



HAL
open science

Validation des hypothèses comportementales utilisées dans la quantification du flux de civelles d'anguille (*Anguilla anguilla*) sur l'Isle : rapport final

Patrick Lambert, B. Durozoï, Laurent Beaulaton

► To cite this version:

Patrick Lambert, B. Durozoï, Laurent Beaulaton. Validation des hypothèses comportementales utilisées dans la quantification du flux de civelles d'anguille (*Anguilla anguilla*) sur l'Isle : rapport final. [Rapport de recherche] irstea. 2007, pp.34. hal-02592825

HAL Id: hal-02592825

<https://hal.inrae.fr/hal-02592825v1>

Submitted on 15 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.



Validation des hypothèses comportementales utilisées dans la quantification du flux de civelles d'anguille (*Anguilla anguilla*) sur l'Isle

Rapport final

Patrick LAMBERT
Bénédicte DUROZOI
Laurent BEAULATON

Département Gestion des milieux aquatiques
Unité Ecosystèmes estuariens
et poissons migrateurs amphihalins
50, avenue de Verdun 33612 Cestas Cedex
Tel : 05 57 89 08 00 Fax 05 57 89 08 01

Juin 2007

Etude n° 115

Lambert, P., Durozoi, B. Beaulaton, L., 2007. Validation des hypothèses comportementales utilisées dans la quantification du flux d'anguille (*Anguilla anguilla*) dans l'Isle. Contrat Indicang. Rapport Cemagref n°115. 34 p.

Résumé :

14 campagnes d'échantillonnage des civelles d'anguille (*Anguilla anguilla*) ont été réalisées sur 24 heures à l'aval de l'Isle, un affluent de la Dordogne, durant les saisons de migration 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007. Cela a permis de montrer que les civelles ne migraient pas uniquement durant le flot de nuit mais que 30 % des individus migrant vers l'amont le faisaient durant les flots de jour, principalement dans les couches profondes. Par ailleurs, des civelles sont également trouvées durant les jusants nocturnes et dans une moindre mesure durant les jusants diurnes. Des modèles additifs généralisés ont permis d'établir le profil des flux (en nombre d'individus) sur un cycle nyctéméro-tidal.

Mots Clef : *Anguilla anguilla*, civelle, estimation de stock, migration

Abstract:

14 samplings of glass eels (*Anguilla anguilla*) were performed in the Isle River, a tributary of the Dordogne River during migration seasons 2004-2005, 2005-2006 and 2006-2007. The results show that glass eels do not migrate only during night floods but that 30 % of upstream migrants move during day floods. Some glass eels are also found during nocturnal ebbs and in less extend during diurnal ebbs. Generalized additive models lead to calculate the flux (in numbers of individuals) pattern for a nyctemero-tidal cycle.

Key words: *Anguilla anguilla*, glass eel, stock estimation, migration

SOMMAIRE

1. Introduction	1
1.1. Contexte des campagnes d'échantillonnage	1
1.2. Rappel de la méthode de quantification et des hypothèses de calcul	1
1.3. Objectif du présent travail	2
2. Matériel et méthode	2
2.1. Localisation de la zone d'échantillonnage	2
2.2. Protocole d'échantillonnage	3
Méthode de pêche	3
Vitesse du bateau	5
Distance filtrée et vitesse de courant	5
Calendrier des pêches	6
2.3. Analyses statistiques	7
Définition des termes et base de données	7
Principe de l'analyse	8
Hauteur d'eau	9
Section mouillée	10
Vitesse du courant	10
Présence des individus dans la colonne d'eau	10
Densités non nulles des civelles	10
Calcul des flux	11
3. Résultats	11
3.1. Evolution de la hauteur d'eau au cours des campagnes	11
3.2. Evolution de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau	11
3.3. Modélisation des vitesses de courant au cours d'un cycle de marée	12
3.4. Modélisation des densités au cours d'un cycle de marée	12
Présence des individus à différentes profondeurs	12
Densité non nulle des individus à différentes profondeurs	12
3.5. Profil des flux de civelles entre flot de jour et de nuit, jusant de jour et de nuit	12
3.6. Importance de la profondeur dans la répartition des flux	15
3.7. Flux moyen sur les 14 campagnes	17
4. Conclusion	19

<i>Bibliographie</i> _____	20
<i>Annexe</i> _____	21
Annexe 1 : Résultat du modèle d'évolution de la hauteur d'eau _____	21
Annexe 2 : Résultat du modèle d'évolution des vitesses de courant _____	22
Annexe 3 : Résultat du modèle d'évolution des présences des civelles à différentes profondeurs _____	25

1. Introduction

1.1. Contexte des campagnes d'échantillonnage

Le programme européen INDICANG vise à construire des indicateurs pour évaluer l'évolution des divers stades biologiques de l'anguille et de son environnement. Parmi ses actions, il était prévu la réalisation sur plusieurs estuaires de la façade atlantique d'une quantification du flux de civelles afin d'évaluer le taux de prélèvement effectué par la pêche. Cette opération vise, par des inventaires scientifiques périodiques, à évaluer les densités de civelles pendant la durée du flot nocturne, de corrélérer le succès de pêche avec les conditions hydrologiques et climatiques, puis à généraliser ces densités sur l'ensemble de la saison de pêche en utilisant les données de la pêche collectées auprès des professionnels exerçant dans la zone. Grâce à un modèle hydraulique, ces densités peuvent alors permettre de calculer les flux et les biomasses de civelles circulant sur l'Isle et de comparer celles-ci aux quantités déclarées par les pêcheurs.

Cette méthode a été mise au point sur l'estuaire salé de l'Adour par l'Ifremer (Prouzet 2002). Sa généralisation à d'autres situations, en particulier sur l'Isle, affluent de la Dordogne, méritait de vérifier si les hypothèses, sur lesquelles repose cette quantification, étaient toujours valides.

1.2. Rappel de la méthode de quantification et des hypothèses de calcul

Elle repose sur une extrapolation de la quantité pêchée dans un volume connu au volume correspondant à la zone de dispersion de la civelle en mouvement, puis sur une interpolation sur toute la durée de la migration.

Cette extrapolation repose sur deux hypothèses principales (lettre d'Indicang n°4 et 5)

- Toutes (ou la plus grande partie) des civelles présentes transitant vers l'amont se dispersent de manière relativement homogène dans un sous compartiment du volume d'eau considéré (on considère généralement 4 ou 6 sous compartiments) ;
- L'engin de pêche échantillonne sans biais et de manière significative le volume qu'il filtre.

Les auteurs de cette méthode s'appuient sur les éléments suivants de la biologie du comportement des civelles en migration :

- En estuaire, les civelles progressent vers l'amont grâce à un comportement de migration portée. Elles « suivent » la propagation du flot. En outre, les observations effectuées sur l'Adour ou bien en fluvium montrent qu'une partie des civelles est présente dans la colonne d'eau avant l'arrivée du flot et dès que le courant dirigé vers l'aval est inférieur à 0,3m/s environ (Bouvet, *et al.* 2006, Bru, *et al.* 2006).
- Dans la colonne d'eau, la civelle évite les lumières trop vives. Elle aura tendance à pénétrer d'autant plus en profondeur que la lumière au sein de la colonne d'eau est forte. Cela veut dire que le jour lorsque les eaux sont claires, la civelle progresse avec le flot, mais très près du fond et dans des zones où la lumière est très atténuée. La nuit, elle aura tendance à venir

près de la surface par les nuits sans lune ou lorsque l'eau est très turbide (De Casamajor, *et al.* 1999).

Plus précisément, cette quantification du taux d'exploitation se déroule en trois temps, l'interpolation spatio-temporelle des densités de civelles au cours d'un flot de nuit, puis le calcul de la biomasse « journalière » ayant transitée durant cette phase de la marée et enfin l'interpolation de ces biomasses au cours de la saison de pêche.

L'interpolation spatio-temporelle des densités au cours du flot (Prouzet 2002) suppose que

- la vitesse du flot en un point, constant sur la colonne d'eau, évolue de façon sinusoïdale et en phase sur les différents transects ;
- les densités de civelles sont expliquées par un modèle log-log de cette vitesse du flot, suivant un découpage en sous compartiment.

Le calcul de la biomasse journalière d'un flot suppose que

- la biomasse durant le flot de jour est négligeable ; la biomasse journalière est alors égale à la biomasse durant le flot de nuit ;
- les densités au cours du flot, compte tenu de leur faible variation, peuvent être remplacées par la densité moyenne ;
- la variation de la section mouillée au cours du flot est négligée.

Ces deux dernières hypothèses sont nécessaires pour simplifier le calcul de la variance de l'estimation de cette biomasse.

L'interpolation au cours de la saison de pêche (Bouvet, *et al.* 2006, Bru, *et al.* 2006) cherche à simuler le taux d'exploitation journalier (rapport entre les captures totales et la biomasse journalière) en se basant sur les captures totales et des conditions environnementales qui modifient l'accessibilité des civelles à la pêche. La turbidité, calculée à partir d'une relation incluant le débit et les matières en suspension est le principal facteur. A noter que l'incertitude de la biomasse journalière n'est pas intégrée dans ce calcul.

1.3. Objectif du présent travail

Nous avons souhaité vérifier si la migration était effectivement limitée aux flots de nuit et comment les civelles se répartissaient dans la colonne d'eau. Le Cemagref a donc réalisé sur trois saisons, des campagnes de pêches expérimentales en continu pendant 24 heures.

2. Matériel et méthode

2.1. Localisation de la zone d'échantillonnage

La zone d'échantillonnage se situe sur l'Isle, 1 km en amont de l'embouchure avec la Dordogne (Figure 1), et est délimitée par les coordonnées géographiques suivantes:

- Limite amont : 44°55.570 N et 0°14.532 O
- Limite aval : 44°55.387 N et 0°14.517 O

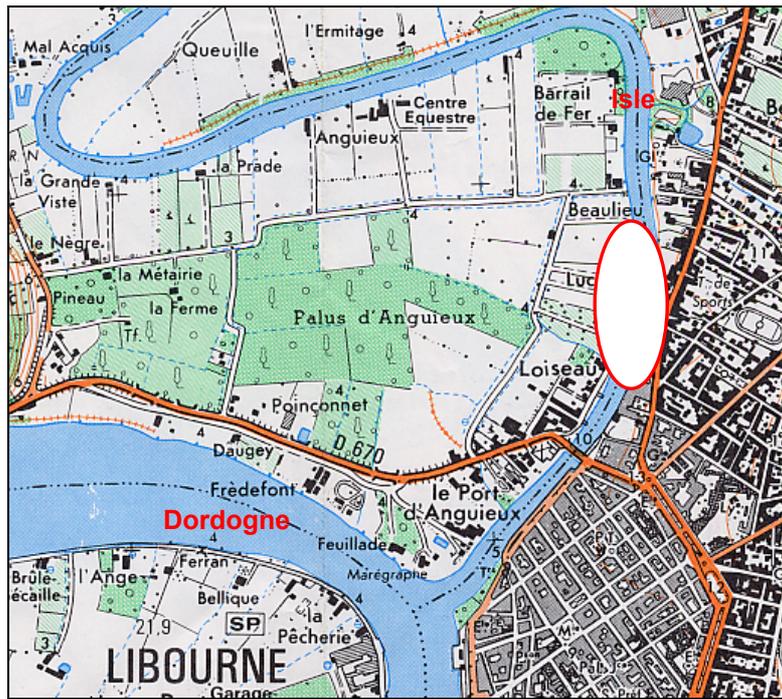


Figure 1 : Localisation de la station échantillonnée sur l'Isle.

Cette zone se situe en zone de propagation de la marée dynamique et en amont de la zone de propagation du front de salinité. Elle est donc soumise à l'influence de marées douces. Compte tenu de sa position amont dans l'estuaire, une dissymétrie entre la durée des flots et des jusants existe avec en moyenne une durée de 3 h 50 pour les premiers et de 8 h 36 pour les seconds.

L'Isle est un affluent exploité par une pêche professionnelle civillière d'une cinquantaine de bateaux dont les captures totales n'ont pas dépassé la tonne ces dernières années (Girardin, *et al.* 2005).

2.2. Protocole d'échantillonnage

Méthode de pêche

Les pêches expérimentales sont réalisées à bord d'une vedette de 6,70 m équipé d'un moteur hors bord de 115 chevaux. Elle est grée spécifiquement pour les besoins de ces pêches avec deux cadres pivotables en aluminium sur chaque bord et d'un traîneau supra benthique (photos 1 à 6).



Photo 1 : « Dediou »



Photo2 : Cadre bâbord



Photo3 : Cadre bâbord en pêche



Photo 4 : Traîneau permettant d'échantillonner



Photo 5 : Mise à l'eau du traîneau.



Photo 6 : Traîneau en pêche.

Chaque cadre est équipé de 2 tamis de section carrée de 0,5 m à maille millimétrique. Ainsi, quatre profondeurs différentes de la colonne d'eau ont été échantillonnées (Figure 2). Le traîneau, de largeur de 0,8 m et de hauteur de 0.7 m, est monté sur des patins permettant de pêcher 0,25 m au-dessus du fond. Il est également équipé d'une poche à maille millimétrique.

Les traits d'échantillonnage sont effectués dans le sens opposé au courant, dans la partie centrale du cours d'eau. La durée d'échantillonnage est de 5 minutes. La vitesse du bateau par rapport au fond est maintenue autant que faire se peut au environ de 2 km.h^{-1} (entre 1 et 4 km.h^{-1}).

La première année, les traits d'échantillonnage ont été effectués uniquement avec les tamis, les deux saisons suivantes alternativement avec les tamis et le traîneau.

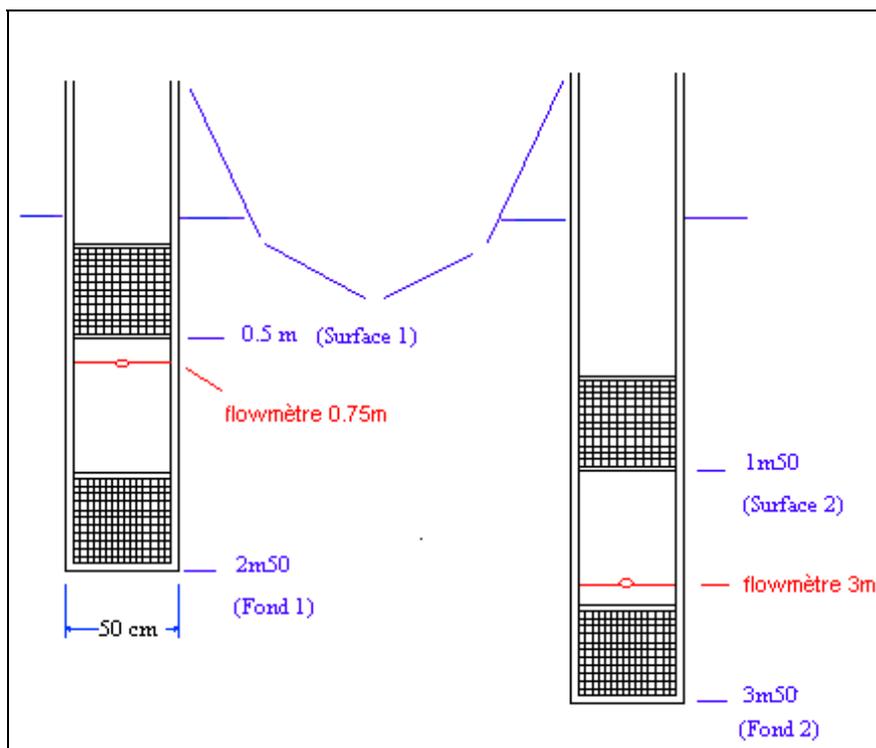


Figure 2 : Schéma des positions des tamis sur les cadres bâbord et tribord

Vitesse du bateau

La vitesse du bateau par rapport au fond est enregistrée grâce à un GPS/sondeur (Matrix 97 de marque Humminbird ®) relié au logiciel de navigation FUGAWI via un ordinateur. La première saison la connexion avec le logiciel de navigation n'étant pas opérationnelle, les vitesses ont été relevées par lecture directe sur le GPS.

Distance filtrée et vitesse de courant

Deux flowmètres électroniques (GO2 de General Océanique) sont placés à l'entrée de deux des cadres d'échantillonnage, l'un près du tamis de surface tribord et l'autre près du tamis de fond bâbord (Figure 2). Les flowmètres sont reliés à un PC portable permettant d'enregistrer en continu la distance filtrée et la vitesse de filtration. Un troisième flowmètre, manuel celui-ci, a été installé à l'entrée du traîneau. Toutefois, compte tenu du manque de fiabilité de la transmission entre flowmètre électronique et ordinateur, une lecture manuelle en début et en fin de trait du nombre de tours d'hélice a été privilégiée dès les premières campagnes. Les nombres de tours ont été ensuite transformés en distance filtrée par la formule fournie par le constructeur. La vitesse de filtration a été calculée en divisant cette distance filtrée par la durée du trait.

La vitesse du courant a été estimée en retranchant la vitesse du bateau par rapport au fond à la vitesse de filtration. Par convention, les vitesses durant le jusant ont été affectées d'un signe négatif.

Température et hauteur d'eau

Une sonde autonome température/pression (STS de chez Neotek®) a été placée à poste fixe sur un ponton situé à une cinquantaine de mètres à l'aval de la zone d'échantillonnage. Elle permet l'enregistrement en continu de la température et de la hauteur d'eau.

Lorsque cette sonde n'était pas opérationnelle (mise en place à partir de la cinquième campagne, dysfonctionnement lors de la campagne 11), les hauteurs d'eau ont été estimées à partir des enregistrements de la bouée Marel installée sur la Dordogne à proximité de la confluence avec l'Isle dans le cadre du réseau d'observation automatisé pour la surveillance de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde (MAGEST). Les hauteurs d'eau étaient également relevées manuellement à partir du GPS/sondeur en début et fin de chaque trait.

Calendrier des pêches

14 campagnes ont été réalisées sur trois saisons de migration (Tableau 1). Les dates de sorties ont été choisies en fonction des conditions de navigation, de la disponibilité des agents et de la présence supposée des civelles. La campagne 7 a été écourtée pour cause d'avarie.

Tableau 1 : Calendrier des pêches

Saison	Camp.	Début	Fin	Nb traits cadre	Nb traits traîneau
2004-2005	1	11/01/2005 17:34	12/01/2005 22:21	93	0
	2	18/01/2005 22:30	20/01/2005 02:56	91	0
	3	08/02/2005 16:48	09/02/2005 18:58	97	0
	4	15/02/2005 21:04	16/02/2005 19:18	79	0
	5	06/04/2005 03:47	07/04/2005 07:46	105	
2005-2006	6	07/12/2005 08:51	08/12/2005 07:47	43	42
	7	17/01/2006 18:53	18/01/2006 10:36	28	28
	8	13/02/2006 17:47	14/02/2006 17:11	49	49
	9	28/02/2006 18:16	01/03/2006 17:23	40	40
	10	03/04/2006 12:19	04/04/2006 12:08	49	48
2006-2007	11	22/01/2007 19:02	23/01/2007 18:27	39	38
	12	19/03/2007 17:17	20/03/2007 19:59	50	49
	13	02/04/2007 16:48	03/04/2007 16:19	47	45
	14	16/04/2007 17:20	17/04/2007 16:27	37	37

Le tableau 2 rassemble les principales caractéristiques environnementales rencontrées lors des différentes campagnes. Les coefficients de marée sont issus des annuaires des marées pour l'estuaire de la Gironde édités par le Port de Bordeaux. Les débits proviennent de la banque nationale de données pour l'hydrométrie et l'hydrologie (banque HYDRO). Les débits de la Dordogne proviennent de la station de Gardonne, ceux de l'Isle correspondent à la somme des débits sur l'Isle à la station d'Abzac et de la Dronne, à l'aval de Coutras. La température et la turbidité proviennent de la station MAREL installée sur la Dordogne à proximité de la confluence avec l'Isle dans le cadre du réseau MAGEST.

Tableau 2 : Conditions environnementales des campagnes de pêche

Saison	Camp.	Coeff. Marée (¹)	Débit (m ³ s ⁻¹) (²)		Température (°C)		Turbidité (NTU) (³)
			Isle	Dordogne	Isle	Dordogne (³)	Dordogne
2004-	1	99 - 100	41 - 38	164 - 195		8.3	579
2005	2	42 - 39	34 - 45	182 - 304		7.2	41
	3	94 - 100	35 - 32	185 - 188	7.3	6.7	67
	4	51 - 44	74 - 65	230 - 265	8.1	7.5	40
	5	75 - 95	40 - 46	165 - 191	15.9	14.4	291
2005-	6	64 - 61	49 - 40	214 - 243	9.5	7.5	117
2006	7	76 - 74	46 - 44	143 - 175	8.4	6.4	108
	8	81 - 83	25 - 28	106 - 105	7.9	5.6	102
	9	111 - 114	98 - 91	339 - 462	8.6	6.2	42
	10	73 - 55	223 - 187	572 - 576	14.9	11.3	80
2006-	11	95 - 93	84 - 51	240 - 343		9.7	44
2007	12	113 - 115	111 - 133	362 - 420	12.1	10.0	22
	13	86 - 87	84 - 83	256 - 266	12.9	11.1	22
	14	102 - 107	74 - 68	196 - 209	18.2	15.8	17

(1) Annuaire des marées. Estuaire de la Gironde 2005, 2006 et 2007. Port de Bordeaux

(2) Banque HYDRO

(3) Station MAGEST

2.3. Analyses statistiques

Le but de l'analyse est de relativiser les quantités de civelles présentes dans la colonne d'eau durant les quatre périodes du cycle « nyctemero-tidal » - le flot de nuit (*Fn*), le jusant de nuit (*Jn*), le flot de jour (*Fj*) et le jusant de jour (*Jj*).

Définition des termes et base de données

Nous avons défini dans ce travail le flot comme la phase de la marée correspondant aux courants de marée en surface vers l'amont et le jusant pour les courants vers l'aval, sans tenir compte de la

montée et de la descente du niveau d'eau. Cette définition est justifiée par l'absence de stratification thermique et haline dans cette zone et par l'utilisation préférentielle des courants de marée montante par les civelles.

Une base de donnée a été construite pour rassembler et structurer l'ensemble des données :

- 1727 vitesses de courant ont pu être estimées (644 à 0,5 m de la surface, 722 à 3,0 m de la surface, 631 près du fond), associées à 1216 traits ;
- 3735 échantillons (tamis ou traîneau) dont 870 avec au moins une civelle, les densités de civelles ayant été estimées sur 3726 échantillons. Ils sont associés à 1215 traits.

Cinq variables explicatives qualitatives ont été utilisées :

- La campagne, cp , permet d'intégrer indirectement des conditions hydrologiques et tidales et la disponibilité des individus au cours de la saison ;
- La profondeur de l'échantillonnage, pf , correspondant aux positions des tamis sur les cadres et du traîneau dans la colonne d'eau ;
- La profondeur des flowmètres, pff , correspondant aux positions des flowmètres ;
- L'alternance des flots et des jusants, ti , permet de prendre en compte grossièrement le cycle tidal
- L'alternance des nuits et des jours, ny , permet d'intégrer grossièrement la luminosité ambiante.

Deux variables quantitatives ont été également utilisées :

- La hauteur d'eau, he , au niveau de la zone d'échantillonnage ;
- Le temps relatif, tr , positionne un prélèvement au cours d'un flot ou d'un jusant indépendamment de la durée variable des phases de la marée. Par convention, les temps relatifs durant un flot sont compris entre 0 et 1 et les jusants entre 1 et 2.

Principe de l'analyse

Le principe de l'analyse s'appuie sur la démarche proposée pour l'interpolation spatio-temporelle des densités au cours du flot (Prouzet 2002) sans en retenir toutes les hypothèses simplificatrices. La quantité de civelles transitant pendant une des quatre périodes du cycle « nyctemero-tidal » q_i (avec $i \in \{Fn, Jn, Fj, Jn\}$) est égale à la somme des produits des densités de civelles par les volumes d'eau en mouvement pendant un intervalle de temps $\delta(t)$ (la phase de la marée étant discrétisée en n_i intervalles).

La densité des civelles est estimée suivant la méthode de Stefánsson (1996) qui modélise dans un premier temps la probabilité de présence $p(t)$ puis la densité non nulle de civelles $\mu(t)$.

Le volume d'eau en mouvement est quant à lui calculé en multipliant la section mouillée $s(t)$ par la vitesse du courant $c(t)$ et la durée de l'intervalle de temps $\delta(t)$.

q_i s'écrit donc :

$$q_i = \sum_{t=1}^{n_i} \delta(t) s(t) c(t) p(t) \mu(t)$$

Dans la mesure où les données étaient entachées d'erreur de mesure et pour pouvoir les calculer à n'importe quel moment du cycle nychtéméro-tidal, nous avons cherché à modéliser les différents composants utilisés dans cette estimation.

Des modèles additifs généralisés, GAM, ont été utilisés principalement pour leur souplesse dans la forme des relations puisqu'il autorise l'utilisation de fonction non paramétrique de lissage au lieu de simple effet linéaire (Hastie & Tibshirani 1990).

Le choix des variables explicatives utilisées dans les différents modèles repose sur notre expertise et sur des essais préliminaires en tenant compte du critère d'information d'Akaike (AIC Burnham & Anderson 2002). L'ensemble des calculs et des analyses statistiques a été réalisé avec l'aide du logiciel R (R Foundation Core Team 2005).

Hauteur d'eau

L'estimation de la hauteur d'eau au moment de chaque trait a nécessité l'utilisation de plusieurs sources de données, du fait des lacunes et de la faible fiabilité de certaines informations.

Les hauteurs d'eau pour les campagnes 1 et 2 pour lesquelles nous ne disposons pas d'information provenant de la sonde de pression et de la station MAGEST ont été estimées en lissant les valeurs très bruitées relevées sur le sondeur en début et en fin de chaque trait. Les données de la sonde de pression ont été utilisées pour les campagnes 3 et 4 en fixant arbitrairement la valeur de tarage, erronée lors de l'installation. Les pressions d'eau lors des campagnes 5 à 10 et 12 à 14 correspondent à celles enregistrées par la sonde, recalées entre chaque installation à partir des données fournies par la station MAGEST. Les données de la station MAGEST ont été utilisées pour la campagne 11 (sonde de pression en réparation). Pour ces campagnes (3 à 14), la profondeur sous la sonde lors de la campagne de bathymétrie a été ajoutée aux mesures de pression pour donner la hauteur d'eau au moment des traits.

La hauteur d'eau a été ensuite simulée en considérant une courbe de réponse du temps relatif et un effet simple de la campagne :

$$he \sim \text{spline}(tr) + cp$$

en utilisant la fonction `spline()` comme lisseur non paramétrique.

Section mouillée

Une campagne d'échosondage a été réalisée par l'Adera-Ceraca le 15 mars 2005 (coefficient de marée de 77 – débit de $27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Les données ont été acquises à l'aide d'un sondeur monofaisceau Ossian (société Micrel) de fréquence 120 kHz avec 7° d'angle d'ouverture, le transducteur étant installé côté bâbord à 30 cm sous l'eau (Sanchez, *et al.* 2005).

Après correction des variations induites par l'évolution de la hauteur d'eau au cours de la campagne de mesure, un polynôme d'ordre 3 respectant la dissymétrie du profil a été ajusté.

La section mouillée est ensuite découpée pour affecter à chaque engin de pêche une proportion de la surface, les limites entre sous zones sont prises à égale distance des centres des engins de pêche.

Une procédure a été ensuite implémentée sous R permettant de calculer la section mouillée pour une hauteur d'eau he donnée, par intégration du profil entre les positions des rives droite x_{RD} et gauche x_{RG} correspondant à he .

$$s = \int_{x_{RD}}^{x_{RG}} -6.94e^{-18}x + 9.19e^{-3}x^2 + 5.64e^{-5}x^3 dx$$

Vitesse du courant

Les vitesses du courant aux trois profondeurs mesurées (correspondant aux trois flowmètres) ont été simulées en considérant une fonction du temps relatif, corrigée par des effets additifs de la campagne et de la profondeur :

$$v \sim \text{spline}(tr) + cp + pff$$

Présence des individus dans la colonne d'eau

La présence des individus à différentes profondeurs a été simulée en intégrant deux fonctions du temps relatif (l'un pour le jour l'autre pour la nuit) et des effets croisés de campagne et de la profondeur en fonction des phases du cycle nycthéméro-tidal. Un lien logistique a été utilisé (analyse de la de Stefánsson 1996) :

$$\text{logit}(p) \sim ny : \text{spline}(tr) + cp \times (ti + ny) + pf \times (ti + ny)$$

Densités non nulles des civelles

Un modèle équivalent, mais cette fois avec un lien log et une distribution des erreurs gamma (analyse gamma de Stefánsson 1996), a été utilisé pour reproduire les densités non nulles à différentes profondeurs :

$$\log(\mu) \sim ny : \text{spline}(tr) + cp \times (ti + ny) + pf \times (ti + ny)$$

Calcul des flux

Un jeu artificiel de données correspondant à un plan d'échantillonnage complet a été créé afin de comparer sans biais les flux durant les quatre phases du cycle nyctéméro-tidal. Cela revient, pour les 14 campagnes, à considérer des flots et des jusants se déroulant en totalité de nuit ou de jour et à pêcher simultanément aux cinq profondeurs.

Un deuxième jeu artificiel de données a également été élaboré pour comparer les flux réellement observés lors des campagnes. Cela revient à respecter les heures de lever et de coucher du soleil mais à pêcher systématiquement aux cinq profondeurs.

Les vitesses calculées à partir du flowmètre situé à 0,75 m sous la surface ont été affectées au calcul des flux des deux premières zones. Les vitesses obtenues avec le flowmètre installé à 3 m sous la surface ont servi au calcul des flux des zones correspondant aux deux tamis des cadres les plus profonds. Enfin les vitesses estimées par le flowmètre fixé sur le traîneau ont été utilisées pour les flux en profondeur.

3. Résultats

3.1. Evolution de la hauteur d'eau au cours des campagnes

Le modèle retenu explique 88,8 % de la variabilité. Le plus mauvais ajustement a été trouvé pour la campagne 2. Cependant pour cette campagne, les observations reposent sur les lectures directes du sondeur du bateau (annexe 1).

3.2. Evolution de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau

La Figure 3 montre les différences de surface des zones correspondant au découpage de la section mouillée pour le niveau d'eau le plus bas (4.9 m) et le plus haut (10.7 m).

Entre ces niveaux, la section mouillée varie du simple à plus du triple. Au cours d'une marée, le marnage est en moyenne de 3.7 m ce qui induit également des différences d'environ un facteur 2.

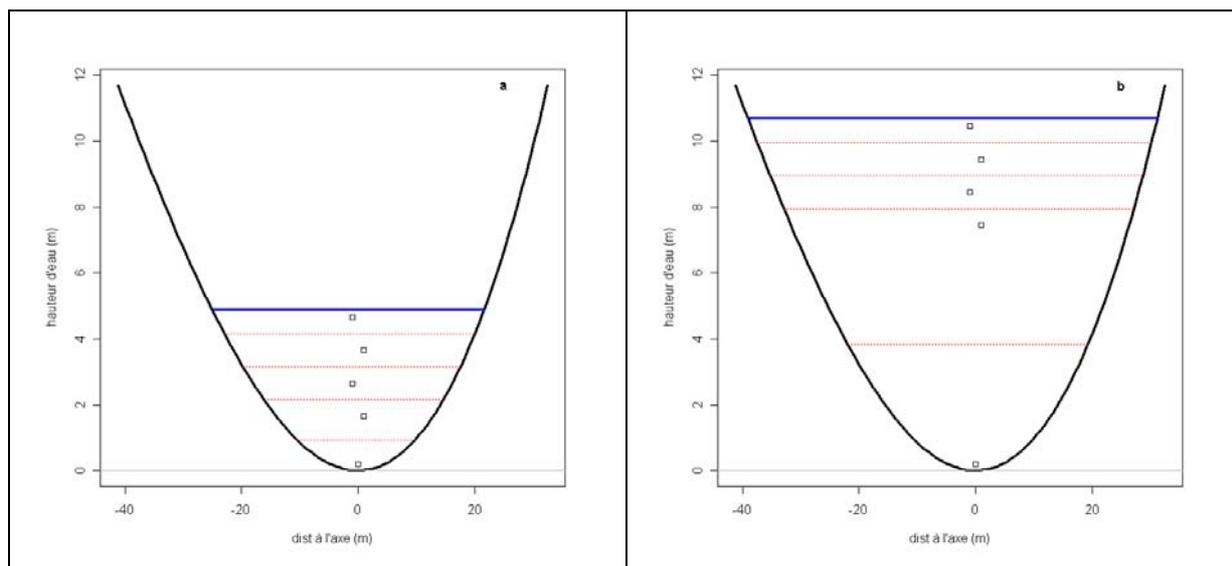


Figure 3: Découpage de la section pour les niveaux d'eau extrêmes observés, les carrés représentent la position des engins de pêche pour une hauteur d'eau de 4,9 m (a) ou de 10,7 m (b)

3.3. Modélisation des vitesses de courant au cours d'un cycle de marée

Le modèle des vitesses de courant explique 81,7 % de la variabilité des vitesses observées. Si l'allure générale de l'évolution du courant au cours de la marée est bien appréhendée, les valeurs extrêmes sont pour certaines campagnes sous estimées (Annexe 2)

3.4. Modélisation des densités au cours d'un cycle de marée

Présence des individus à différentes profondeurs

Le modèle retenu explique 45,8 % de la variabilité. L'indice de Kappa (Manel, *et al.* 2001) est 0,62. Les simulations des présences pour les différentes campagnes sont présentées dans les figures de l'annexe 3.

Densité non nulle des individus à différentes profondeurs

Le modèle retenu explique 51,9 % de la variabilité observée.

Les simulations des densités non nulles pour les différentes campagnes sont présentées dans les figures de l'annexe 4.

3.5. Profil des flux de civelles entre flot de jour et de nuit, jusant de jour et de nuit

L'application des modèles ci-dessus sur le jeu de données virtuelles permet de calculer les flux théoriques moyens de civelles au cours du cycle nycthero-tidal (Figure 4).

70 % des civelles transitent durant le flot le font de nuit. Le flux pendant les jusants correspond à 16 % de celui des flots.

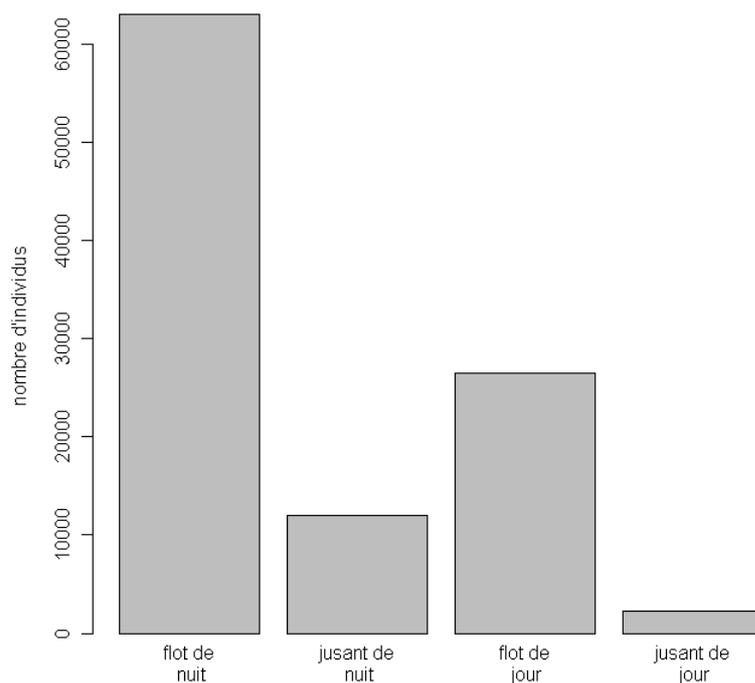


Figure 4 : Profil théorique moyen des flux sur un cycle nyctéméro-tidal (en considérant que les flots et les jusants se déroulent en totalité de jour ou de nuit)

Ce profil moyen est bien sûr variable d'une campagne à l'autre (Figure 5). Une classification ascendante hiérarchique (méthode de Ward sur distance euclidienne) permet de dégager 3 groupes principaux (Figure 6) :

- Les campagnes 7, 10 et 11 avec des flux décroissants sur le cycle,
- Les campagnes 1,3, 5,6,8,9,1 avec des migrations principalement durant les flots de nuit et dans une moindre mesure durant les flots de jour,
- Les campagnes 2, 4, 13 et 14, avec des migrations principalement durant les flots de nuit.

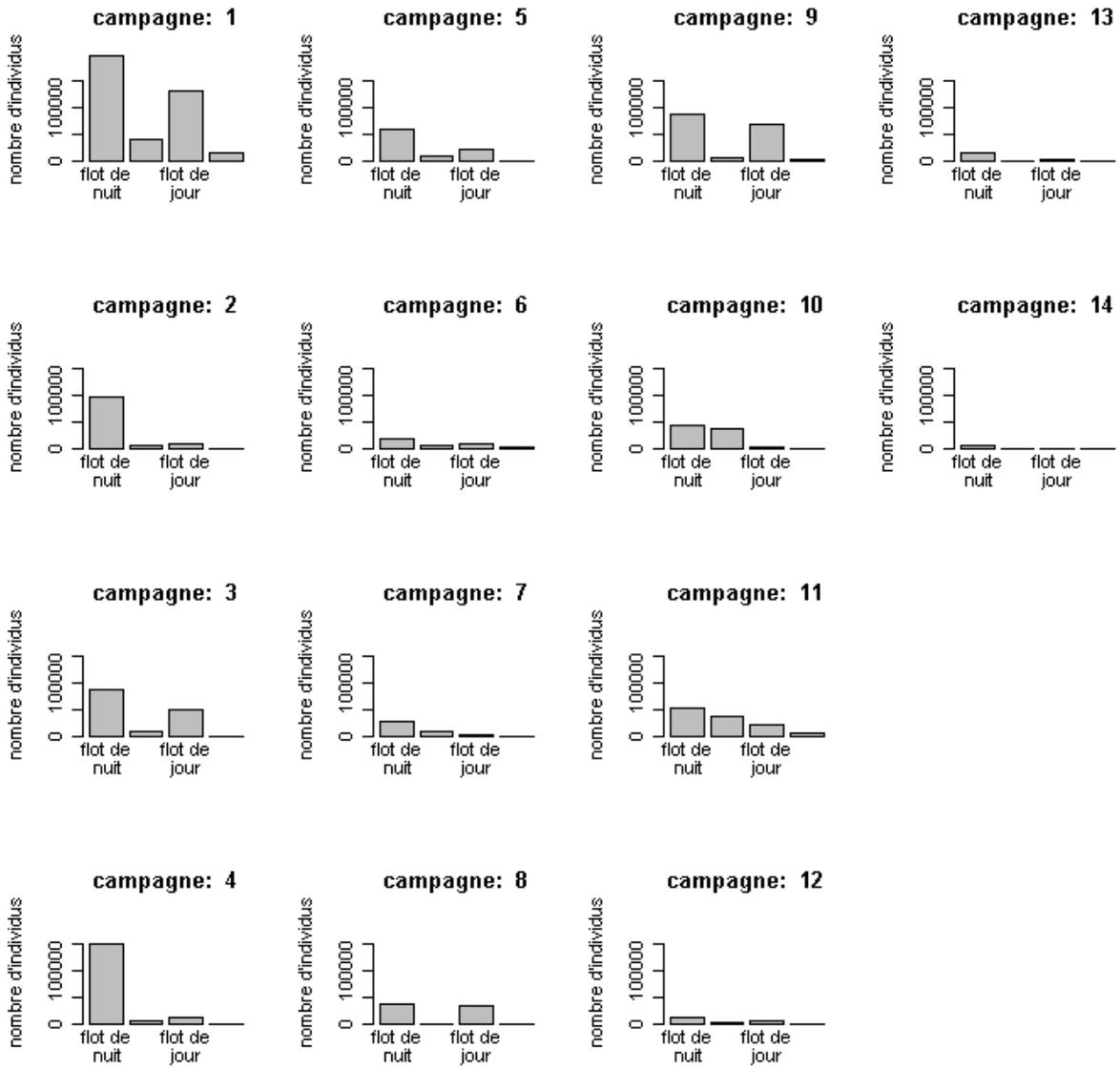


Figure 5 : Profils des flux théoriques pour les 14 campagnes

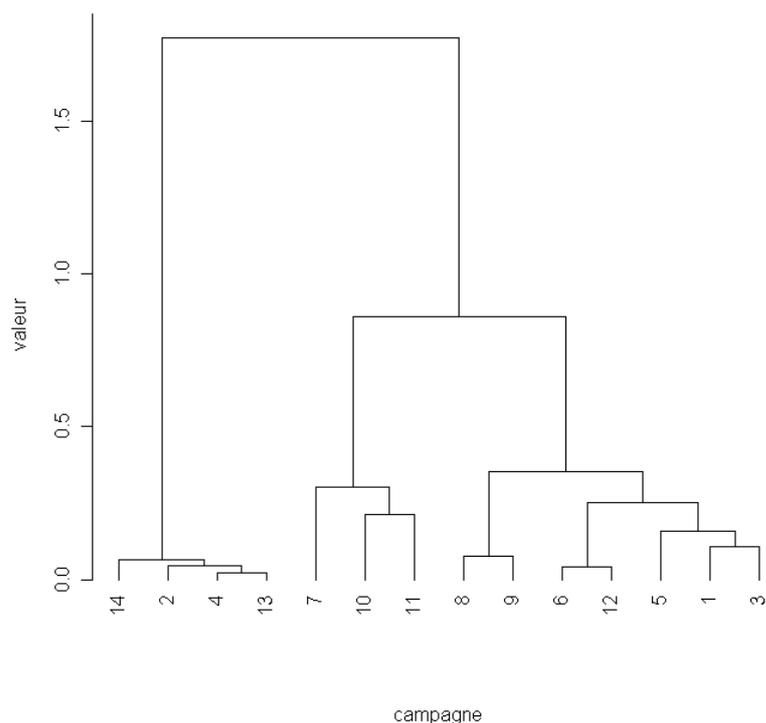


Figure 6 : Résultat de la classification ascendante hiérarchique sur les profils théoriques des 14 campagnes (méthode de Ward sur distance euclidienne)

3.6. Importance de la profondeur dans la répartition des flux

Si les densités de nuit sont en général supérieures en surface, la prise en compte des surfaces mouillées conduit à une prépondérance des flux dans la couche à 4 m sous la surface Figure 7. De jour, les déplacements se font clairement dans les couches profondes. A noter le profil homogène observé en jusant de nuit.

Si l'on néglige les flux correspondant à la couche associée au traîneau benthique (sans modifier le découpage de la section mouillée), les phases diurnes, flot comme jusant, sont sous estimées de 30 % par rapport au modèle avec toutes les couches, le flot de nuit de 15 % et le jusant de nuit de 10 %.

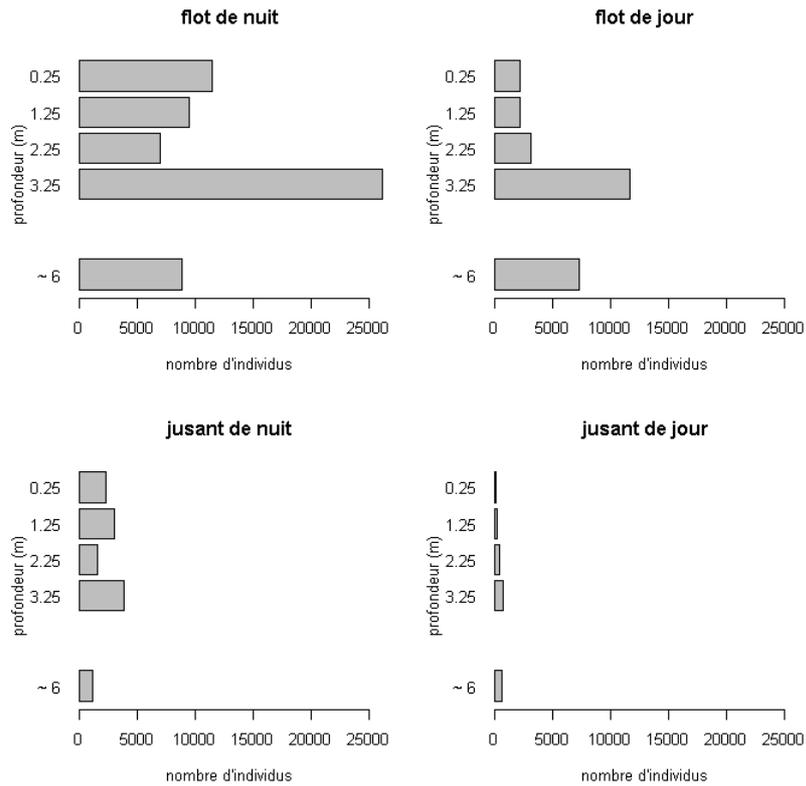


Figure 7 : Profil des flux en fonction de la profondeur pour les quatre phases du cycle nyctéméro-tidal

Clairement, la prise en compte des volumes circulant modifie le profil des densités (Figure 8). C'est en effet dans la couche de surface que l'on observe les densités maximums.

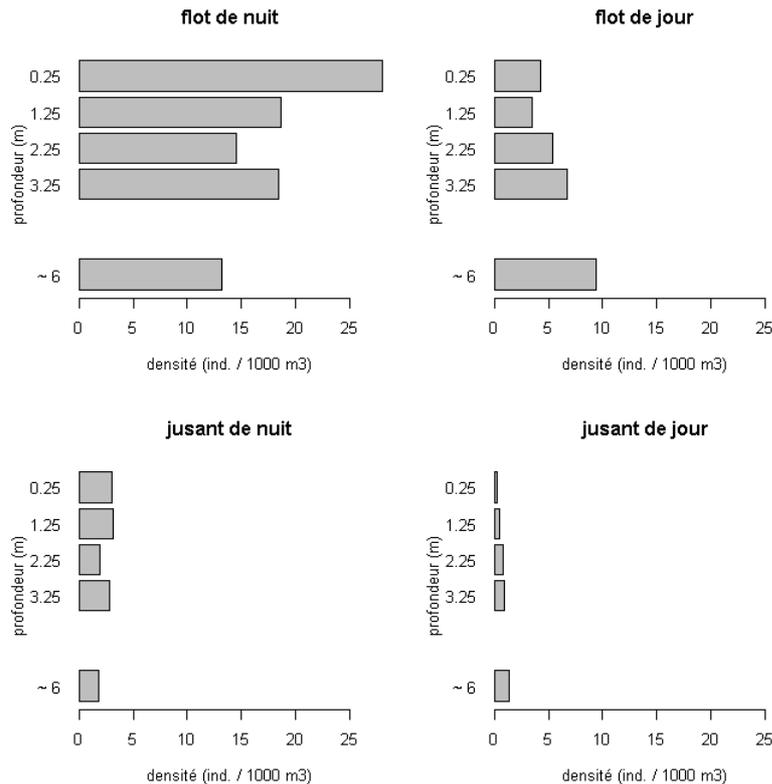


Figure 8 : Profil des densités en fonction de la profondeur pour les quatre phases du cycle nyctéméro-tidal

3.7. Flux moyen sur les 14 campagnes

Si l'on considère les heures réelles de lever et de coucher du soleil (deuxième jeu artificiel de données), ce sont presque 80 % des civelles de flot qui migrent de nuit.

79 % des civelles transitant durant le flot le font de nuit. Le flux pendant les jusants correspond à 15 % de celui des flots conduisant à des apports moyens nets par cycle nyctéméro-tidal (24,8 h) de 78 800 individus, soit environ 26,3 kg par cycle.

Une approche uniquement basée sur les flots de nuit conduit à des erreurs relatives par rapport aux apports nets allant de - 63 % à 180 % en fonction des campagnes même si en moyenne ces écarts se compensent (Tableau 3)

Pour les campagnes de la première saison où les sorties ADERA/CERECA étaient couplées avec les nôtres, les résultats produits par la méthode de quantification proposée par l'Ifremer et ceux issus de notre approche sont comparables.

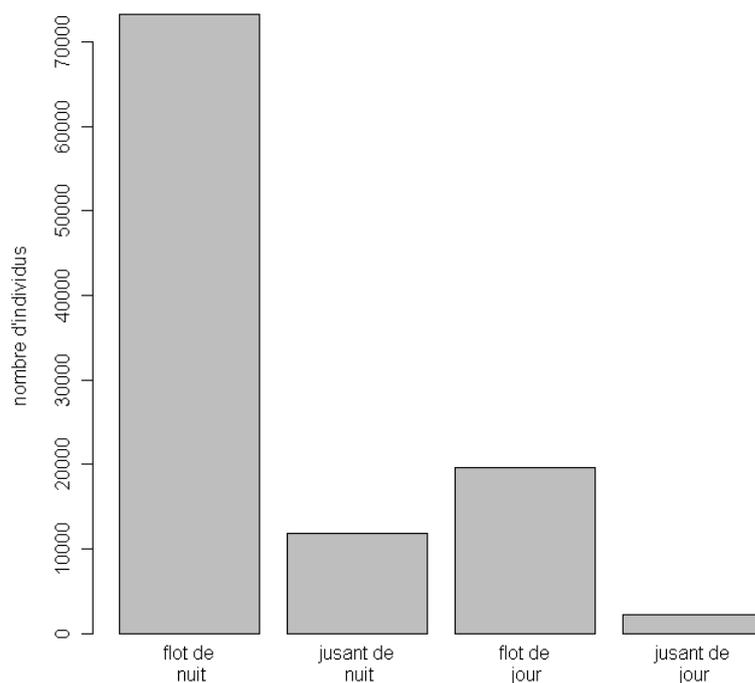


Figure 9 : Profil moyen des flux sur un cycle nyctéméro-tidal (en respectant les heures de lever et de coucher du soleil)

Tableau 3 : Comparaison des flux nets sur un cycle nyctéméro-tidal et calculés uniquement durant les flots de nuit avec la méthodes décrite dans ce rapport et celle proposée par Ifremer (Sanchez, *et al.* 2005)

Campagne	Apport net	Flot de nuit	Flot de nuit
			Ifremer
1	102.9	99.7	114 ± 53
2	31.9	31.9	64 ± 45
3	45.8	40.0	34 ± 42
4	51.5	49.5	65 ± 39
5	25.1	21.9	36 ± 21
6	5.6	5.7	
7	12.0	14.5	
8	23.7	16.5	
9	48.3	28.6	
10	5.0	14.1	
11	11.1	17.5	
12	2.7	1.1	
13	1.4	0.5	
14	0.8	0.3	

4. Conclusion

Les résultats obtenus lors des trois saisons étudiées ont montré un passage des civelles dans la colonne d'eau à d'autres moments que durant le flot nocturne. Le maximum du flux de civelles a néanmoins été observé pendant cette phase, conformément aux hypothèses de départ. Toutefois, nous montrons des déplacements non négligeables durant les flots de jour et les jusants de nuit. Cependant, les ratios entre les flux des différentes phases du cycle nyctéméro-tidal (flot de nuit, jusant de nuit, flot de jour, jusant de jour) sont très variables d'une campagne à l'autre. Une première typologie de ces profils a été établie. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour expliquer ces différences de profils, avant de pouvoir généraliser rigoureusement ces résultats à l'ensemble d'une saison de migration.

La répartition des civelles dans la colonne d'eau n'est pas régulière et diffère selon les périodes échantillonnées. L'utilisation du traîneau suprabenthique a permis de mettre en évidence un passage des civelles dans les couches profondes durant les flots. Ce passage est prépondérant durant les flots de jour, dû au comportement lucifuge des civelles. En flot de nuit, il existe un phénomène de taxie vers la surface pour une partie des individus, laissant présager l'existence de deux types de comportement.

Au final, l'hypothèse sur laquelle repose la méthode de quantification n'est pas vérifiée : la migration des civelles dans l'Isle ne se limite pas uniquement au flot de nuit. Toutefois, les flux de flot de jour (en intégrant les déplacements proches du fond) ne sont que légèrement supérieures, en moyenne, aux flux des jusants diurne et nocturne. Une restriction de la quantification aux flots de nuit conduit donc à une légère sous estimation des apports nets, ce qui est précautionneux dans le cas de l'évaluation de l'impact anthropique. Toutefois, ce résultat optimiste est à prendre avec prudence puisque la forte variabilité observée entre campagnes nous expose à la possibilité de conclusions différentes, une fois réalisées la prédiction et la généralisation des profils des flux au cours d'une saison.

Bibliographie

- Bouvet, J. C., Prouzet, P. & Bru, N. (2006). Quantification de la biomasse saisonnière de civelles (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour et estimation du taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle au tamis poussé: Ifremer, 37.
- Bru, N., Bouvet, J. C. & Prouzet, P. (2006). Quantification par une méthode analytique de la biomasse saisonnière de civelles (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour et estimation du taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle de 1998 à 2005: Ifremer, 37.
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2002). *Model selection and multimodel inference : a practical information-theoretic approach*. New-York, USA: Springer Verlag.
- De Casamajor, M. N., Bru, N. & Prouzet, P. (1999). Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement vertical de migration de la civelle d'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 355: 327-347.
- Girardin, M., Castelnaud, G. & Beaulaton, L. (2005). Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde - suivi des captures 2003 - étude de la faune circulante 2004. *Rapport pour EDF CNPE du Blayais* étude n°98. Cestas: Cemagref groupement de Bordeaux, 195.
- Hastie, T. J. & Tibshirani, R. J. (1990). *Generalized additive models*: Chapman & Hall.
- Manel, S., Williams, H. C. & Ormerod, S. J. (2001). Evaluating presence-absence models in ecology: The need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38, (5): 921-931.
- Prouzet, P. (2002). Historique des captures de civelles, intensité actuelle de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indices de colonisation sur le bassin versant de l'Adour. Rapport contrat EC/DGFISH- 99/023, 147 p + annexes.
- R Foundation Core Team (2005). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Sanchez, F., De Casamajor, M. N., Lissardy, M., Bru, N. & Boussouar, A. (2005). Estimation journalière des flux migratoires de civelles sur l'Isle. Rapport de fin de campagne 2004-2005: Rapport IndicAng, 35.
- Stefánsson, G. (1996). Analysis of groundfish survey abundance data: combining the GLM and delta approaches. *ICES Journal of Marine Science* 53, (3): 577-588.

Annexe

Annexe 1 : Résultat du modèle d'évolution de la hauteur d'eau

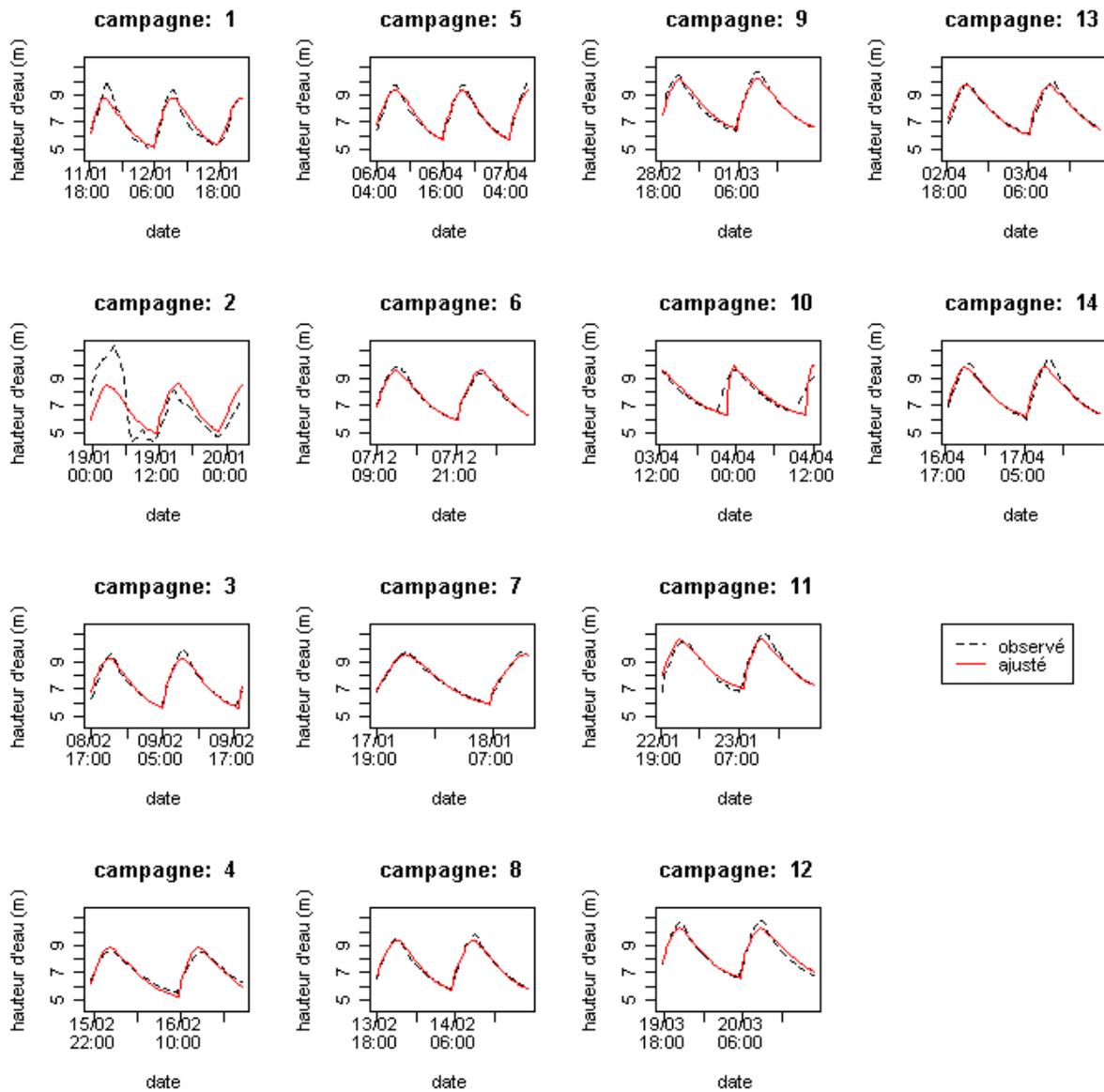


Figure 10 : Evolution des hauteurs observées et simulées pour les 14 campagnes

Annexe 2 : Résultat du modèle d'évolution des vitesses de courant

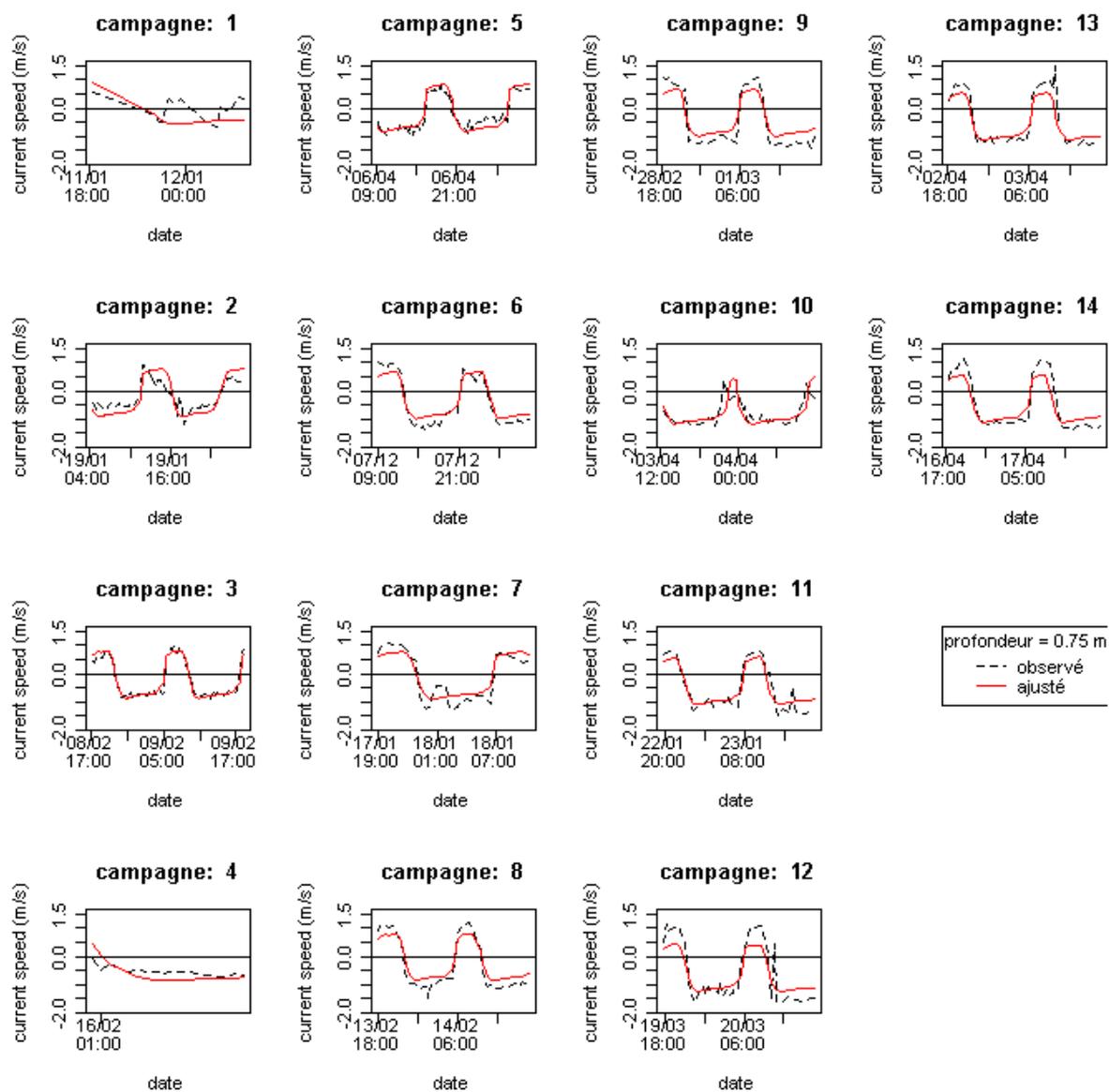


Figure 11: Evolution des vitesses de courant observées et ajustées à 0.75 m sous la surface

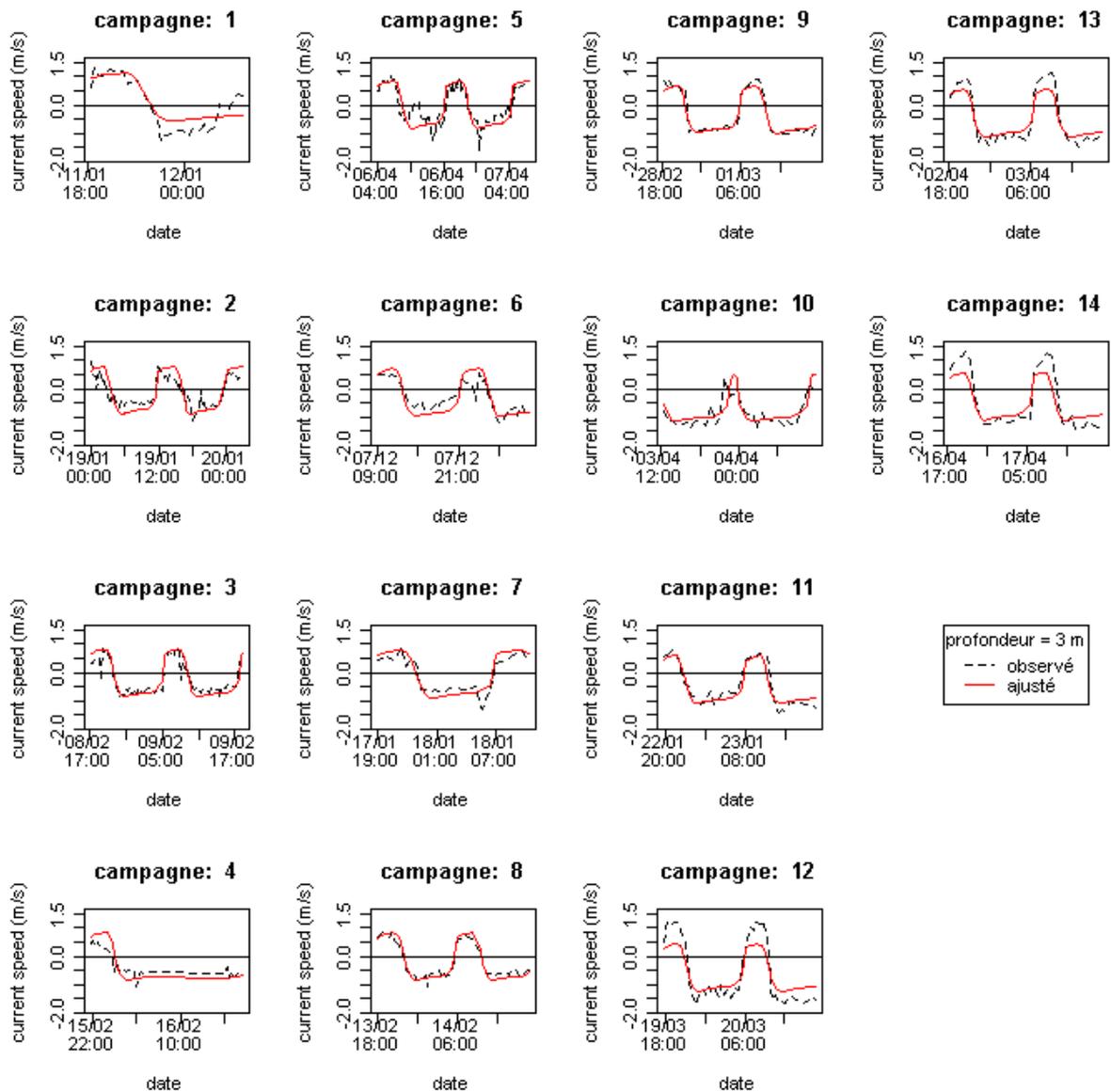


Figure 12 : Evolution des vitesses de courant observées et ajustées à 3 m sous la surface

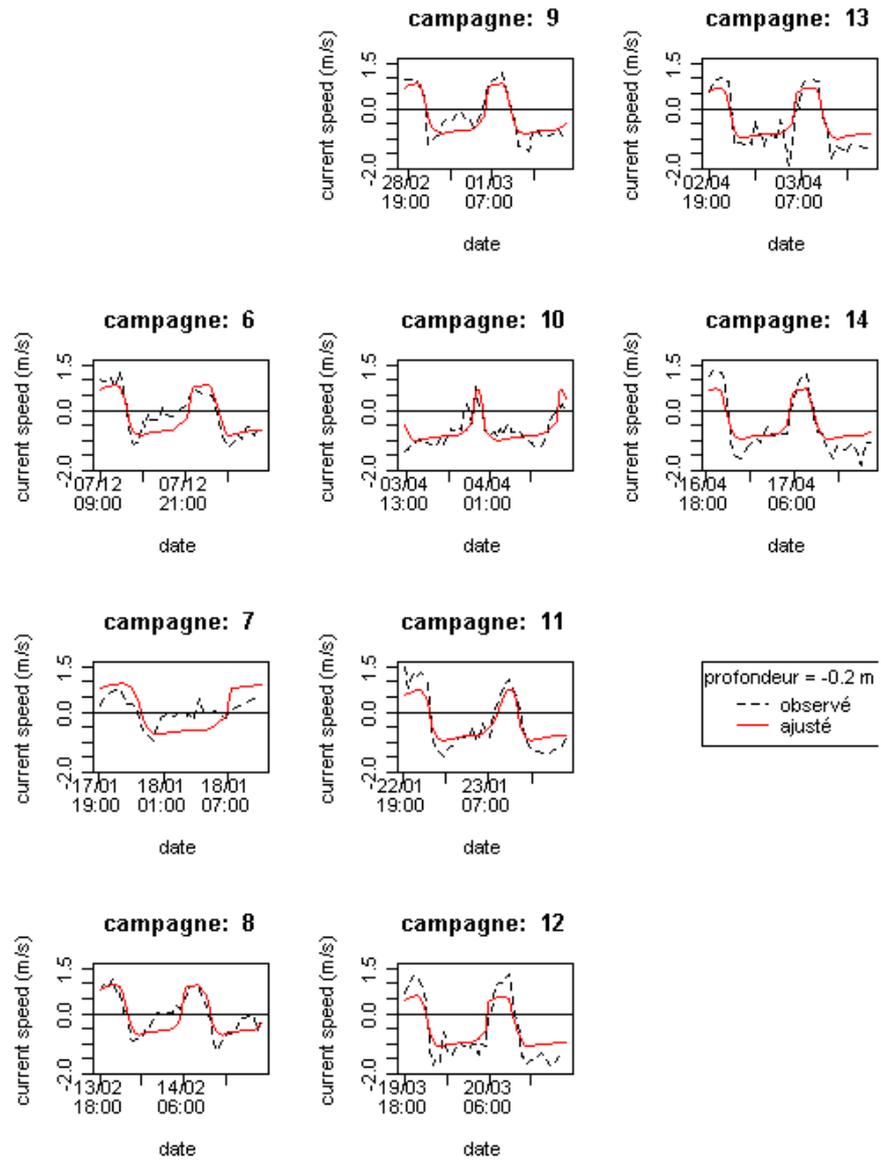


Figure 13 : Evolution des vitesses de courant observées et ajustées à 0.6 m au-dessus du fond

Annexe 3 : Résultat du modèle d'évolution des présences des civelles à différentes profondeurs

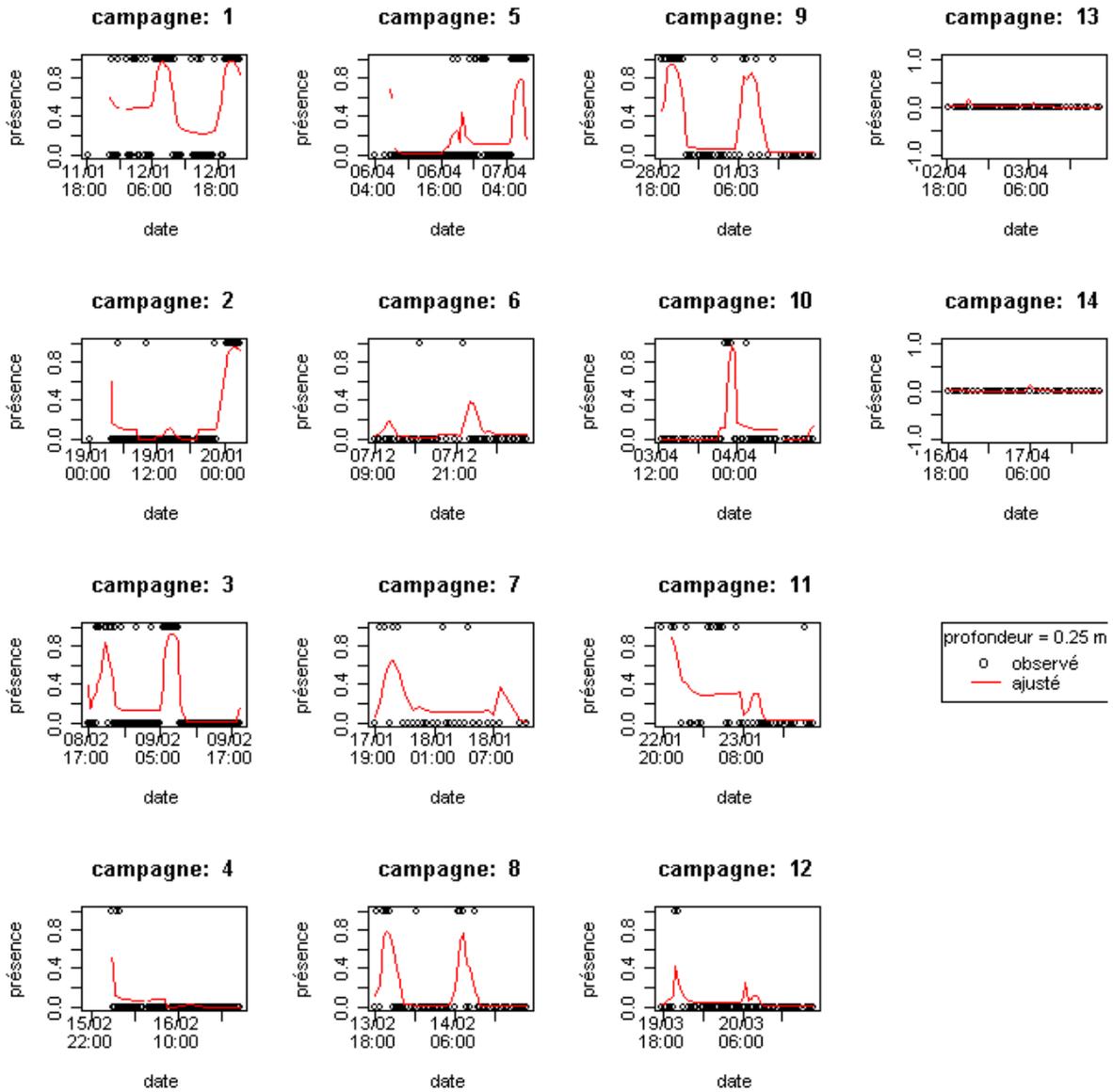


Figure 14: Evolution des présences/absences observées à 0,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

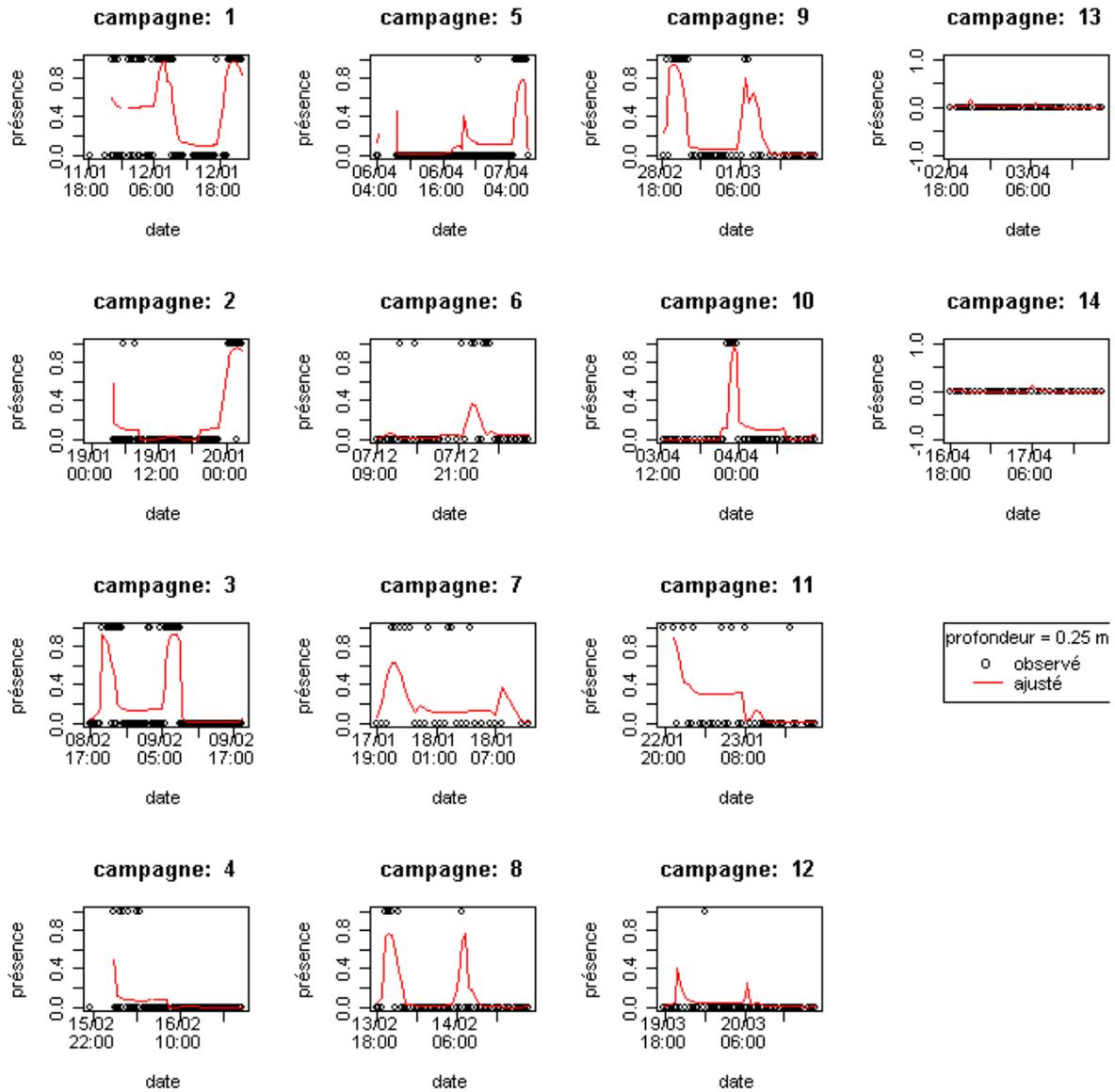


Figure 15 : Evolution des présences/absences observées à 1,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

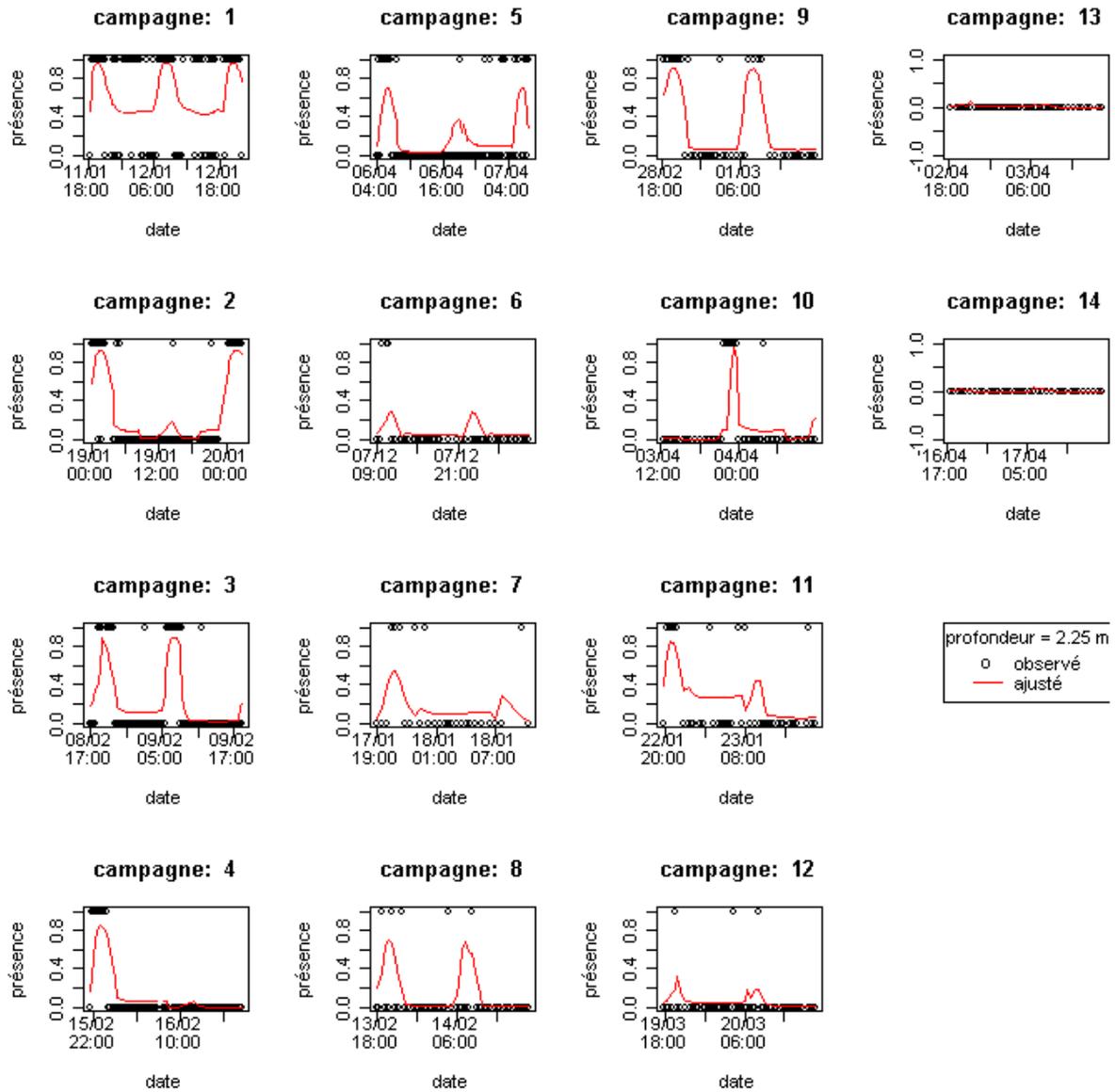


Figure 16 : Evolution des présences/absences observées à 2,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

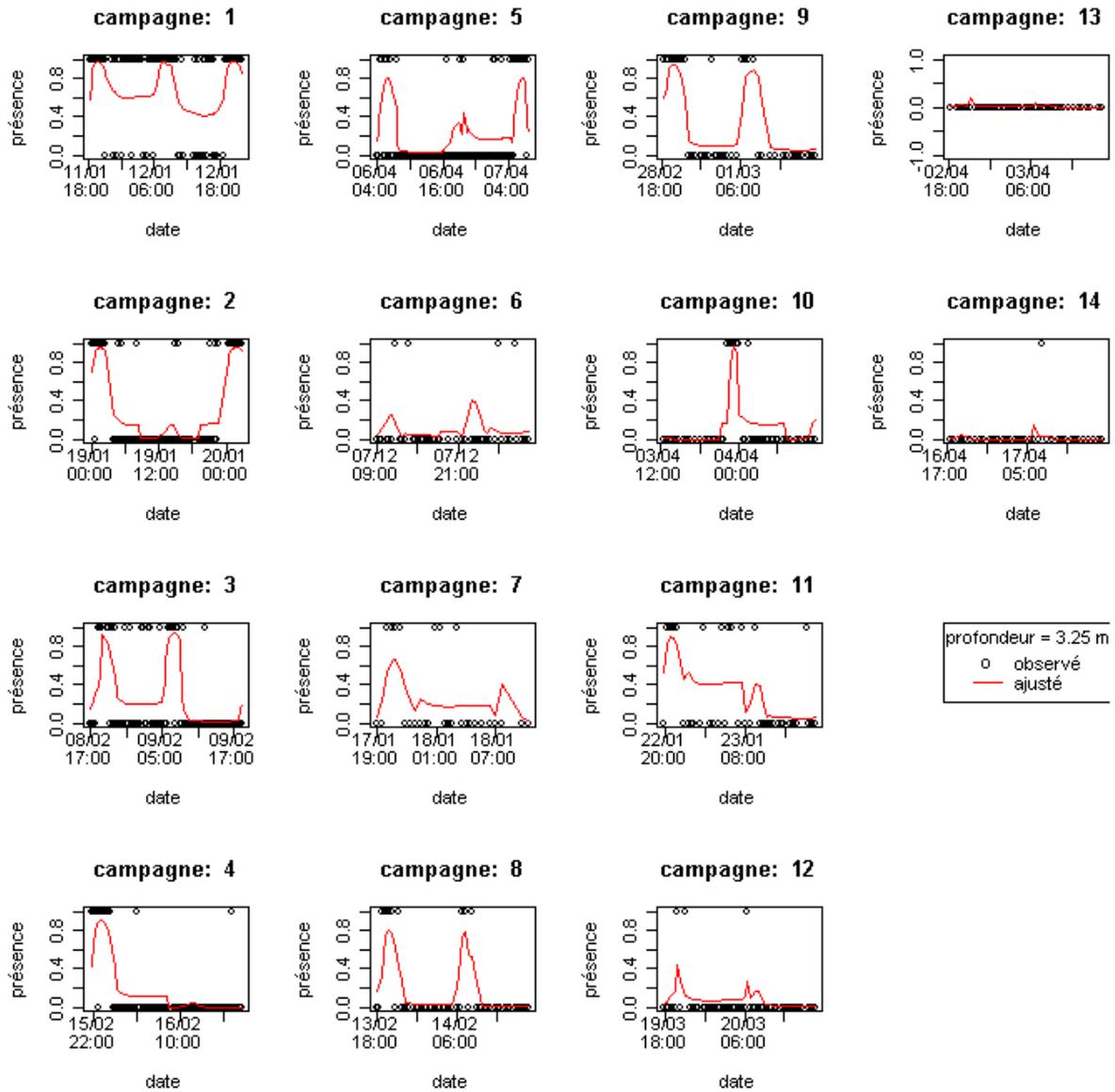


Figure 17 : Evolution des présences/absences observées à 3,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

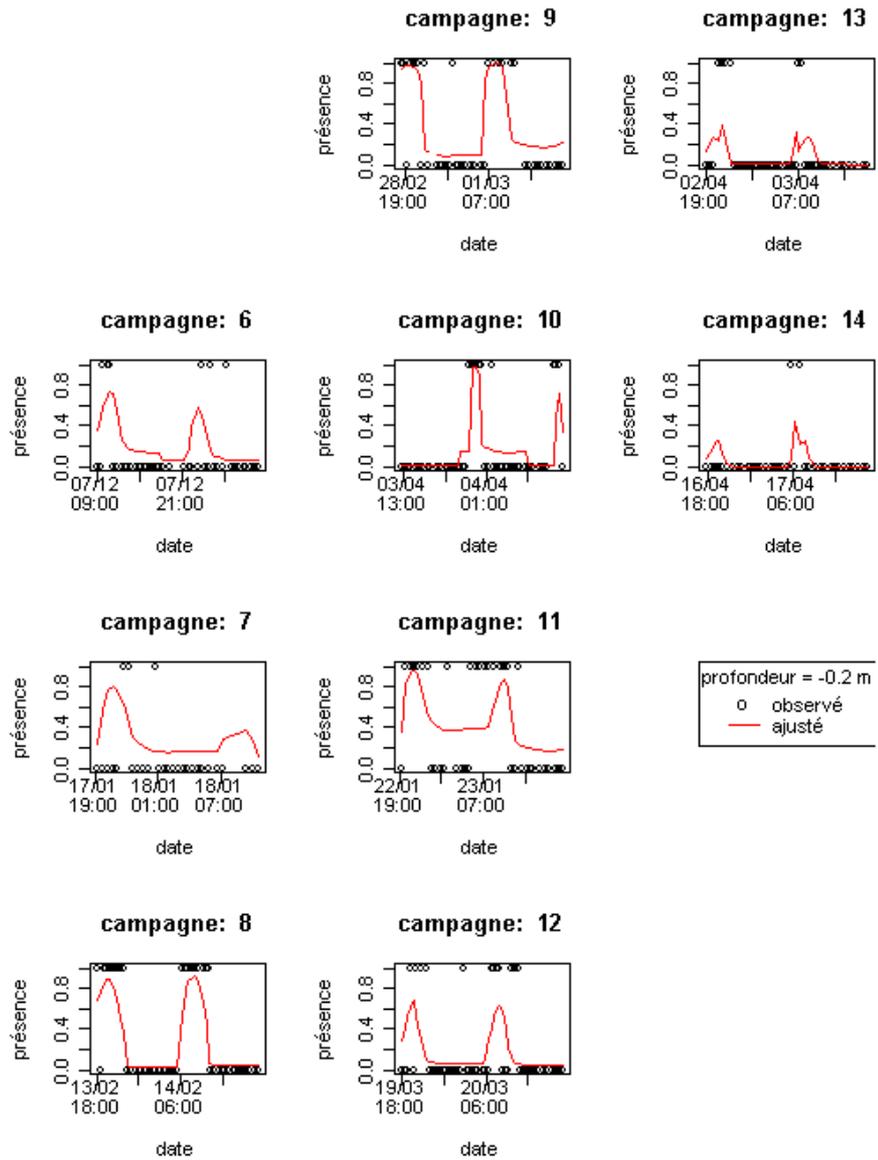


Figure 18 : Evolution des présences/absences observées à 0.55 m au-dessus fond et de la probabilité de présence ajustée

Annexe 4 : Résultat du modèle d'évolution des densités non nulles de civelles à différentes profondeurs

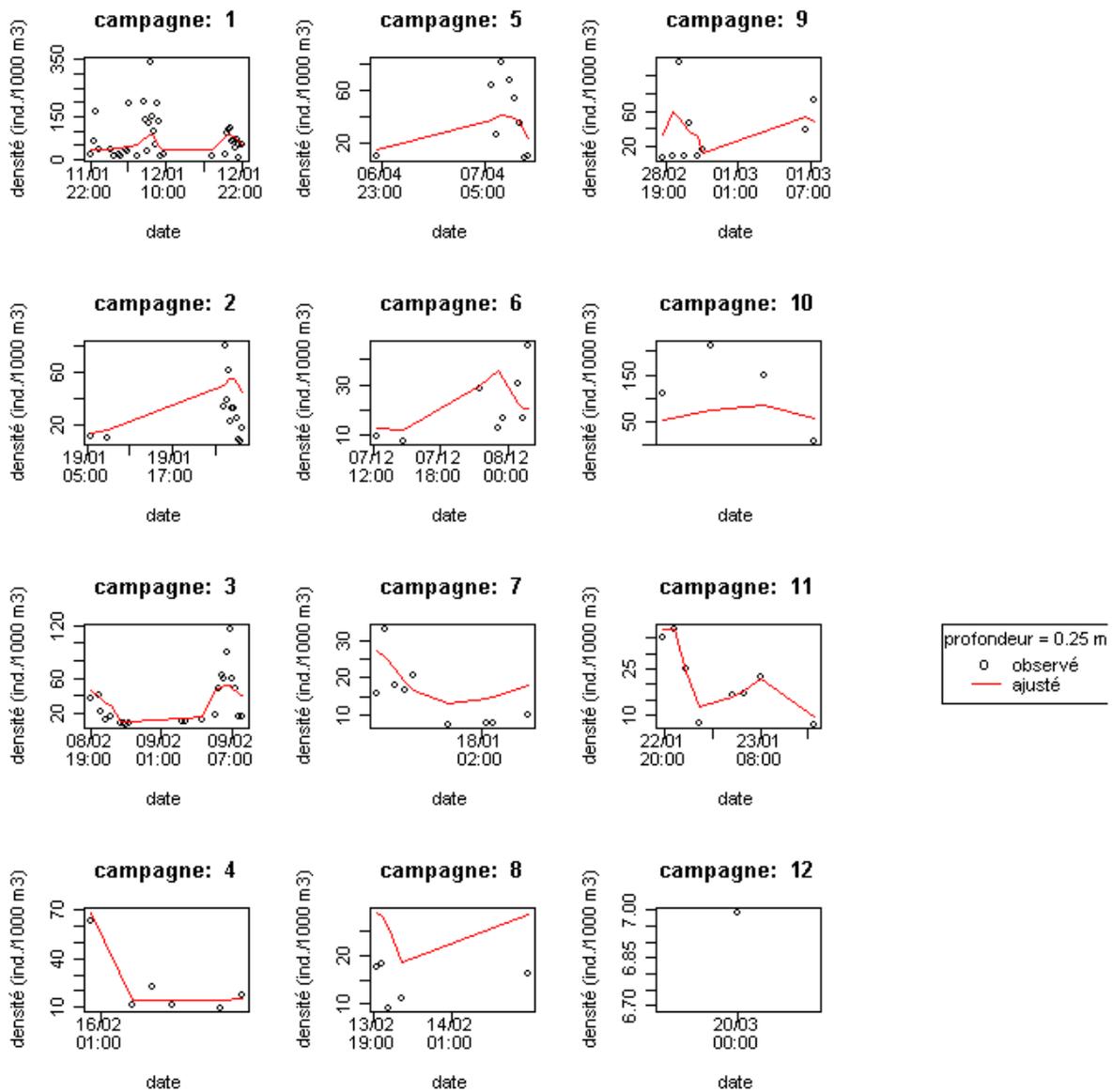


Figure 19 : Evolution des densités positives observées à 0,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

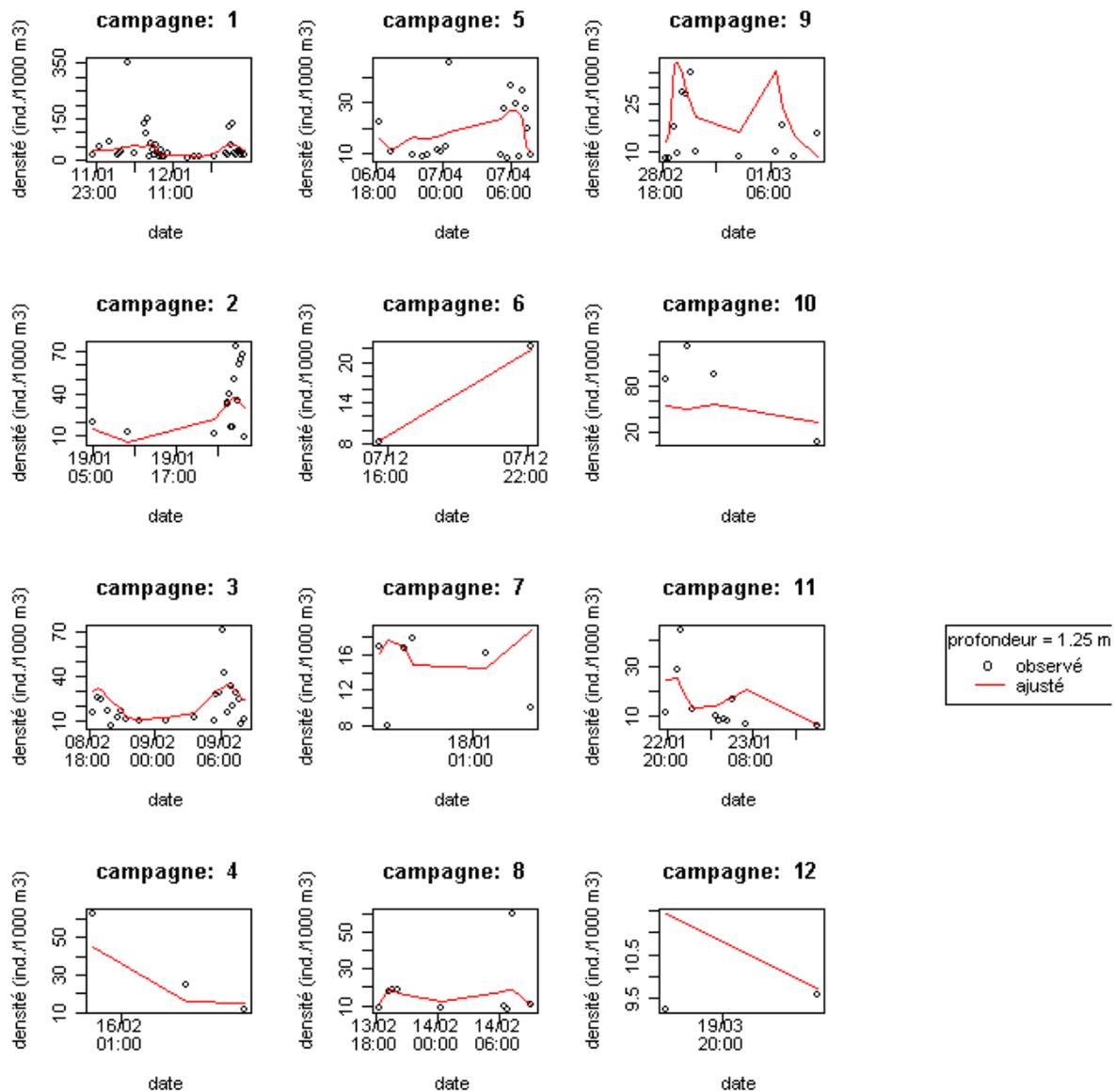


Figure 20 : Evolution des densités positives observées à 1,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

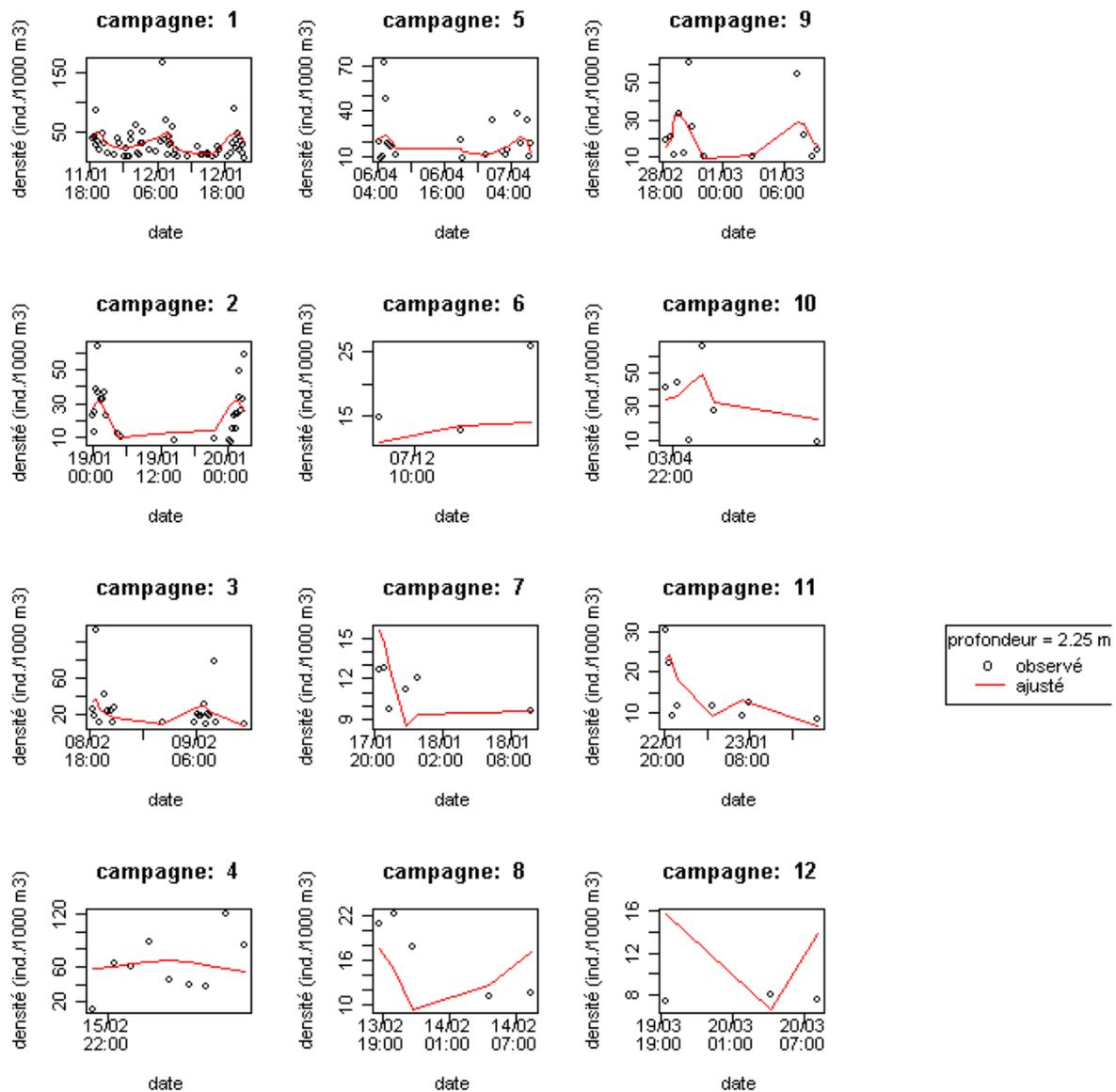


Figure 21 : Evolution des densités positives observées à 2,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

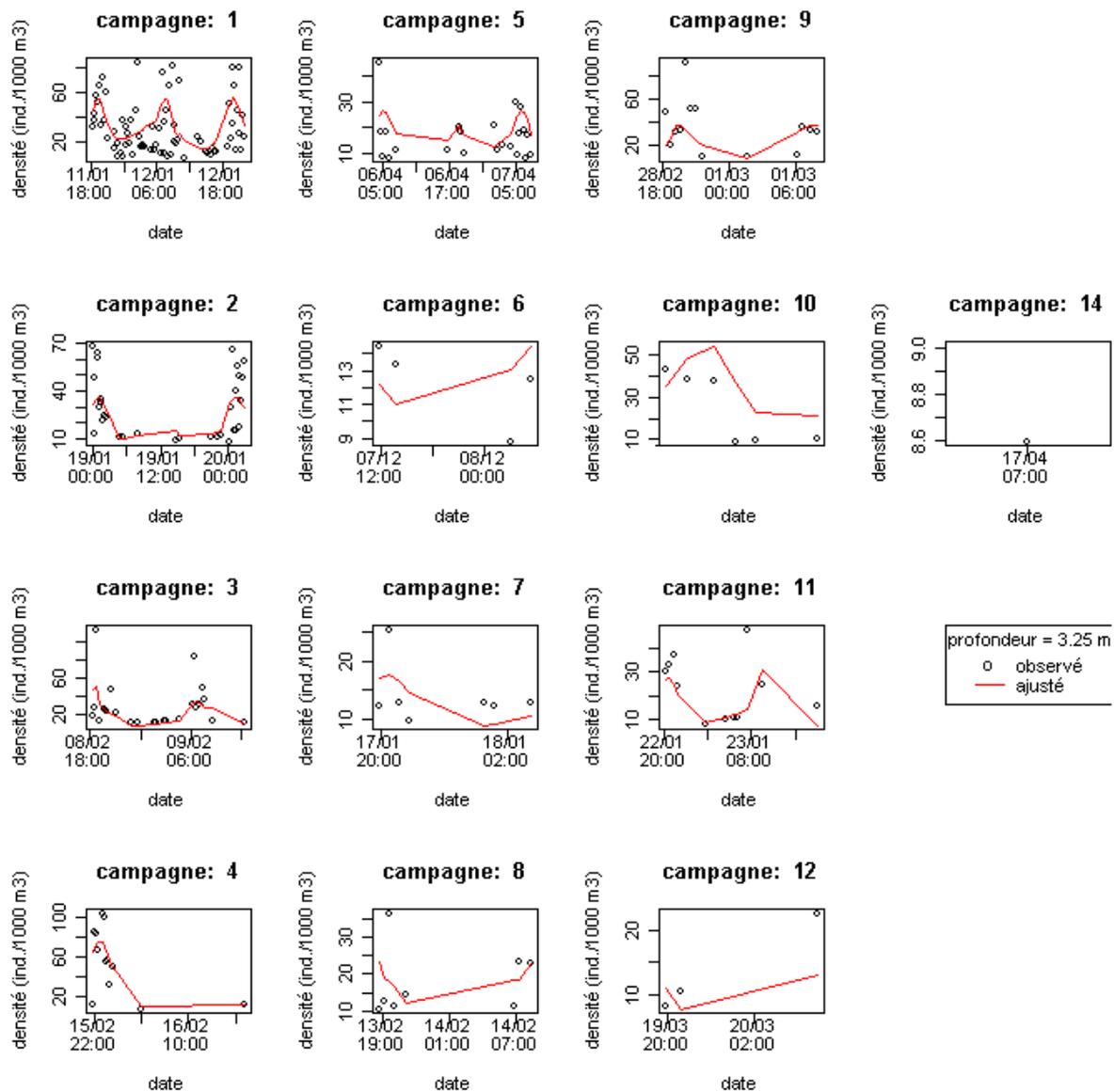


Figure 22 : Evolution des densités positives observées à 3,25 m sous la surface et de la probabilité de présence ajustée

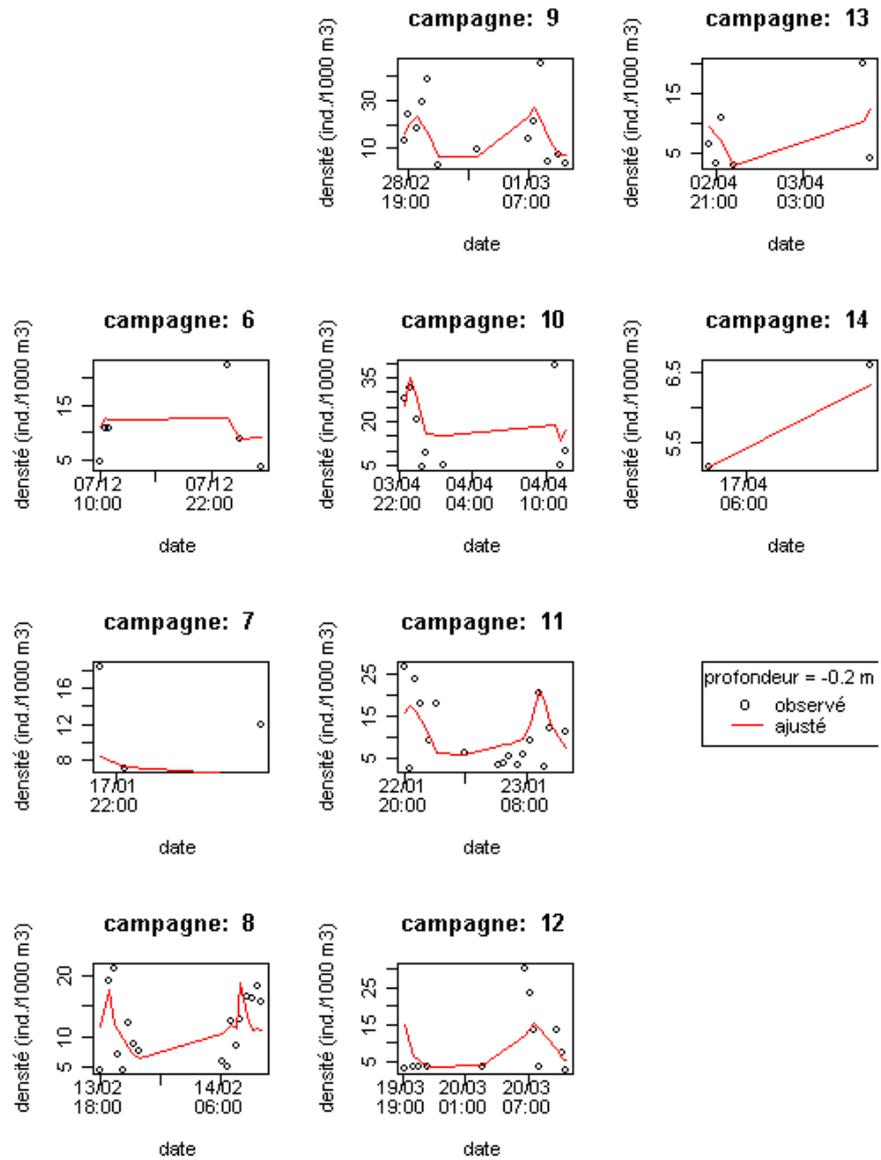


Figure 23 : Evolution des densités positives observées à 0,55 m au-dessus du fond et de la probabilité de présence ajustée

la température de
de
 $Q_s = h \cdot A_b \cdot [\theta$

duit $[\beta \cdot s$

B

$$DM = \int \varepsilon_s$$

kg / s

inge kg / s

45

40

35

30

25

20

15

nt remplace pa



Direction générale

Parc de Tourvoie

BP 44, 92163 Antony cedex

Tél. 01 40 96 61 21 – Fax 01 40 96 62 95

Web : <http://www.cemagref.fr>