



Association pour le Développement de l'Enseignement et des
Recherches en Aquitaine

CERECA

Cellule d'Étude et de Recherche en Environnement Côtier en Aquitaine

Estimation des flux migratoires de civelles dans l'estuaire de l'Adour

Rapport de fin de campagne 2004-2005

Juin 2005



*Institution
Adour*



Cellule d'Étude et de Recherche en
Environnement Côtier en Aquitaine



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	2
1 COLLECTE DES DONNEES DES CAMPAGNES 2004/2005.....	3
1.1 Présentation et localisation de la station échantillonnée sur l'Adour	3
1.2 Protocole d'échantillonnage dans l'estuaire	4
1.3 Période d'échantillonnage	5
1.4 Paramètres étudiés.....	5
1.4.1 Paramètres environnementaux	5
1.4.2 Paramètres biologiques	8
1.5 Caractéristiques de la base de données.....	8
1.5.1 Données environnementales	8
1.5.2 Données biologiques	10
2 ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNEES DE LA CAMPAGNE 2004/2005....	11
2.1 Évolution des densités de civelles durant la campagne d'échantillonnage	11
2.1.1 Densités de civelles en profondeur	11
2.1.2 Densités de civelles en surface.....	12
2.1.3 Répartition spatiale des densités de civelles	13
2.2 Paramètres biométriques	16
3 ESTIMATION JOURNALIERE DE LA BIOMASSE DE CIVELLES LORS DES CAMPAGNES EXPERIMENTALES.....	17
3.1 Etude du courant : évaluation de l'erreur de mesure de la vitesse du flot	18
3.1.1 Modélisation stochastique de la vitesse du courant au cours du flot	18
3.1.2 Représentation graphique des vitesses de courant	19
3.2 Modélisation de l'évolution de la densité de civelles en fonction de la vitesse du courant corrigée	20
3.3 Estimation de la biomasse journalière de civelles	21
3.3.1 Estimation de la biomasse à un endroit donné	21
3.3.2 Estimation de la biomasse sur toute la tranche d'eau	22
4 RESULTATS DE L'ESTIMATION JOURNALIERE DE LA BIOMASSE ISSUE DES CAMPAGNES EXPERIMENTALES SUR L'ADOUR.....	24
CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE.....	26

Introduction

Dans le cadre du projet INDICANG, la quantification des flux de civelles entrant sur 3 rivières de la façade maritime française : l'Adour, la Loire et l'Isle a été mise en œuvre en 2004-2005. Le protocole d'échantillonnage déjà validé sur l'Adour (De Casamajor, 1998 ; Bru, 1998 ; Bru & Lejeune, 2004 ; Prouzet, 2002) a été adapté face aux contraintes environnementales spécifiques de chaque site. Des stations dites « de référence » ont été définies et caractérisées d'un point de vue bathymétrique et hydrodynamique.

Les bases de données ont été constituées pour la morphométrie des civelles, les paramètres environnementaux et les densités de civelles capturées sur le terrain en vue d'établir un modèle d'estimation journalier des flux.

Pour l'Adour, 7 sorties ont été réalisées entre novembre et décembre 2004. Il s'agit de la troisième saison d'échantillonnage qui vient compléter la série de données déjà existante. Il reste à réaliser en 2005/2006, 3 sorties pour totaliser les 30 prévues dans le cadre du projet.

Le présent rapport développe les outils d'échantillonnage et d'estimation journalière des flux de civelles mis en place en 2004/2005 sur l'estuaire de l'Adour. La première partie présente la phase de collecte des données nécessaires pour établir un modèle d'estimation de flux de civelles. La deuxième partie analyse plus précisément les données issues des campagnes expérimentales. La troisième partie décrit la méthode de calcul d'estimation de biomasse développée et la quatrième partie présente les résultats d'estimation de la biomasse, à partir du protocole d'échantillonnage mis en place sur chaque estuaire.

1 Collecte des données des campagnes 2004/2005

Dans le cadre des campagnes d'échantillonnage, une station de référence a été déterminée pour répondre aux conditions morphodynamiques, hydrologiques...

Elle doit se situer :

- en zone de propagation de la marée dynamique et saline afin de cibler les civelles venant de rentrer en estuaire, quand elles sont homogènes du point de vue de leur développement physiologique ;
- dans un secteur où la durée du flot est d'au moins 2 heures pour permettre un échantillonnage suffisamment long.
- en amont de la zone de propagation du front de salinité pour éviter la stratification des masses d'eau qui s'accompagne de courants en sens inverse entre la surface et le fond par différence de densité ;
- dans un secteur rectiligne, sans obstacle à la navigation et dont la largeur est de l'ordre de 200 m (300 m maximum) ;
- en aval des zones de confluence avec de grands affluents pour éviter un échappement d'une partie du flux entrant ;
- dans un secteur où la bathymétrie est suffisante pour permettre un échantillonnage à deux niveaux de la colonne d'eau mais n'excédant pas 6 à 8 m de profondeur.

1.1 Présentation et localisation de la station échantillonnée sur l'Adour

La station d'échantillonnage est celle de l'île de Berenx située à 43°30'15" N et 1°20'30" O (figure 1). Elle a été déterminée en fonction de plusieurs facteurs notamment par rapport à sa profondeur suffisante (entre 5 et 8 m) pour permettre l'immersion simultanée des engins de pêche à deux niveaux différents et à sa largeur d'environ 200 m.

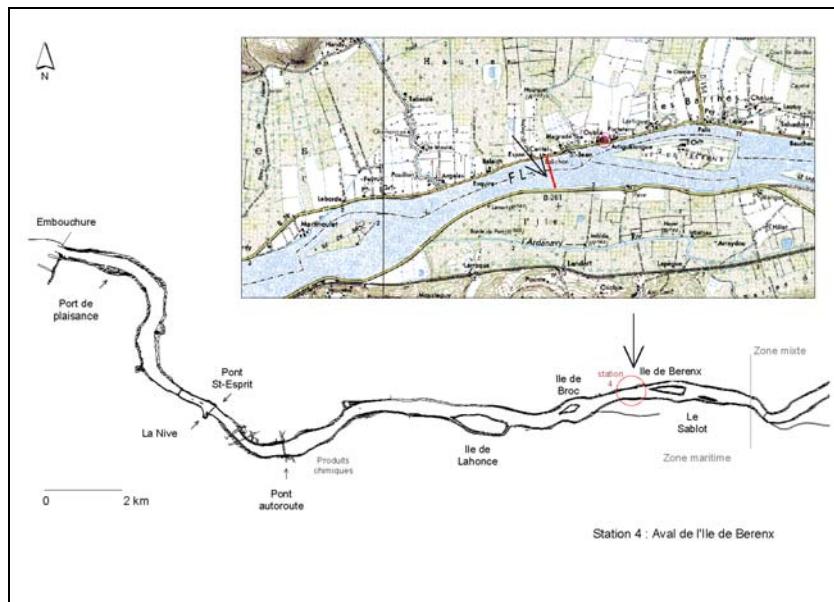


Figure 1 : Localisation de la station échantillonnée durant la campagne 2004/2005.

1.2 Protocole d'échantillonnage dans l'estuaire

Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'une embarcation motorisée (figure 2) durant le flot de nuit. Trois transects par station, un sur chaque rive et un au milieu de l'estuaire déterminent la répartition transversale des individus (figure 3). Chaque transect dure 5 mn, le cap et la vitesse sont constants (transects parallèles à l'axe du fleuve à une vitesse au minimum de 1 nœud). Ainsi, 15 transects sont réalisés durant le flot.

Une sonde placée à l'entrée du tamis de fond permet de connaître la température, la salinité en fonction de la profondeur.

Les prélèvements sont effectués simultanément en surface et au fond à l'aide de tamis circulaires de 0,65 mètres de diamètre fixés sur les côtés du bateau (photo 1). Le tamis surface situé côté bâbord prélève les civelles en surface à 0,5 m et le tamis de fond situé à tribord travaille à 3,5 m environ. Le filet mesure 2,4 mètres de long et présente une maille carrée de 1,6 mm au cône d'entrée puis de 1 mm au cylindre de collecte. Les civelles récoltées sont stockées dans des flacons plastiques pour un examen morpho-métrique en laboratoire.

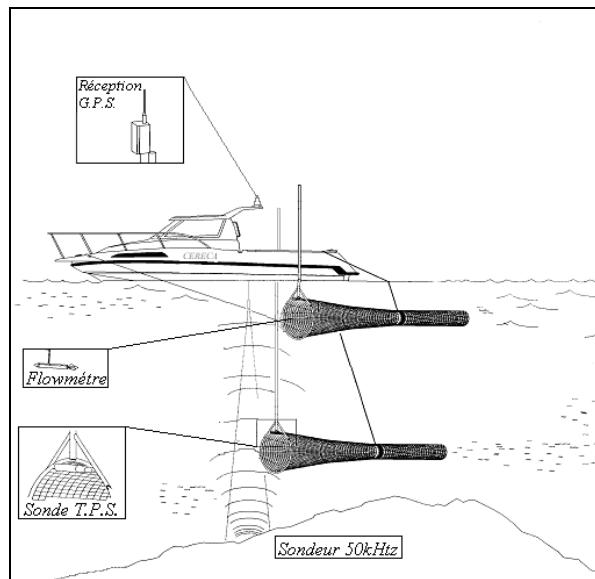


Figure 2 : Matériel mis en œuvre lors des campagnes d'échantillonnage sur l'Adour.



Photo 1 : Tamis de surface sur côté bâbord du bateau.

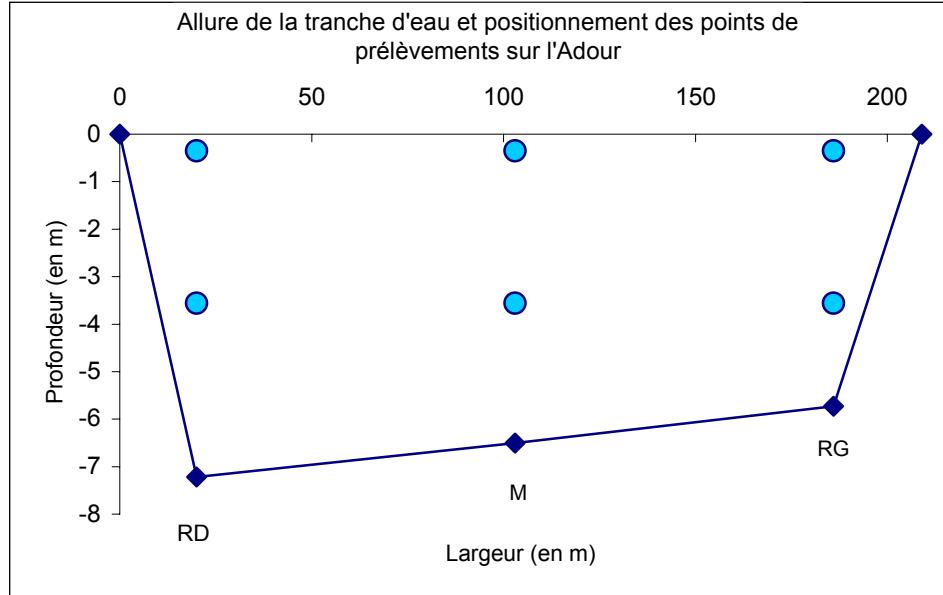


Figure 3 : Répartition schématique du protocole d'échantillonnage au niveau de la station sur l'Adour (RD : Rive droite, RG : Rive Gauche, M : Milieu). Les cercles représentent l'emplacement des tamis de surface et de profondeur.

1.3 Période d'échantillonnage

Sur l'Adour, la campagne d'échantillonnage a débuté le 9 novembre jusqu'au 16 décembre au rythme d'une ou deux sorties par semaine. Sept sorties ont été effectuées au lieu de 10 en raison d'une crue fin décembre et d'absence de civelles (tableau 1). Les 3 sorties restantes seront réalisées lors de la campagne 2005-2006. Elles complètent la série déjà existante.

Tableau 1 : Calendrier des sorties sur l'Adour.

Date	Coefficient de marée	Débit $m^3.s^{-1}$	Lune	heure	remarque
09/11/04	65	114	NL -3	23h59 – 02h29	
18/11/04	54	121	PQ-1	18h19 – 20h46	
23/11/04	70	141	PL-1	23h02- 1h03	
07/12/04	47	104	DQ+2	22h31 – 00h42	
08/12/04	58	104	DQ+3	22h40 – 1h05	
14/12/04	96	95	NL+2	1h39 – 4h20	
16/12/04	86	91	PQ-2	4h10 – 6h30	
21/12/04	52	551	PQ+3	-	Annulé
22/12/04	56	368	PQ+4	-	Annulé
27/12/04	72	320	PL+1	-	Annulé

1.4 Paramètres étudiés

1.4.1 Paramètres environnementaux

La marée saline ne parvient jamais dans la zone échantillonnée au moment des prélèvements. La majorité des sorties a lieu la nuit, pendant le flot, dans des conditions variables de coefficients de marée et de débit. Quelques sorties ont lieu à la tombée de la nuit ou au levé du jour.

Un certain nombre de paramètres physico-chimiques sont pris en compte au cours des sorties pour caractériser les conditions de captures des civelles.

Mesure de turbidité

La turbidité est mesurée à l'aide d'un capteur à lumière infrarouge (Anderaa Istrument ® type 3712). Une photodiode permet la détection de la lumière dispersée par les particules en suspension dans l'eau. L'unité de mesure est la NTU et la gamme de mesure est comprise entre 0 et 500 NTU avec une précision de +/- 2 %.

Vitesse de courant

La vitesse du courant est calculée à partir de la vitesse surface mesurée avec un flowmètre digital (Général Oceanics ® , type 2030R) qui est retranchée à la vitesse du bateau donnée par le GPS.

Le flowmètre, fixé à l'entrée du tamis de surface est relié à un boîtier électronique qui affiche la vitesse en cm/s, la distance parcourue et le temps écoulé. La vitesse est notée au bout de 4 minutes. Ces mesures permettent de calculer le volume d'eau filtrée lors de chaque trait tamis afin de calculer les densités de civelles à partir du poids capturé.

Lorsque le flowmètre se bloque au cours du trait de tamis (présence de feuilles ou branches...), nous réalisons une mesure par un autre flowmètre tenu à la main pendant 30 secondes.



Photo 2 : Flowmètre

Température et salinité

Une sonde TPS35 de chez Micrel ® (Température Profondeur Salinité) fixé sur le tamis de fond donne la température (+/- 0,1°C) et la salinité (+/- 0,1 g.l⁻¹) en fonction de la profondeur. Cette sonde (photo 5) effectue des enregistrements à un pas de temps déterminé par l'opérateur. Elle est ici programmée pour réaliser une mesure par seconde. On obtient, lors de chaque immersion, un profil des fluctuations thermo-halines sur la colonne d'eau pour détecter une éventuelle stratification des eaux marines et fluviales. Elle indique également la profondeur de prélèvement des individus par le tamis. L'utilisation d'un crayon optique (photo 3) permet de transférer les données vers un PC pour l'archivage.



Photo 3 : Sonde TPS utilisée sur la tamis de fond.

Position dans l'estuaire

Le positionnement du bateau est assuré par un GPS de type NR58 de chez Sercel-Dassault ®. Le GPS est relié à un traceur de route (Maxsea v10) qui donne en temps réel la position du bateau et sa progression dans l'estuaire (figure 4). Les données de position sont enregistrées en continu toutes les 5 secondes sur Maxsea. Les deux appareils utilisent le même indicateur de référence cartographique WGS84 (World Geodesic System 84).

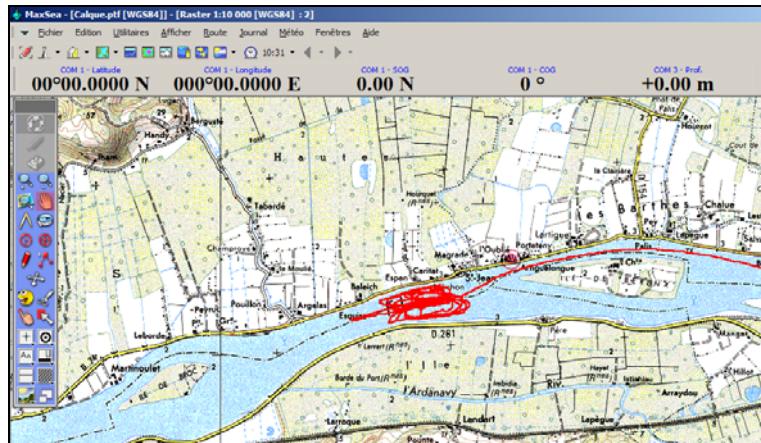


Figure 4 : Trace du parcours du bateau sous Maxsea.

Bathymétrie

Un sondeur monofréquence 50 kHz relié à un PC (logiciel Fishexplorer de Micrel ®) permet d'enregistrer la profondeur sous le bateau. Le sondeur envoie la donnée de profondeur sur Maxsea.

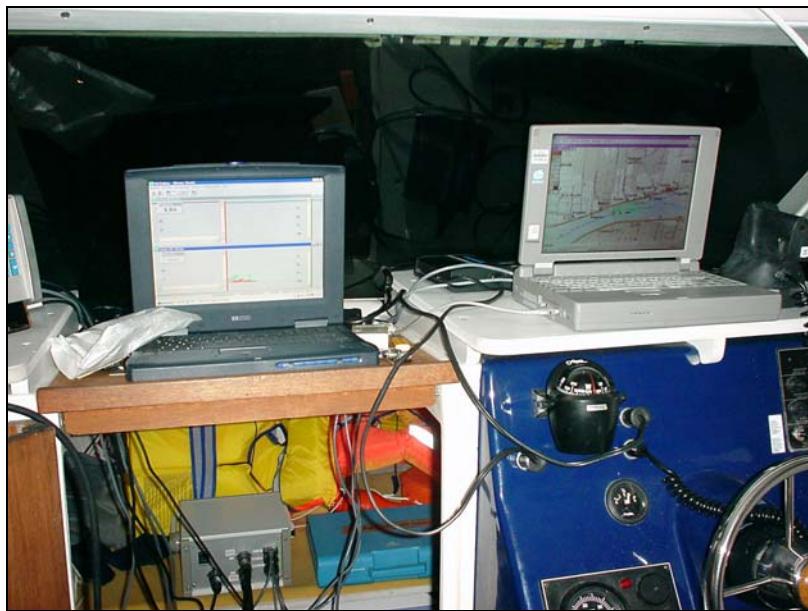


Photo 4 : Passerelle du Val d'Adour avec le sondeur et le traceur de route.

1.4.2 Paramètres biologiques

1.4.2.1 Paramètres biométriques

Pour une centaine d'individus sont notés le poids, la longueur et le stade pigmentaire (observé à la loupe binoculaire). A partir des stades pigmentaires, sont calculés des pourcentages d'individus à chaque stade, ce qui permet de caractériser et d'évaluer le temps de résidence de la population en estuaire.

1.4.2.2 Estimation des densités

Les densités sont calculées pour chaque trait de tamis. La précision du poids total de civelles de l'échantillon dans les 24 heures qui suivent les captures est de l'ordre du gramme.

$$\text{Densité (g.100m}^{-3}\text{)} = \text{Poids capturé (g) / Volume filtré (m}^3\text{)} \cdot 100$$

Le volume filtré pendant un trait de tamis se calcule à partir de divers paramètres : aire des engins de pêche, vitesse réelle du courant à l'entrée du tamis (fluxmètre), temps de chalutage (ici 5 minutes).

Calcul de l'aire de l'engin de pêche :

$$\text{Tamis circulaire de } 65 = 0,33 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume filtré (m}^3\text{)} = \text{Aire (m}^2\text{)} \times \text{Vitesse* (m.s}^{-1}\text{)} \times \text{Temps (s)}$$

* vitesse mesurée par le flowmètre à l'entrée du tamis

1.5 Caractéristiques de la base de données

1.5.1 Données environnementales

La base de données de ces campagnes d'échantillonnage est mise en place grâce au logiciel Access ®. Les données sont réparties en deux tables, la première regroupe toutes les données prises sur le terrain le jour de la sortie.

Puis, à partir de celles-ci, dans une autre table, sont calculées un certain nombre de paramètres qui vont permettre d'analyser et de comparer les différentes années.

Première partie : Les données de campagnes expérimentales

- Date de sortie (jj/mm/aaaa)
- Localisation de la station d'échantillonnage sur l'Adour (rive droite, gauche ou milieu)
- Nombre de transects
- Caractérisation des engins (superficie en m²)
- Remarques générales selon le déroulement de la sortie

Deuxième partie : La caractérisation des transects (ou trait)

- Station d'échantillonnage sur l'Adour
- Localisation par rapport aux rives de l'Adour
- Numéro de trait
- Heure du GPS de début et fin de chaque trait
- Position géographique (latitude et longitude) du début et fin de chaque trait
- Vitesse du fond en nœud (lue sur GPS) pour chaque trait
- Salinité en g.l⁻¹ mesurée par la sonde TPS
- Profondeur du tamis en mètre donné par sonde TPS
- Profondeur de l'Adour en mètre mesurée par le sondeur bathymétrique (50 kHz)
- Vitesse surface en cm.s⁻¹ du flowmètre digital
- Compte tour du fluxmètre utilisé devant le tamis de surface (compte tour.s⁻¹)
- Durée du temps de mesure avec le flowmètre
- Durée du chalutage en seconde
- Turbidité en NTU

Troisième partie : données de pêches expérimentales

- Numéro de trait
- Poids en gramme des civelles capturées par trait d'échantillonnage (surface et fond)
- Nombre de civelles par trait d'échantillonnage (surface et fond)

Données calculées

Ainsi, à partir de toutes ces mesures plusieurs paramètres sont calculés automatiquement par simple requête sur Access ®.

- Vitesse de surface en m.s⁻¹ calculée à partir des mesures du flowmètre tenu à la main, (le calcul est issu d'un abaque indiquant les vitesses en fonction du nombre de tours effectués par le fluxmètre durant 30 secondes) :

$$(((2.625 * ([flow fin] - [flow début])) / [durée du flow])) + 4 / 100$$

- Vitesse de surface en m.s⁻¹ mesurée à partir du fluxmètre digital

- Vitesse fond en m.s⁻¹ (transformation de la vitesse en nœud en une vitesse en m.s⁻¹ du GPS) :

$$([Vitesse fond en nœud du GPS] * 0,514)$$

- Vitesse de courant en m.s⁻¹ calculée à partir de la vitesse en cm.s⁻¹ du flowmètre :

$$([Vitesse de surface du fluxmètre en cm.s^{-1}] / 100) - [vit fond en m.s^{-1} du GPS]$$

- Volume d'eau filtrée par le tamis en m³ :

$$([temps de chalutage en seconde] * [aire engin en m²] * [vitesse de surface en m.s⁻¹])$$

- Densités de civelles au fond et en surface en g.100 m⁻³ :

$$((\text{poids des civelles} \begin{cases} \text{en surface} \\ \text{au fond} \end{cases}) \text{ en g}) / (\text{volume d'eau filtré m}^3)) * 100$$

1.5.2 Données biologiques

Cette base biométrique décrit les caractéristiques de civelles prises au hasard de l'échantillonnage. Pour une centaine d'individus sont notés le poids, la longueur et le stade pigmentaire (observé à la loupe binoculaire). À partir des stades pigmentaires, sont calculés des pourcentages d'individus à chaque stade, ce qui permet de caractériser et d'évaluer le temps de résidence des individus en estuaire.

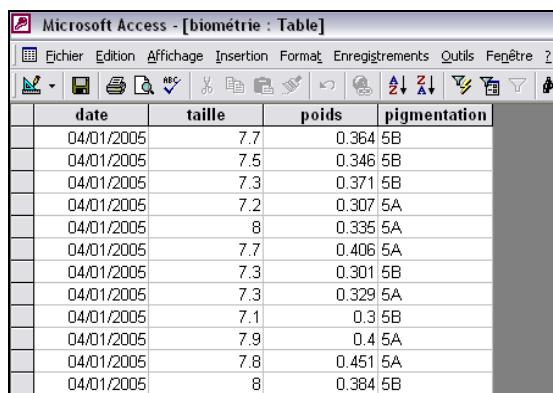
Le tableau est le suivant :

- Date de prélèvement des individus (jj/mm/aaaa)
- Longueur en cm
- Poids en gramme
- Stade pigmentaire

Tableau 2 : Nom de champ et format des données biométriques.

	Nom du champ	Type de données
	Date	Date/Heure
	Taille	Numérique
	Poids	Numérique
	Pigmentation	Texte

Tableau 3 : Extrait de la table de données biométriques.



	date	taille	poids	pigmentation
	04/01/2005	7.7	0.364 5B	
	04/01/2005	7.5	0.346 5B	
	04/01/2005	7.3	0.371 5B	
	04/01/2005	7.2	0.307 5A	
	04/01/2005	8	0.335 5A	
	04/01/2005	7.7	0.406 5A	
	04/01/2005	7.3	0.301 5B	
	04/01/2005	7.3	0.329 5A	
	04/01/2005	7.1	0.3 5B	
	04/01/2005	7.9	0.4 5A	
	04/01/2005	7.8	0.451 5A	
	04/01/2005	8	0.384 5B	

2 Analyse exploratoire des données de la campagne 2004/2005

La campagne 2004/2005 s'est déroulée à poste fixe à 18 km de l'embouchure au niveau de l'île de Berenx. Cette station a été prospectée 7 fois entre novembre et décembre.

La campagne est caractérisée par des conditions hydrologiques particulières avec de faibles débits et des températures de l'eau favorables. La turbidité reste faible, comprise entre 6 et 10 NTU (tableau 4).

Tableau 4 : Données hydrologiques durant la campagne 2004/2005.

Date	Débit $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	Coefficient de marée	T° estuaire	Turbidité moyenne NTU
09/11/2004	114	65	12,4	9,97
18/11/2004	121	54	8,6	5,87
23/11/2004	141	70	9,3	7,74
07/12/2004	104	47	9,2	4,46
08/12/2004	104	58	9,2	5,51
14/12/2004	95	96	9,1	9,07
16/12/2004	91	86	8,6	5,58

2.1 Évolution des densités de civelles durant la campagne d'échantillonnage

2.1.1 Densités de civelles en profondeur

Les densités moyennes de civelles en profondeur varient entre 0,97 et 2,84 g.100 m^{-3} avec un maximum de 28 g.100 m^{-3} enregistré le 09/11/04 (tableau 5). Les densités les plus faibles sont enregistrées le 23/11/04 avec 0,24 g.100 m^{-3} .

Pour décembre, les densités les plus élevées sont observées le 08/12/04 avec des valeurs comprises entre 0,87 et 7,51 g.100 m^{-3} .

Tableau 5 : Paramètres statistiques descriptifs de la densité de civelles en profondeur (exprimée en g.100 m^{-3}) en fonction des sorties pour la campagne 2004/2005

	Moyenne	Erreur standard	écartype	coefficient de variation %	Minimum	Maximum	N
09/11/2004	28,03	4,66	18,06	64	1,67	69,81	15
18/11/2004	0,97	0,29	1,13	117	0	3,64	15
23/11/2004	0,24	0,10	0,34	143	0	1,03	12
07/12/2004	1,54	0,33	1,29	84	0,2	4,32	15
08/12/2004	2,84	0,51	1,98	70	0,87	7,51	15
14/12/2004	1,69	0,33	1,26	75	0	4,91	15
16/12/2004	1,19	0,23	0,89	74	0	2,49	15

Le graphique de la figure 5 présente la distribution des densités en profondeur en fonction des dates. On observe que la distribution est dissymétrique pour la plupart des sorties. La distribution est plus allongée vers les valeurs élevées pour le 09/11/04 (médiane à 22 g.100 m^{-3} , maximum à 69,8 g.100 m^{-3}), le 08/12/04 (médiane à 2,3 g.100 m^{-3} avec un maximum à 7,5 g.100 m^{-3}). La distribution est allongée vers les petites valeurs pour les dates du 14/12/04 et 16/12/04 (figures 5 et 6).

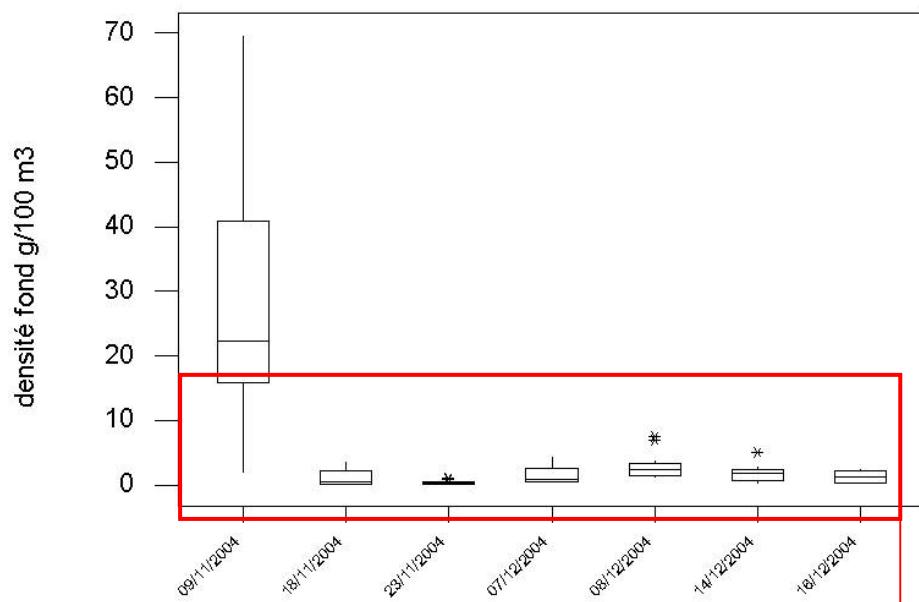


Figure 5 : Distribution des densités de profondeur par sortie.

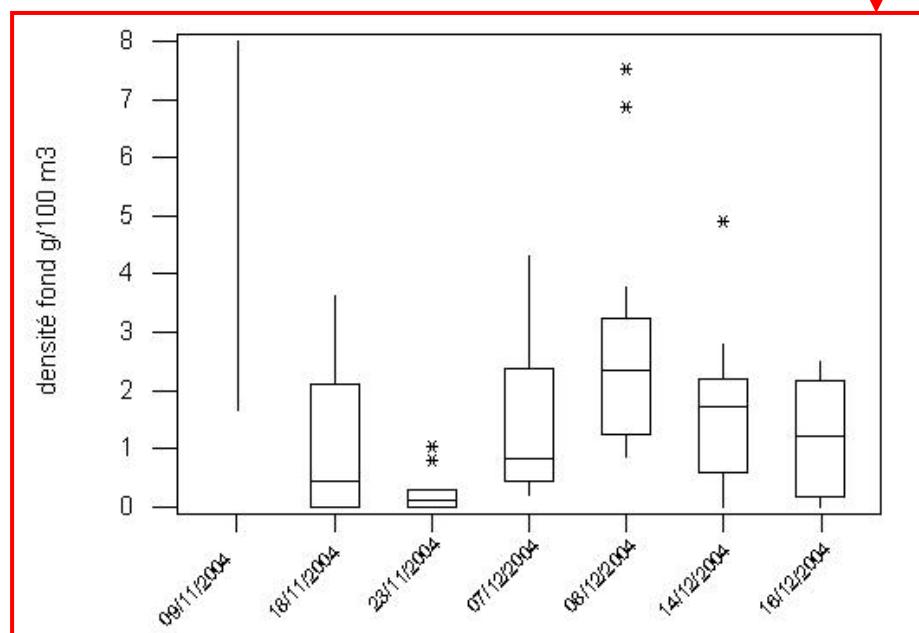


Figure 6 : Distribution des densités de profondeur par sortie avec un zoom pour les valeurs comprises entre 0 à 8 g.100 m⁻³.

2.1.2 Densités de civelles en surface

Les densités moyennes de civelles en surface sont faibles avec des valeurs comprises entre 0 et 2,29 g.100 m⁻³. Les valeurs maximales sont observées le 09/11/04 (6 g.100 m⁻³) et les valeurs minimales le 23/11/04 avec des densités nulles en surface (tableau 6).

Tableau 6 : Paramètres statistiques descriptifs de la densité de civelles en surface (exprimée en g.100 m^{-3}) en fonction des sorties pour la campagne 2004/2005.

	Moyenne	Erreur standard	écartype	coefficient de variation %	Minimum	Maximum	N
09/11/2004	2,29	0,49	1,88	82	0	6,26	15
18/11/2004	0,09	0,04	0,15	162	0	0,47	15
23/11/2004	0	0	0	-	0	0	12
07/12/2004	0,24	0,07	0,27	115	0	0,82	15
08/12/2004	0,93	0,14	0,54	58	0	1,92	15
14/12/2004	0,53	0,13	0,52	99	0	2,02	15
16/12/2004	0,50	0,15	0,59	116	0	2,02	15

Sur la figure 7, on observe une distribution dissymétrique des valeurs de densités en surface pour le 09/11/04 avec une médiane à $1,43 \text{ g.100 m}^{-3}$, un premier quartile à $0,98 \text{ g.100 m}^{-3}$ et un troisième quartile à $3,3 \text{ g.100 m}^{-3}$. Pour les dates du 07/12 et 08/12, la distribution est plus symétrique avec des médianes égales à $0,82$ et $2,4 \text{ g.100 m}^{-3}$. La date du 23/11 présente des densités égales à 0 en surface.

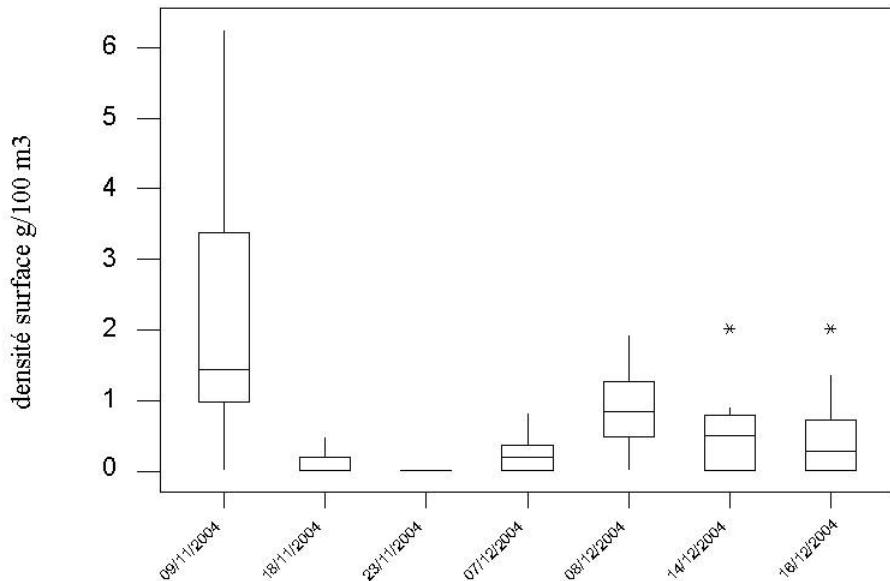


Figure 7 : Distribution des densités de civelles en surface.

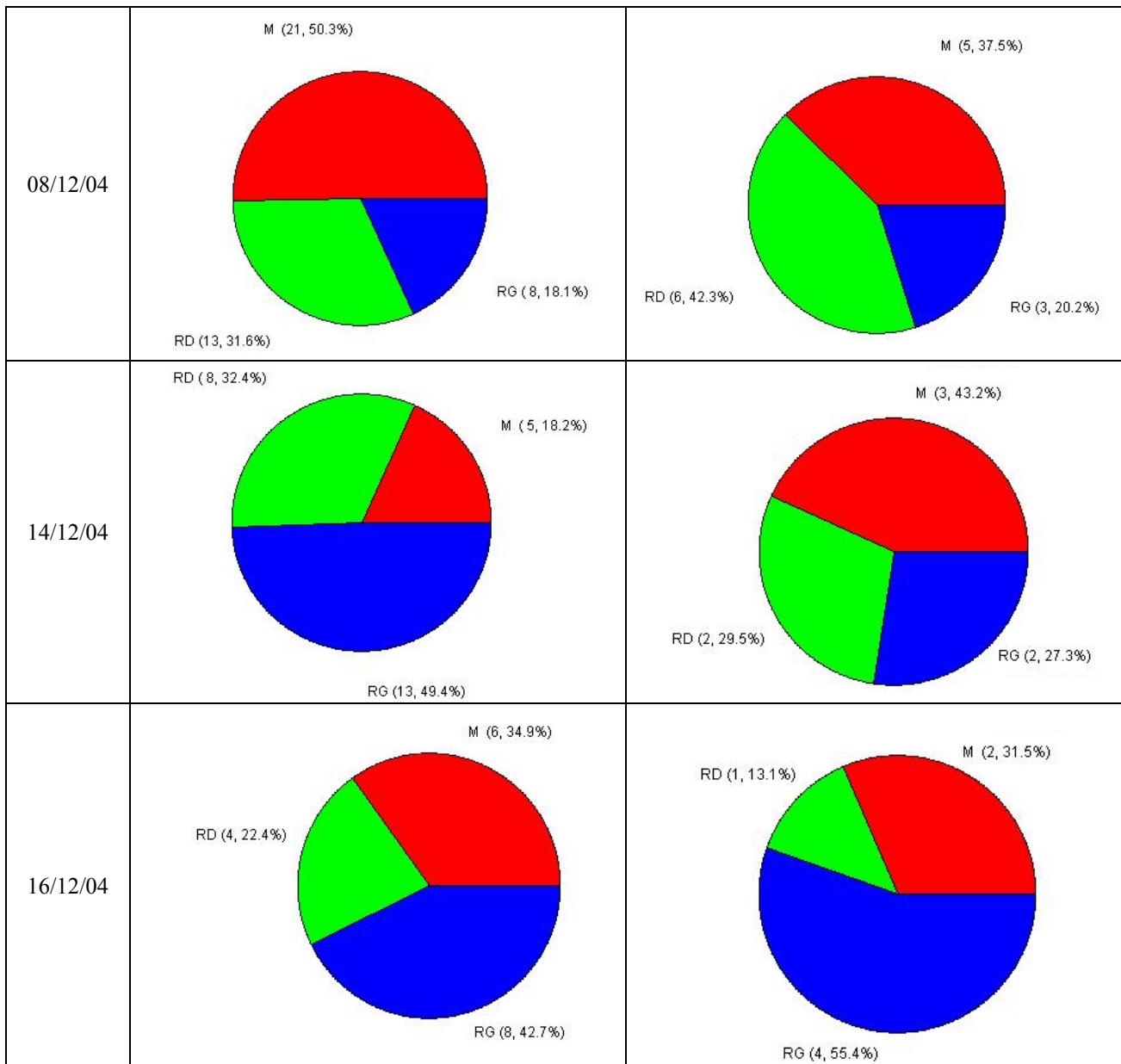
2.1.3 Répartition spatiale des densités de civelles

Lorsque la civelle est présente et en quantité importante, elle est répartie uniformément sur toute la section transversale du fleuve. La sortie du 09/11/04 illustre cette caractéristique avec des répartitions plus ou moins égales sur les rives et au milieu.

Pour les autres sorties où la quantité de civelle est plus faible, la répartition ne semble pas homogène (tableau 7). Pour vérifier si les densités de civelles sont significativement différentes sur les rives et au milieu, un test du χ^2 (test de conformité, $\alpha = 0,05$) est effectué pour les densités au fond et les densités en surface pour chaque sortie. On teste l'hypothèse H_0 : la répartition est uniforme selon la section (la distribution théorique 33,33 % est conforme à la distribution observée) contre l'hypothèse H_1 : la répartition n'est pas uniforme (non conformité de la distribution théorique à la distribution observée).

Tableau 7 : Répartition des densités fond et densité surface selon la section transversale.

date	Répartition des densités fond selon la section transversale (densité totale g.100 m ⁻³ et %)	Répartition des densités surface selon la section transversale (densité totale g.100 m ⁻³ et %)
09/11/04	<p>RD (160, 38.1%)</p> <p>M (138, 32.9%)</p> <p>RG (122, 29.0%)</p>	<p>M (13, 38.9%)</p> <p>RD (13, 38.3%)</p> <p>RG (8, 22.8%)</p>
18/11/04	<p>M (7, 48.6%)</p> <p>RD (5, 32.6%)</p> <p>RG (3, 18.8%)</p>	<p>M (0, 32.8%)</p> <p>RD (1, 48.5%)</p> <p>RG (0, 18.7%)</p>
23/11/04	<p>RD (1, 46.9%)</p> <p>M (1, 17.5%)</p> <p>RG (1, 35.7%)</p>	0
07/12/04	<p>M (15, 63.0%)</p> <p>RD (4, 18.0%)</p> <p>RG (4, 18.9%)</p>	<p>M (2, 44.5%)</p> <p>RD (2, 45.6%)</p> <p>RG (0, 9.9%)</p>



Le χ^2 calculé pour les densités de civelles au fond est supérieur au χ^2 théorique pour l'ensemble des sorties à l'exception du 09/11/04. Au seuil de signification de 0,05, l'hypothèse H0 est rejetée pour les sorties du 18/11/04 au 16/12/04. Les densités de civelles au fond ne sont pas réparties uniformément dans la section du fleuve. La sortie du 09/11/04 est particulière et montre que lorsque la civelle est présente en quantité importante, celle-ci occupe de façon égale toute la section (tableau 8).

Pour les densités de civelles en surface, le χ^2 calculé est inférieur au χ^2 théorique pour les sorties du 09/11/04 et 14/12/04, ce qui signifie que les civelles sont réparties de façon homogène sur les rives et au milieu. Ce n'est pas le cas pour les autres sorties où il existe une différence significative selon la section transversale (tableau 9).

Tableau 8 : Calcul du χ^2 observé pour chaque sortie pour les densités au fond.

	% M	% RD	% RG	χ^2 observé	χ^2 théorique
09/11/2004	32,9	38,1	29,0	1,251	5,99
18/11/2004	48,6	32,6	18,8	13,346	5,99
23/11/2004	17,5	46,9	35,7	13,21	5,99
07/12/2004	63,0	18,0	18,9	39,71	5,99
08/12/2004	50,3	31,6	18,1	15,69	5,99
14/12/2004	18,2	32,4	49,4	14,64	5,99
16/12/2004	34,9	22,4	42,7	6,29	5,99

Tableau 9 : Calcul du χ^2 observé pour chaque sortie pour les densités en surface.

	% M	% RD	% RG	χ^2 % observé	χ^2 % théorique
09/11/2004	38,9	38,3	22,8	4,99	5,99
18/11/2004	32,8	48,5	18,7	13,33	5,99
23/11/2004	0,0	0,0	0,0	-	5,99
07/12/2004	44,5	45,6	9,9	24,73	5,99
08/12/2004	37,5	42,3	20,2	8,11	5,99
14/12/2004	43,2	29,5	27,3	4,45	5,99
16/12/2004	31,5	13,1	55,4	26,99	5,99

2.2 Paramètres biométriques

Les civelles prélevées entre novembre et décembre mesurent 7,4 cm pour un poids de 0,38 g (tableau 10). Elles sont composées majoritairement du stade 5B (entre 76 et 79 %) avec la présence du stade 5A au mois de novembre (20%). Pour le mois de décembre, on observe 5 % du stade 6A1 et 1 % du stade 6A2 (tableaux 11 et 12). Au niveau des caractéristiques biométriques, aucun test statistique n'a été réalisé sur ces données car les effectifs sont très déséquilibrés, fort pourcentage pour les stades 5B et parfois un seul individu pour les stades pigmentés. L'échantillonnage se déroule sur une trop courte période en 2004/2005 pour évaluer les différents flux en migration au cours de la saison.

Tableau 10 : Caractéristiques biométriques des civelles prélevées sur l'Adour entre novembre et décembre.

	novembre	décembre
Moyenne Longueur (cm)	7,468	7,342
Ecarts type Longueur	0,403	0,426
Moyenne Poids (grammes)	0,387	0,384
Ecarts type Poids	0,064	0,073

Tableau 11 : Caractéristiques biométriques des différents stades de civelles prélevées au mois de novembre

novembre	5A	5B	6A0	6A1
Moyenne Longueur (cm)	7,463	7,494	6,975	7,200
Ecarts type Longueur	0,365	0,404	0,403	
Moyenne Poids (grammes)	0,385	0,392	0,322	0,336
Ecarts type Poids	0,070	0,061	0,074	
Effectif (Nb)	24	90	4	1
%	20	76	3	1

Tableau 12 : Caractéristiques biométriques des différents stades de civelles prélevées au mois de décembre.

Décembre	5A	5B	6A0	6A1	6A2
Moyenne Longueur (cm)	7,196	7,362	7,319	7,286	7,225
Ecarts type Longueur	0,439	0,431	0,367	0,428	0,435
Moyenne Poids (grammes)	0,355	0,385	0,391	0,397	0,382
Ecarts type Poids	0,086	0,073	0,068	0,070	0,060
Effectif (Nb)	26	328	36	21	4
%	6	79	9	5	1

3 Estimation journalière de la biomasse de civelles lors des campagnes expérimentales

L'objectif de ce travail consiste à estimer la quantité de civelles présente lors d'une sortie de pêche donnée qui se déroule pendant un cycle de marée montante nocturne uniquement. Nous fournirons également une échelle de variation des estimations proposées, correspondant à des intervalles de confiance pour chacune.

La démarche présentée ci-dessous se fonde sur différentes hypothèses de travail simplificatrices : les civelles se déplacent vers l'amont en occupant toute la largeur du fleuve, pendant une période de temps déterminée. Ces deux paramètres sont difficiles à contrôler simultanément et posent séparément déjà des problèmes méthodologiques :

- Concernant la gestion du temps, le fait de se déplacer d'un transect à un autre en interrompant le chalutage fait que pendant ces déplacements nous avons des « périodes » d'ombre durant lesquelles le phénomène continue d'évoluer, sans que nous ayons d'idée sur cette évolution. Nous sommes donc contraints de faire des « extrapolations » pour pouvoir combler ces vides temporels.
- Concernant la gestion du spatial, l'allure même des prélèvements contraints par les moyens techniques ne nous permet pas de savoir ce qui se passe en dehors des zones de tamisage. Une petite partie du fleuve est en effet échantillonnée et nous devons là aussi faire des hypothèses de travail pour pouvoir combler ces vides spatiaux.

La première étape dans l'élaboration d'une méthode de calcul des estimations de biomasse de civelles est l'identification des paramètres entrant dans la variabilité de celle-ci et de ceux liés la méthode de calcul des estimations elle-même. Deux grands types de paramètres ont été identifiés :

- Paramètres liés à la technique d'échantillonnage et à des facteurs extérieurs comme le courant de flot qui conditionne le transport des civelles de l'aval vers l'amont ; la biomasse récoltée qui est fonction de l'efficacité du tamis et la densité de civelles capturées calculée à partir du courant et de cette biomasse.
- Paramètres liés à la méthode de calcul choisie comme les hypothèses d'extrapolation spatiale dans la section du fleuve et d'extrapolation temporelle pour couvrir l'ensemble du flot.

On voit ainsi que d'éventuelles erreurs de mesure sur les valeurs de courant *in situ* se répercutent sur le calcul des densités de civelles et de ce fait sur la biomasse. Tous les modèles de répartition spatiale et d'extrapolation temporelle établis *a priori* influent de même sur le calcul de la biomasse. Il est, par conséquent, nécessaire d'évaluer et de quantifier la variabilité de ces paramètres pour ensuite en cerner l'impact sur les estimations de biomasse.

3.1 Etude du courant : évaluation de l'erreur de mesure de la vitesse du flot

L'objectif est d'établir un modèle stochastique de variation de la vitesse du courant en un point, en fonction du temps et pour un jour donné. Seule la partie dite positive (assimilée au flot) de la vitesse du courant est considérée car l'échantillonnage de la civelle ne se fait que durant le flot. Ce modèle sera utilisé pour répondre à 2 objectifs :

1. Pour évaluer, par la suite, la vitesse relative du bateau (vitesse du courant + vitesse fond) qui intervient dans le calcul de la densité de civelles capturées et souvent soumise à d'importantes erreurs de mesure ;
2. Pour estimer le début et la fin de la marée montante, période favorable à la migration de la civelle et ainsi pouvoir extrapoler les données sur cette période.

On suppose que :

- Le courant est le même dans toute la colonne d'eau en un transect fixé ;
- Le courant en ce point évolue de façon sinusoïdale au cours du temps ;
- Sur 3 transects (RD, M et RG), le début et la fin du flot coïncident, la différence dans les modèles d'évolution du courant n'étant qu'une question d'intensité de la vitesse liée par exemple à des frottements différents.

3.1.1 Modélisation stochastique de la vitesse du courant au cours du flot

Deux formules vont être utilisées : une modélisation du courant par transect utilisable pour les données de la Loire et une modélisation du courant globale.

- **Modélisation stochastique du courant par transect :**

Pour un jour donné, notons t_{ik} l'heure à laquelle le courant a été mesuré pour un transect i donné sur le passage k . La vitesse du courant de flot v_i est modélisée par une équation de la forme :

$$v_i(t_{ik}) = c_i \sin\left(\frac{\pi}{a}(t_{ik} - b)\right) + \varepsilon_{ik}$$

où, i est un indice qui désigne la position en largeur ($i=1=RD$, $i=2=M$ et $i=3=RG$), ε est l'erreur de mesure entre les données de terrain et le modèle sinusoïdal supposée de moyenne nulle, de variance constante et non corrélée.

Cette modélisation permet de « coller au plus juste » un modèle pour la vitesse sur chaque rive et de prendre ainsi en compte l'aspect spécifique des rives. Pour la mettre en œuvre, cela suppose d'avoir suffisamment de mesures pour arriver à des estimations robustes des paramètres du modèle ce qui n'est pas forcément le cas et au vu du faible nombre de mesures de ne pas avoir de valeurs trop aberrantes. Par conséquent, une autre alternative a été proposée : évaluer un modèle global avec l'ensemble des points de mesure en faisant abstraction de la spécificité des rives.

- **Modélisation stochastique globale de la vitesse du courant :**

La seconde modélisation considère la vitesse du courant de façon globale, la notion de transect n'intervient pas dans les calculs. Elle est utilisée pour les données de l'Isle par construction du plan d'échantillonnage et peut également être envisagée sur la Loire dans le cas où la modélisation par transect ne semble pas satisfaisante voire impossible pour les raisons explicitées

ci-dessus. Elle peut également être utilisée en étape préalable à la modélisation par transect pour corriger des éventuelles valeurs aberrantes ou « combler » des données manquantes. Le modèle global est le suivant :

$$v(t_k) = c \sin\left(\frac{\pi}{a}(t_k - b)\right) + \varepsilon_k$$

avec les mêmes notations et les mêmes hypothèses que dans le paragraphe précédent.

- **Paramètres à estimer :**

Les paramètres à estimer sont les suivants :

a : durée du flot ;

c_i ou c : intensité maximale de la vitesse du courant de flot pendant la période a au niveau de la position i .

b : heure de début du flot par rapport au début de l'échantillonnage (si cette quantité est négative cela signifie que l'échantillonnage a démarré après le début du flot).

Les paramètres a , b , et c_i (ou c) entreront ensuite dans les calculs de biomasse.

3.1.2 Représentation graphique des vitesses de courant

Les graphiques de comparaison entre les vitesses du courant mesurées *in situ* et celles estimées pour un jour de campagne sur la Loire et l'Adour montrent que le choix du modèle est satisfaisant pour représenter la tendance générale de la courbe de courant (figures 8 et 9).

En ce qui concerne le graphique de comparaison entre les valeurs de la vitesse du courant mesurées *in situ* et celles estimées par les deux modèles (modèle par transect et modèle global), il est à noter que les deux donnent des résultats du même ordre de grandeur de vitesse.

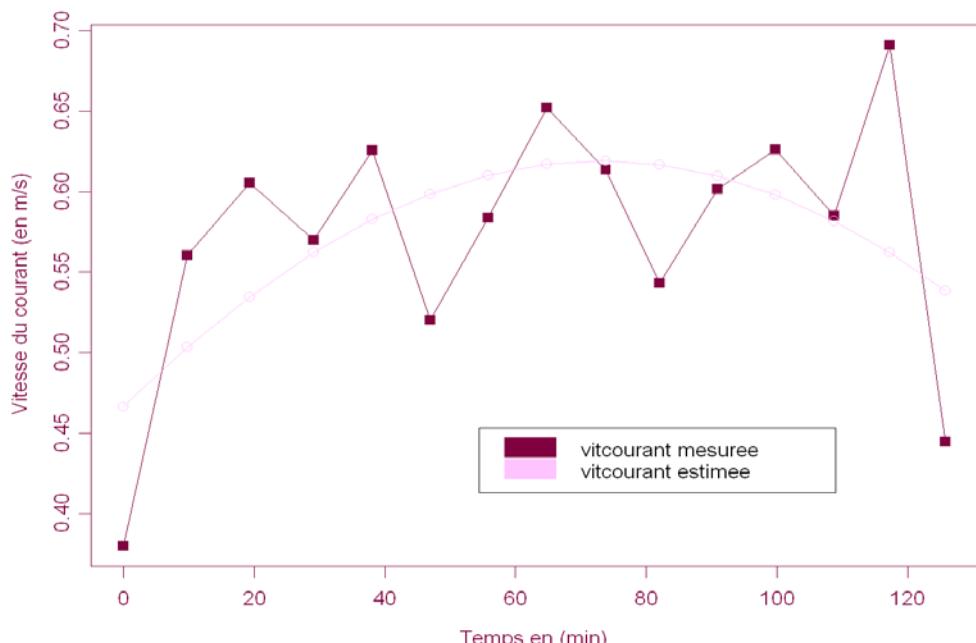


Figure 8 : Comparaison entre la vitesse du courant mesurée *in situ* et la vitesse du courant estimée au cours du flot au niveau des trois transects confondus (sortie du 7 décembre 2004)

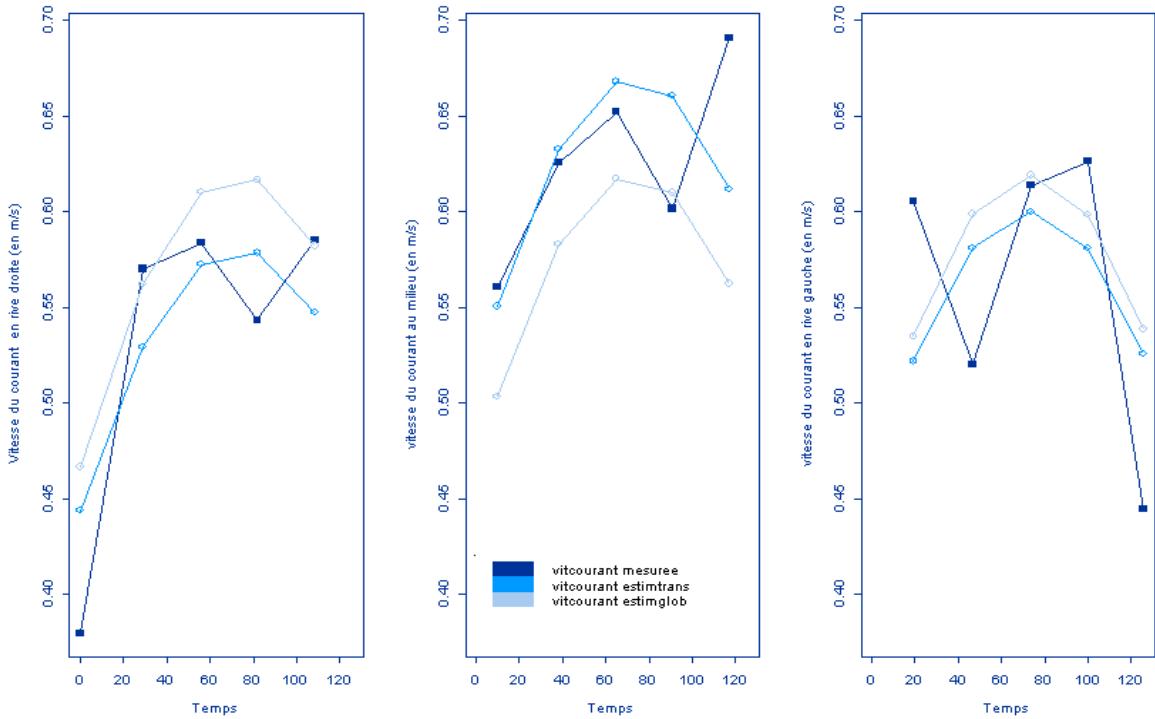


Figure 9 : Comparaison entre les valeurs mesurées de la vitesse du courant et celles estimées par le modèle sinusoïdal, par transect (exemple : sortie du 07/12/04).

3.2 Modélisation de l'évolution de la densité de civelles en fonction de la vitesse du courant corrigée

L'objectif est d'établir un modèle stochastique de variation de la densité de civelles en un point, en fonction de la vitesse du courant de flot, un jour donné. Ce modèle sera utilisé pour extrapoler les densités de civelles observées sur quelques points temporels à toute la période de flot.

Les connaissances sur le comportement des civelles et l'observation des diagrammes densités par vitesse, nous ont conduit à une modélisation de la densité en fonction de la vitesse du flot.

Nous allons procéder en deux étapes :

- **Etape 1 :** recalculer les densités en utilisant les valeurs de vitesse de courant de flot corrigées des erreurs de mesure à l'aide du modèle sinusoïdal de courant établi à l'étape précédente ;
- **Etape 2 :** tenter d'établir un modèle de variation des densités en fonction du courant de flot modélisé permettant de voir la relation entre ces deux variables.

Pour éviter des problèmes évidents d'hétéroscédasticité entre ces deux variables (figure 10) une transformation log a été effectuée avant la modélisation.

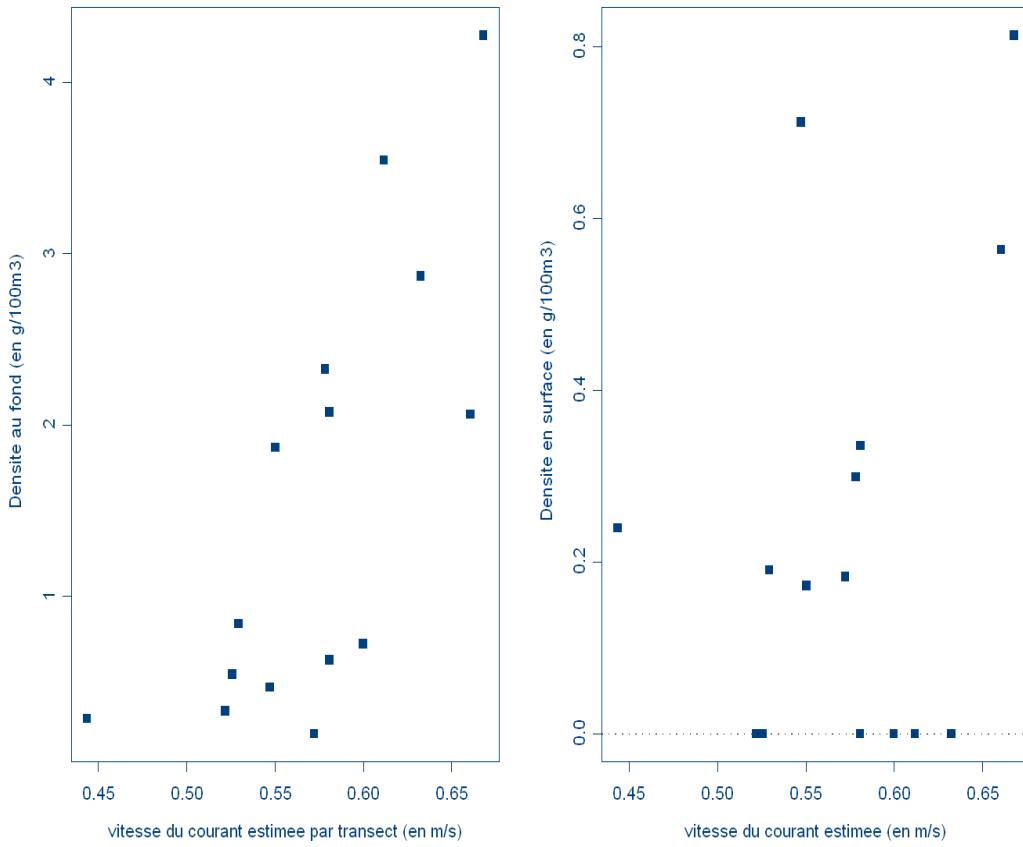


Figure 10 : Répartition de la densité de civelles en fonction de la vitesse du courant estimée par transect (exemple : sortie du 07/12/04)

Un modèle de variation des densités en fonction de la vitesse du courant estimée est ensuite établi de la façon suivante :

$$\log d_{sk} = \alpha_s \log v_{sk} + \beta_s + \varepsilon_{sk}$$

où, s est la position en largeur et en profondeur ($s=1, \dots, 6$ pour la Loire et $s=1, \dots, 4$ pour l'Isle) ; $k=1, \dots, n$ (n : le nombre de traits) et ε représente un terme d'erreur supposé non corrélé et de variance constante dans le temps et dans l'espace.

3.3 Estimation de la biomasse journalière de civelles

3.3.1 Estimation de la biomasse à un endroit donné

Nous considérons que l'estimation de la biomasse totale de civelles par unité de surface à chacun des points de prélèvements "s" se calcule de la façon suivante :

$$B_s = \int_b^{a+b} d_s(t) v_s(t) dt$$

avec $s=1, \dots, 6$ pour la Loire et $s=1, \dots, 4$ pour l'Isle. Un estimateur naturel de cette quantité est donnée après simplification par la formule suivante :

$$\hat{B}_s = \frac{1}{\pi} \exp(\hat{\beta}_s) \hat{c}_s^{\hat{\alpha}_s+1} \hat{a} \int_0^\pi \sin^{\hat{\alpha}_s+1}(u) du .$$

Où les paramètres affectés d'un $\hat{\cdot}$ sont ceux qui interviennent dans les deux modèles précédents (courant et densités).

On démontre que cet estimateur est approximativement sans biais et que sa variance est approximativement égale à :

$$V(\hat{B}) \approx V(\hat{\beta})I_1^2 + V(\hat{c})I_2^2 + V(\hat{a})I_3^2 + V(\hat{\alpha})I_4^2 + 2 \text{cov}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})I_1I_4 + 2 \text{cov}(\hat{a}, \hat{c})I_2I_3,$$

où les termes en I sont des intégrales calculées par des méthodes d'intégration numérique classiques.

Les études effectuées nous donnent la possibilité de connaître le courant de flot et la densité de civelles en des points fixés de la tranche d'eau et à temps continu. Cependant, le problème de l'interpolation spatiale dans la tranche d'eau à partir des six points de mesure sur lesquels on estime la densité de civelles, demeure.

3.3.2 Estimation de la biomasse sur toute la tranche d'eau

Ne connaissant pas les gradients horizontal et vertical de la densité, différentes hypothèses ont été envisagées. Concrètement, elles se sont traduites par l'extrapolation de chacune des six valeurs de densités à une zone de découpage de la tranche d'eau de surface variable (Bru, 2004). La tranche d'eau a été découpée de façon simple en rectangle de surface variable (figure 11). Pour l'Adour, plusieurs découpages ont ensuite été testés avec comme hypothèse l'équiprobabilité des cas de figures envisagés.

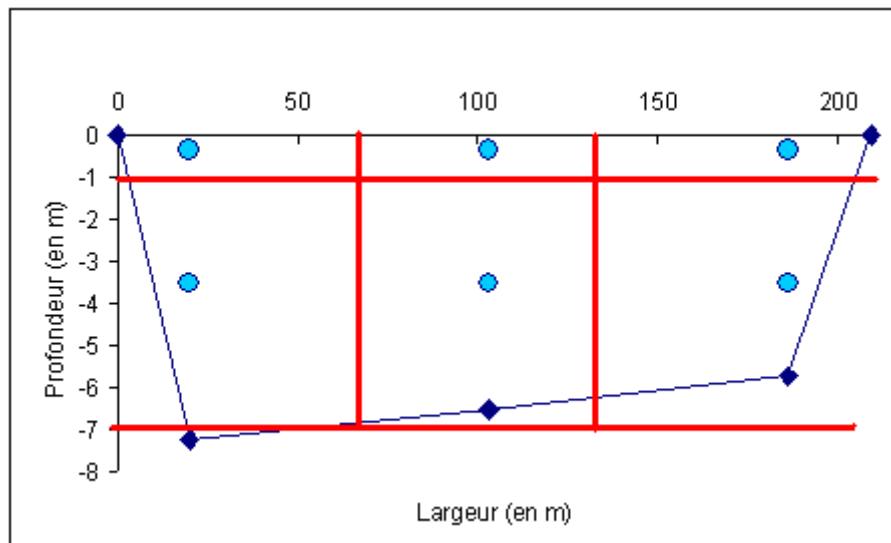


Figure 11 : Exemple de découpage de la tranche d'eau en 6 zones de calcul et points de prélèvements ● pour l'Adour.

Cette approche repose donc sur les approximations suivantes :

Hypothèse H1 : L'échantillonnage des 3 transects (RD, M et RG) a été considéré comme instantané au vu de la durée de l'échantillonnage global (de plusieurs heures). En fait, le passage d'un transect à l'autre a duré en moyenne 10 mn, d'où une

couverture de la section totale en 30 mn. Toutefois, l'incidence de cette hypothèse est faible si l'on considère l'agrégation sur tout le flot.

Hypothèse H2 : Par manque d'informations, les zones du fond sont de surfaces plus importantes car une étude préalable sur l'Adour nous permet de dire qu'au-delà d'une certaine profondeur le comportement des civelles est le même et nous avons appliqué ces résultats à la Loire et à l'Isle. De plus, pour faciliter les calculs, nous avons considéré une allure moyenne de la tranche d'eau et nous n'avons pas pris en compte les variations de hauteur d'eau au cours du temps.

Dans les applications numériques, 12 découpages de la tranche d'eau ont été testés (tableau 13) pour l'Adour.

Tableau 13 : Choix des découpages en largeur et en profondeur de la tranche d'eau moyenne sur l'Adour.

Numéro du découpage	Découpage en largeur (en m)	Découpage en hauteur (en m) à partir de la surface
1	70/70/70	1 / 7
2	60/90/60	1 / 7
3	50/110/50	1 / 7
4	40/130/40	1 / 7
5	70/70/70	1,5 / 7
6	60/90/60	1,5 / 7
7	50/110/50	1,5 / 7
8	40/130/40	1,5 / 7
9	70/70/70	2 / 7
10	60/90/60	2 / 7
11	50/110/50	2 / 7
12	40/130/40	2 / 7

- **Estimateur de la biomasse de civelles pour un découpage j fixé :**

Sous les hypothèses de travail ci-dessus, la formule utilisée permettant, pour chaque découpage j , de proposer une estimation journalière de la biomasse de civelles passées dans la section du fleuve lors du flot est la suivante :

$$\hat{B}_j = \sum_{s=1}^{nbreZones} \hat{B}_s \times S_s^j$$

où

s est un indice qui désigne la position dans la tranche d'eau,

S_s^j est la surface de la zone qui encadre le point de mesure dans le découpage j sélectionné.

$NbreZones$ est le nombre de zones.

Les formules de calcul des estimations de biomasse de civelles pour un jour donné avec différents choix possibles de gradients au nombre de $nbgd$ (avec $nbgd = 1$ pour l'Isle) :

$$\hat{B} = \frac{1}{nbgd} \sum_{j=1}^{nbgd} \hat{B}_j$$

$$s^2(\hat{B}) = \frac{1}{nbgd} \sum_{j=1}^{nbgd} s^2(\hat{B}_j) + \frac{1}{nbgd} \sum_{j=1}^{nbgd} (\hat{B}_j - \hat{B})^2$$

Enfin, l'intervalle de confiance de la biomasse de civelles à 5% de risque de première espèce s'écrit :

$$IC(B; 95\%) = \hat{B} \pm 2s(\hat{B})$$

4 Résultats de l'estimation journalière de la biomasse issue des campagnes expérimentales sur l'Adour

L'estimation journalière de la biomasse de civelles dans l'estuaire de l'Adour pour la saison 2004/2005 varie entre 37 kg le 23/11/04 et 550 kg le 09/11/04. En décembre, la quantité la plus forte est estimée à 375 kg le 08/12 (tableau 14). Avec ces estimations, nous pouvons distinguer un flux précoce début novembre et un flux autour du 08 décembre.

Tableau 14 : Estimation de la biomasse de civelles (en kg) et son intervalle de confiance sur l'Adour.

Date de sortie	Biomasse estimée (en kg)	Ecart type	Intervalle de confiance $1 - \alpha = 95\%$
09/11/04	550	105,55	[338,9 ; 761,1]
18/11/04	257	26,02	[204,96 ; 309,04]
23/11/04	37	1,83	[33,34 ; 40,66]
07/12/04	186	49,87	[86,26 ; 285,74]
08/12/04	375	78,93	[217,14 ; 532,86]
14/12/04	198	38,79	[120,42 ; 275,58]
16/12/04	244	97,34	[49,32 ; 438,68]

Conclusion

L'échantillonnage, en vue de l'estimation des flux de civelles au cours de la saison de migration 2004/2005 dans l'estuaire de l'Adour, a été réalisé au niveau de l'île de Berenx. Les 7 sorties réalisées ont permis de compléter la base de données collectées au cours des autres saisons de migration pour diversifier au maximum les conditions d'échantillonnage. L'objectif au terme du programme Indicang étant de passer de l'estimation de la biomasse journalière à l'extrapolation de la biomasse saisonnière.

Cette saison 2004/2005 est marquée par l'arrivée d'un flux important au mois de novembre que l'on ne retrouve pas au mois de décembre. Les trois dernières campagnes n'ont pu être réalisées en raison des conditions météorologiques défavorables en fin d'année, forts débits et tempêtes. Elles sont reportées à la saison de migration 2005/2006.

Le calcul de biomasse nécessite une étude préliminaire de la vitesse du courant de flot au niveau de la station de référence et à la correction des erreurs de mesures pour éviter un biais supplémentaire dans le calcul des densités et de fait à travers les estimations de biomasses journalières. Pour la saison 2004/2005, ces dernières, après correction des vitesses du courant fluctuent entre 37 et 550 kg.

Pour l'estimation des biomasses saisonnières, la méthodologie employée se base sur l'élaboration d'un modèle mettant en relation le taux d'exploitation et les fluctuations des conditions environnementales. Le taux d'exploitation pour la saison de migration 2004/2005 n'est pas encore disponible pour la pêcherie estuarienne. Ceci explique que ce rapport s'arrête pour l'instant aux calculs de biomasses journalières.

Bibliographie

Bru N., 1998. Étude de quelques méthodes d'estimation non paramétriques de courbes. Application à l'évaluation de flux de civelles d'anguille. Thèse de doctorat, Université de Pau, 161 p.

Bru N. & Lejeune M., 2004. Méthodologies statistiques appliquées à l'étude des flux de civelles d'Anguille. Extrapolation saisonnière des biomasses journalières de civelles d'Anguille dans l'estuaire de l'Adour à partir des données de captures professionnelles et de variables environnementales. Rapport LABSAD, 30 p.

Casamajor (De) M-N, 1998. Comportement migratoire de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour en fonction de la variabilité des conditions environnementales. Thèse n°98PAUU3017, 64 p.

Prouzet P., (coord.) 2002. Historique des captures de civelles, intensité actuelle de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indice de colonisation sur le bassin versant de l'Adour. Rapport final, contrat EC/DG FISH (DGXIV) N° 99/023. 147 p.

ANNEXE 1

Modélisation sinusoïdale du courant ADOUR

Comparaison entre valeurs mesurées in situ et valeurs estimées par le modèle sinusoïdal

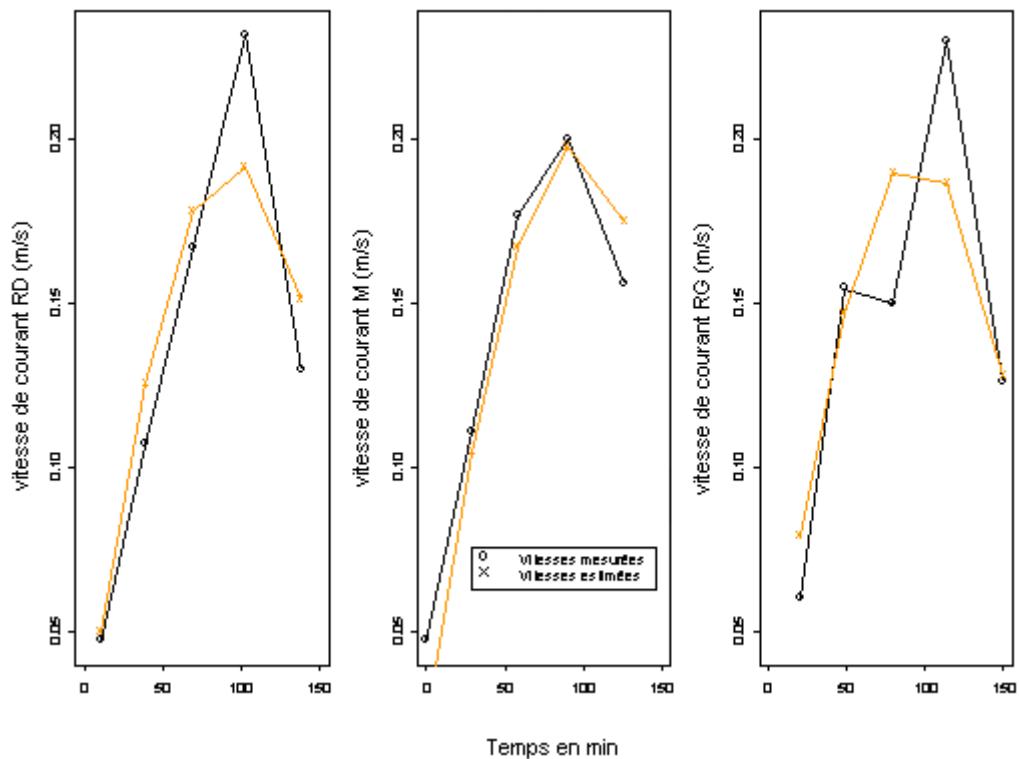


Figure 1 : Courant modélisé le 09/11/04 (débit : 114 m³/s – coeff : 65).

Comparaison entre valeurs mesurées in situ et valeurs estimées par le modèle sinusoïdal

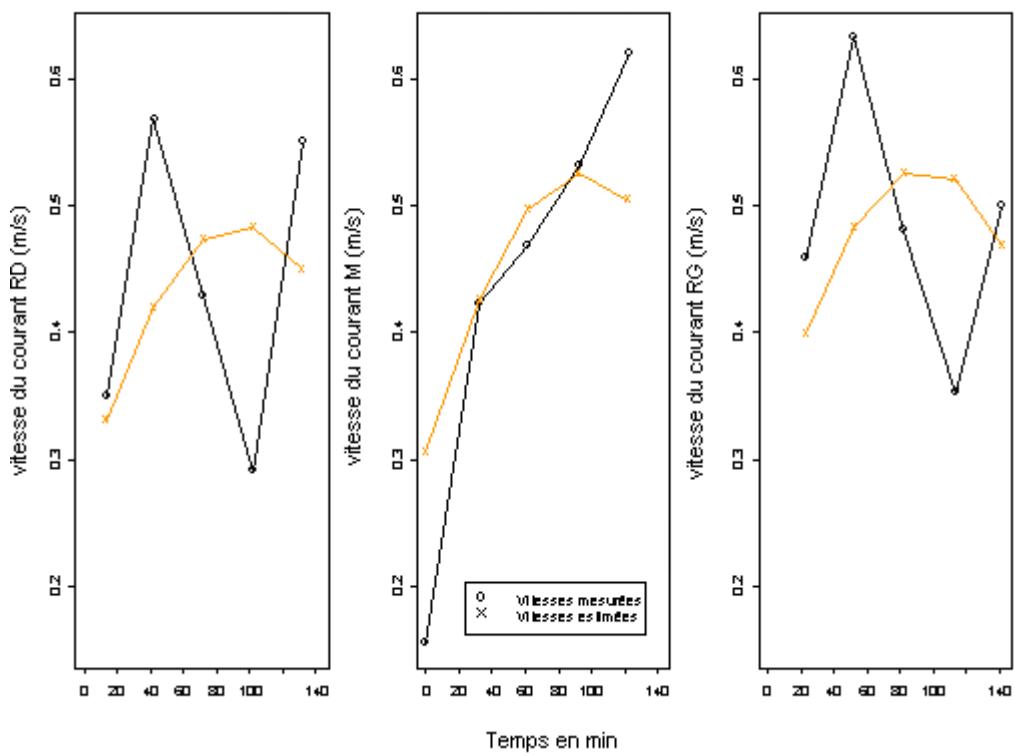


Figure 2 : Courant modélisé le 18/11/04 (débit : 121 m³/s – coeff : 54).

Comparaison entre valeurs mesurées in situ et valeurs estimées par le modèle sinusoïdal

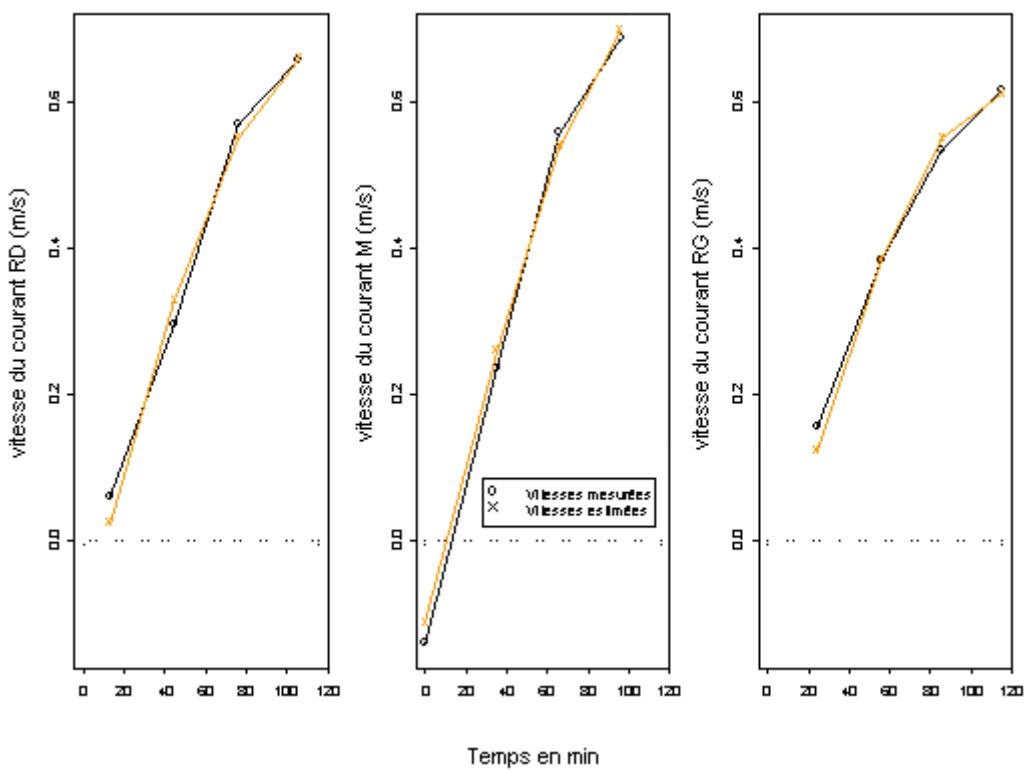


Figure 3 : Courant modélisé le 23/11/04 (débit : 141 m³/s – coeff : 70).

Comparaison entre valeurs mesurées in situ et valeurs estimées par le modèle sinusoïdal

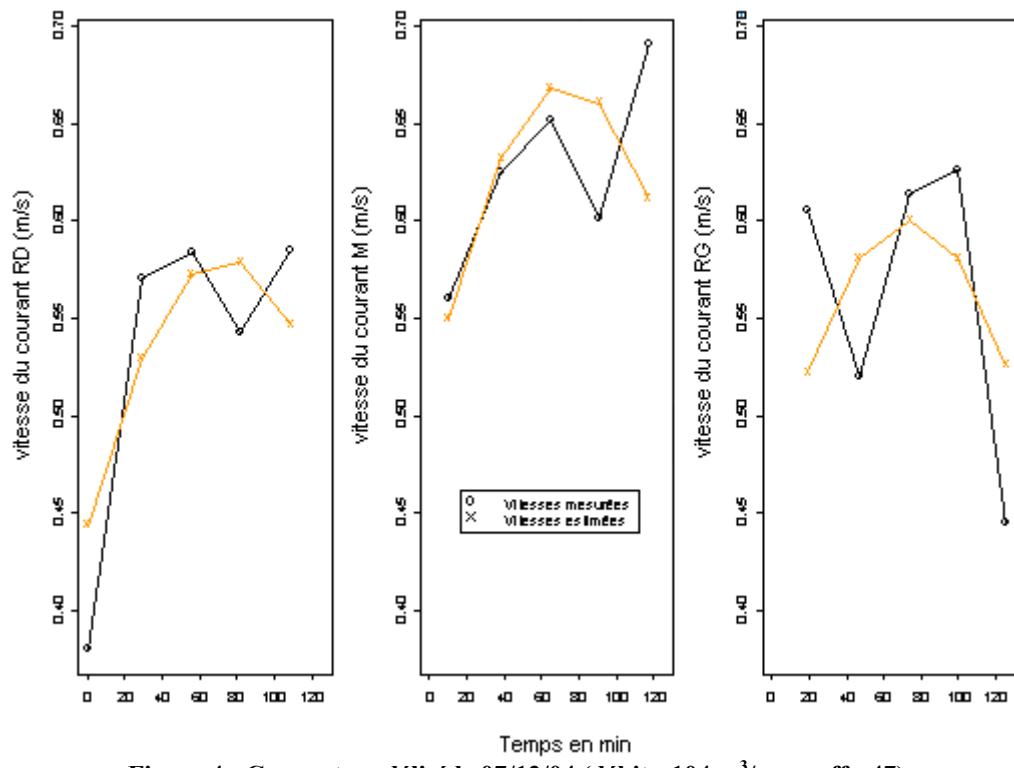


Figure 4 : Courant modélisé le 07/12/04 (débit : 104 m³/s – coeff : 47).

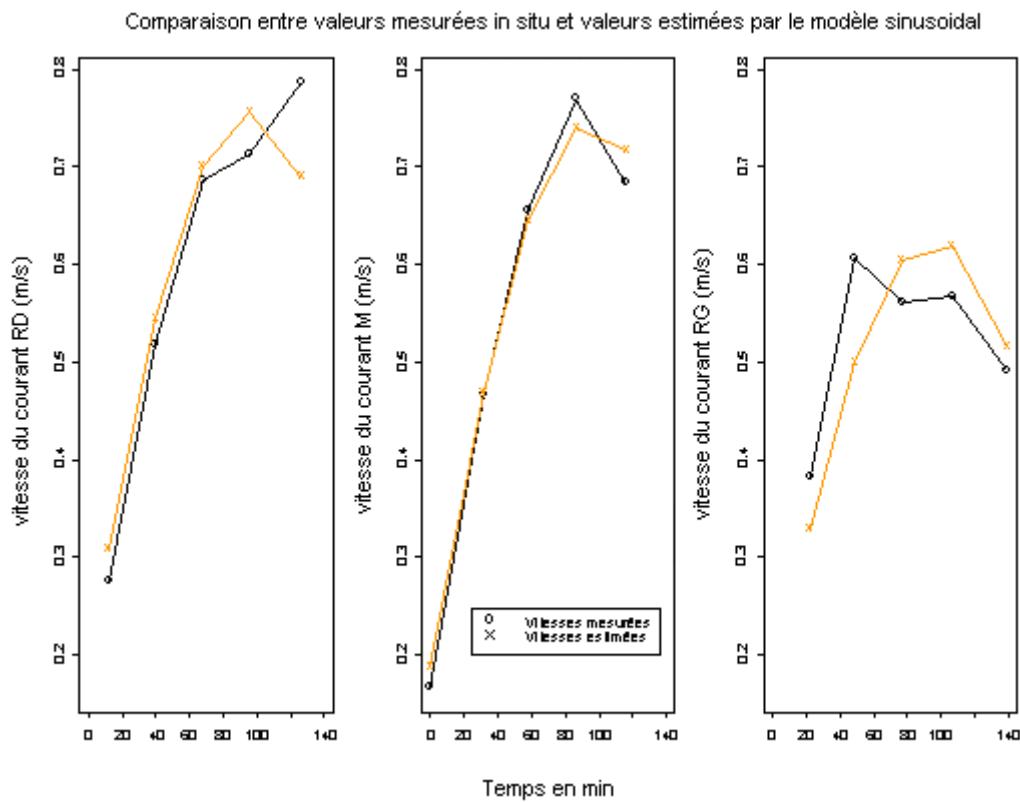


Figure 5 : Courant modélisé le 08/12/04 (débit : $104 \text{ m}^3/\text{s}$ – coeff : 54).

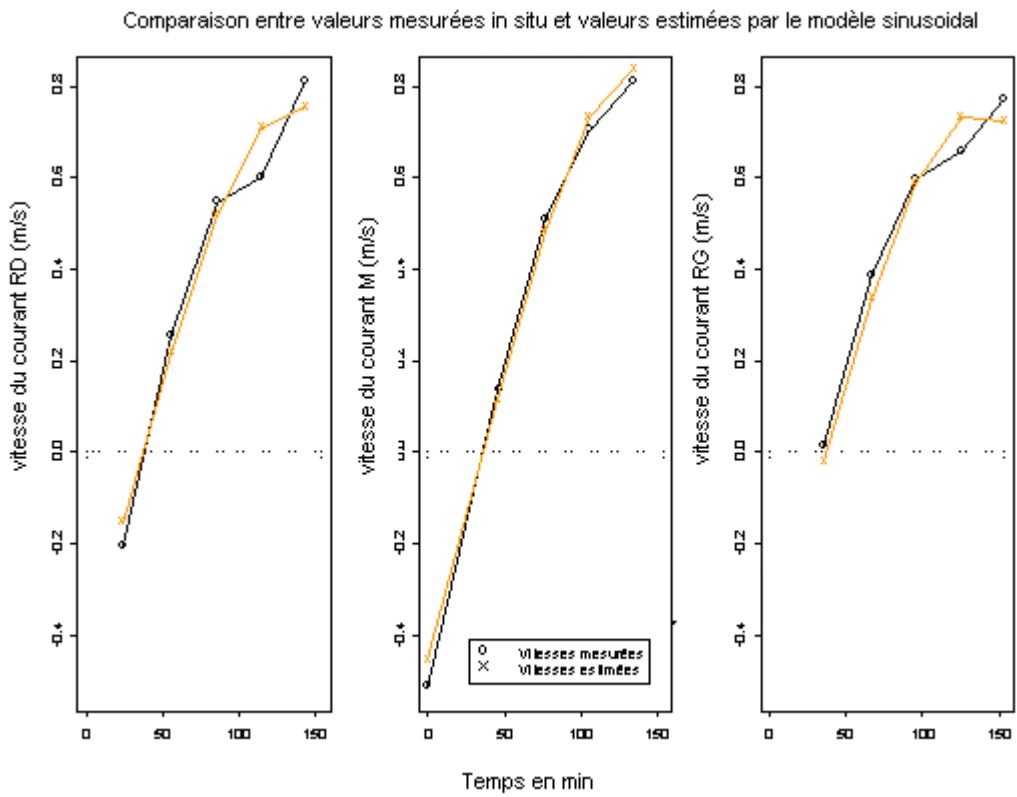


Figure 6 : Courant modélisé le 14/12/04 (débit : $95 \text{ m}^3/\text{s}$ – coeff : 96).

Comparaison entre valeurs mesurées in situ et valeurs estimées par le modèle sinusoïdal

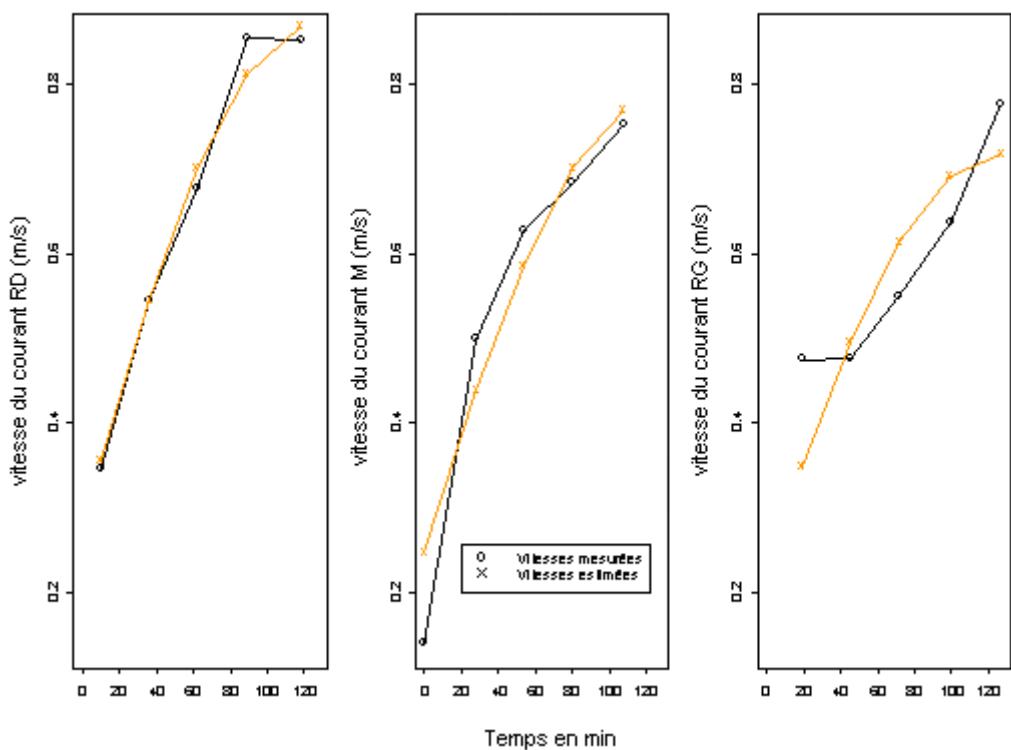


Figure 7 : Courant modélisé le 16/12/04 (débit : 91 m³/s – coeff : 86).