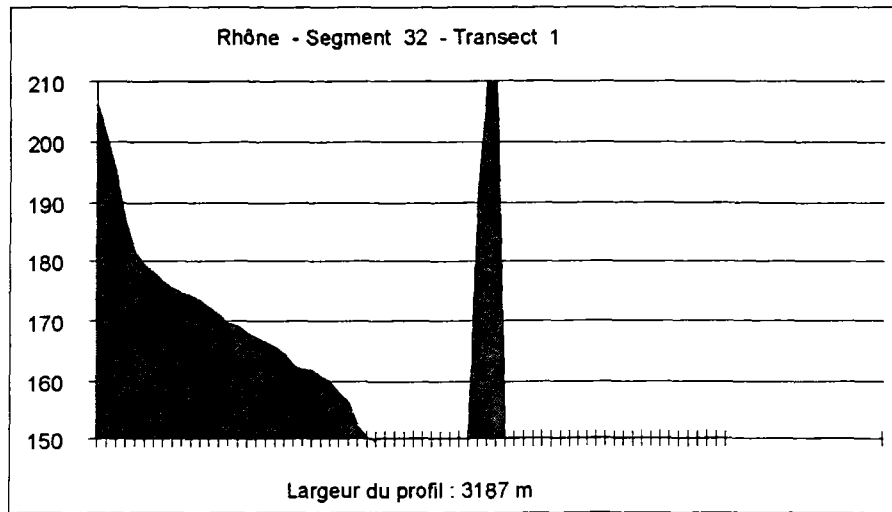
Rhône - Tronçon 3 – Segment 1



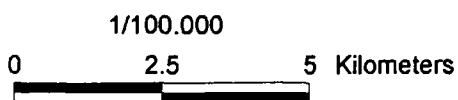
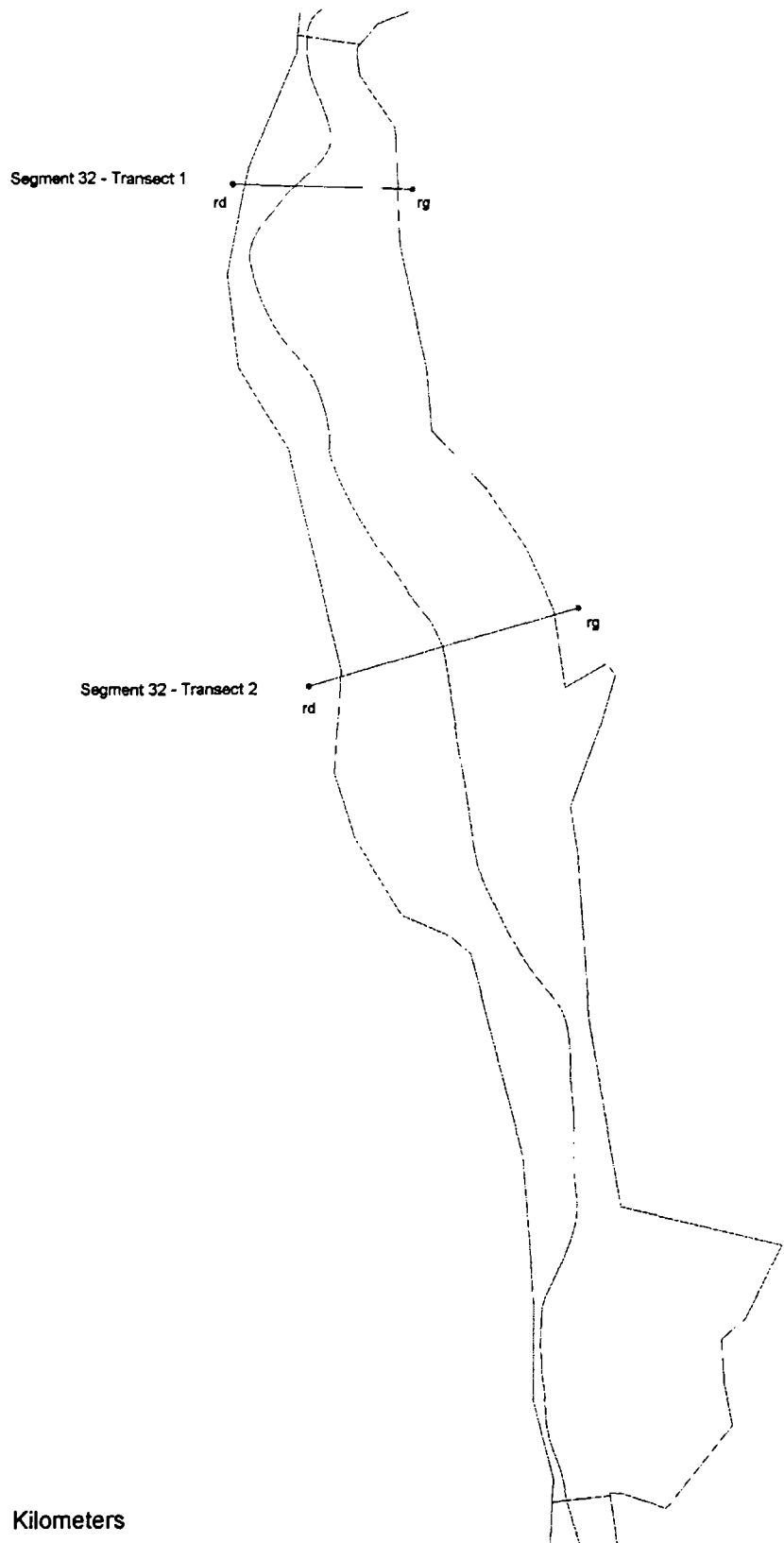
Rhône - Tronçon 3 – Segment 1



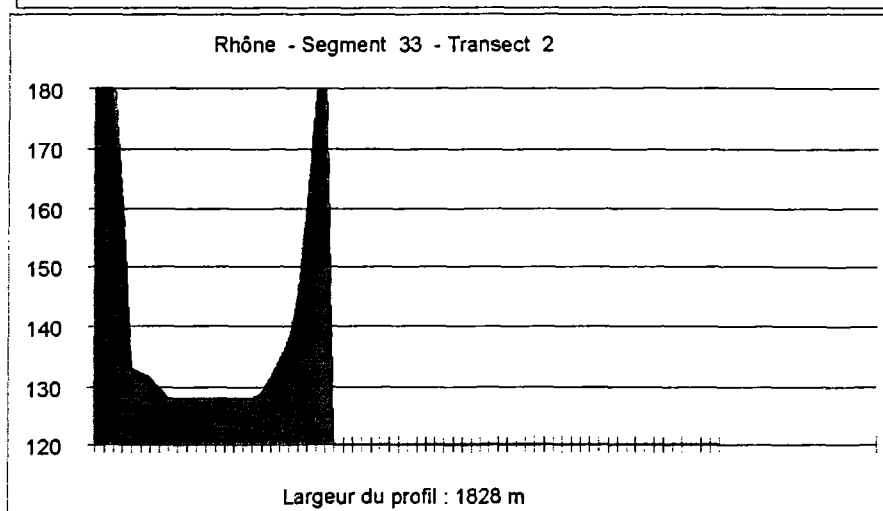
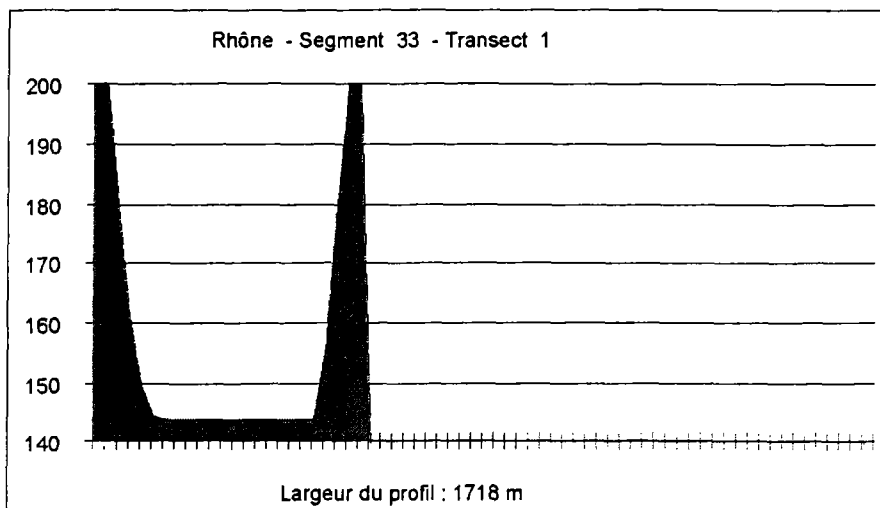
Rhône - Tronçon 3 – Segment 2



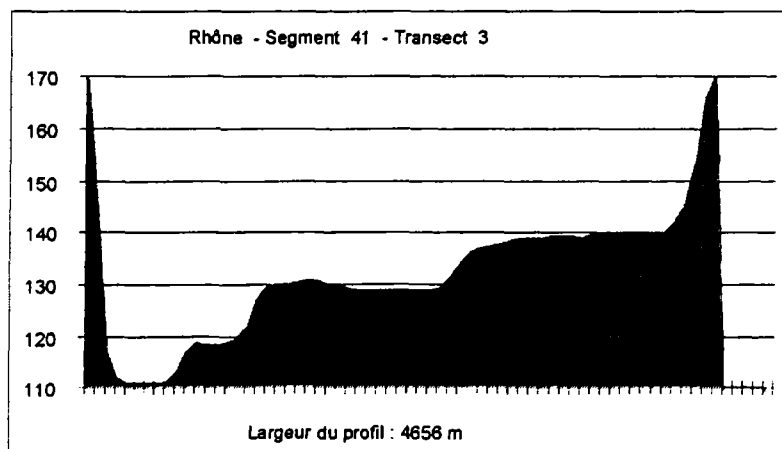
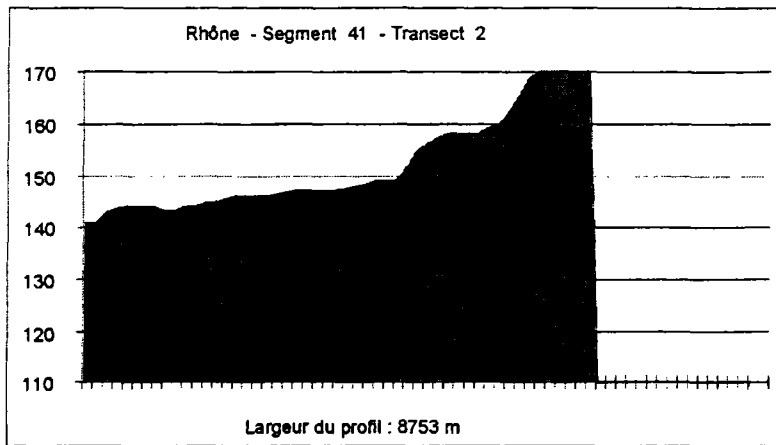
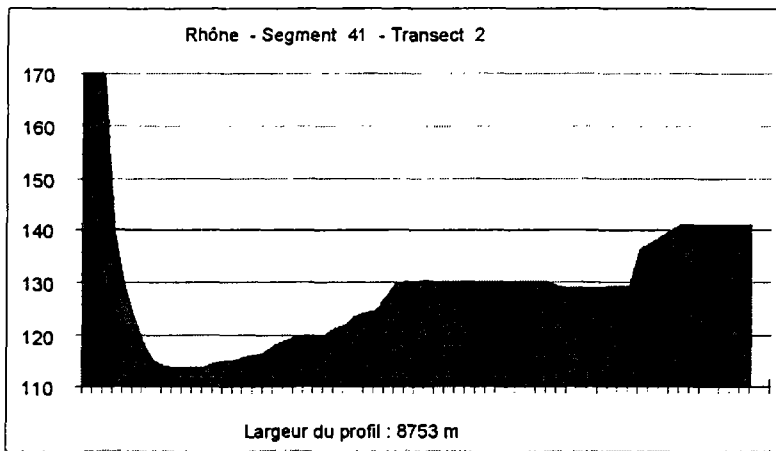
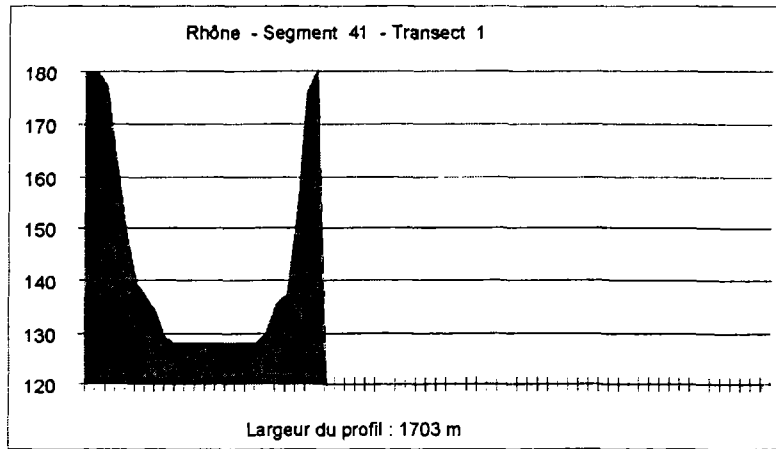
Rhône - Tronçon 3 – Segment 2



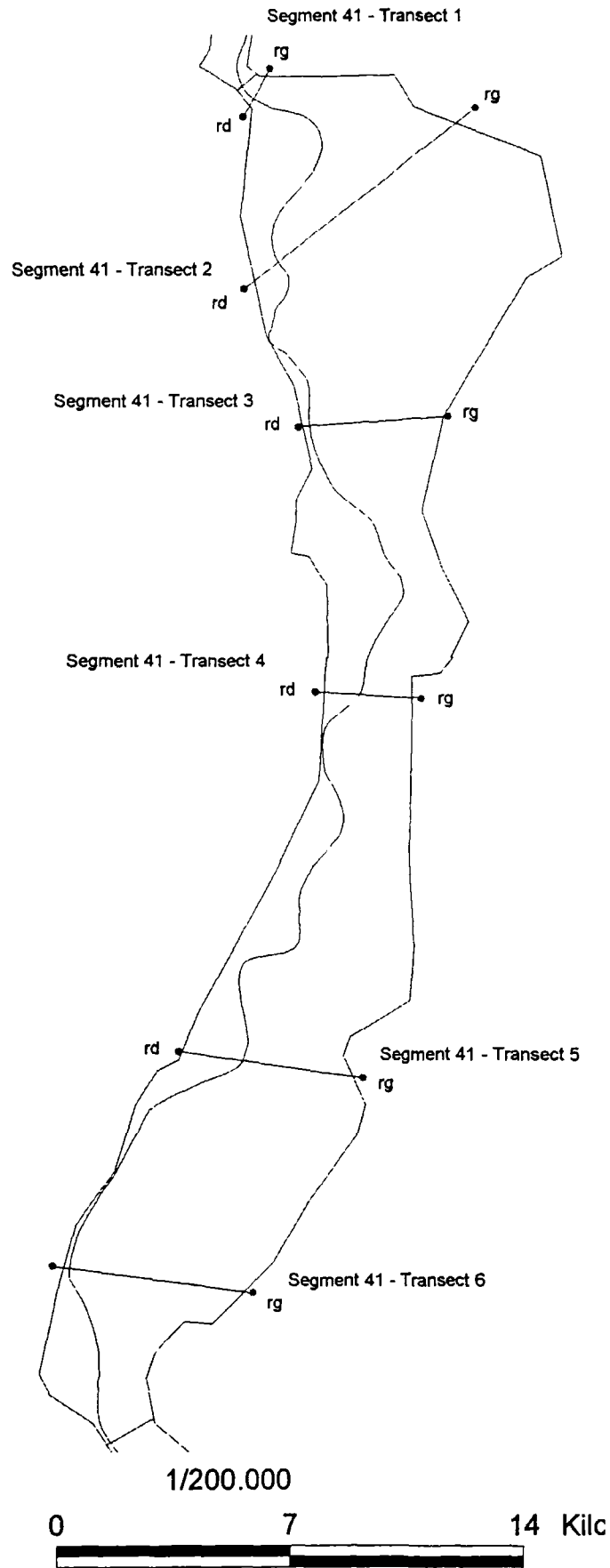
Rhône - Tronçon 3 – Segment 3



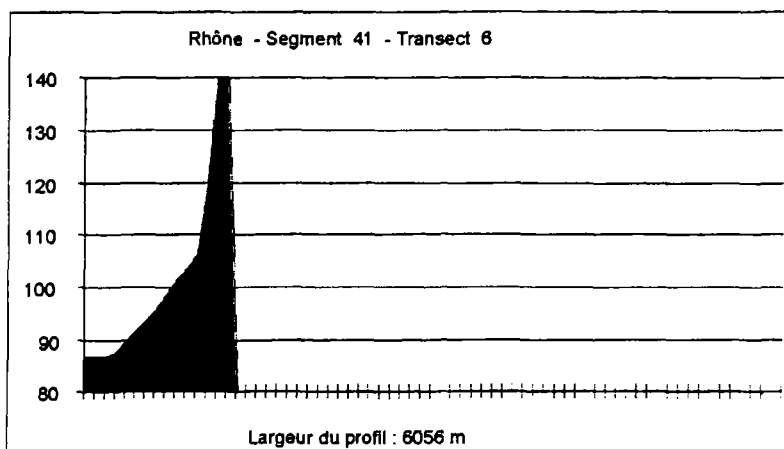
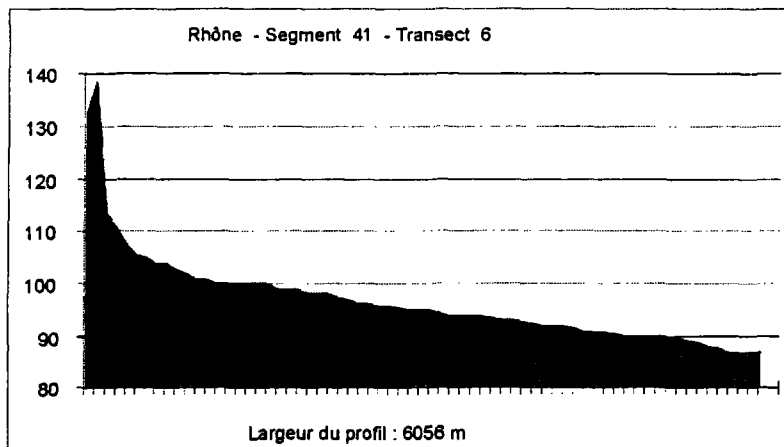
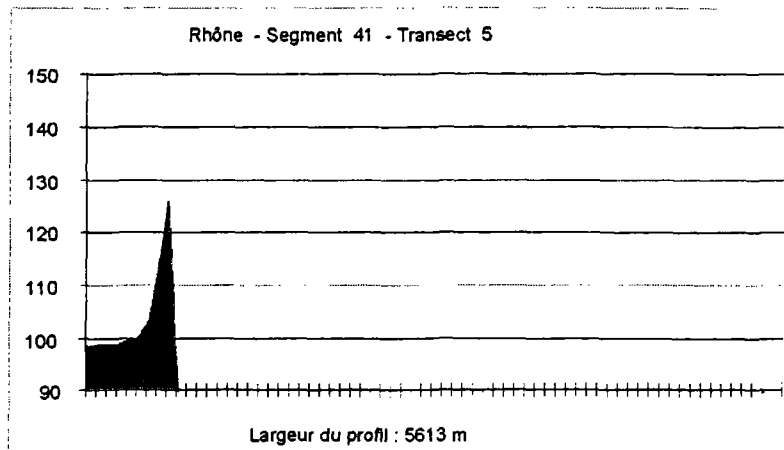
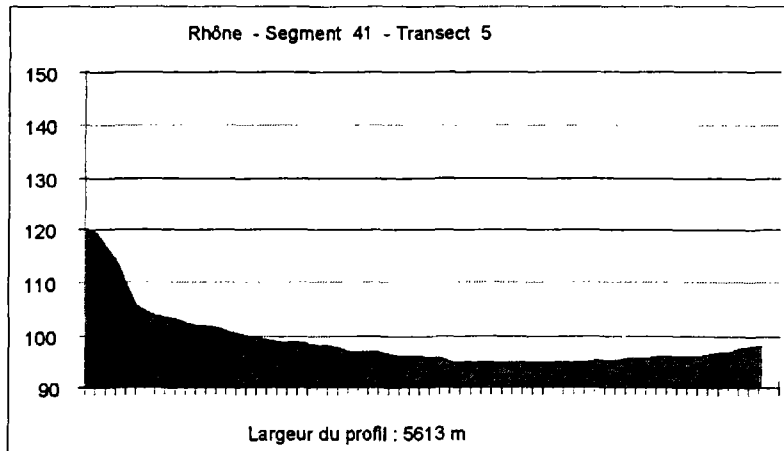
Rhône - Tronçon 4 – Segment 1



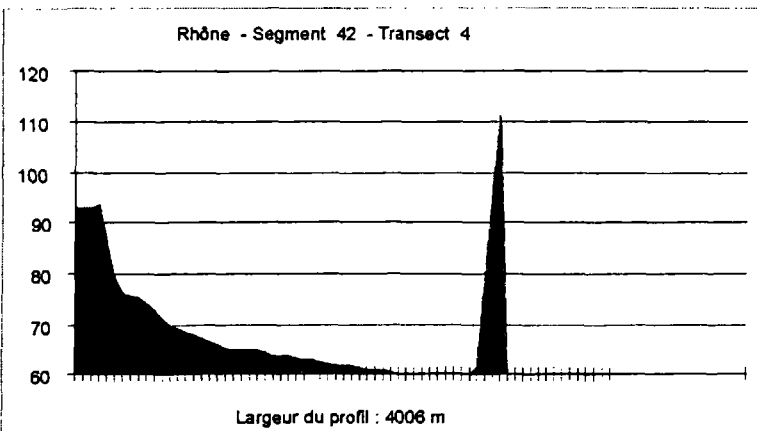
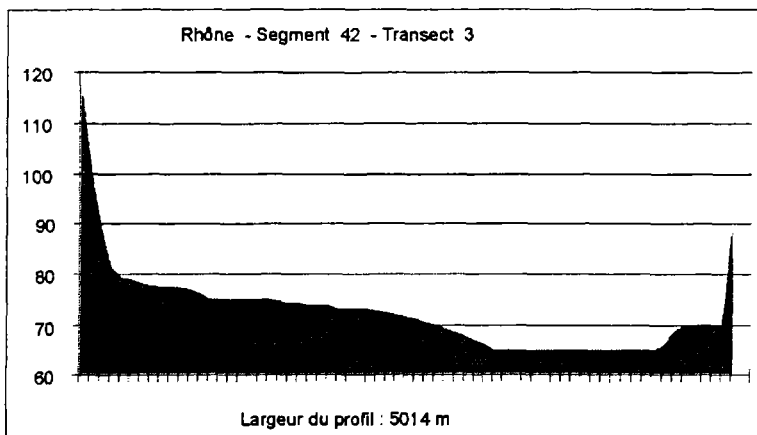
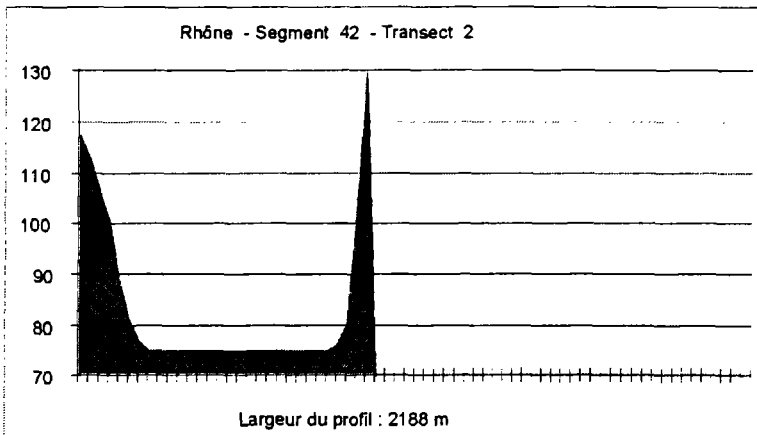
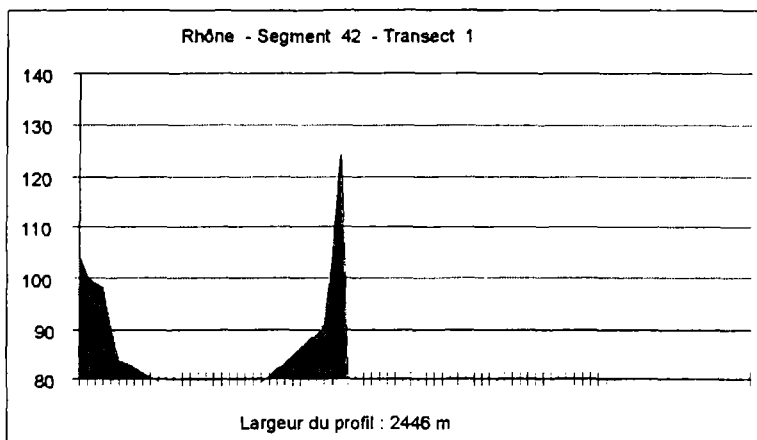
Rhône - Tronçon 4 – Segment 1



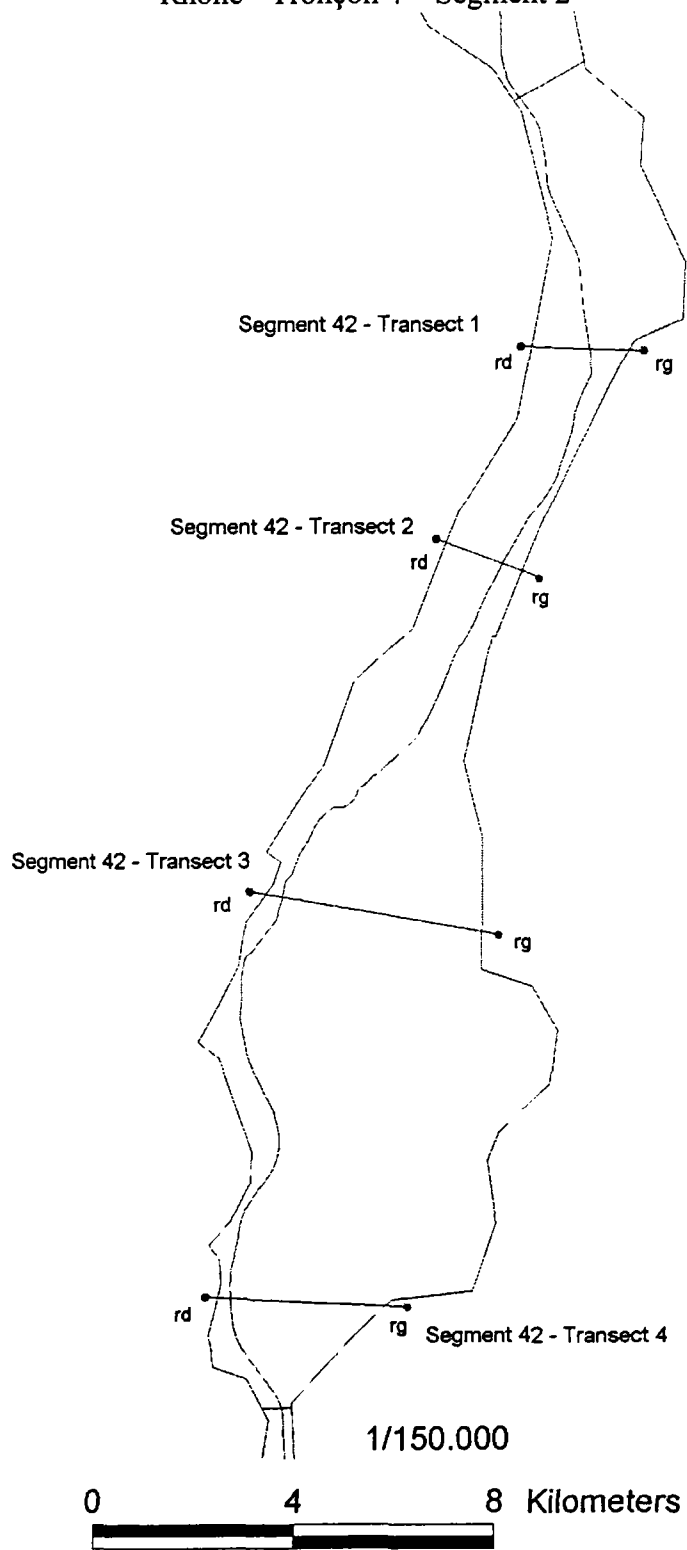
Rhône - Tronçon 4 – Segment 1



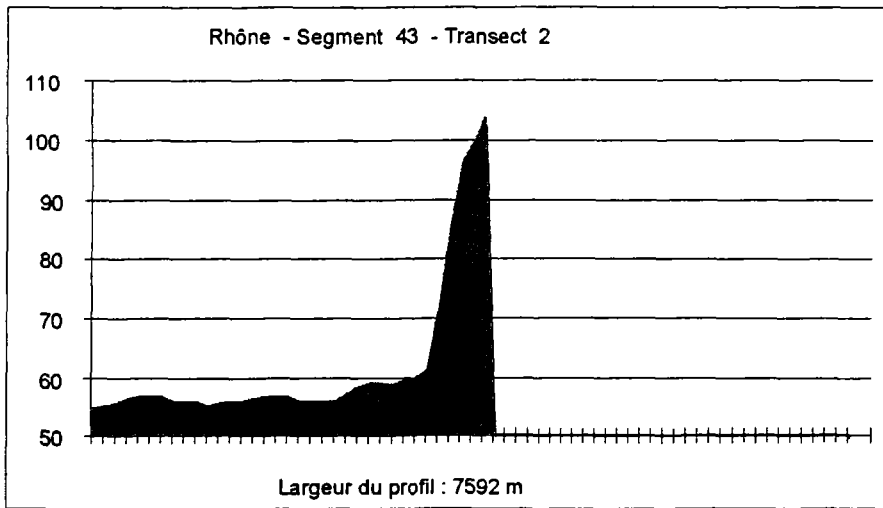
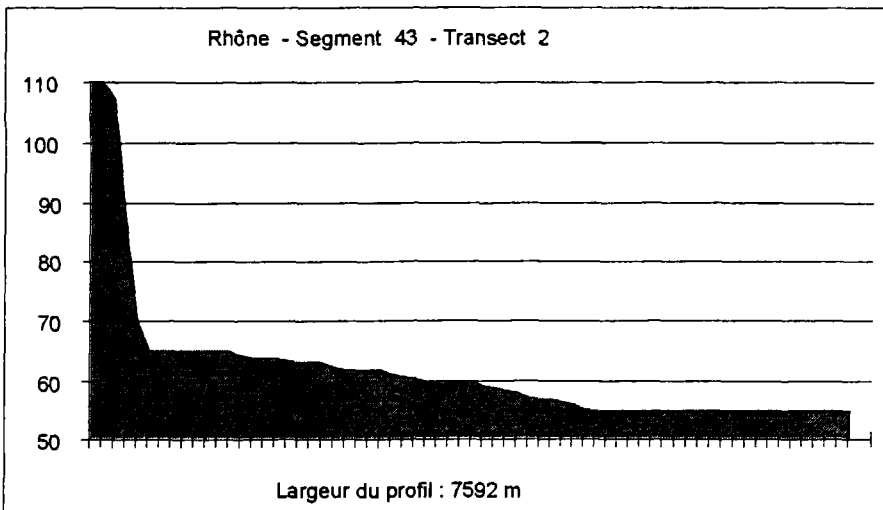
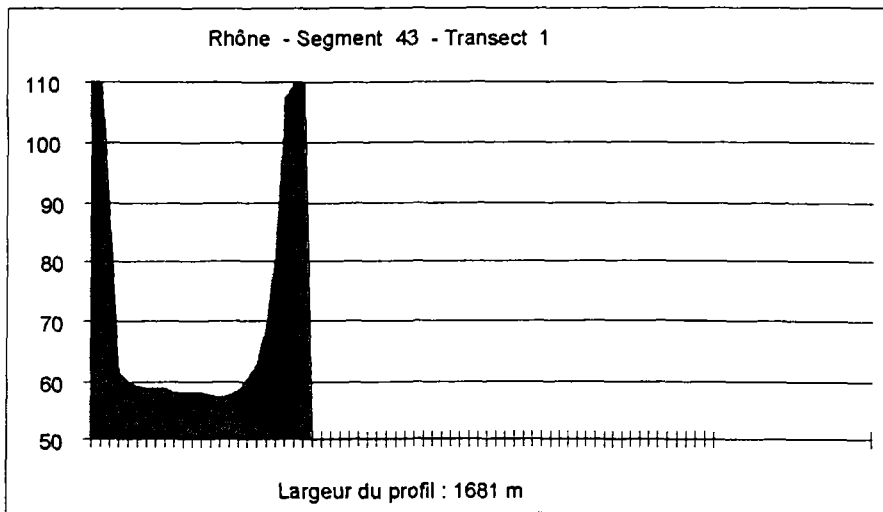
Rhône - Tronçon 4 – Segment 2



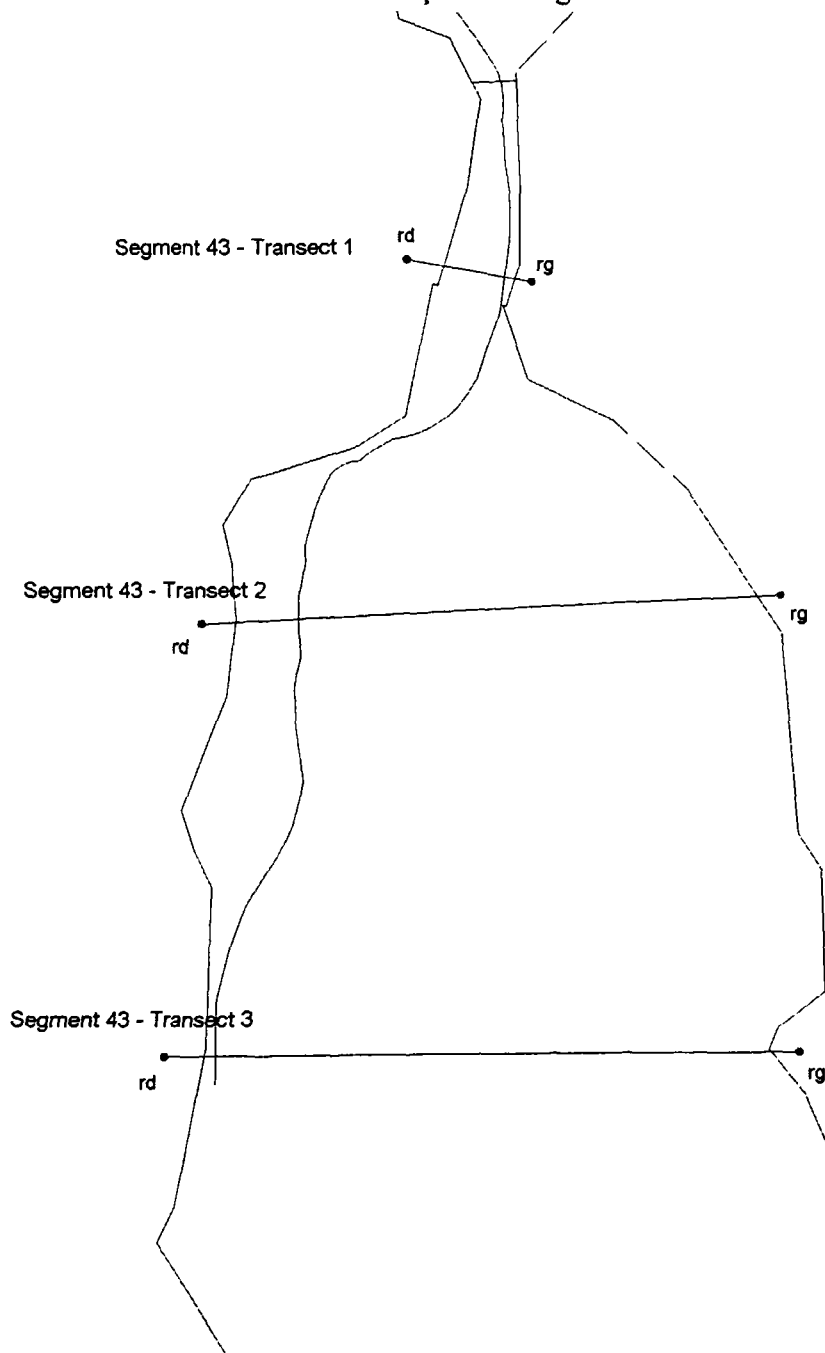
Rhône - Tronçon 4 – Segment 2



Rhône - Tronçon 4 – Segment 3



Rhône - Tronçon 4 – Segment 3

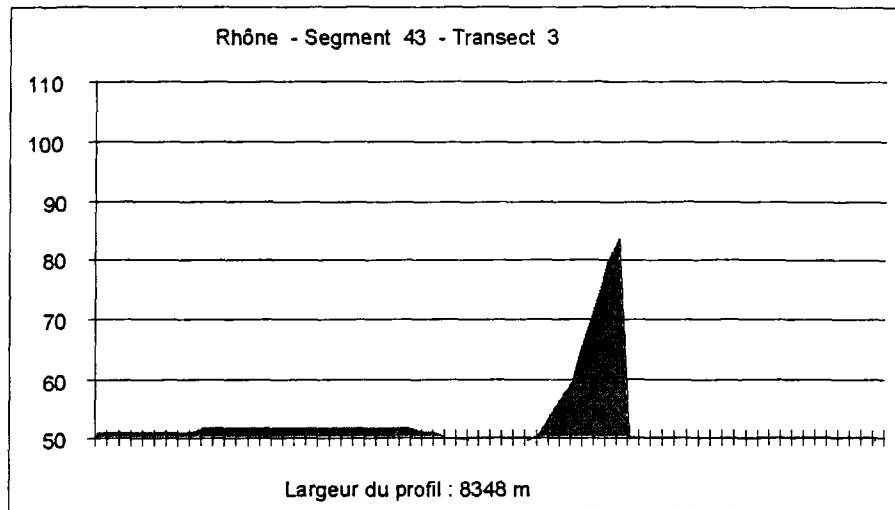
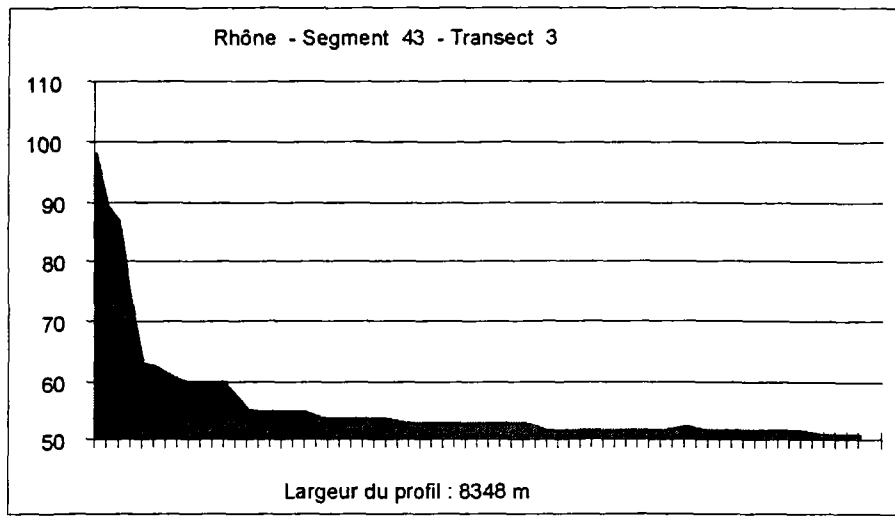


1/100.000

0 2.5 5 Kilometers



Rhône - Tronçon 4 – Segment 3



CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



4.3 Saône

4-3-1 Analyse de l'occupation du sol

Dans la zone du fond de vallée

Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)	Total
11	1,0	47,0	24,4	27,3	0,2	100
12	4,1	57,6	25,2	11,7	1,4	100
21	7,1	58,3	24,0	10,4	0,2	100
22	6,9	40,9	45,6	5,6	1,0	100
23	7,1	57,4	19,3	15,5	0,7	100
31	22,0	49,0	19,2	8,9	0,9	100
Total	8,0	51,7	26,3	13,2	0,7	100

4-3-2 Analyse morphologique

4-3-2-1 Largeur du fond de vallée (m)

Segment	MAX	MIN	MOYENNE
11	5930	208	1108
12	4034	584	1780
21	7016	3056	5159
22	10518	2573	5526
23	7758	621	4197
31	6620	1302	4204

4-3-2-2 Longueur du lit, longueur du squelette du fond de vallée et valeur de sinuosité

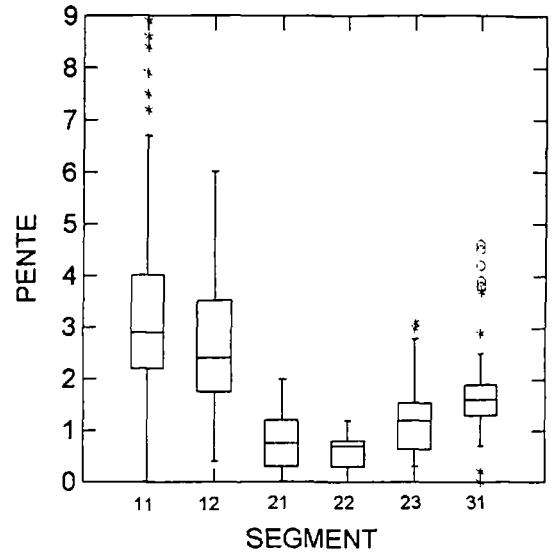
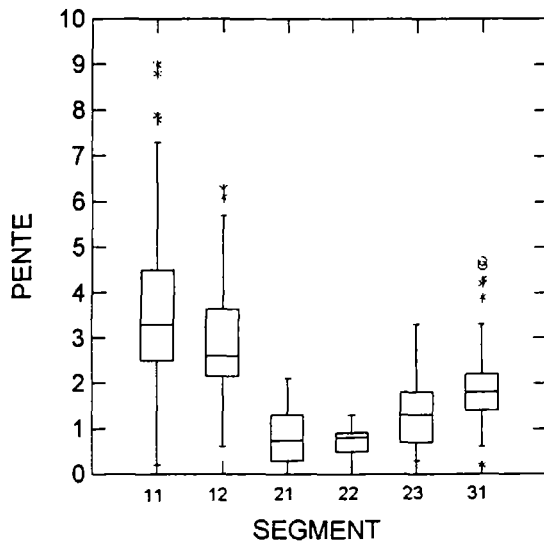
Segment	Long tronçon (m)	Long median (m)	Sinuosité	Ordre
11	114397	77144	1,48	5
12	115995	84135	1,38	6
21	50151	36181	1,39	6
22	40175	26676	1,51	6
23	59187	47508	1,25	7
31	46957	53125	1	7

4-3-2-3 Pente de la vallée

Segment	Altitude nœud amont (m)	Altitude nœud aval (m)	Pente (‰)
11	399	210	2,45
12	210	189	0,25
21	189	180	0,25
22	180	175	0,19
31	175	175	0,00
23	175	170	0,11



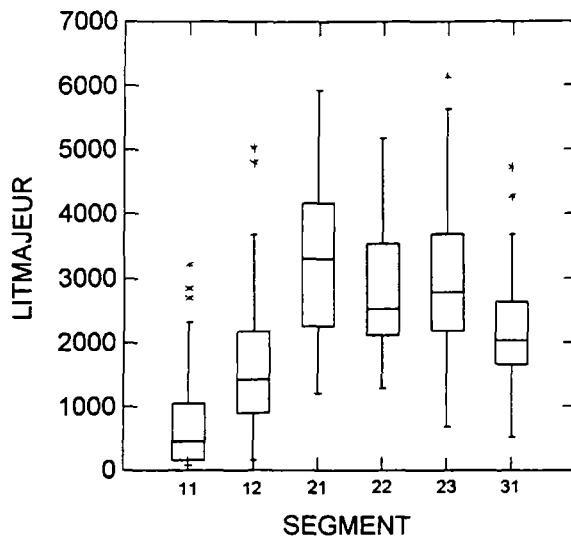
4-3-2-4 Pente des versants



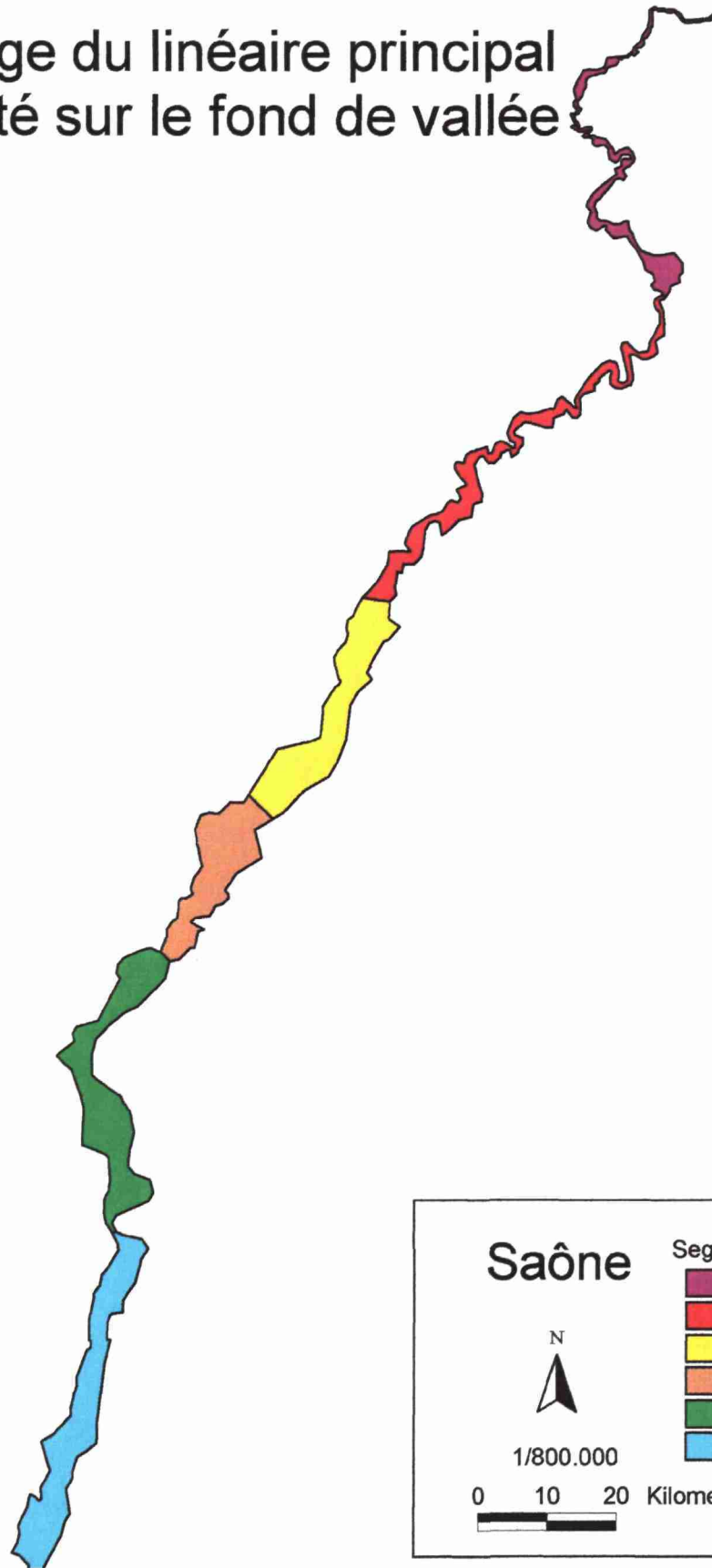
Segment	Moy Pent Versant 1 (%)	Moy Pent Versant 2 (%)
11	3,73	3,46
12	2,92	2,67
21	0,88	0,81
22	0,71	0,62
23	1,36	1,26
31	2,00	1,81

4-3-2-5 Largeur théorique du lit majeur

Segment	Moyenne (m)
11	745
12	1576
21	3242
22	2740
23	3019
31	2152

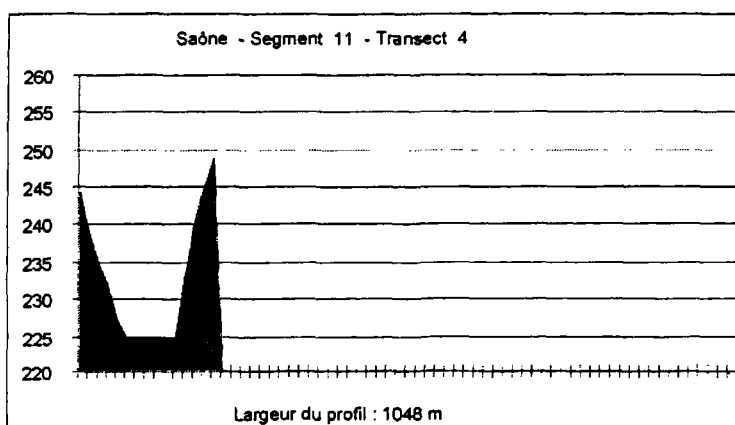
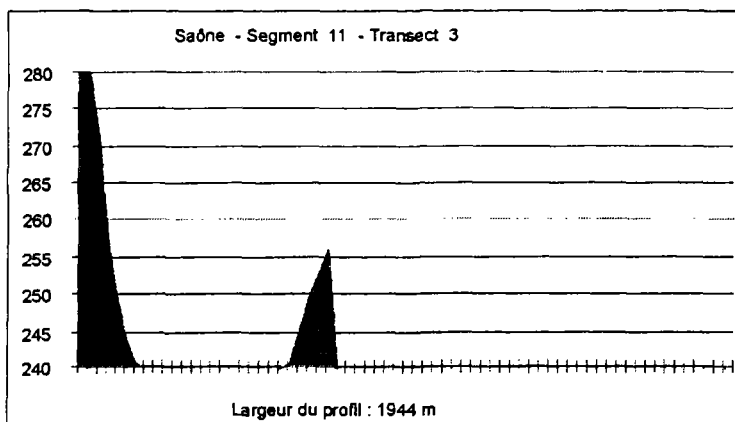
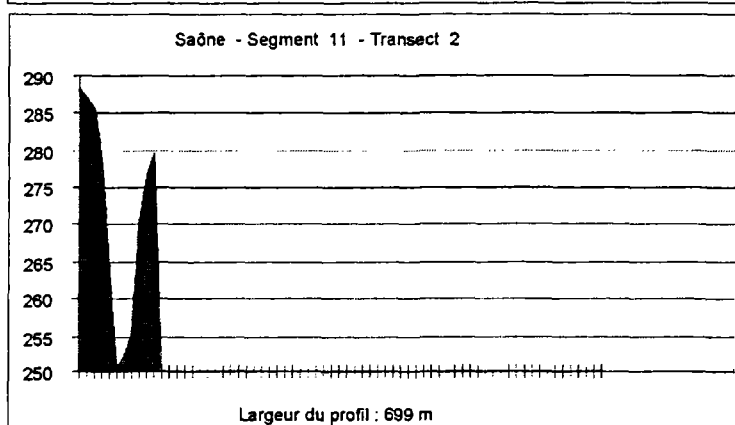
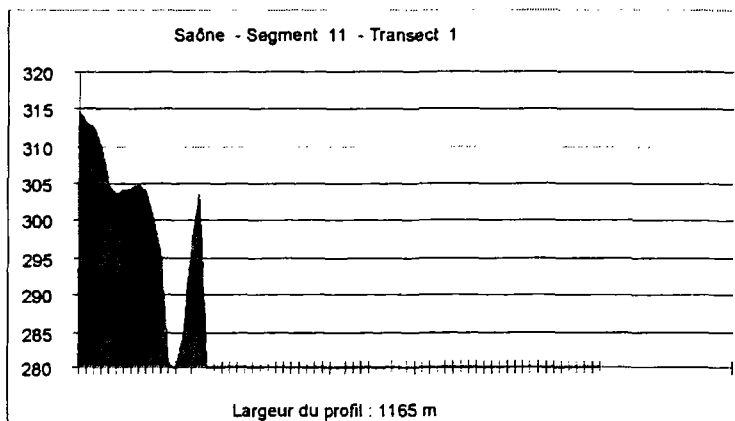


Découpage du linéaire principal représenté sur le fond de vallée

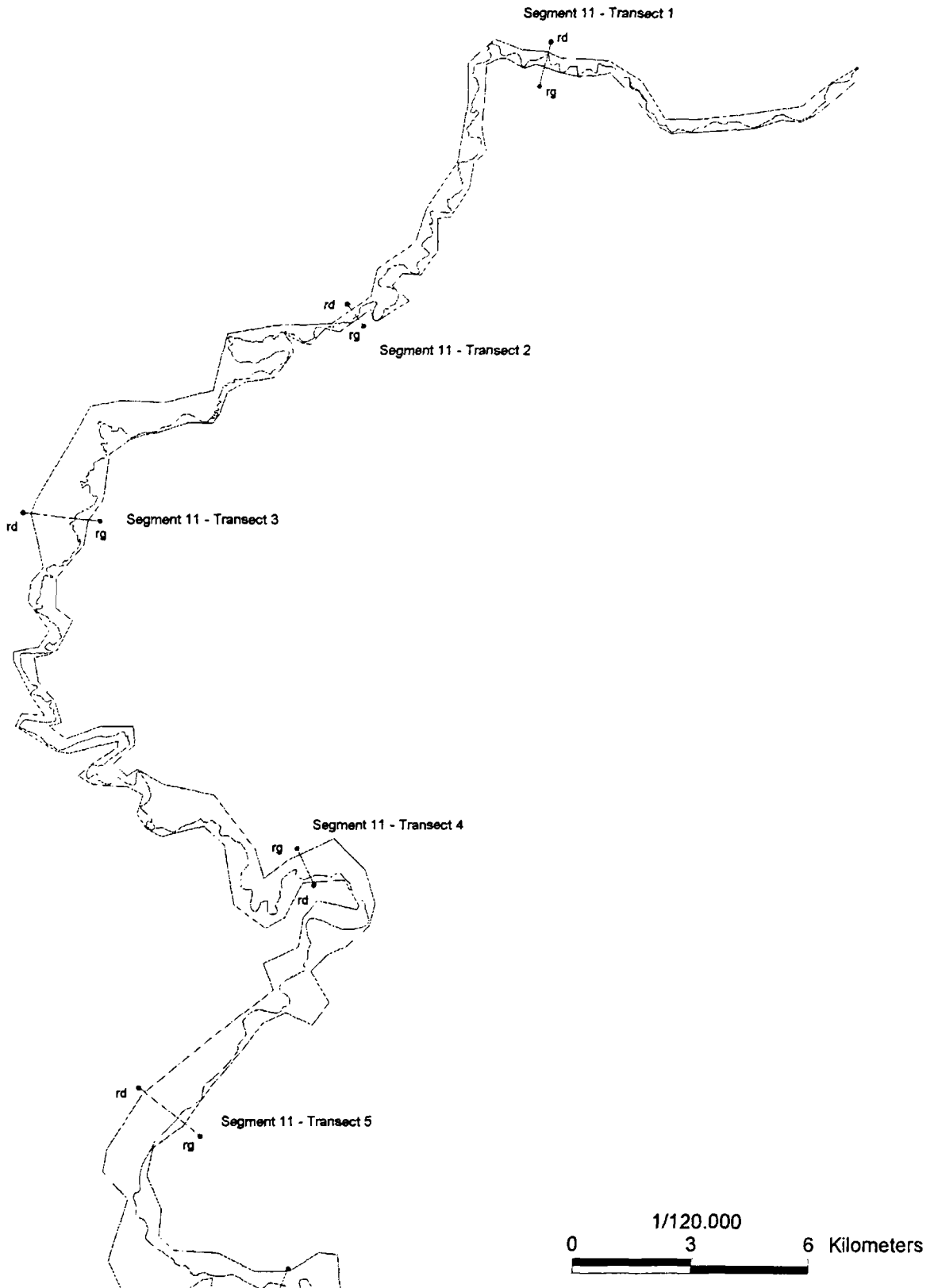


4-3-3-2 Par tronçon

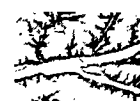
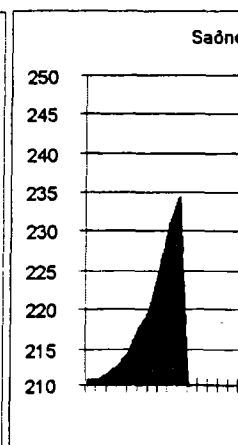
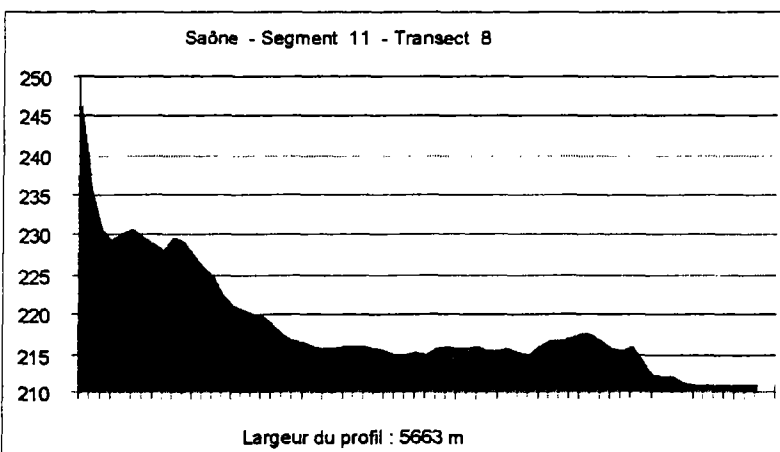
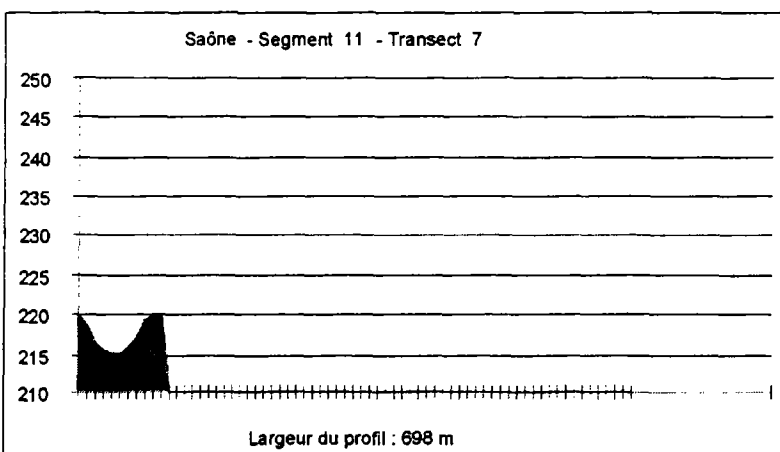
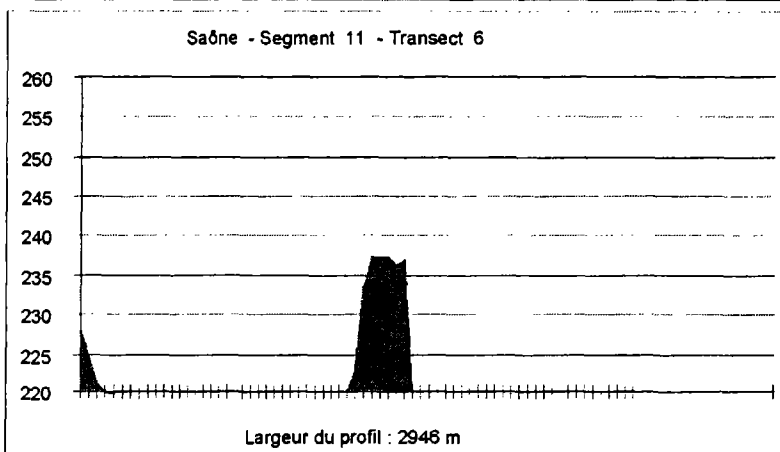
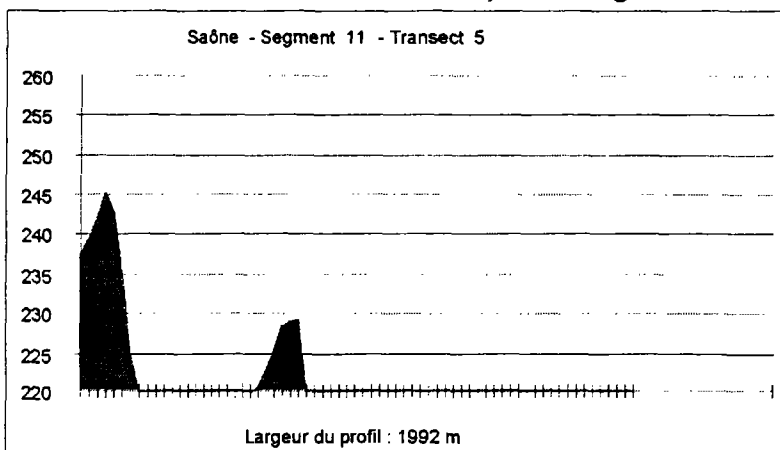
Saône - Tronçon 1 - Segment 1



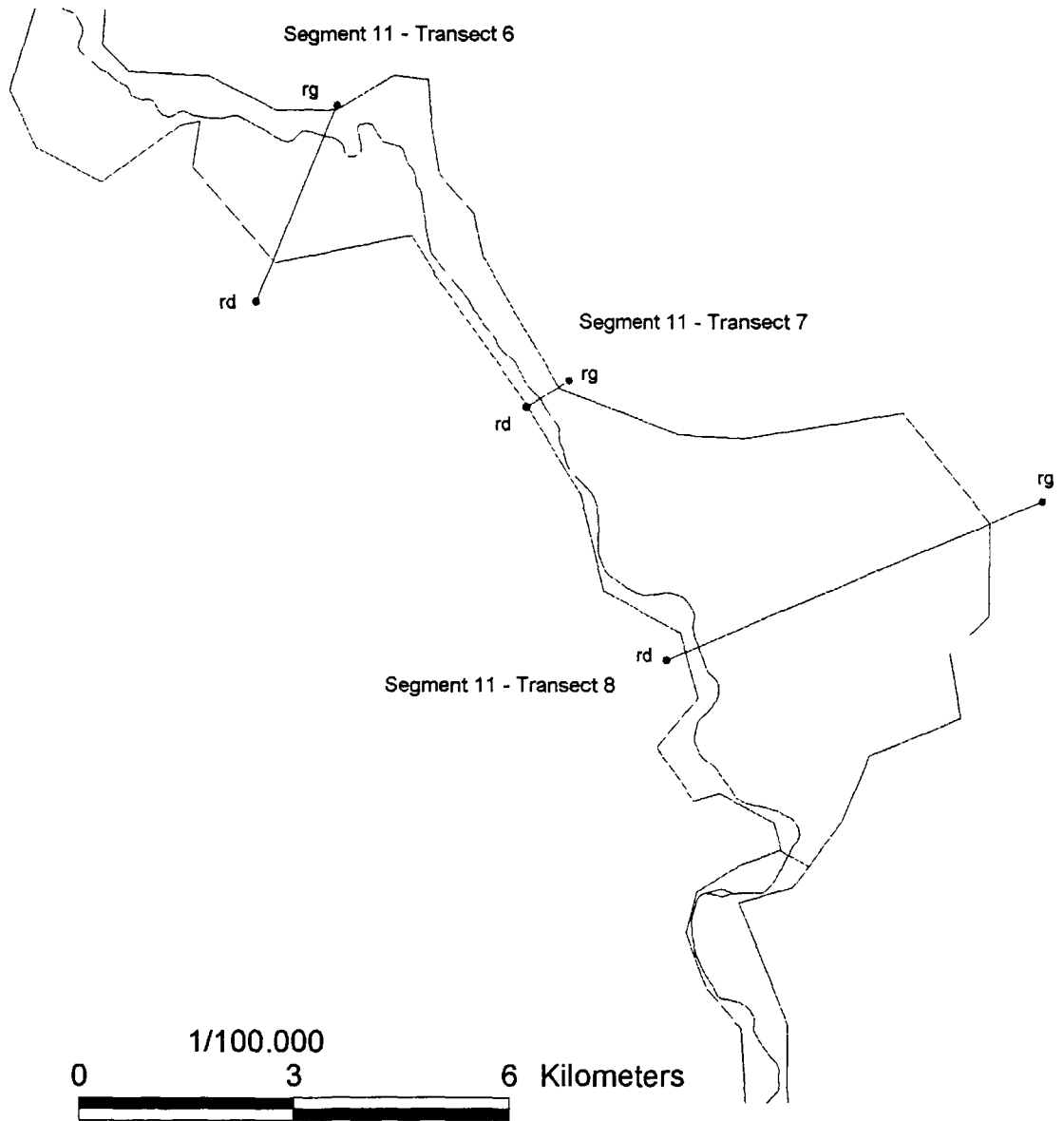
Saône - Tronçon 1 - Segment 1



Saône - Tronçon 1 - Segment 1

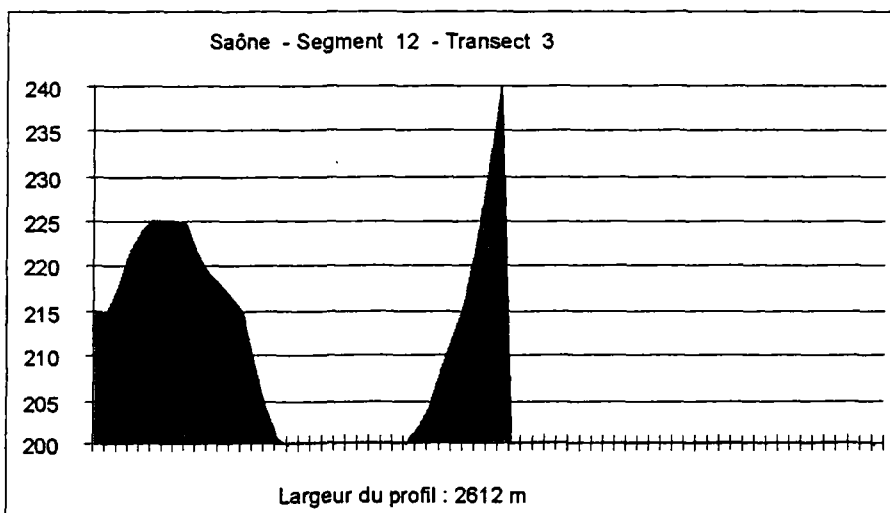
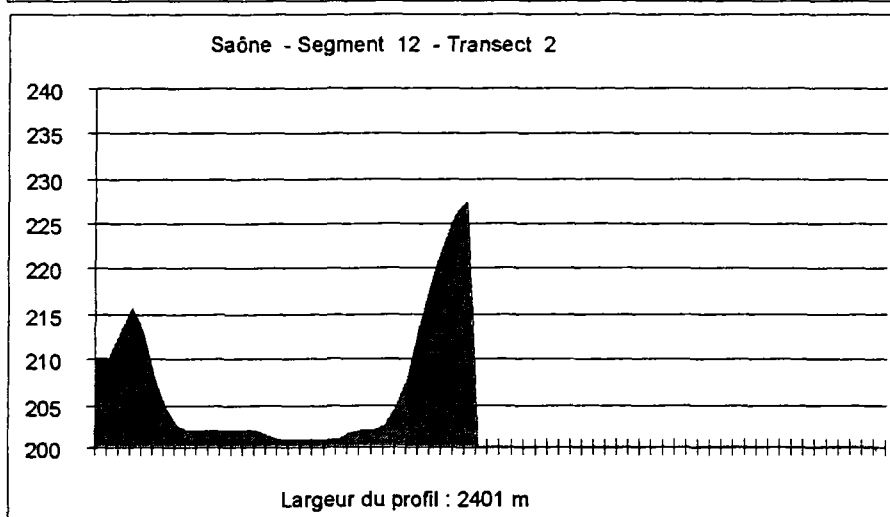
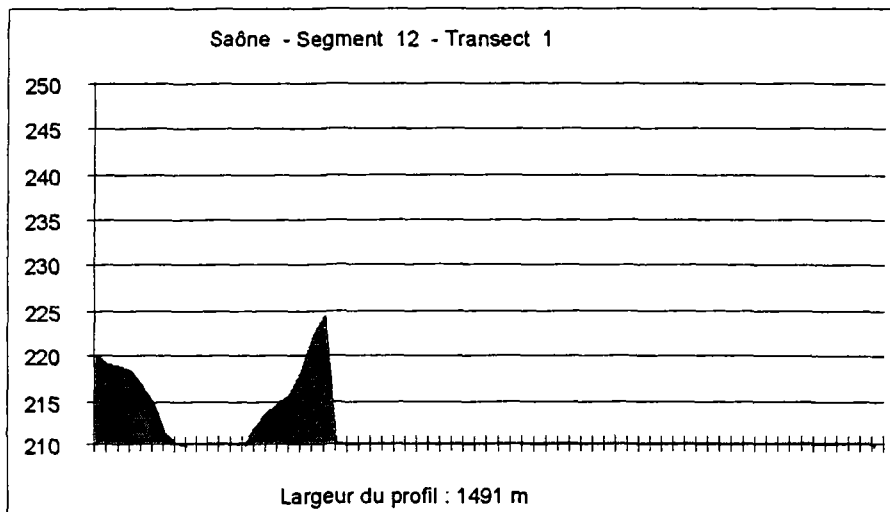


Saône - Tronçon 1 - Segment 1

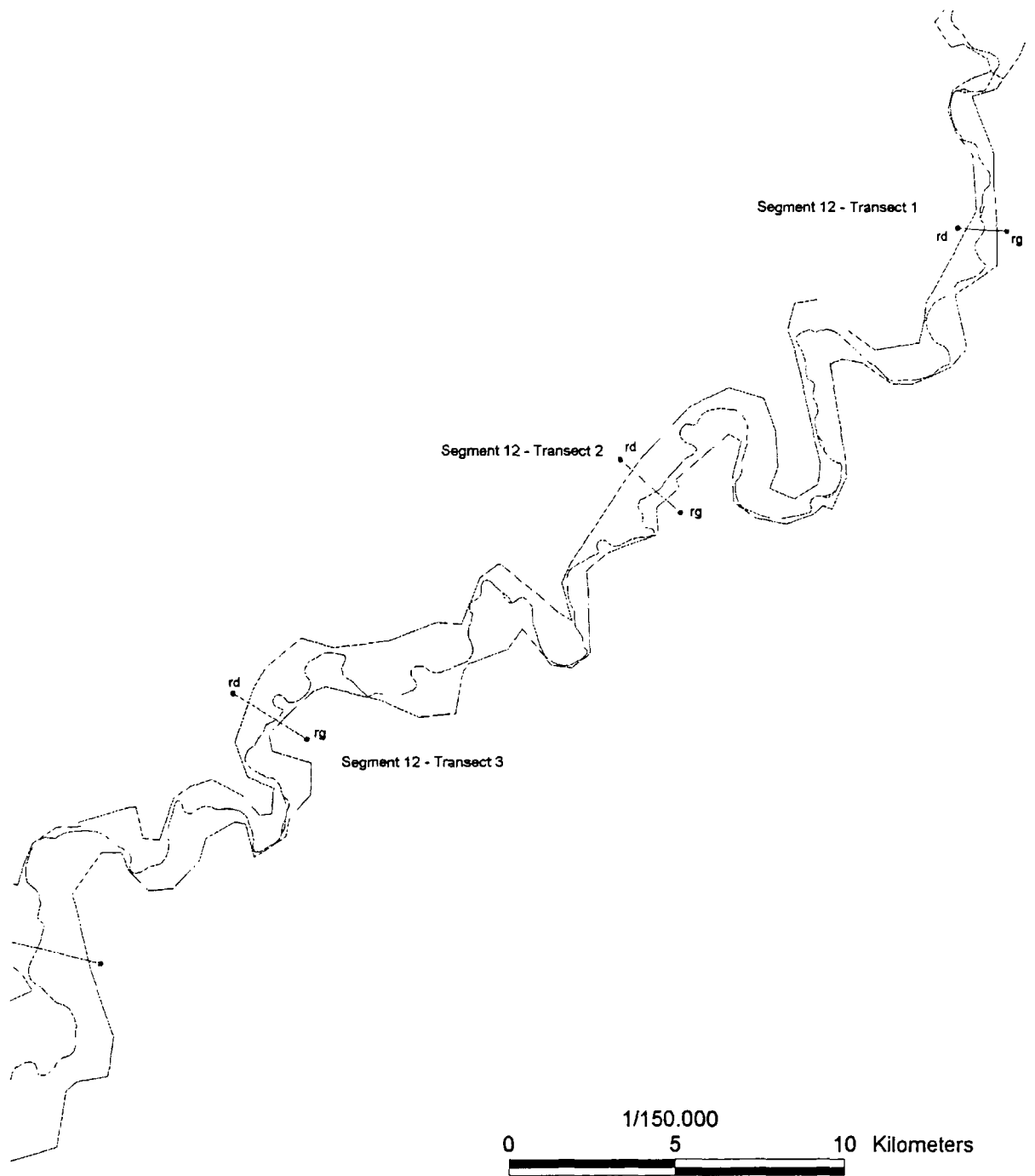


CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Saône - Tronçon 1 - Segment 2



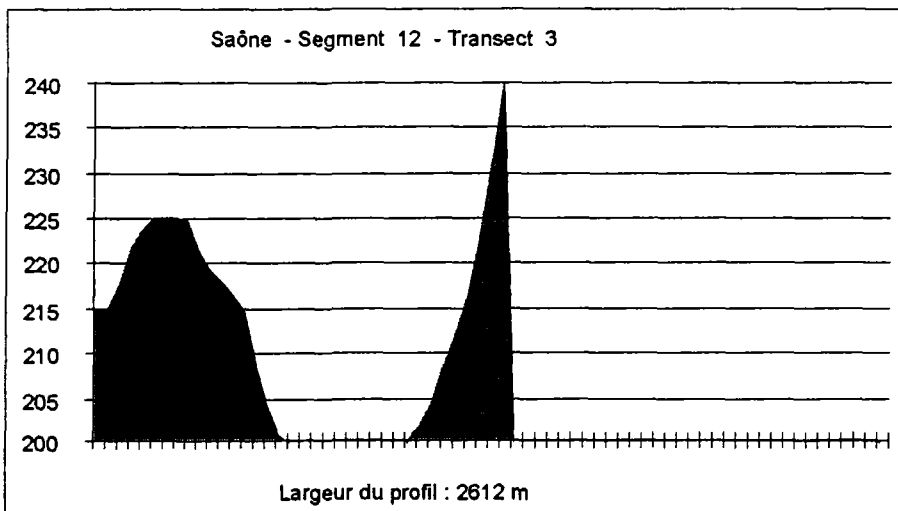
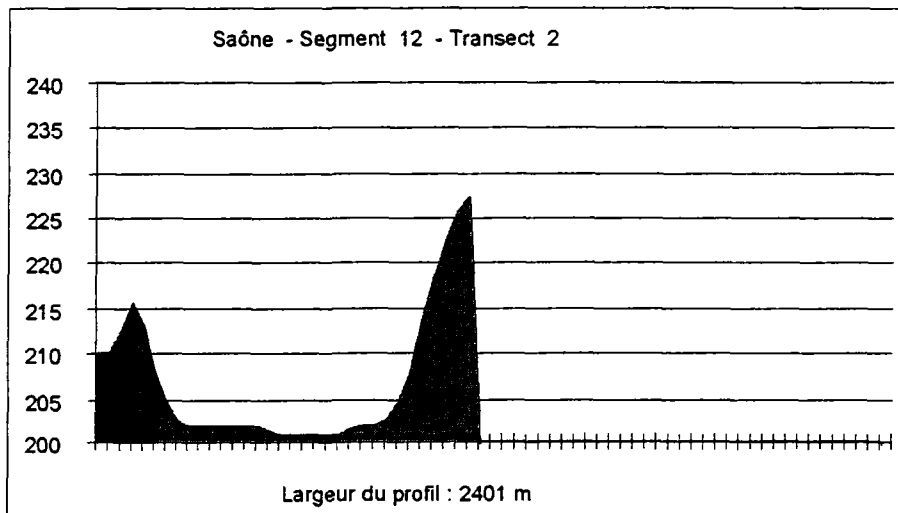
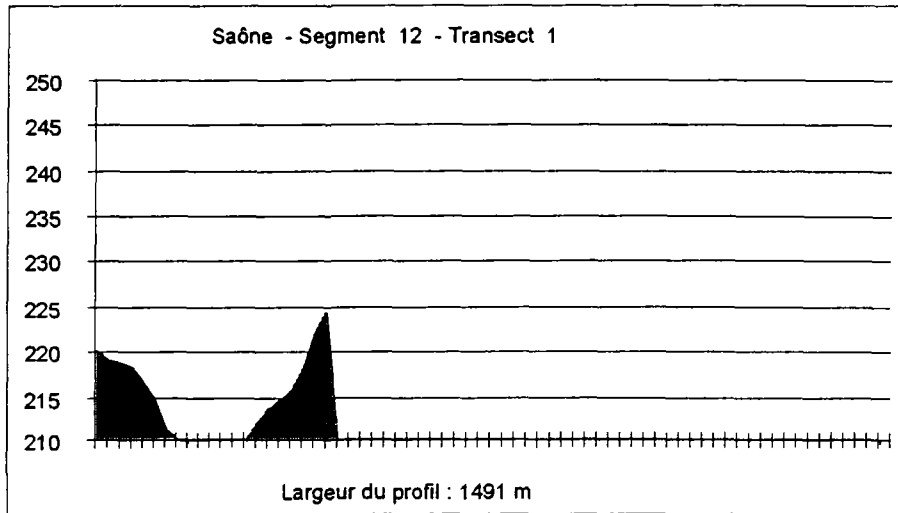
Saône - Tronçon 1 - Segment 2



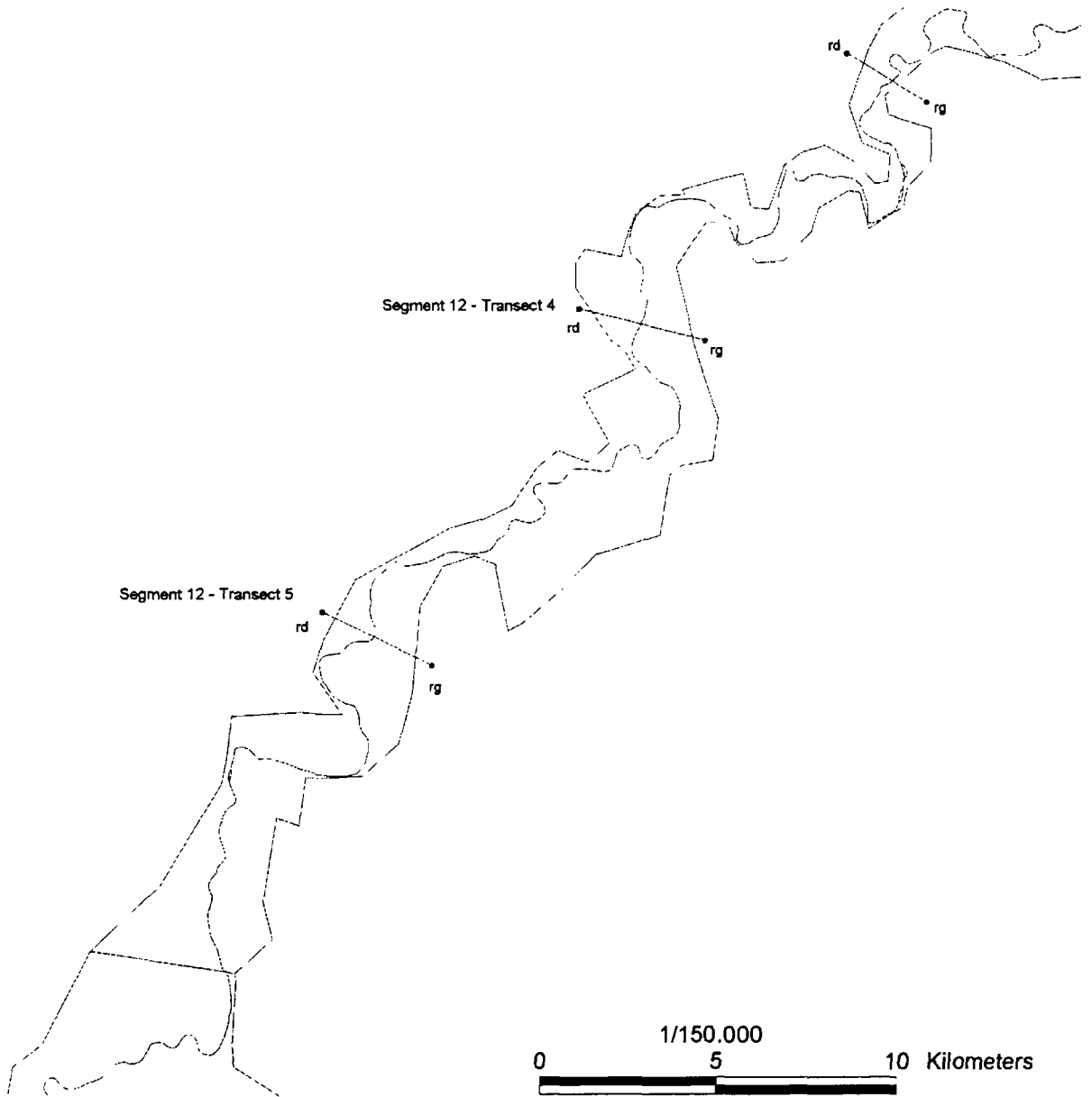
CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



Saône - Tronçon 1 - Segment 2

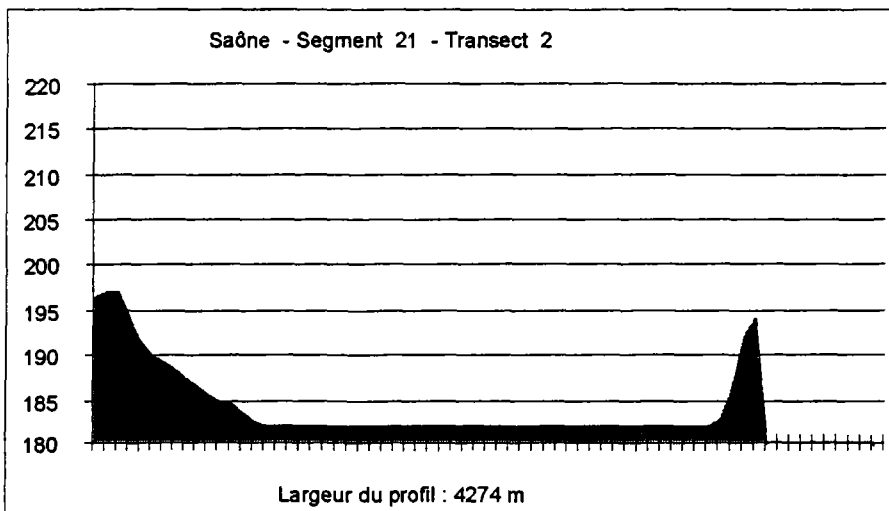
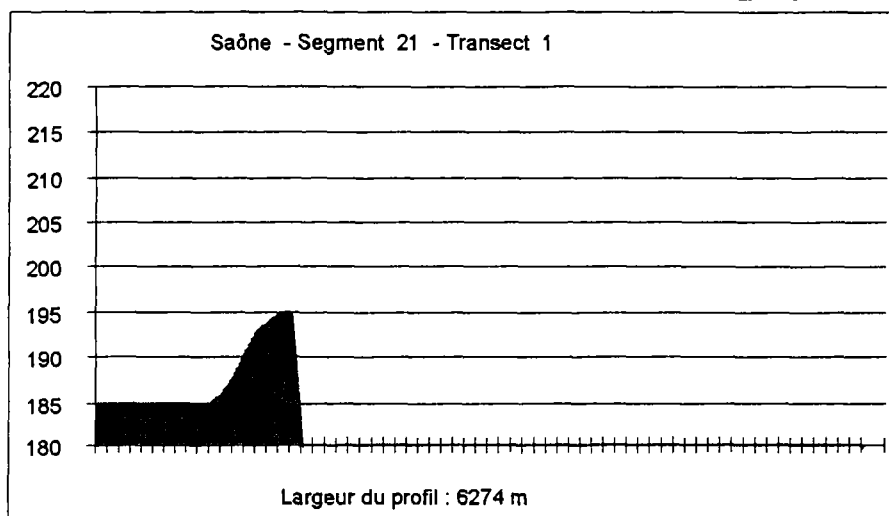
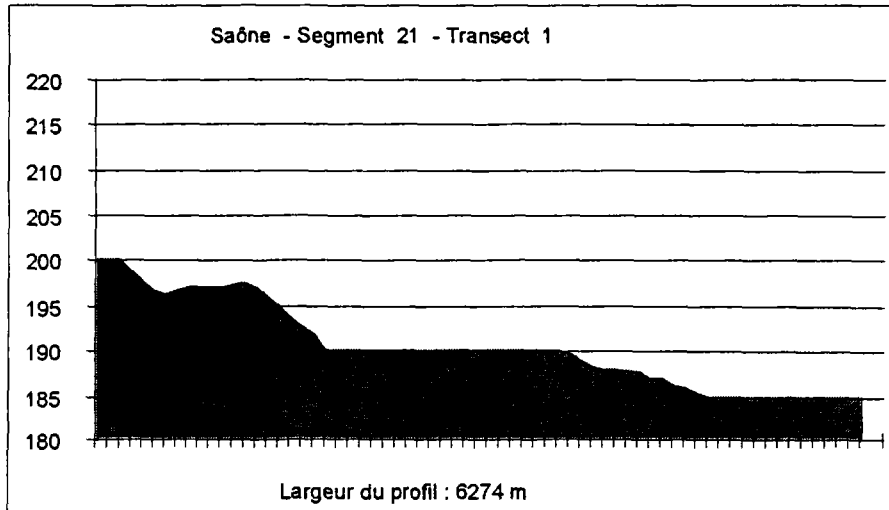


Saône - Tronçon 1 - Segment 2

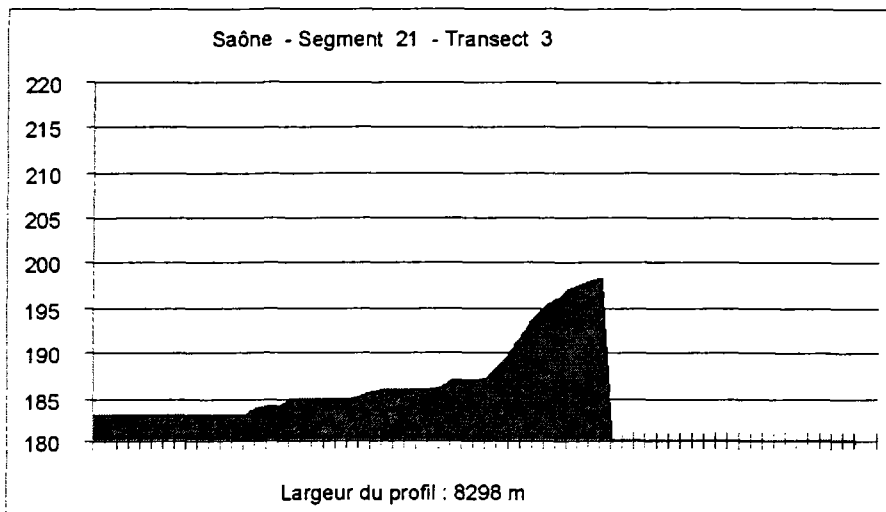
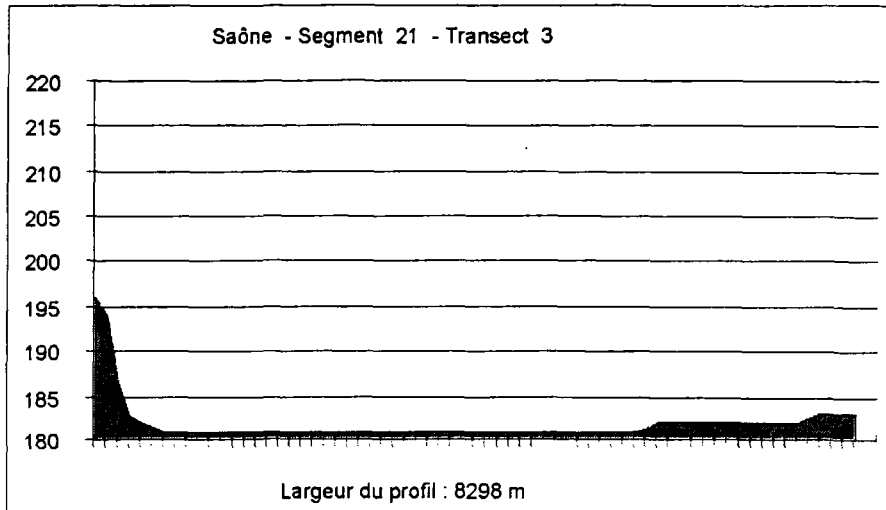


CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

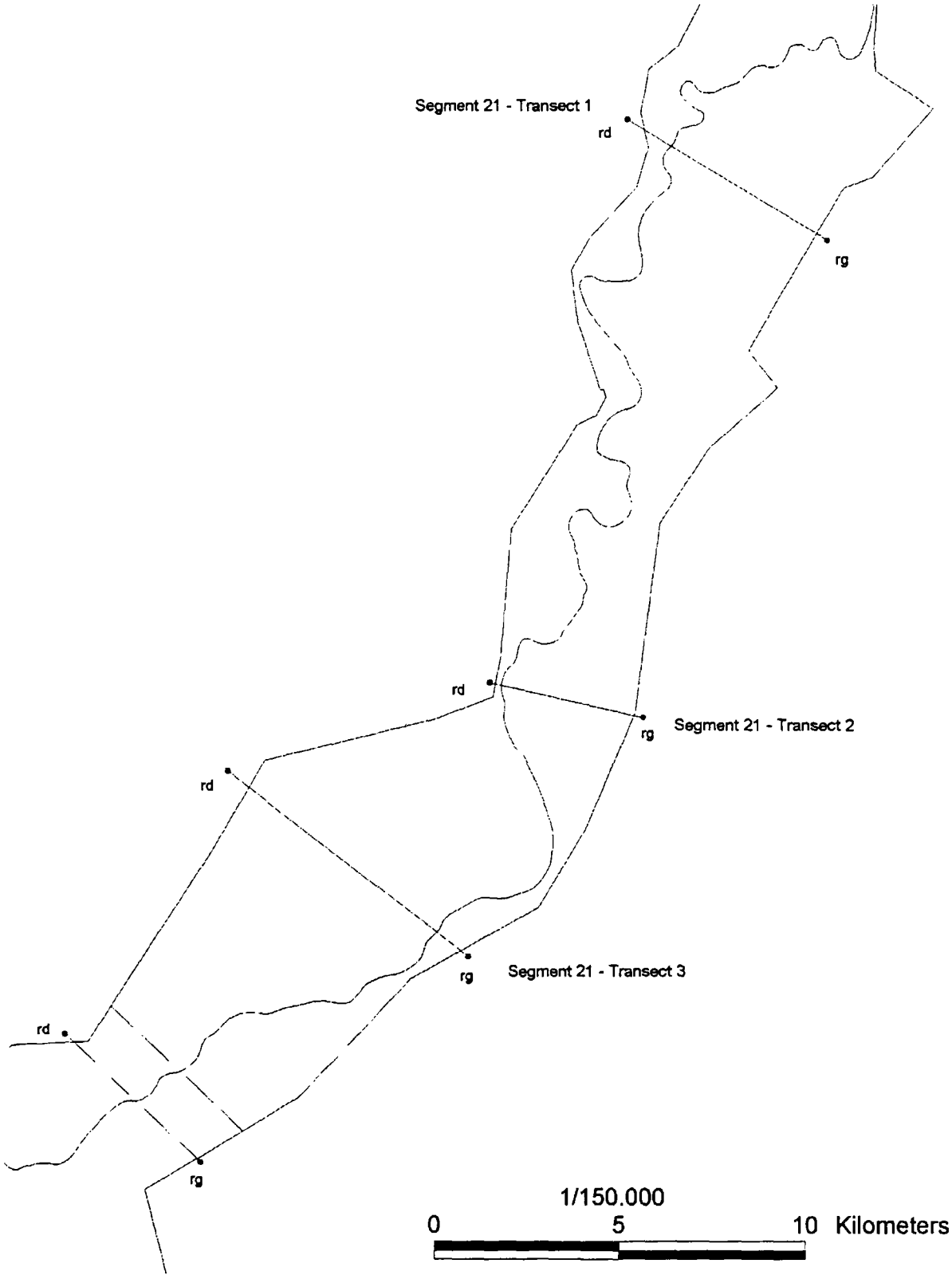
Saône - Tronçon 2 - Segment 1



Saône - Tronçon 2 - Segment 1



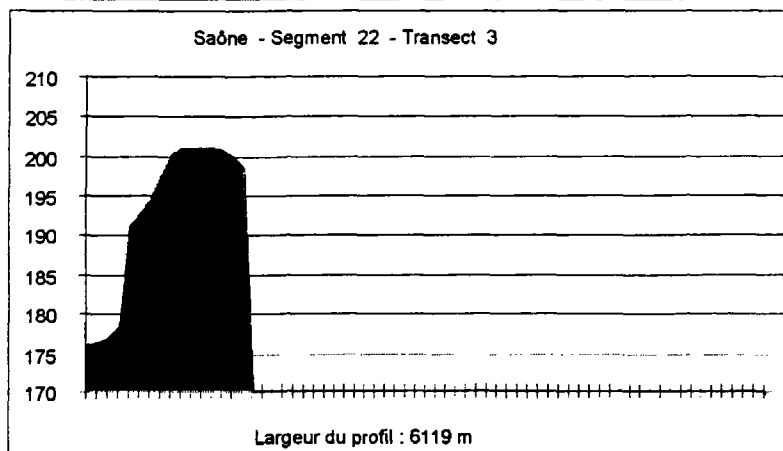
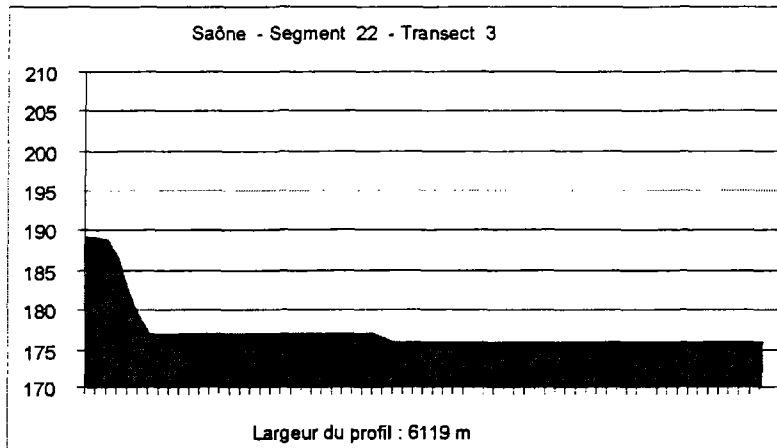
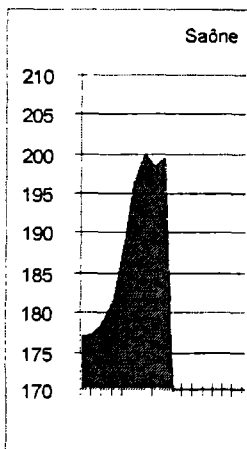
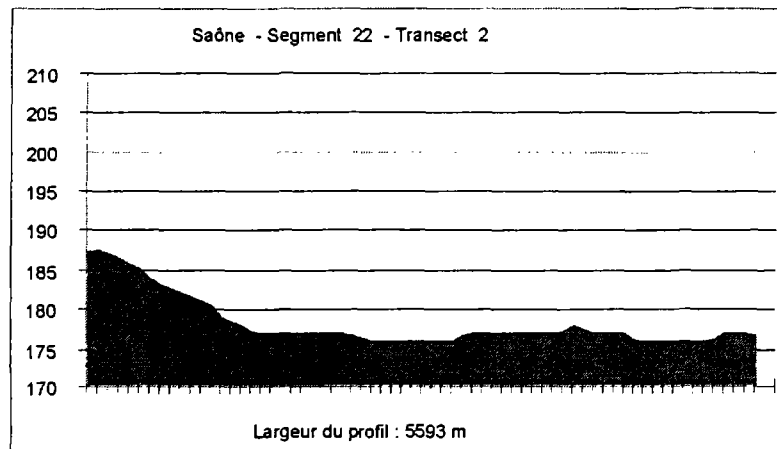
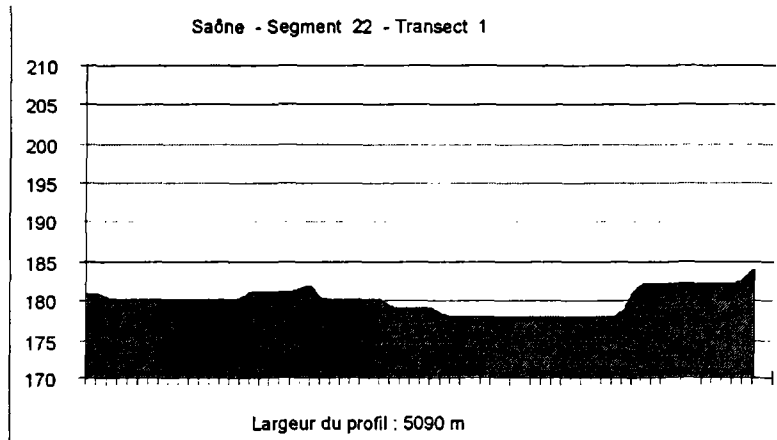
Saône - Tronçon 2 - Segment 1



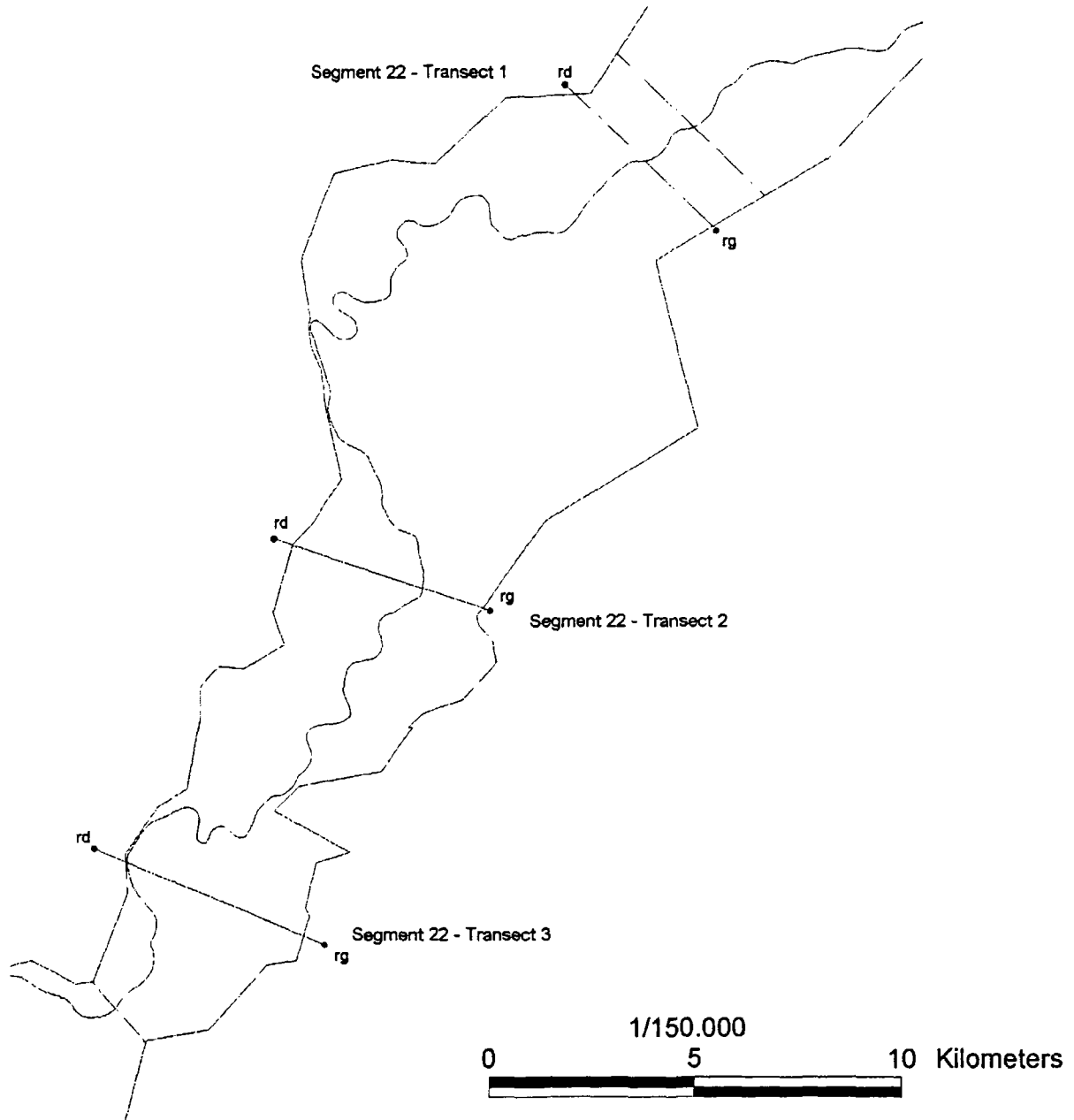
CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



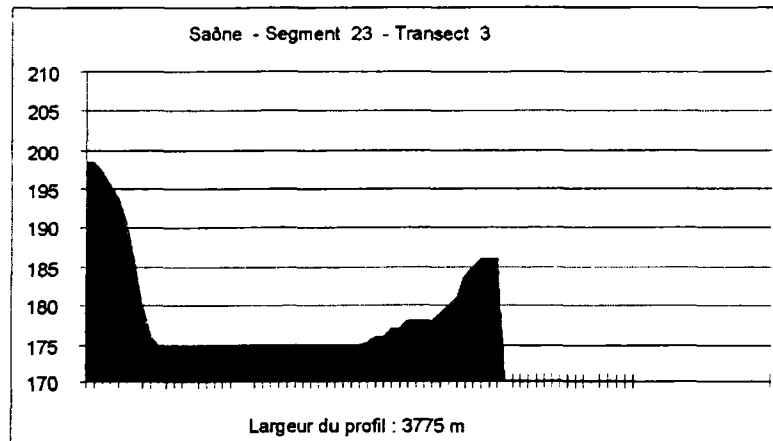
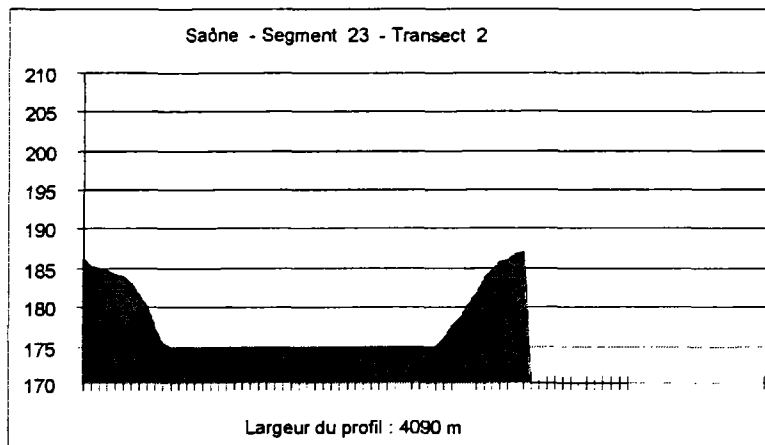
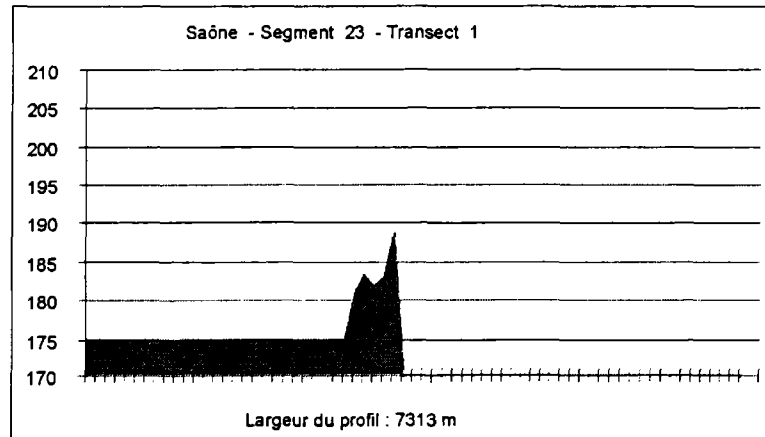
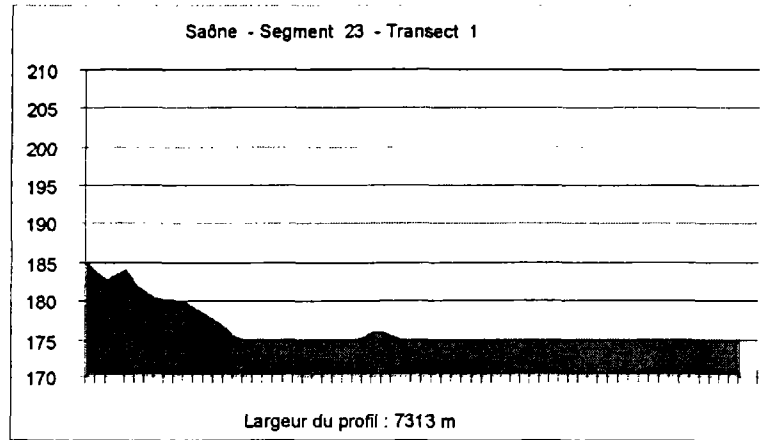
Saône - Tronçon 2 - Segment 2



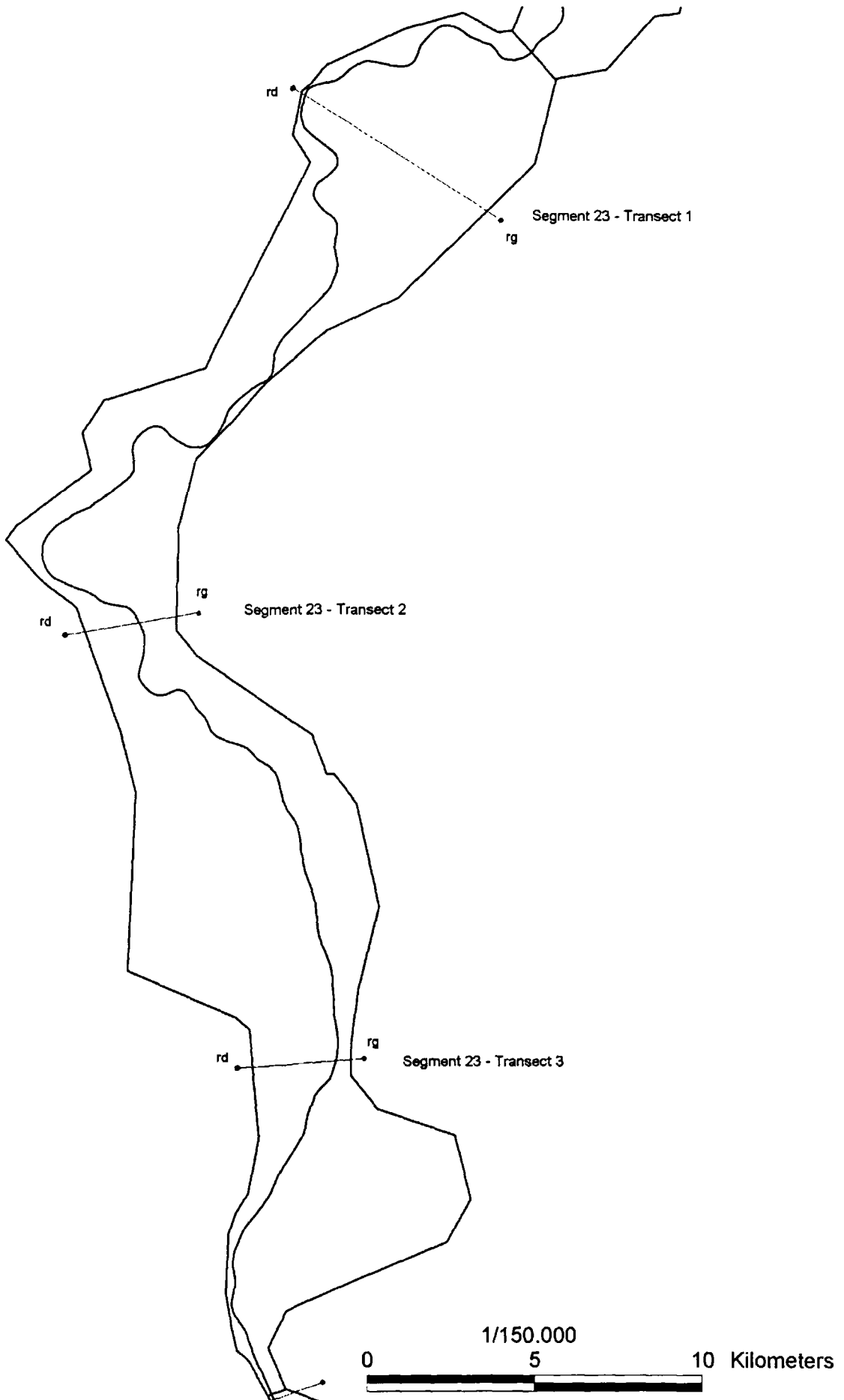
Saône - Tronçon 2 - Segment 2



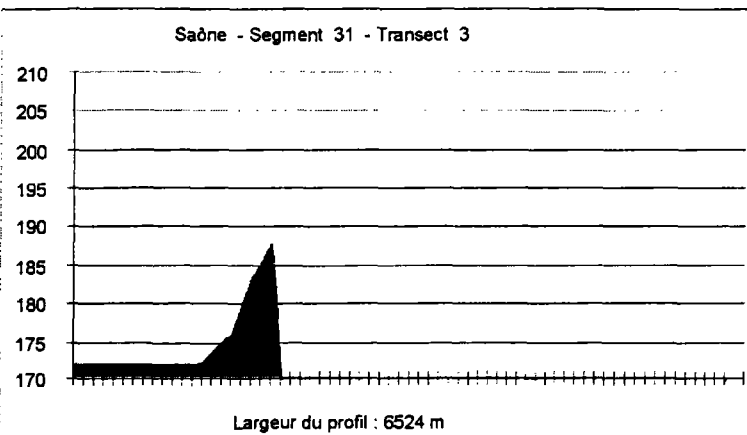
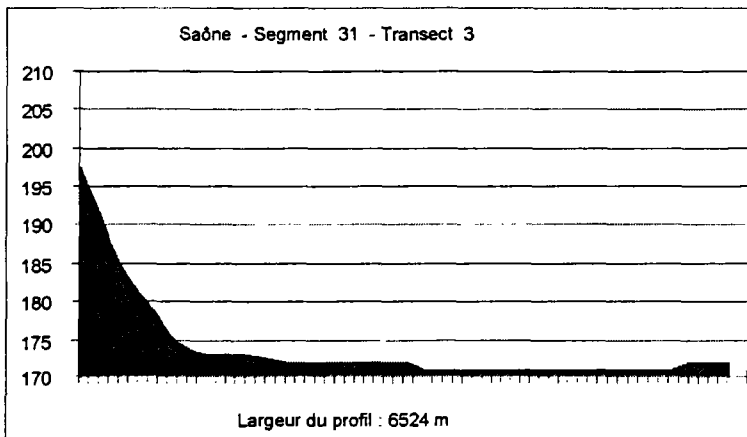
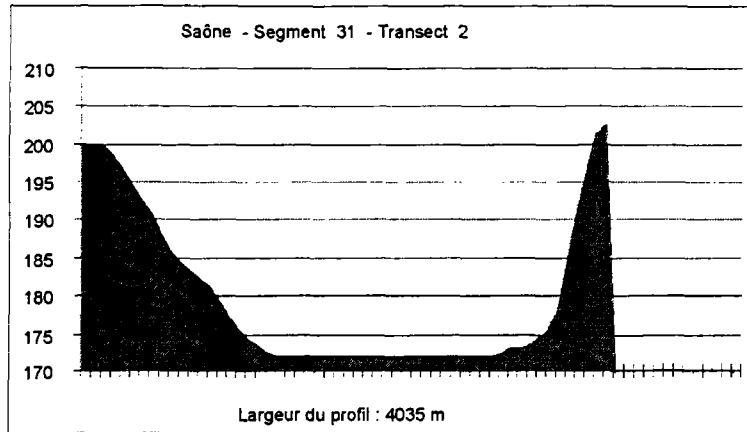
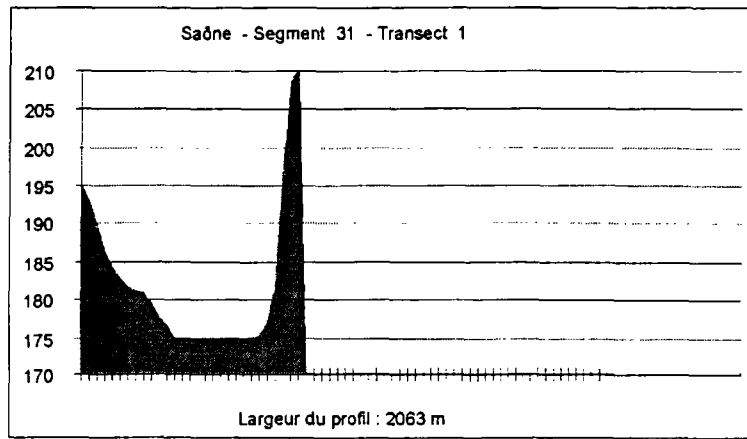
Saône - Tronçon 2 - Segment 3



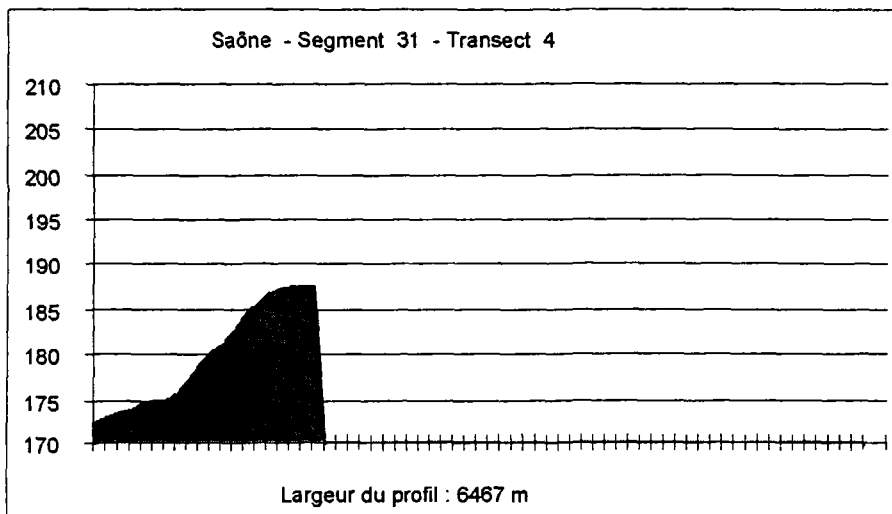
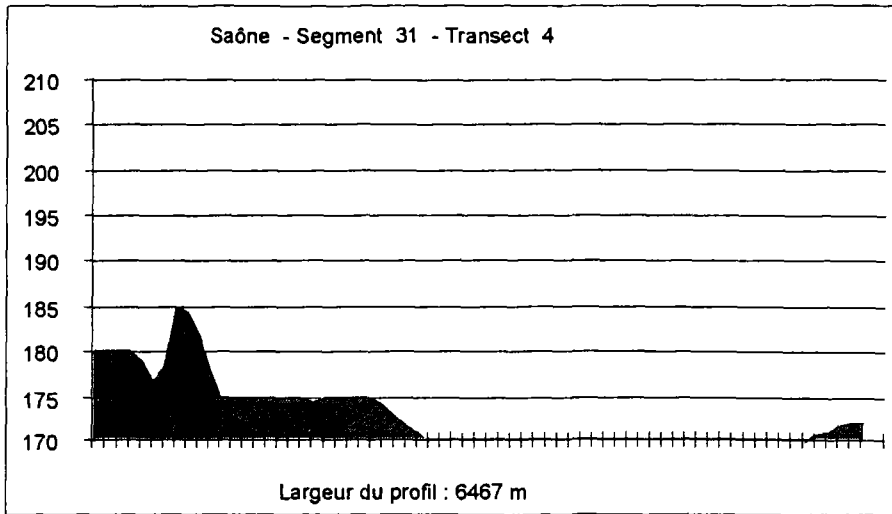
Saône - Tronçon 2 - Segment 3



Saône - Tronçon 3 - Segment 1



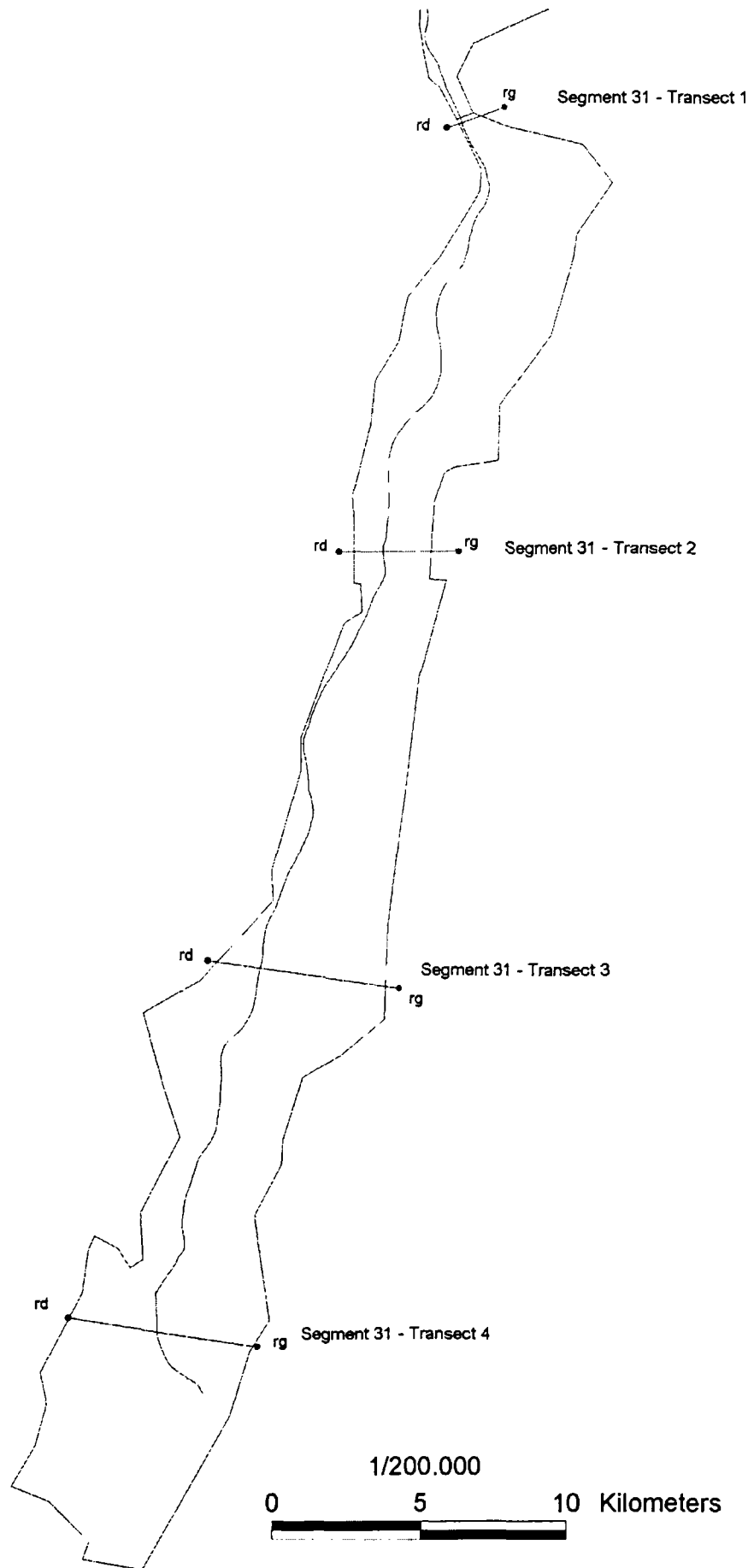
Saône - Tronçon 3 - Segment 1



CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



Saône - Tronçon 3 - Segment 1



CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



4.4 Ain

4-4-1 Analyse de l'occupation du sol

Dans la zone du fond de vallée

Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)	Total
11	0,0	37,1	50,3	11,1	1,5	100
12	7,6	81,3	6,2	3,5	1,3	100
Total	3,8	59,2	28,3	7,3	1,4	100

4-4-2 Analyse morphologique

4-4-2-1 Largeur du fond de vallée (m)

Segment	MAX	MIN	MOYENNE
11	5423	157	2659
12	5383	722	2131

4-4-2-2 Longueur du lit, longueur du squelette du fond de vallée et valeur de sinuosité

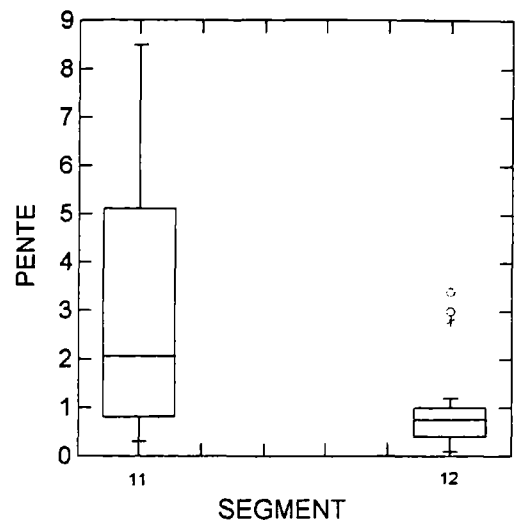
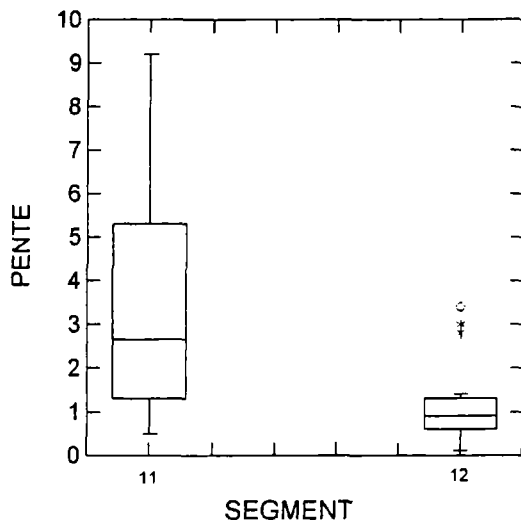
Segment	Long tronçon (m)	Long médian (m)	Sinuosité	Ordre
11	22073	18288	1,207	5
12	27192	22460	1,211	5

4-4-2-3 Pente de la vallée

Segment	Altitude Nœud Amont (m)	Altitude Nœud Aval (m)	Pente (° ⁰⁰)
11	220	191	1,59
12	304	220	3,74

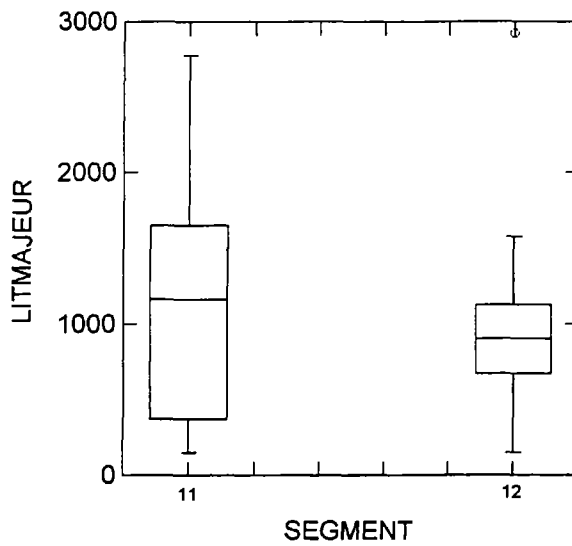


4-4-2-4 Pente des versants



Segment	Moyenne Pente 1 (%)	Moyenne Pente 2 (%)
11	3,43	3,02
12	1,15	0,98

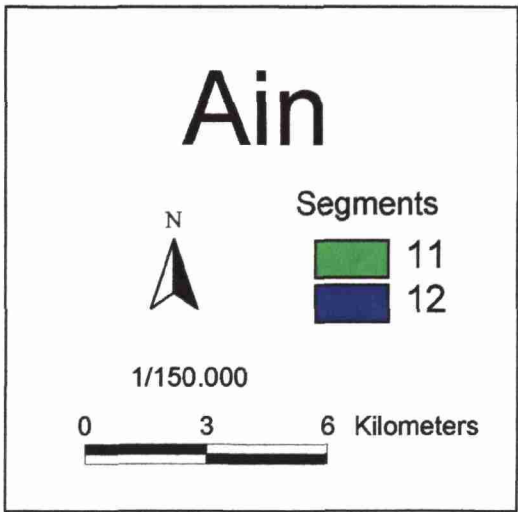
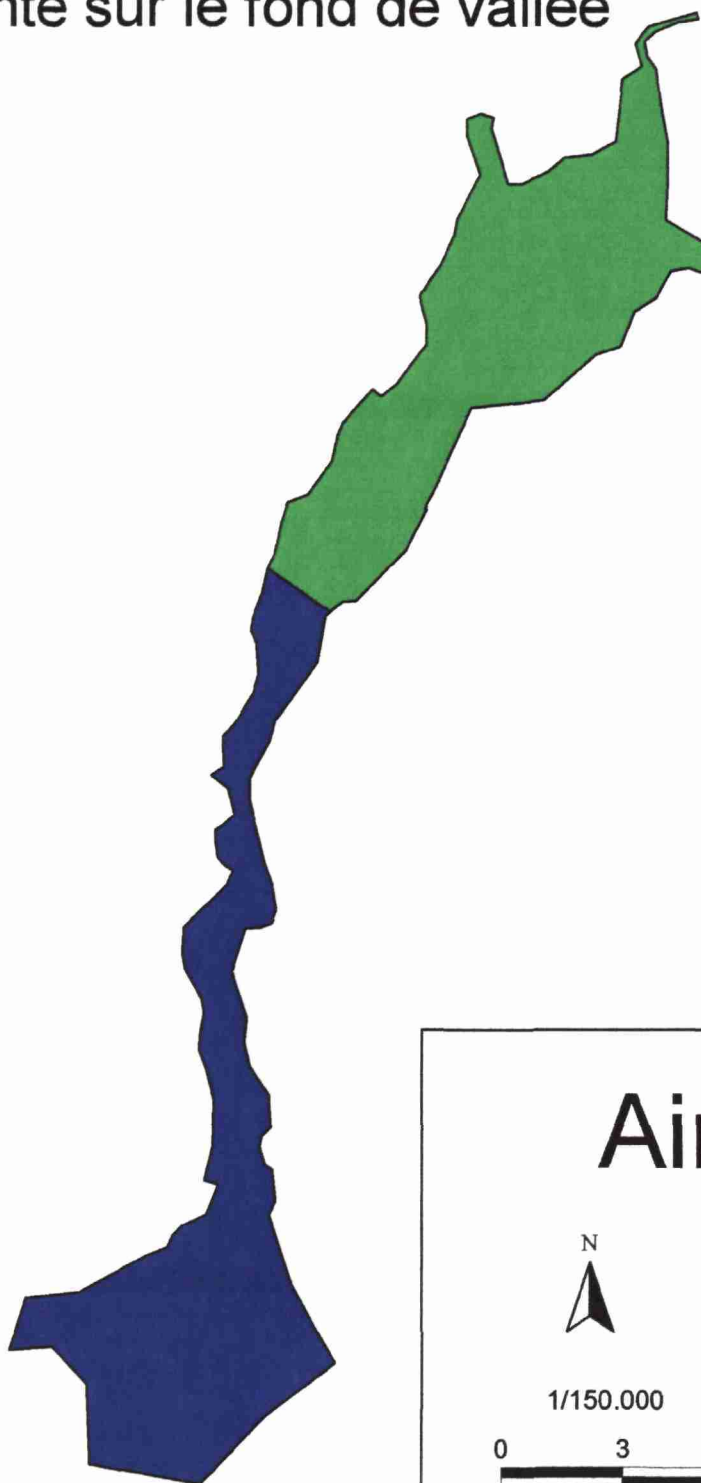
4-4-2-5 Largeur théorique du lit majeur



Segment	Moyenne (m)
11	1233
12	948

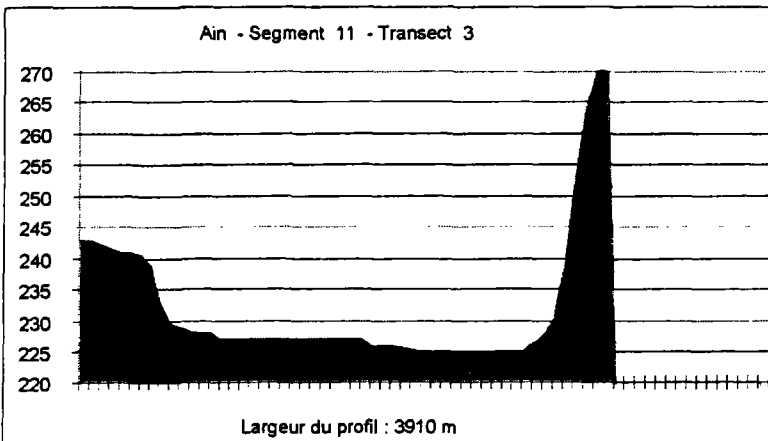
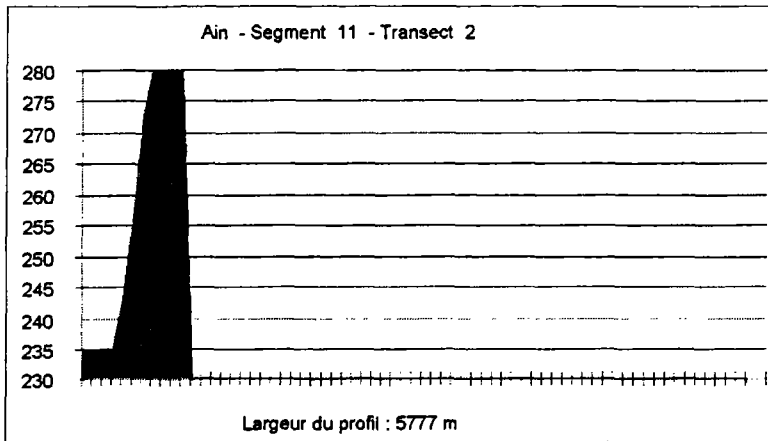
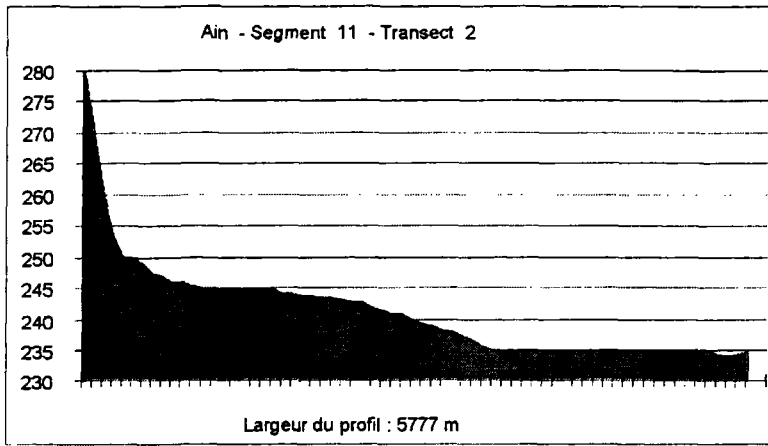
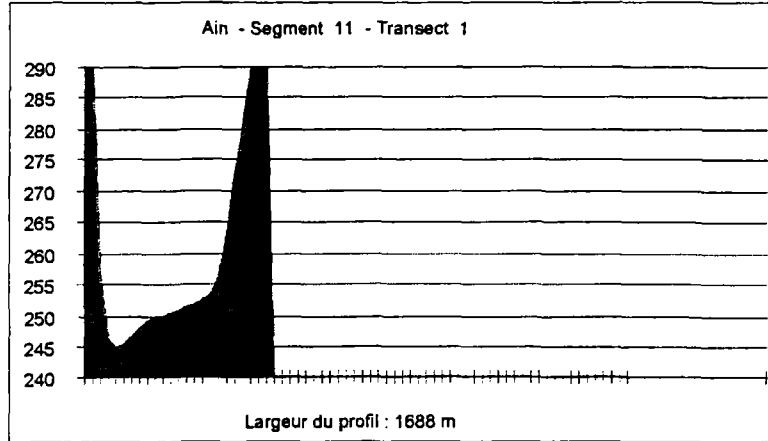


Découpage du linéaire principal représenté sur le fond de vallée

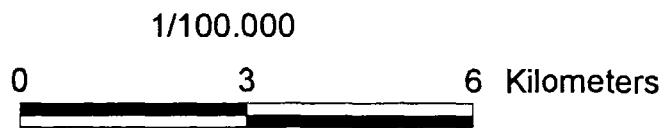
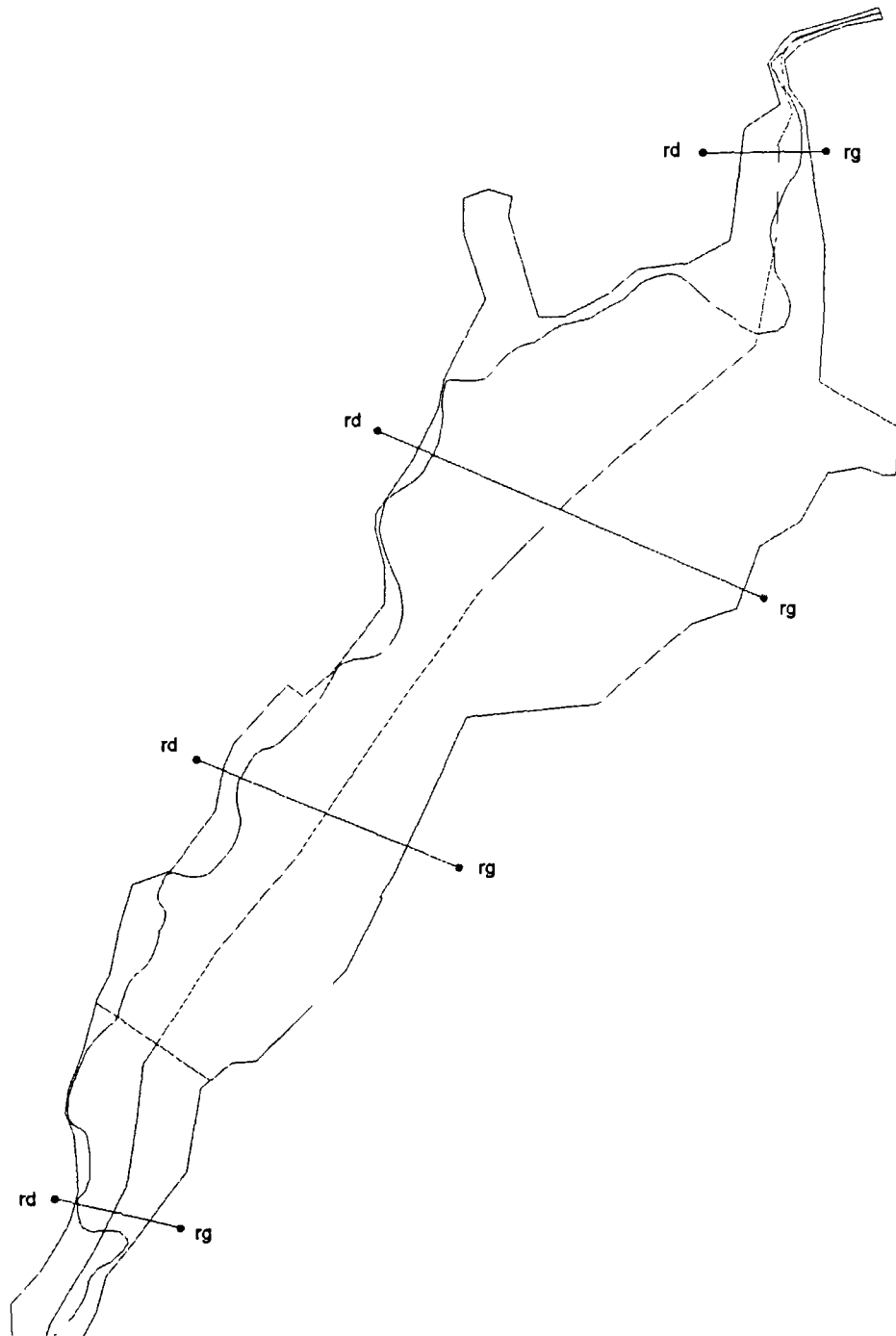


4-4-3-2 Par tronçon

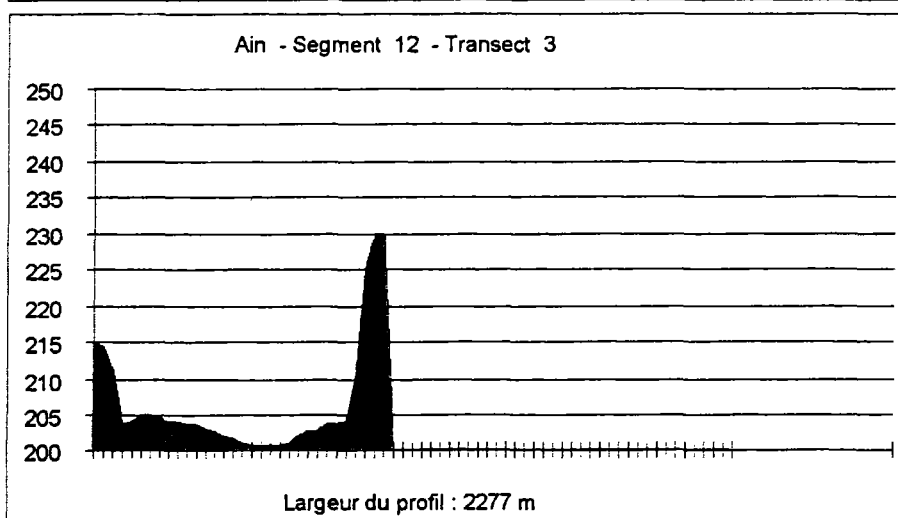
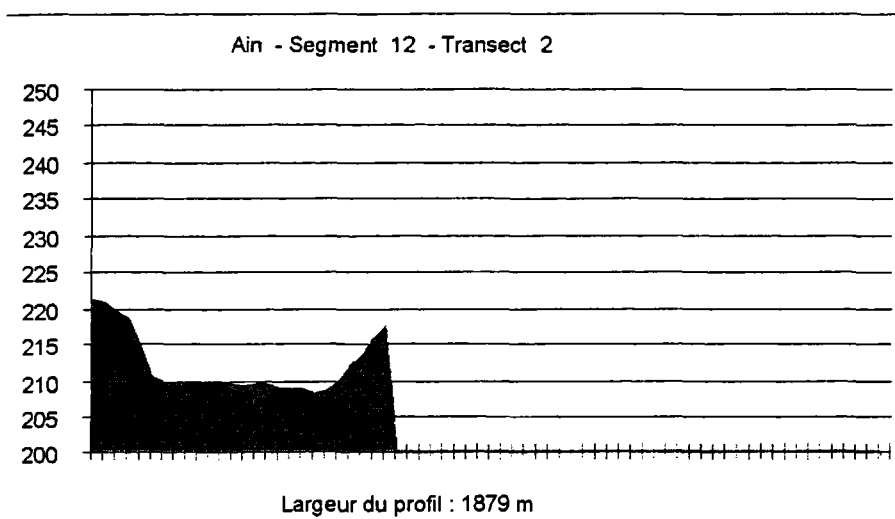
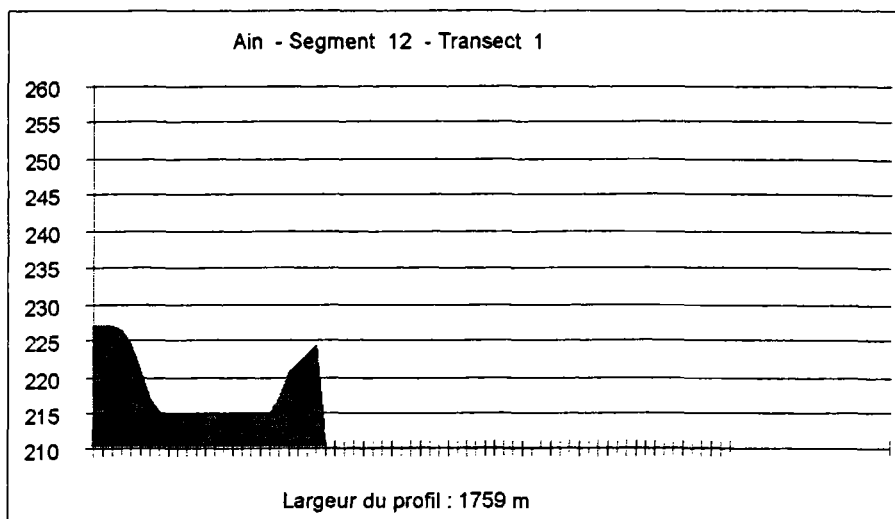
Ain - Tronçon 1 - Segment 1



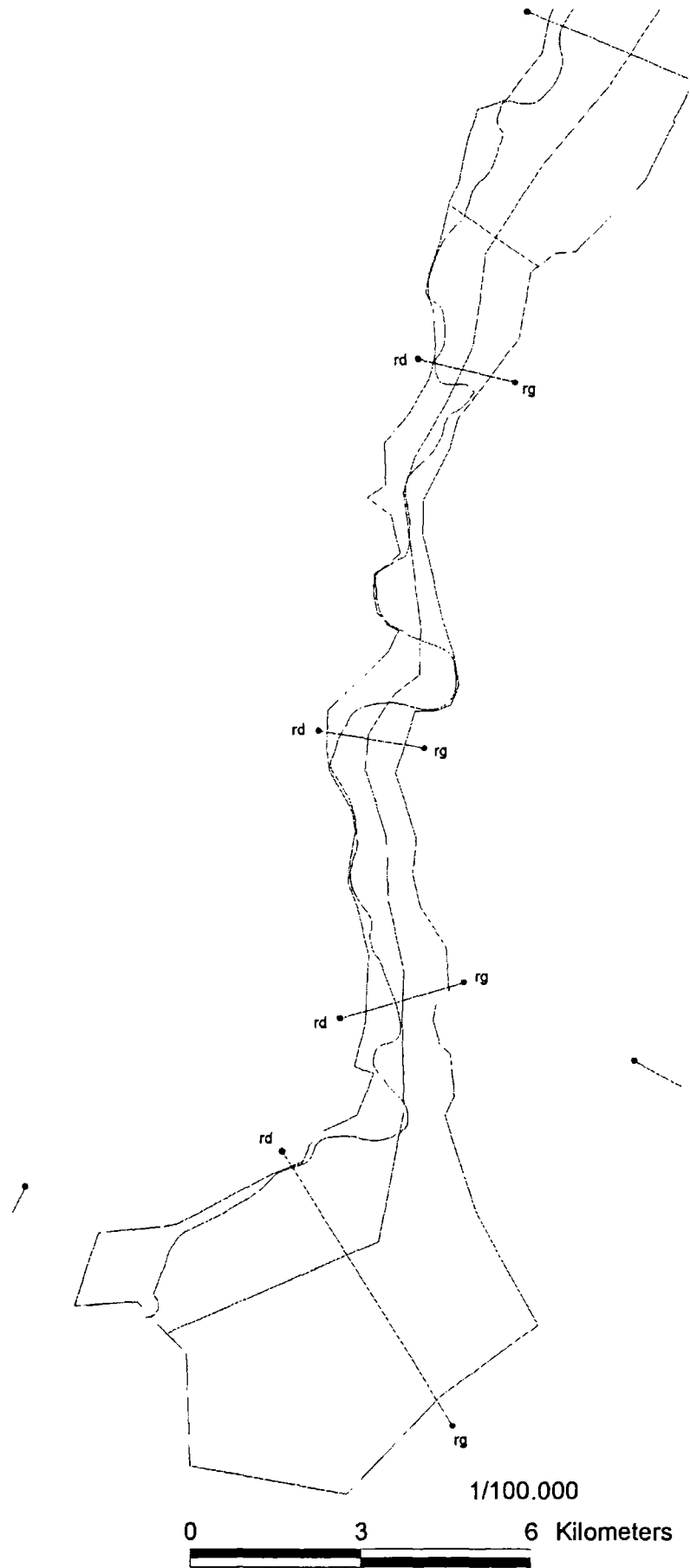
Ain - Tronçon 1 - Segment 1



Ain - Tronçon 1 - Segment 2



Ain - Tronçon 1 - Segment 2



4.5 Allier

4-5-1 Analyse de l'occupation du sol

Dans la zone du fond de vallée

Segment	Urbain (%)	Culture (%)	Forêt (%)	Prairie (%)	Eau (%)	Total
11	15	50	2	29	3	100
12	2	83	5	6	4	100
21	0	6	1	93	1	100
22	0	2	2	96	0	100
Total	4	35	3	56	2	100

4-5-2 Analyse morphologique

4-5-2-1 Largeur du fond de vallée (m)

Segment	MAX	MIN	MOYENNE
11	2769	1180	1944
12	5312	1664	3236
21	5281	1105	2756
22	7294	783	3304

4-5-2-2 Longueur du lit, longueur du squelette du fond de vallée et valeur de sinuosité

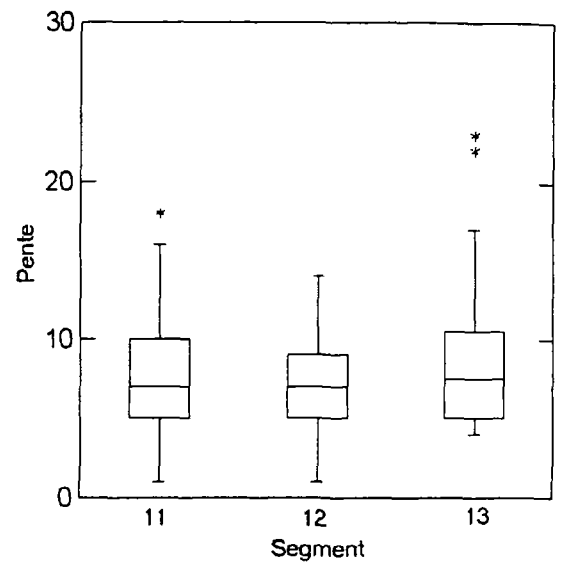
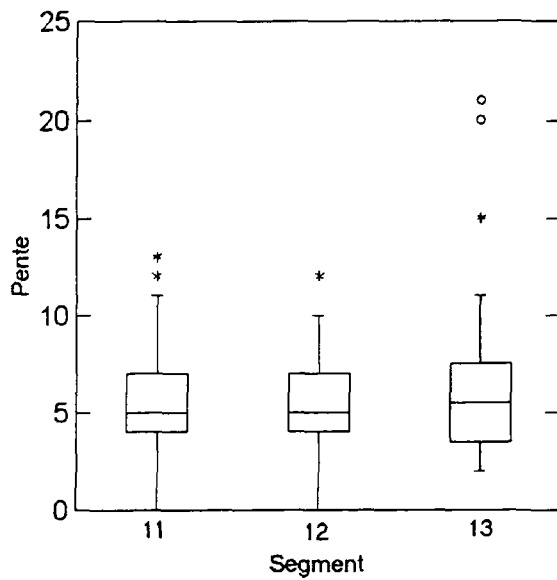
Segment	Long tronçon (m)	Long médian (m)	Sinuosité	Ordre
11	30030	23784	1.26	6
12	24865	18718	1.33	6
21	61853	53075	1.17	7
22	25734	24274	1.06	7

4-5-2-3 Pente de la vallée

Segment	Altitude Nœud Amont (m)	Altitude Nœud Aval (m)	Pente (° ⁰⁰)
11	263	240	0.77
12	240	225	0.60
21	225	185	0.65
22	185	167	0.70

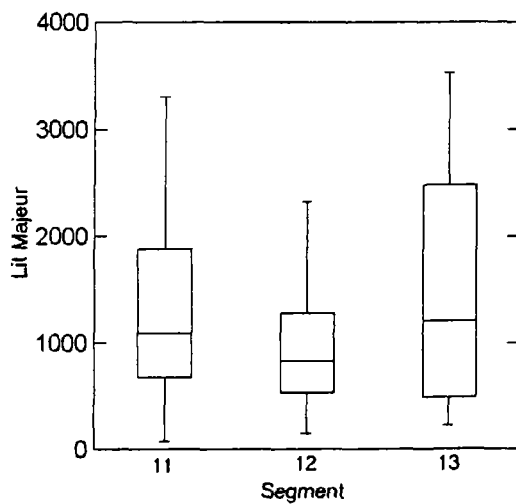


4-5-2-4 Pente des versants



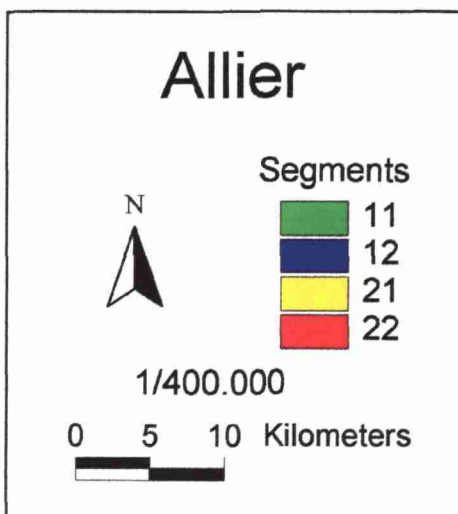
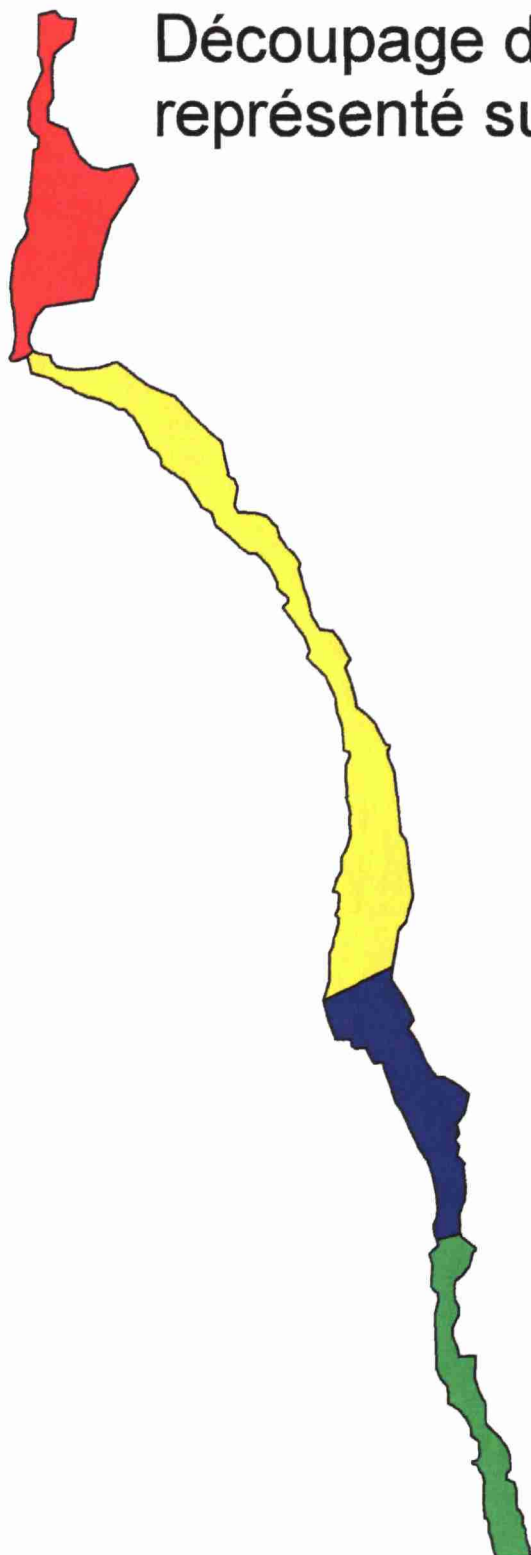
Segment	Moyenne Pente 1 (%)	Moyenne Pente 2 (%)
11	9.13	6.52
12	5.74	4.00
21	7.17	5.40
22	8.88	6.96

4-5-2-5 Largeur théorique du lit majeur



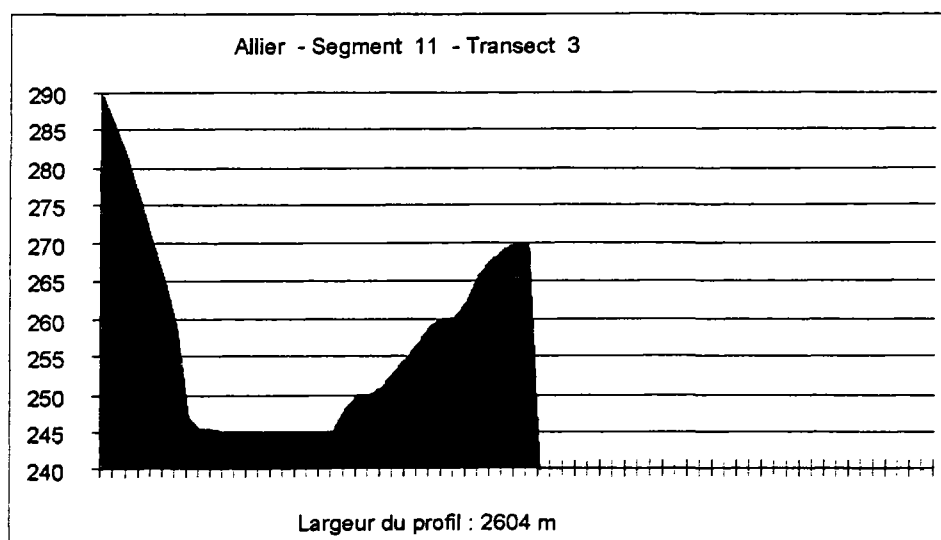
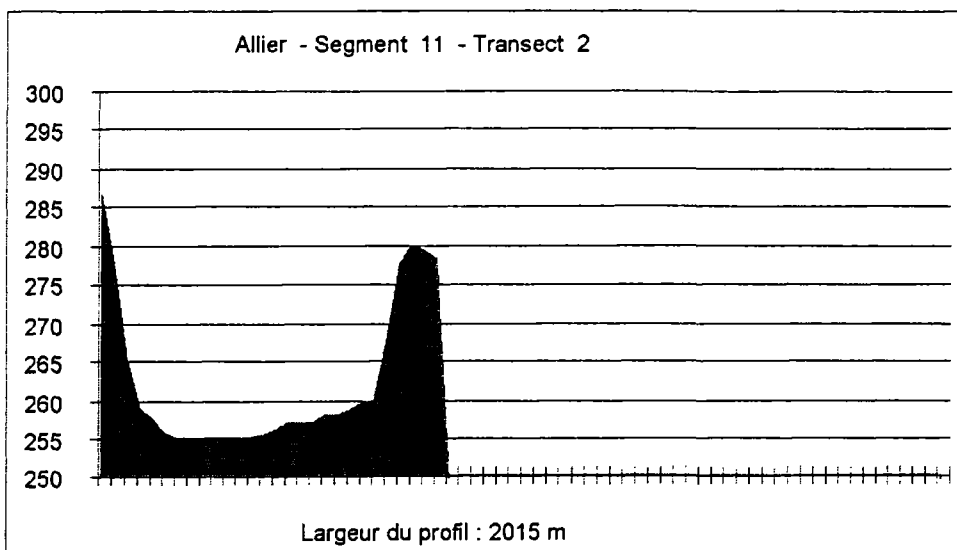
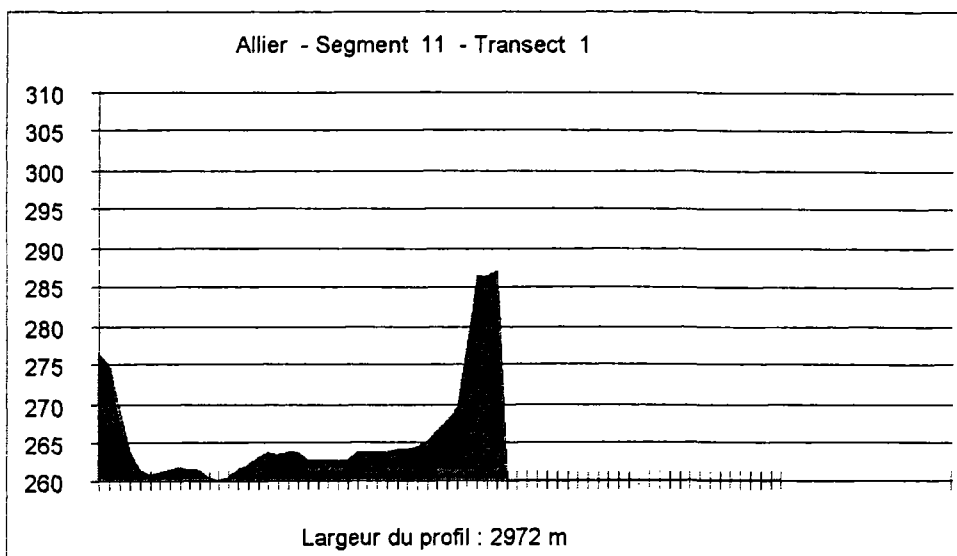
Segment	Moyenne (m)
11	832
12	1753
21	917
22	1500

Découpage du linéaire principal représenté sur le fond de vallée

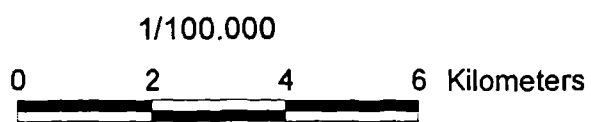
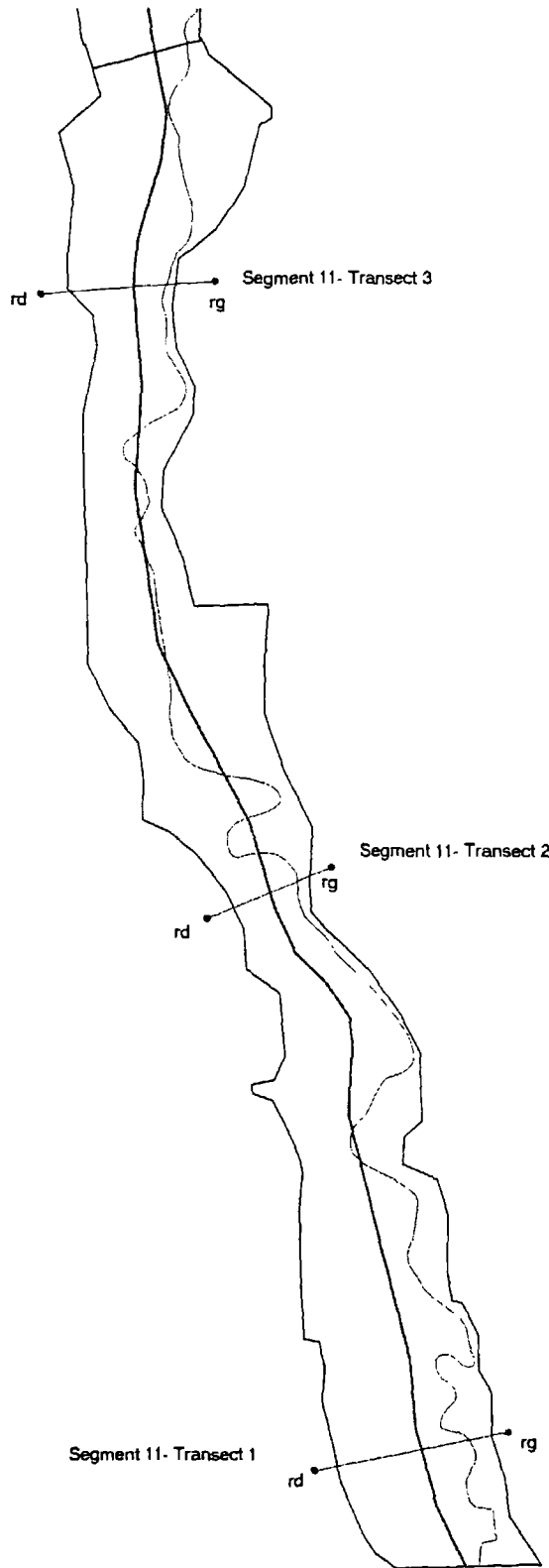


4-4-3-2 Par tronçon

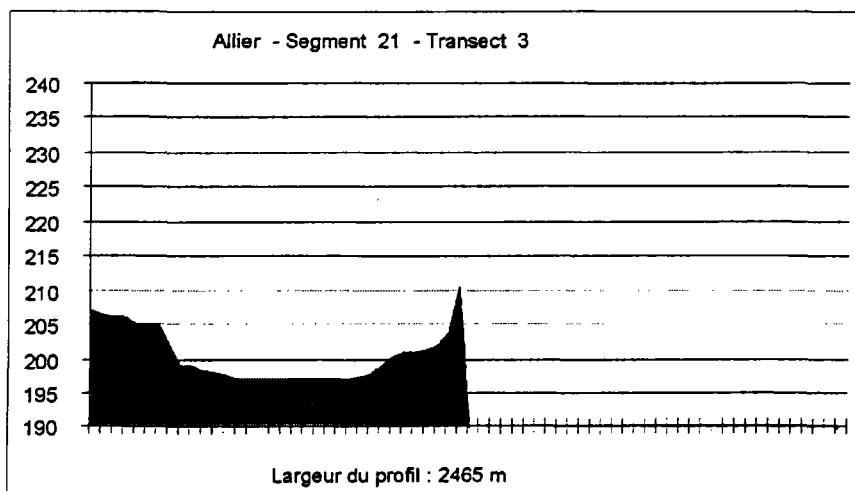
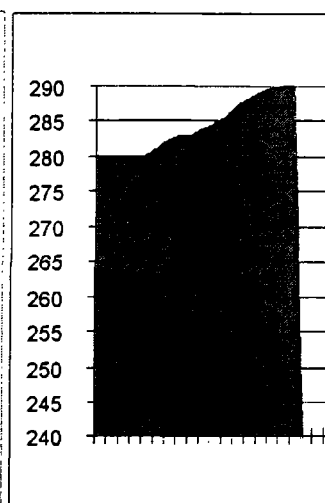
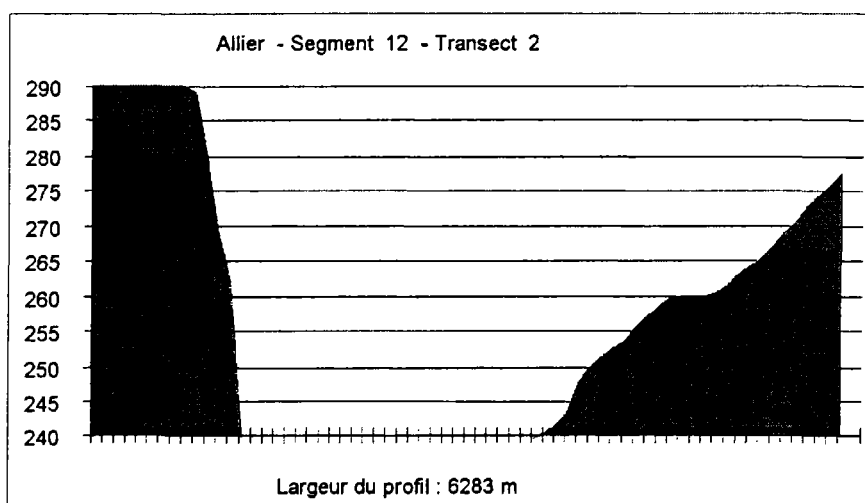
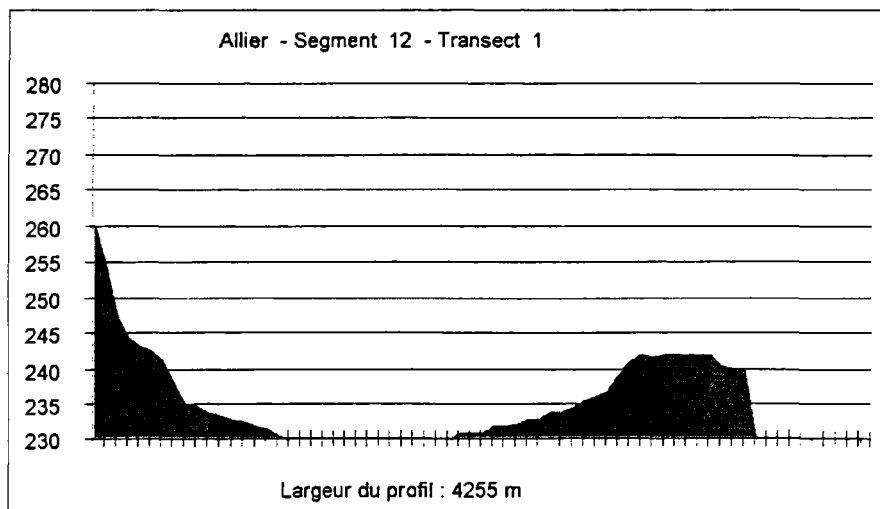
Allier - Tronçon 1 - Segment 1



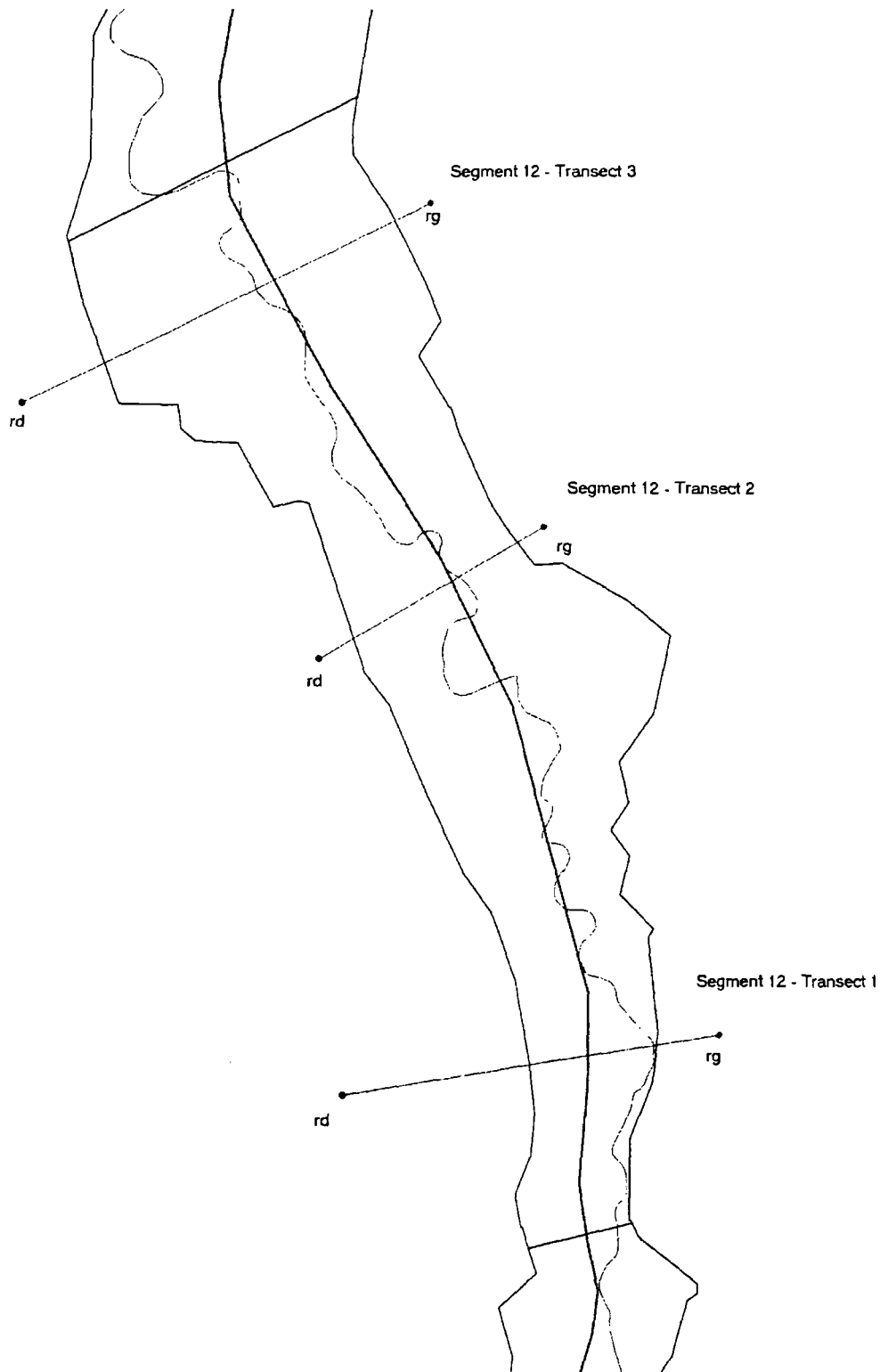
Allier - Tronçon 1 - Segment 1



Allier - Tronçon 1 - Segment 2

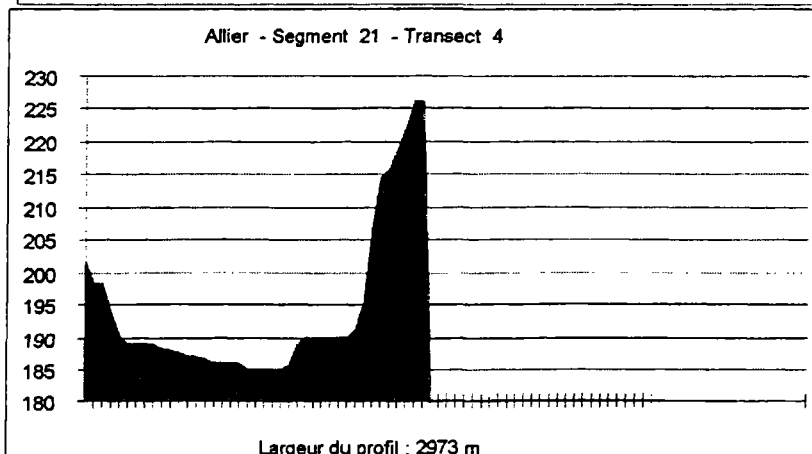
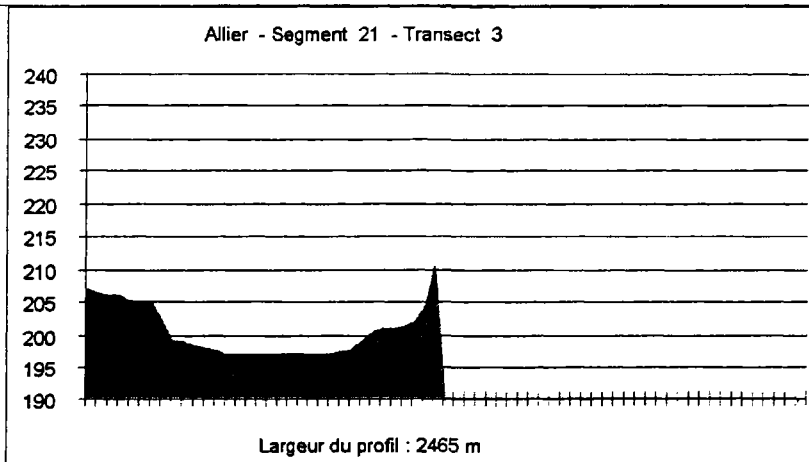
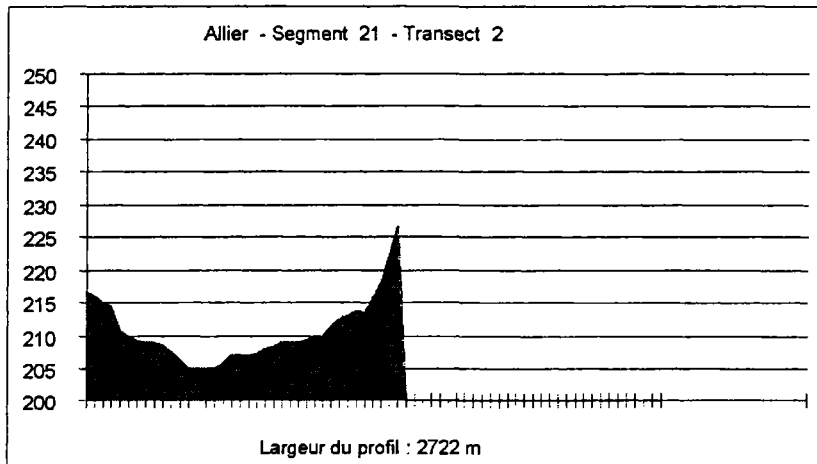
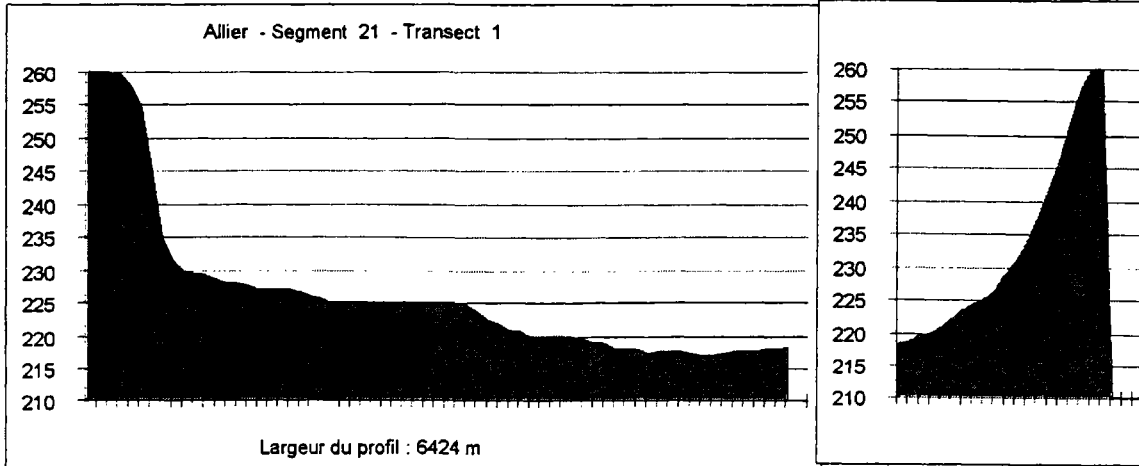


Allier - Tronçon 1 - Segment 2

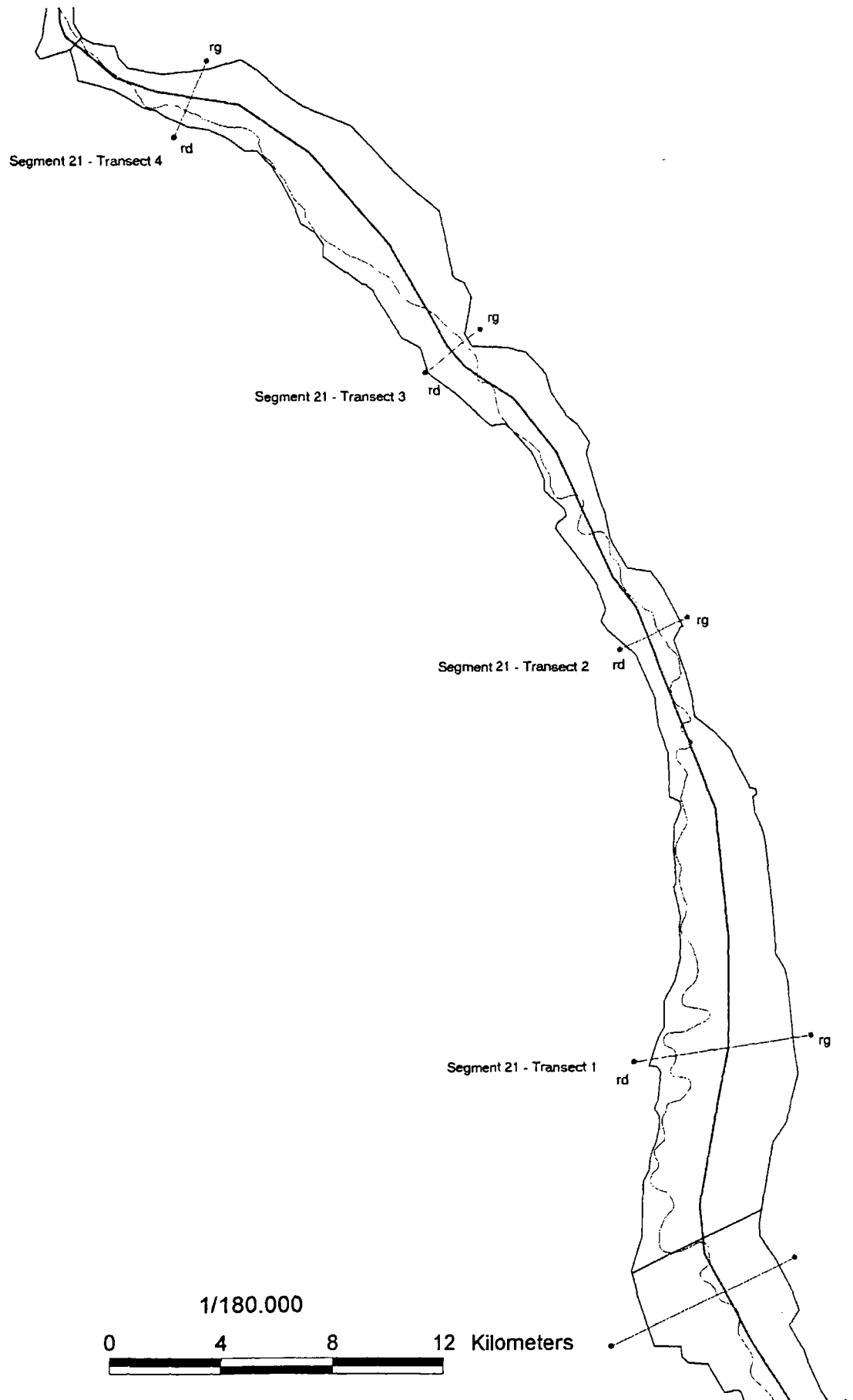


CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

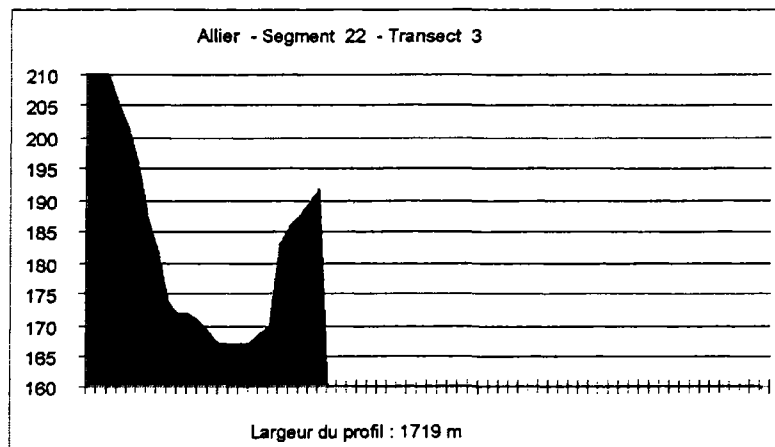
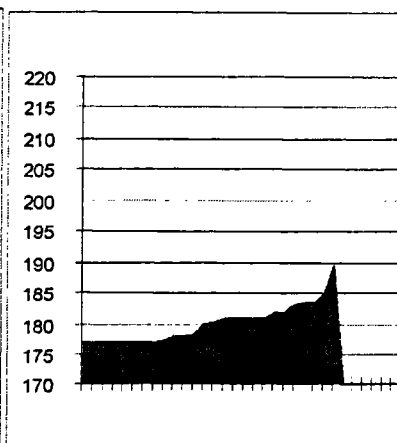
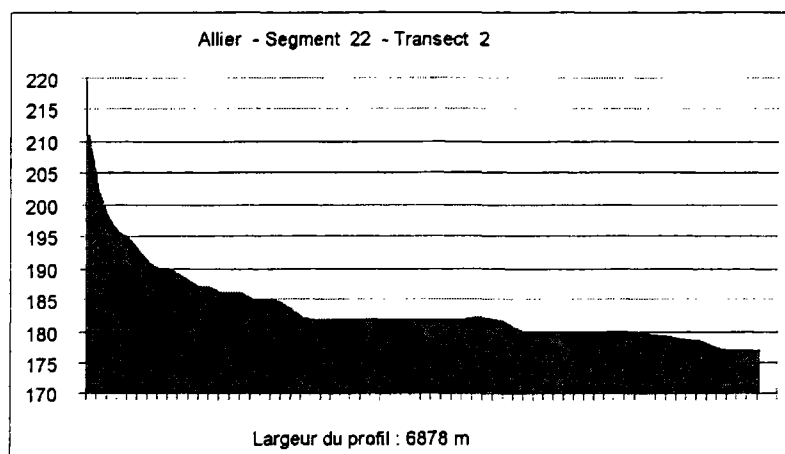
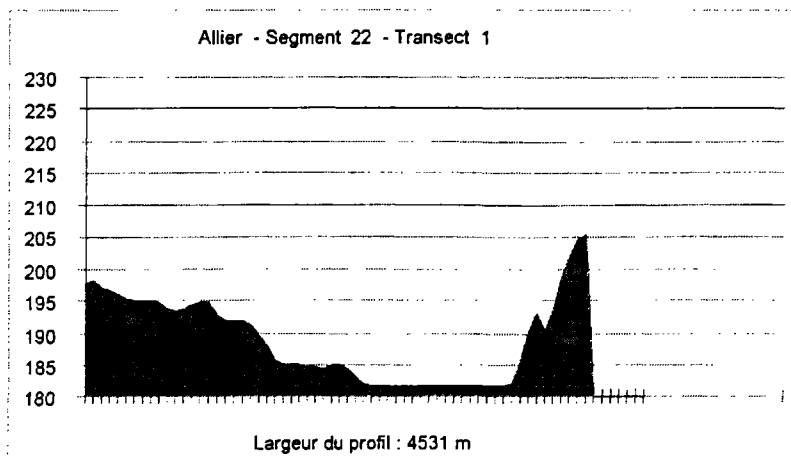
Allier - Tronçon 2 - Segment 1



Allier - Tronçon 2 - Segment 1



Allier - Tronçon 2 - Segment 2



Allier - Tronçon 2 - Segment 2

