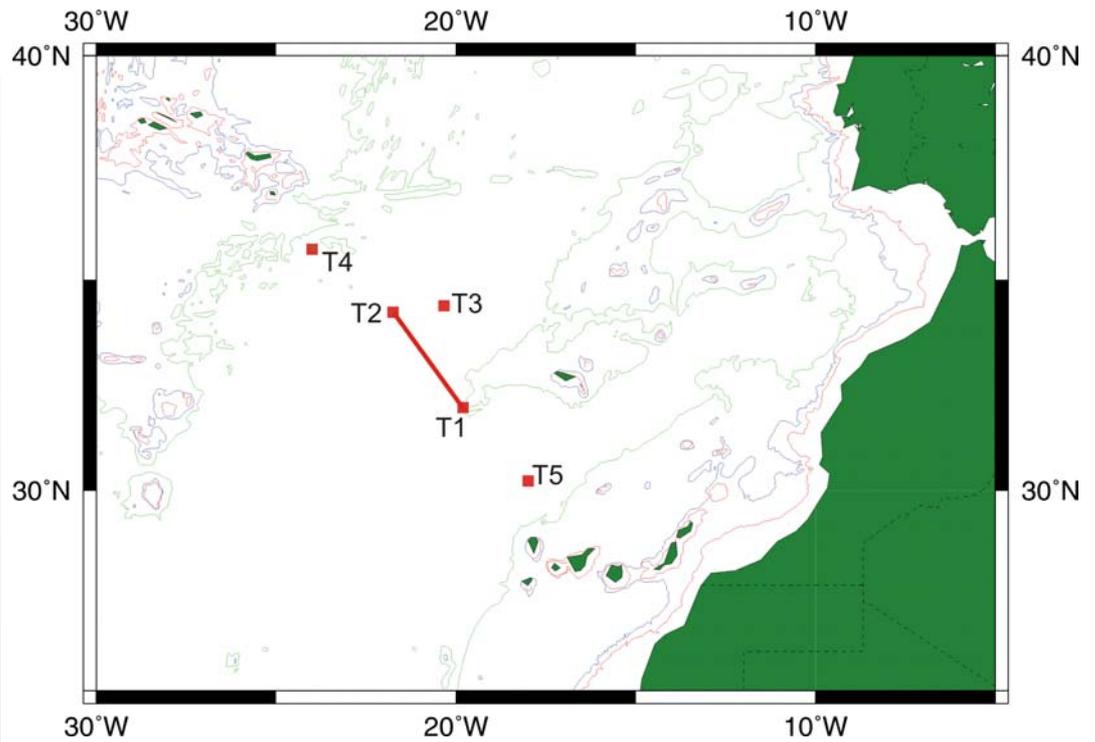


## CAMBIOS

### Contribution à CANIGO (MAS3-CT96-0060)

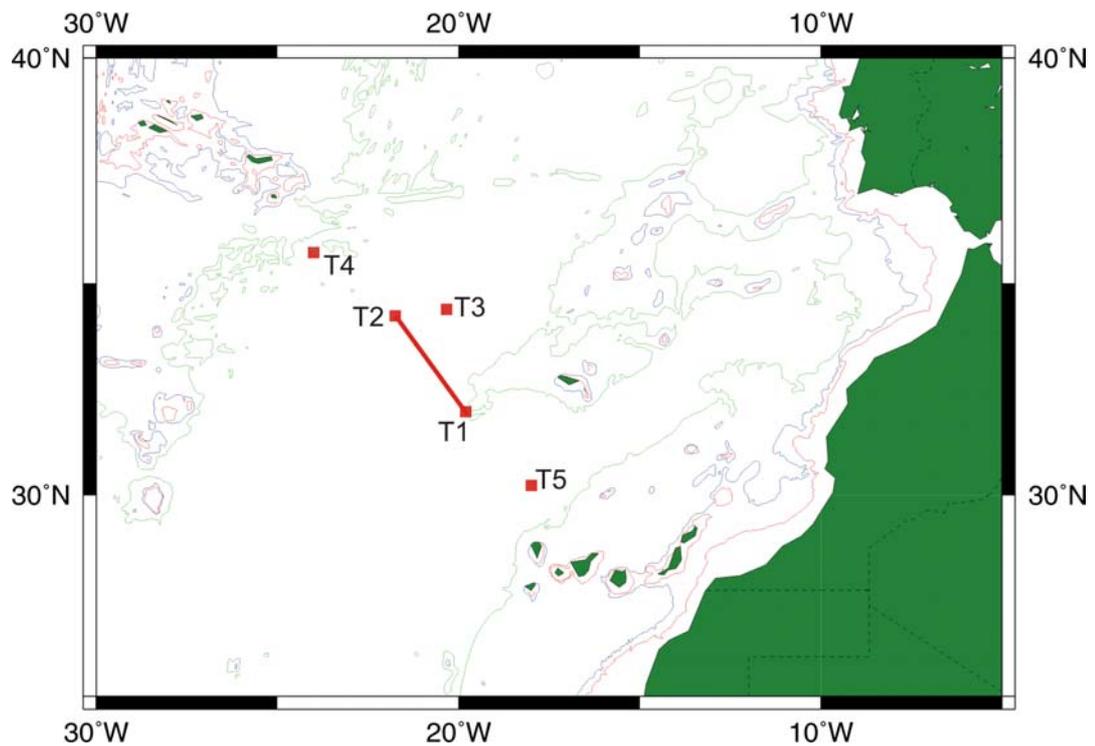


## Volume 8 : Expérience CAMBIOS

### Analyse des données de tomographie

# CAMBIOS

## Contribution à CANIGO (MAS3-CT96-0060)



### Volume 8 : Expérience CAMBIOS

### Analyse des données de tomographie

## Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. CONSTITUTION DE LA BASE DE TEMPS PREDITS .....</b>              | <b>5</b>  |
| 1.1. LA BASE DES PROFILS DE CELERITE.....                             | 5         |
| 1.1.1. <i>Profils disponibles</i> .....                               | 6         |
| 1.1.2. <i>Critères de choix</i> .....                                 | 6         |
| 1.1.3. <i>Distribution mensuelle</i> .....                            | 9         |
| 1.1.4. <i>Effet saisonnier sur le profil moyen</i> .....              | 9         |
| 1.1.5. <i>Profils caractéristiques</i> .....                          | 11        |
| 1.1.6. <i>Organisation des données</i> .....                          | 15        |
| 1.2. LA BASE DES TEMPS D'ARRIVEE PREDITS .....                        | 17        |
| 1.2.1. <i>Prédictions avec profil moyen et effet saisonnier</i> ..... | 17        |
| 1.2.2. <i>Prédictions avec profils caractéristiques</i> .....         | 19        |
| 1.2.3. <i>Rayons utilisés</i> .....                                   | 22        |
| 1.2.4. <i>Organisation des données</i> .....                          | 26        |
| <b>2. CLASSIFICATION DES OBSERVATIONS .....</b>                       | <b>28</b> |
| 2.1. DIAGRAMMES PREDICTION ET OBSERVATION.....                        | 28        |
| 2.2. DISTANCE AUX PREDICTIONS ET CLASSIFICATION .....                 | 34        |
| 2.2.1. <i>Cas 1 - Temps pris en compte : T4 T5 T8</i> .....           | 35        |
| 2.2.2. <i>Cas 2 - Temps pris en compte : T2 T4 T5 T8</i> .....        | 36        |
| 2.2.3. <i>Cas 3 - Temps pris en compte : T1 T2 T4 T5 T8</i> .....     | 37        |
| 2.2.4. <i>Commentaires</i> .....                                      | 38        |
| 2.2.5. <i>Classification continue</i> .....                           | 40        |
| 2.2.6. <i>Evolution des variations de la vitesse du son</i> .....     | 40        |
| 2.2.7. <i>Evolution de la salinité</i> .....                          | 43        |
| 2.2.8. <i>Organisation des données</i> .....                          | 44        |

## Table des figures

|   |    |
|---|----|
| FIGURE 1 – POSITION GEOGRAPHIQUES DES DONNEES BATHYSONDE CONSULTEES. ....   | 5  |
| FIGURE 2 – LOCALISATION DES STATIONS BATHYSONDE DANS LA ZONE CAMBIOS. ....  | 6  |
| FIGURE 3 – REPARTITION DES PROFONDEURS MAXIMALES DES STATIONS SELON LA CAMPAGNE. ....   | 7  |
| FIGURE 4 – SELECTION DES STATIONS RETENUES POUR CONSTITUER LA BASE DE PROFILS DE CELERITE. ....   | 7  |
| FIGURE 5 – PROFILS INDIVIDUEL DE SALINITE ET DE VITESSE DU SON AVEC PROFILS MOYENS ET L'ECART-TYPE ASSOCIE. ....  | 8  |
| FIGURE 6 – DIAGRAMMES T-S INDIVIDUELS ET MOYEN ET L'ECART-TYPE ASSOCIE. ....  | 8  |
| FIGURE 7 – DISTRIBUTION MENSUELLE DES MESURES. ....   | 9  |
| FIGURE 8 – VARIATIONS SAISONNIERES DE LA VITESSE DU SON DANS LA TRANCHE 0-250 M. ....   | 10 |
| FIGURE 9 – VARIATIONS SAISONNIERES DU PROFIL MOYEN DE LA ZONE DANS LA TRANCHE 0-250 M. ....   | 10 |
| FIGURE 10 – DISTRIBUTION DES MAXIMA DE SALINITE EN PROFONDEUR. ....   | 11 |
| FIGURE 11 – PROFILS VISUALISES SELON LE PARTITIONNEMENT EN SALINITE. ....   | 12 |
| FIGURE 12 – PROFILS SALINITE ET VITESSE DU SON POUR LES PARTITIONS 1 A 10 (DE GAUCHE A DROITE ET HAUT EN BAS). LIMITES DE SALINITE 34.5 A 37.5PSU. LIMITES DE CELERITE : 1480 A 1560 M/S. LIMITES DE PROFONDEUR 0-5500 M. ....  | 13 |
| FIGURE 13 – PROFILS MOYEN DES PARTITIONS ET PROFIL MOYEN D'ENSEMBLE. ....   | 14 |
| FIGURE 14 – ECART AU PROFIL MOYEN D'ENSEMBLE DES PROFILS DES PARTITIONS. ....   | 14 |
| FIGURE 15 – VARIATIONS SAISONNIERES DES PREDICTIONS EFFECTUEES AVEC LE PROFIL MOYEN. (ROUGE : REFLECHI SURFACE ET FOND ; VERT : REFLECHI FOND ; BLEU : REFRACTE) ....   | 18 |
| FIGURE 16 – DIAGRAMME TEMPS/AMPLITUDE DES RAYONS ET MODES NORMAUX CALCULES POUR LES GROUPES 1 A 5. (ROUGE : REFLECHI SURFACE ET FOND ; VERT : REFLECHI FOND ; BLEU : REFRACTE ; NOIR : MODES NORMAUX). ....   | 20 |
| FIGURE 17 – DIAGRAMME TEMPS/AMPLITUDE DES RAYONS ET MODES NORMAUX CALCULES POUR LES PARTITIONS 6 A 10. (ROUGE : REFLECHI SURFACE ET FOND ; VERT : REFLECHI FOND ; BLEU : REFRACTE ; NOIR : MODES NORMAUX). ....   | 21 |
| FIGURE 18 – TEMPS DE TRAJET DIRECT ET RECIPROQUE AINSI QUE LES TEMPS MOYEN POUR LA PAIRE T1T2. ....   | 22 |
| FIGURE 19 – DIAGRAMME REDUIT TEMPS / AMPLITUDE DES RAYONS ACOUSTIQUES CALCULES POUR LES PARTITIONS 1 A 5. (ROUGE : REFLECHI SURFACE ET FOND ; VERT : REFLECHI FOND ; BLEU : REFRACTE ; ▲ : LIMITES INFERIEURE, SUPERIEURE ET BARYCENTRE DES MODES; ▼ : LIMITES INFERIEURE, SUPERIEURE ET BARYCENTRE DU PAQUET NON RESOLU). .... | 23 |
| FIGURE 20 – DIAGRAMME REDUIT TEMPS/AMPLITUDE DES RAYONS ACOUSTIQUES CALCULES POUR LES PARTITIONS 6 A 10. (ROUGE : REFLECHI SURFACE ET FOND ; VERT : REFLECHI FOND ; BLEU : REFRACTE; ▲ : LIMITES INFERIEURE, SUPERIEURE ET BARYCENTRE DES MODES; ▼ : LIMITES INFERIEURE, SUPERIEURE ET BARYCENTRE DU PAQUET NON RESOLU). ....   | 24 |
| FIGURE 21 – MOTIFS DES ARRIVEES MESUREES ET PREDITES. LES DONNEES PORTANT LES NUMEROS 9 ET 10 CORRESPONDENT RESPECTIVEMENT AUX LIMITES INFERIEURES ET BARYCENTRE DES ARRIVEES NON RESOLUES. LES PREDICTIONS CORRESPONDANTES SONT REPRESENTEES A DROITE EN ROUGE POUR LES RAYONS ET EN VERT POUR LES MODES. ....                 | 25 |
| FIGURE 22 – DIAGRAMMES T8/Tj POUR LES TEMPS PREDITS ET OBSERVES (j=5 4 2 1). ....   | 29 |
| FIGURE 23 – DIAGRAMMES Ti/Tj (i=5, 4, 2 ; j=4, 2, 1) POUR LES TEMPS PREDITS ET OBSERVES. L'ETALEMENT TEMPOREL DE CHAQUE CORRESPOND A UNE DUREE DE 500MS ....  | 30 |
| FIGURE 24 – LOCALISATION DANS LES TEMPS DES POINTS DE LA 2EME BRANCHE (MAGENTA) DE CHAQUE COMBINAISON DES TEMPS D'ARRIVEE. ....   | 31 |
| FIGURE 25 – SUPERPOSITION DES PREDICTIONS SUR LES OBSERVATIONS. L'ETALEMENT TEMPOREL DE CHAQUE AXE CORRESPOND A UNE DUREE DE 370MS ....   | 32 |
| FIGURE 26 – SUPERPOSITION DES PREDICTIONS SAISONNIERES, REPEREES PAR LA PREMIERE LETTRE DE LA SAISON, POUR LE PROFIL MOYEN SUR LES OBSERVATIONS. L'ETALEMENT TEMPOREL DE CHAQUE AXE CORRESPOND A UNE DUREE DE 370MS. ....   | 33 |
| FIGURE 27 – CAS 1 - HAUT : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DE LA DISTANCE AUX CLASSES (COULEUR) ET DU MINIMUM DE LA DISTANCE AUX CLASSES (NOIR). BAS : RESULTAT DE LA CLASSIFICATION. ....   | 35 |
| FIGURE 28 – CAS 2 - HAUT : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DE LA DISTANCE AUX CLASSES (COULEUR) ET DU MINIMUM DE LA DISTANCE AUX CLASSES (NOIR). BAS : RESULTAT DE LA CLASSIFICATION. ....   | 36 |
| FIGURE 29 – CAS 3 - HAUT : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DE LA DISTANCE AUX CLASSES (COULEUR) ET DU MINIMUM DE LA DISTANCE AUX CLASSES (NOIR). BAS : RESULTAT DE LA CLASSIFICATION. ....   | 37 |
| FIGURE 30 – COMPARAISON DE L'EVOLUTION DU MINIMUM DE DISTANCE SELON LES 3 CAS. ....   | 38 |
| FIGURE 31 – COMPARAISON DES RESULTATS DE CLASSIFICATION. HAUT : CAS 1 - CAS 2 ; BAS : CAS 1 – CAS 3. ....   | 39 |
| FIGURE 32 – CLASSIFICATION CONTINUE DES OBSERVATIONS. ....  | 40 |
| FIGURE 33 – CAS 1 : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DES ECARTS AU PROFIL MOYEN DE VITESSE DU SON. ....   | 41 |

FIGURE 34 – CAS 2 : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DES ECARTS AU PROFIL MOYEN DE VITESSE DU SON.  
..... 42

FIGURE 35 – CAS 3 : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DES ECARTS AU PROFIL MOYEN DE VITESSE DU SON.  
..... 42

FIGURE 36 – CAS 2 : EVOLUTION AU COURS DE L'EXPERIENCE DE LA SALINITE DANS LA TRANCHE 0-3000 M.  
L'ESPACEMENT DES CONTOURS EST DE 0.1 PSU. LES 200 PREMIERS METRES NE SONT PAS PRIS EN COMPTE. 43

## 1. Constitution de la base de temps prédits

L'objectif est de constituer une base de temps d'arrivée calculés par tracé de rayons en utilisant des profils de vitesse du son issus de mesures effectuées sur zone. Ces prédictions disponibles, il conviendra de les confronter aux observations pour mettre en relation un motif d'arrivée observé à un motif d'arrivée prédit soit encore à un contenu en salinité du profil.

### 1.1. La base des profils de célérité

Les profils de célérité sont calculés par l'algorithme Del Grosso à partir des données de CTD. Le volume n°7 de cette série explicite les procédures utilisées pour constituer la base de profils. Toutefois, si dans le volume n°7, les données envisagées étaient relatives aux seules campagnes CAMBIOS, nous avons ici élargi notre recherche aux données historiques récentes disponibles sur une zone de 25 Est à 15 Est et de 31 Nord à 36.5 Nord. La base de données de bathysondes consultée pour construire les profils de célérité est visualisée Figure 1.

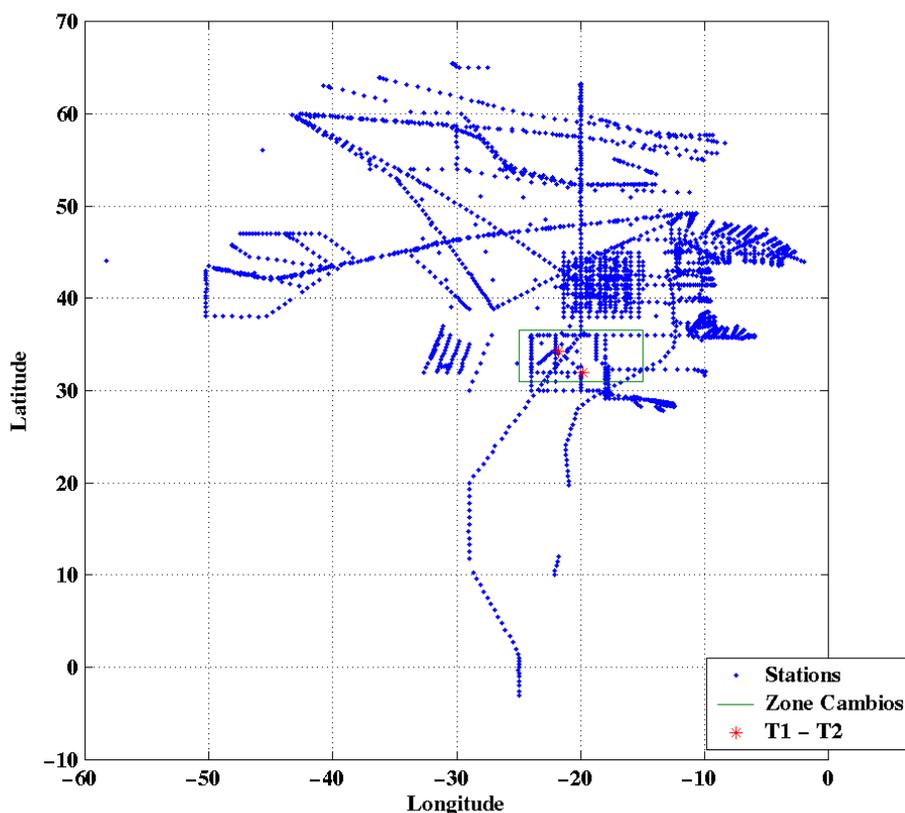


Figure 1 – Position géographique des données bathysonde consultées.

### 1.1.1. Profils disponibles

Une restriction à la zone géographique de l'expérience Cambios ne retient que les stations dont la localisation géographique est donnée Figure 2. La légende de la figure mentionne le nom des campagnes d'où sont extraites les stations considérées. Les campagnes camb97 et camb98 font partie du programme CANIGO-Ifremer ; la campagne azor98 fait partie du programme CANIGO-Université de Vigo ; les campagnes m37, m42, p233 et p237 font partie du programme CANIGO-IfM Kiel ; la campagne bst2 du programme BORDEST ; la campagne A16N du programme WOCE.

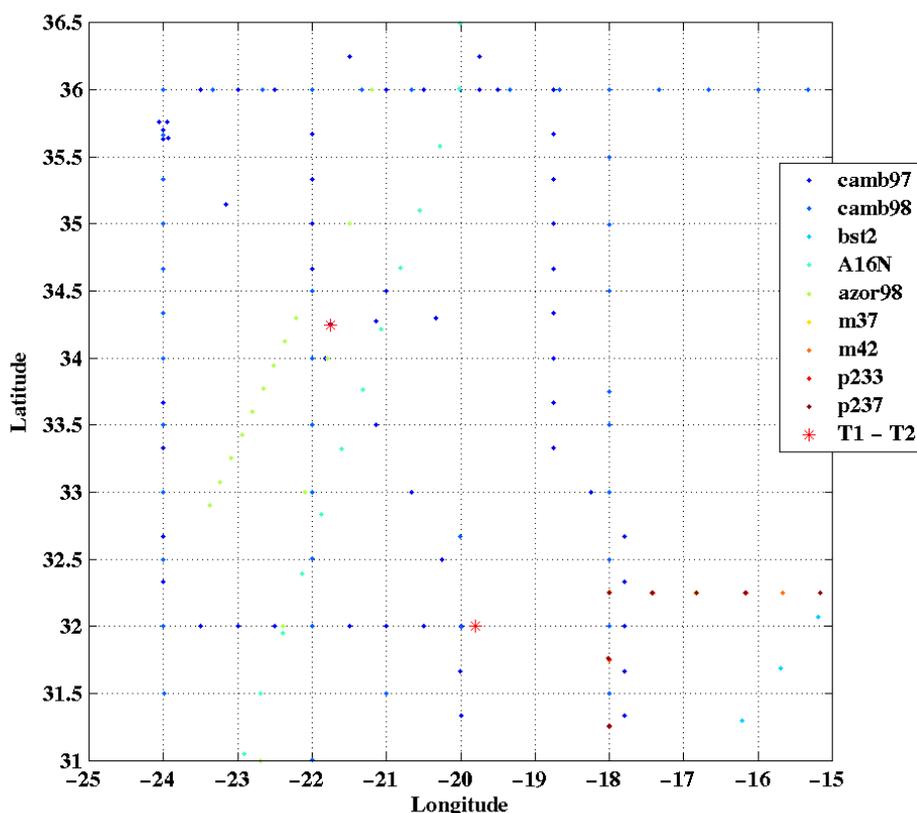


Figure 2 – Localisation des stations bathysonde dans la zone CAMBIOS.

### 1.1.2. Critères de choix

En plus de ce critère géographique, un second critère de sélection est appliqué. Il concerne la profondeur maximale des mesures de la station. Certaines stations étant très peu profondes, nous avons choisi de ne pas les retenir plutôt que d'extrapoler leur profil à des niveaux où la variabilité est importante. Ce paramètre est visualisé par campagne Figure 3. La limite de 3500 m de profondeur est également indiquée sur cette figure. Seules les campagnes atteignant ou dépassant cette limite sont retenues pour créer la base des profils de célérité. Les positions des stations qui satisfont ce critère sont données Figure 4.

Les profils de vitesse du son et de salinité, filtrés selon la méthode décrite dans le volume n°7 de cette série et classés par campagne sont visualisés Figure 5. Les profils sont extrapolés jusqu'à la profondeur maximum de la section T1T2 en effectuant un raccordement pondéré

sur 300 m au profil moyen. La Figure 6 décrit le diagramme T-S des profils retenus. Sur ces figures sont également superposés les profils moyens et l'écart-type correspondant.

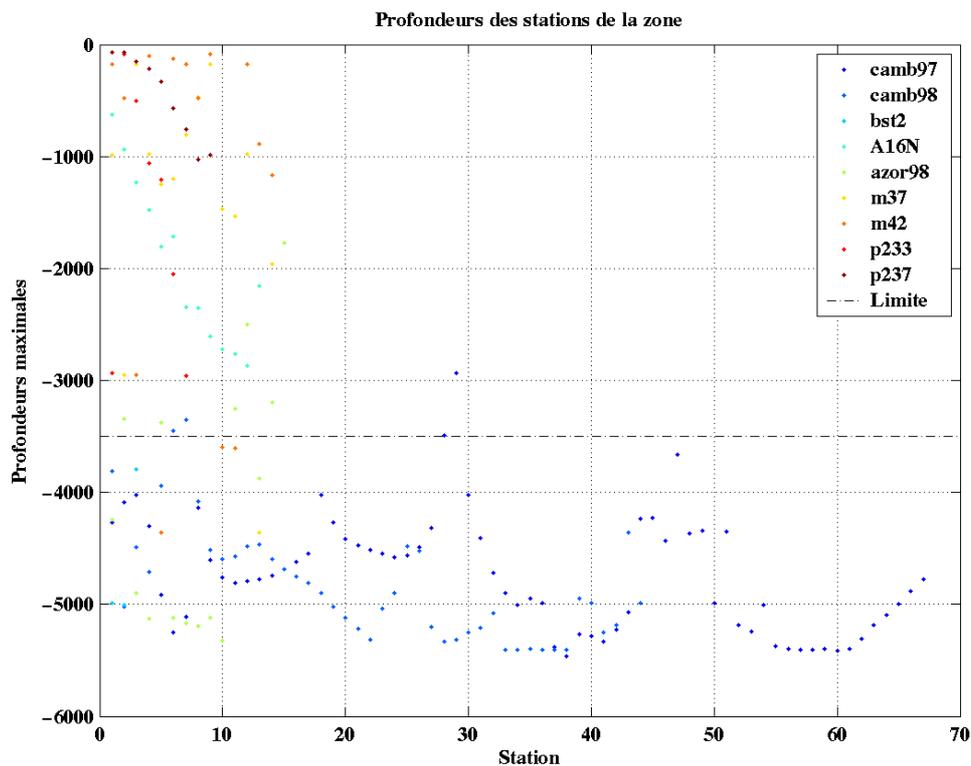


Figure 3 – Répartition des profondeurs maximales des stations selon la campagne.

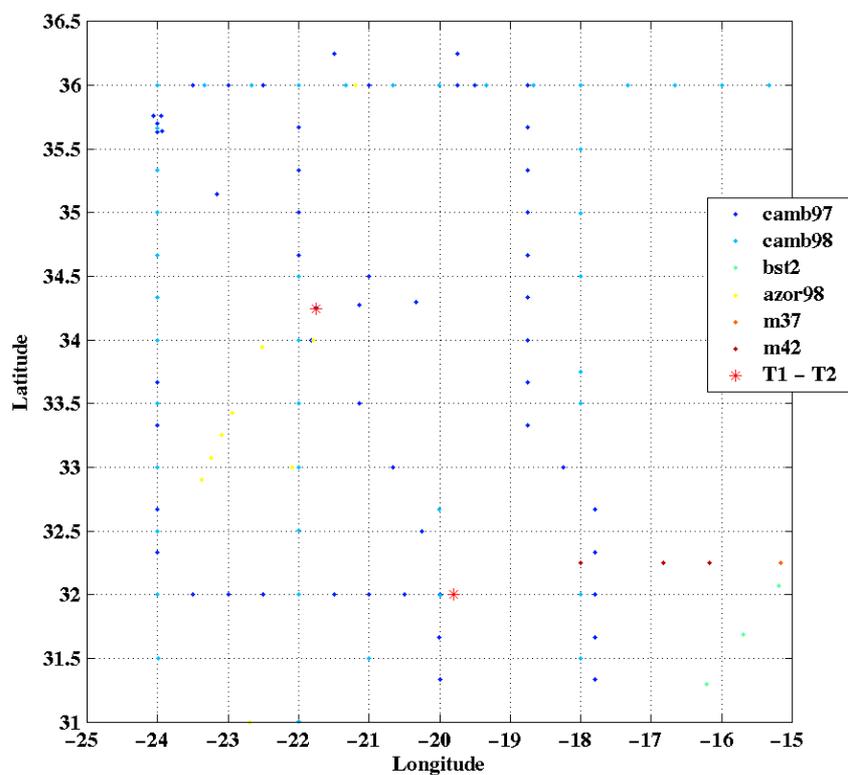


Figure 4 – Sélection des stations retenues pour constituer la base de profils de célérité.

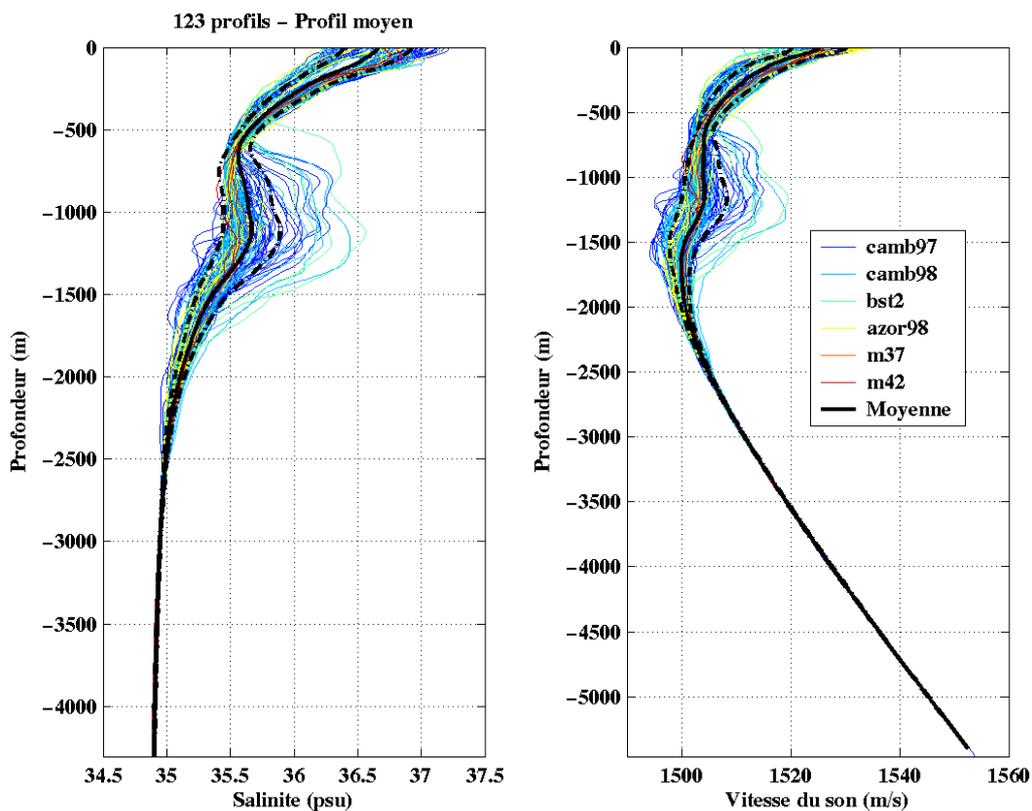


Figure 5 – Profils individuel de salinité et de vitesse du son avec profils moyens et l'écart-type associé.

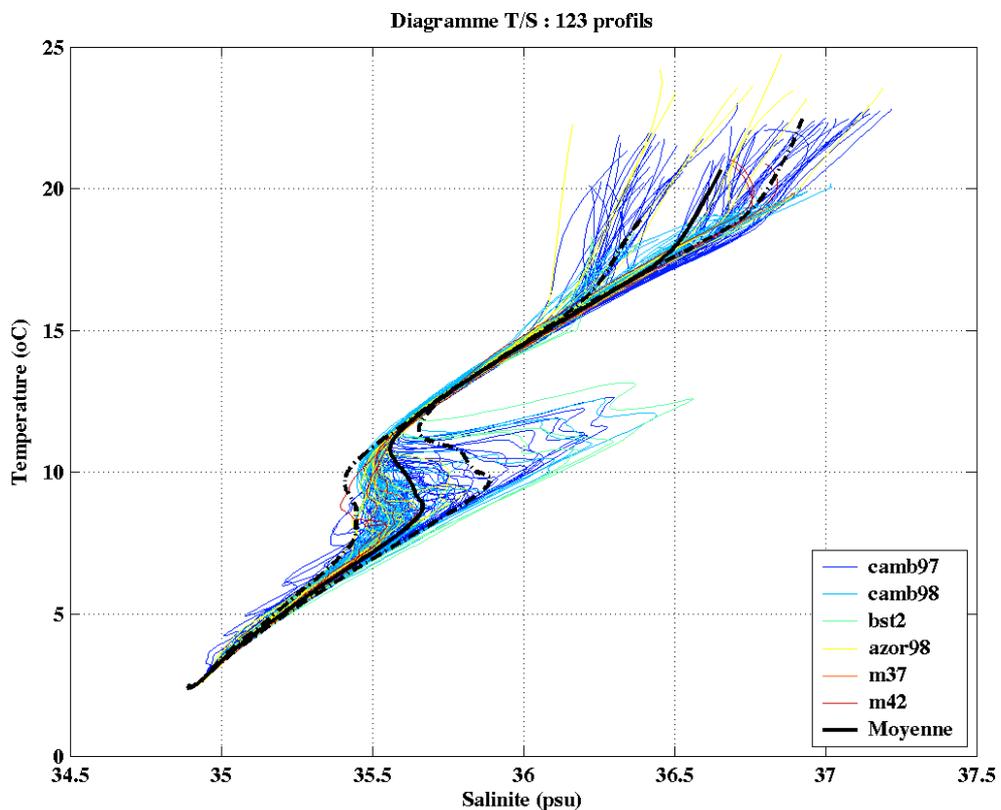


Figure 6 – Diagrammes T-S individuels et moyen et l'écart-type associé.

### 1.1.3. Distribution mensuelle

La saison de mesures est un élément à prendre en compte également pour composer éventuellement un effet saisonnier. La distribution mensuelle des mesures est représentée Figure 7.

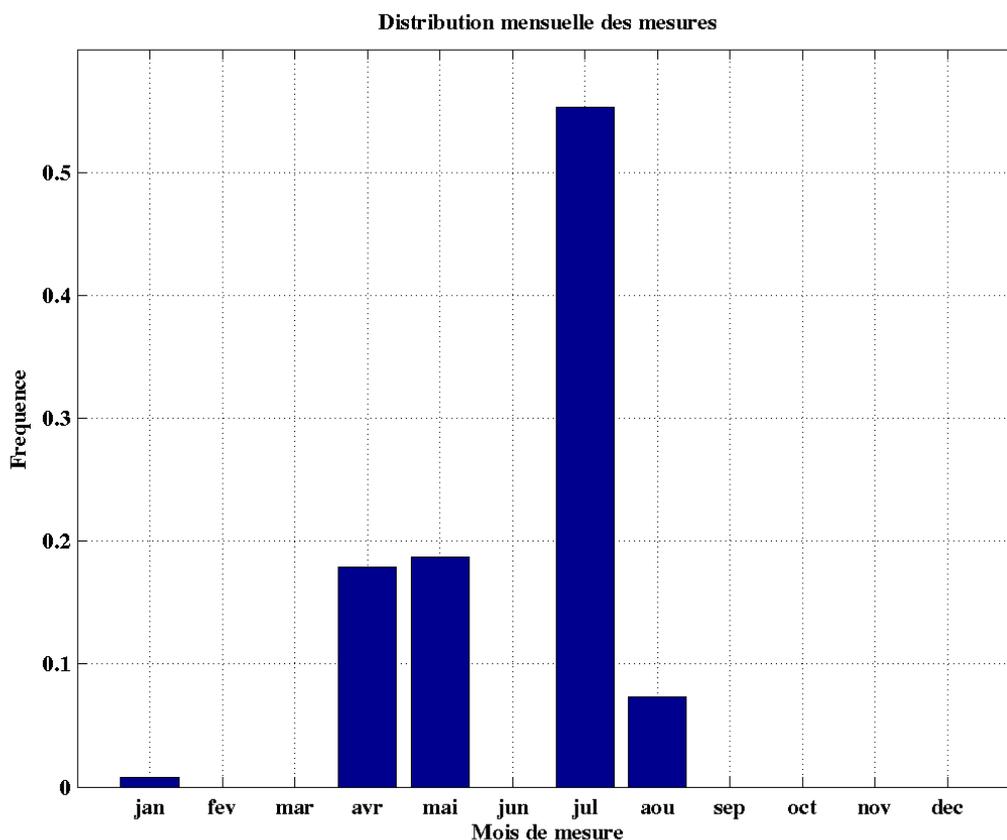


Figure 7 – Distribution mensuelle des mesures

### 1.1.4. Effet saisonnier sur le profil moyen

Afin d'être en mesure d'apprécier la contribution d'un effet saisonnier sur les temps d'arrivée, nous avons calculé les variations saisonnières de vitesse du son à partir de données de variations mensuelles de température fournies par Coriolis. Les variations saisonnières sont supposées avoir un impact dans la couche 0-250 m. Les variations de vitesse du son calculées à partir des températures fournies par Coriolis et ramenées aux saisons océanographiques (hiver : février – mars - avril ; printemps : mai – juin - juillet ; été : août – septembre - octobre ; automne : novembre – décembre - janvier) sont visualisées Figure 8. Le profil moyen, d'après la distribution mensuelle des profils est fortement constitué de mesures prises au printemps. On considère par conséquent que ce profil est associé à la saison printemps. Pour constituer les profils des autres saisons, nous calculons un profil asaisonné en soustrayant la variation printanière, puis en rajoutant les contributions des autres saisons. Finalement les variations saisonnières du profil moyen sont visualisées Figure 9.

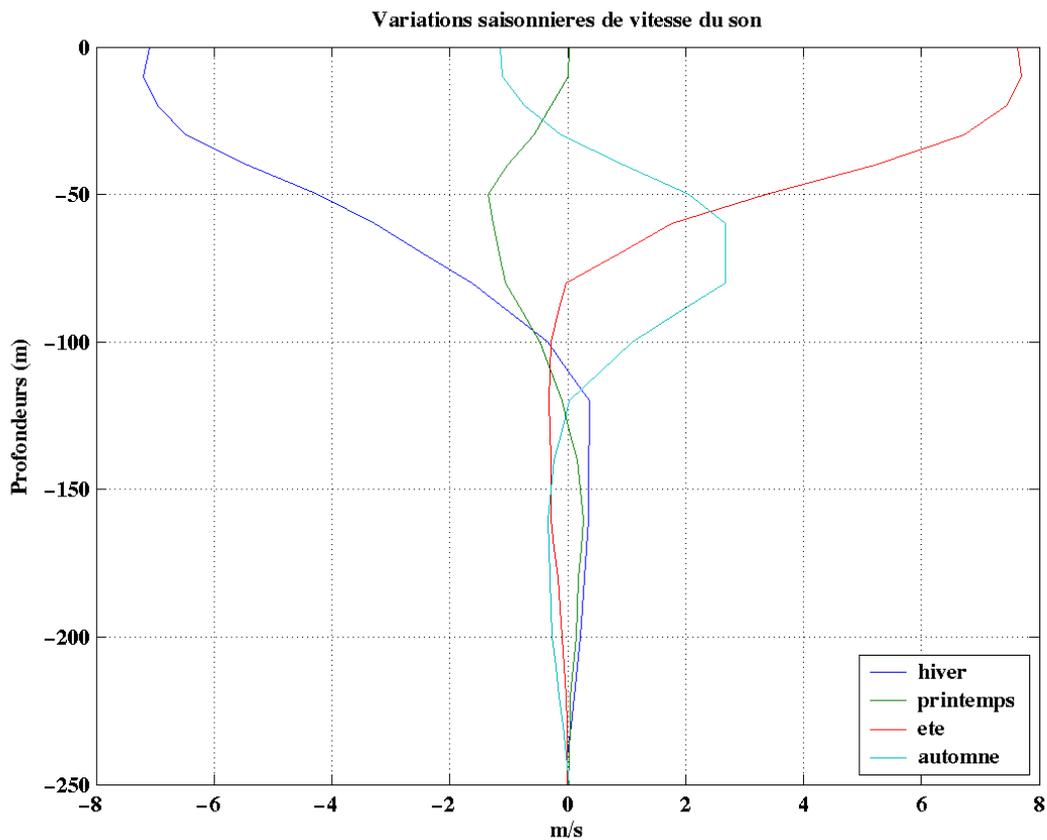


Figure 8 – Variations saisonnières de la vitesse du son dans la tranche 0-250 m.

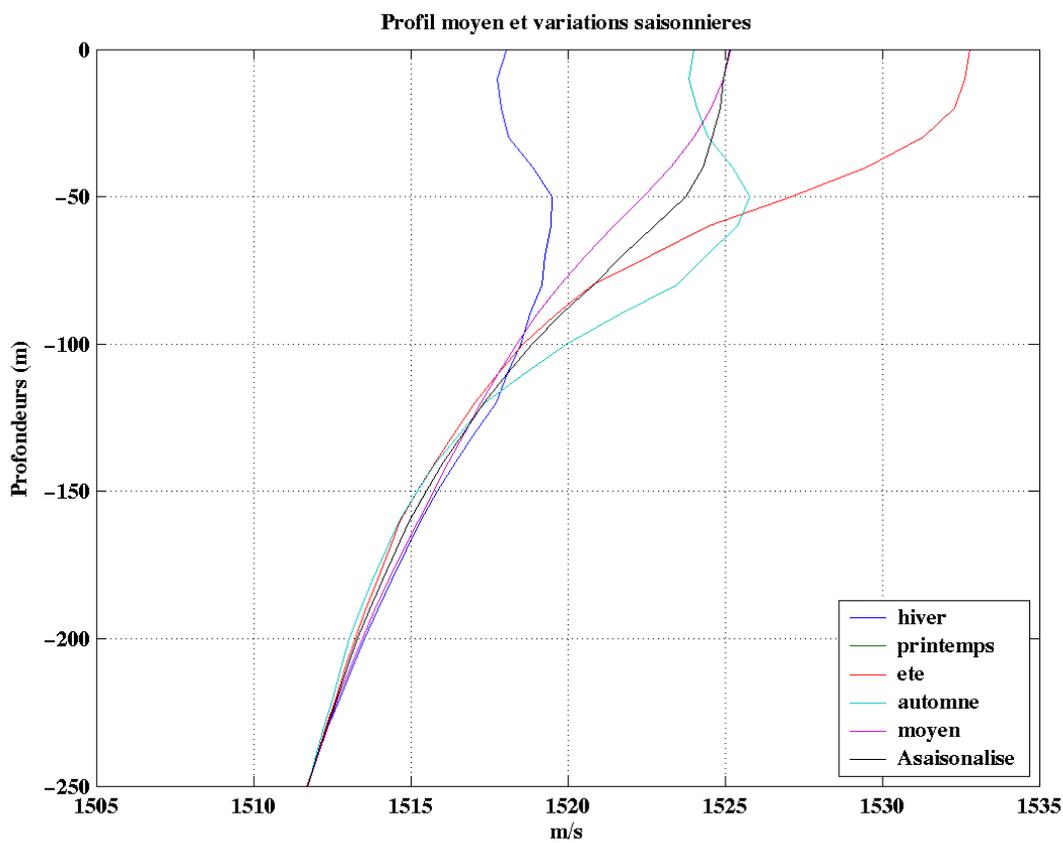


Figure 9 – Variations saisonnières du profil moyen de la zone dans la tranche 0-250 m.

### 1.1.5. Profils caractéristiques

De l'ensemble des profils individuels sélectionnés, un ensemble réduit de profils caractéristiques a été généré. Le critère de caractérisation retenu est basé sur le maximum de salinité entre les profondeurs 800 et 1400 m. La distribution en profondeur du maximum de salinité de chaque profil est représenté Figure 10. En fonction de cette distribution nous avons défini 10 tranches de salinité numérotées sur la figure de 1 à 10. On note que les tranches 8 et 9 correspondent à la même tranche de salinité et que la profondeur du maximum est utilisée pour partitionner cette tranche en 2. Les profils correspondants au partitionnement ainsi effectué sont visualisés Figure 12.

Pour chaque série de profils, le profil moyen est calculé et il constitue le représentant de la partition. Ces profils de partition ainsi que le profil moyen d'ensemble sont visualisés en salinité et vitesse du son Figure 13. L'écart au profil moyen d'ensemble est donné Figure 14.

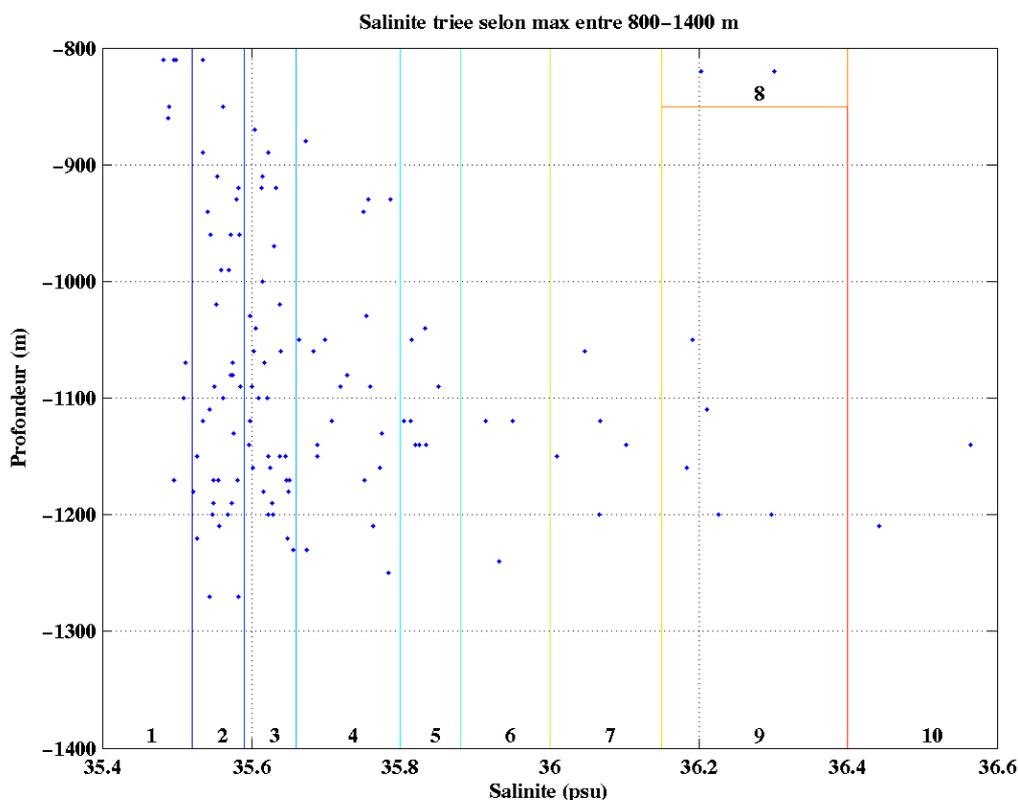


Figure 10 – Distribution des maxima de salinité en profondeur.

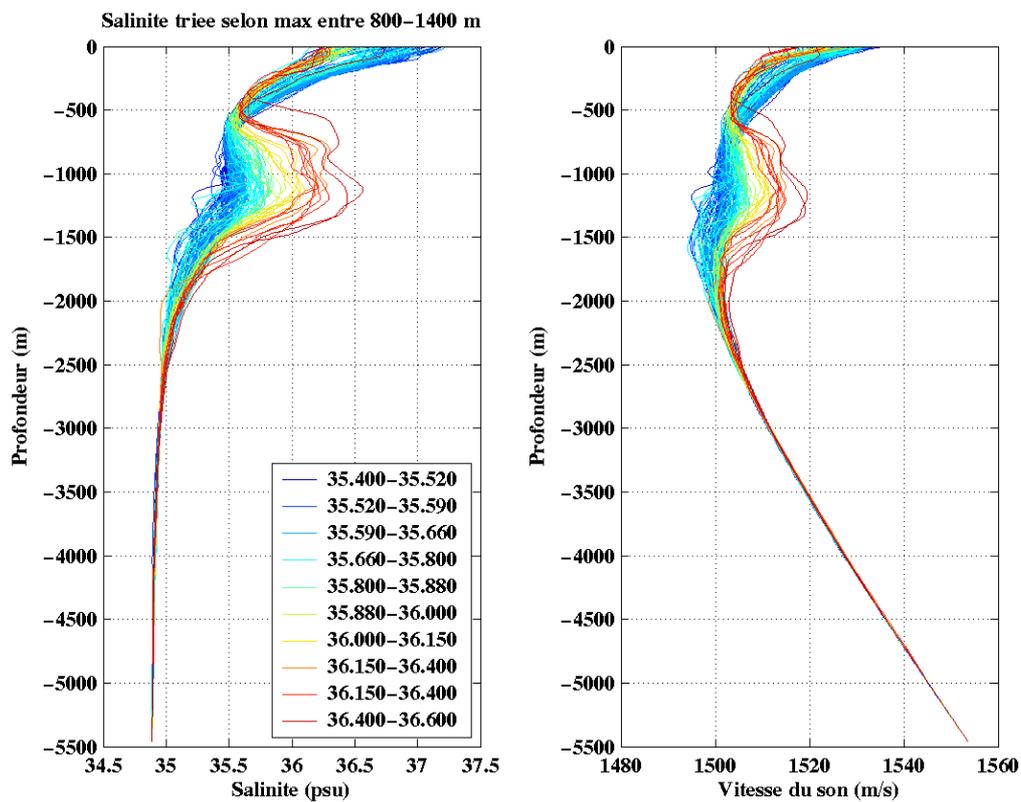


Figure 11 – Profils visualisés selon le partitionnement en salinité.

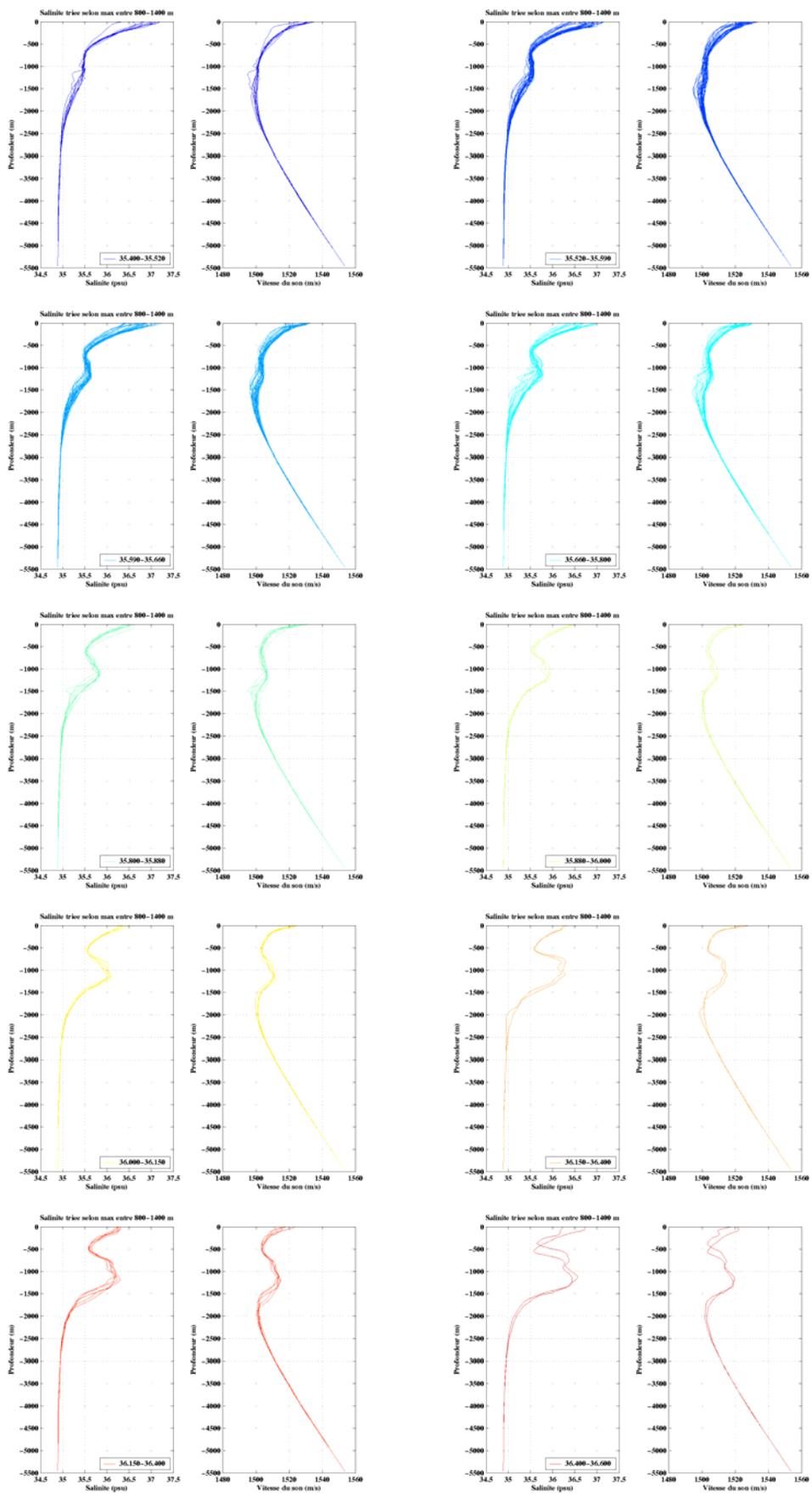


Figure 12 – Profils salinité et vitesse du son pour les partitions 1 à 10 (de gauche à droite et haut en bas). Limites de salinité 34.5 à 37.5psu. Limites de célérité : 1480 à 1560 m/s. Limites de profondeur 0-5500 m.

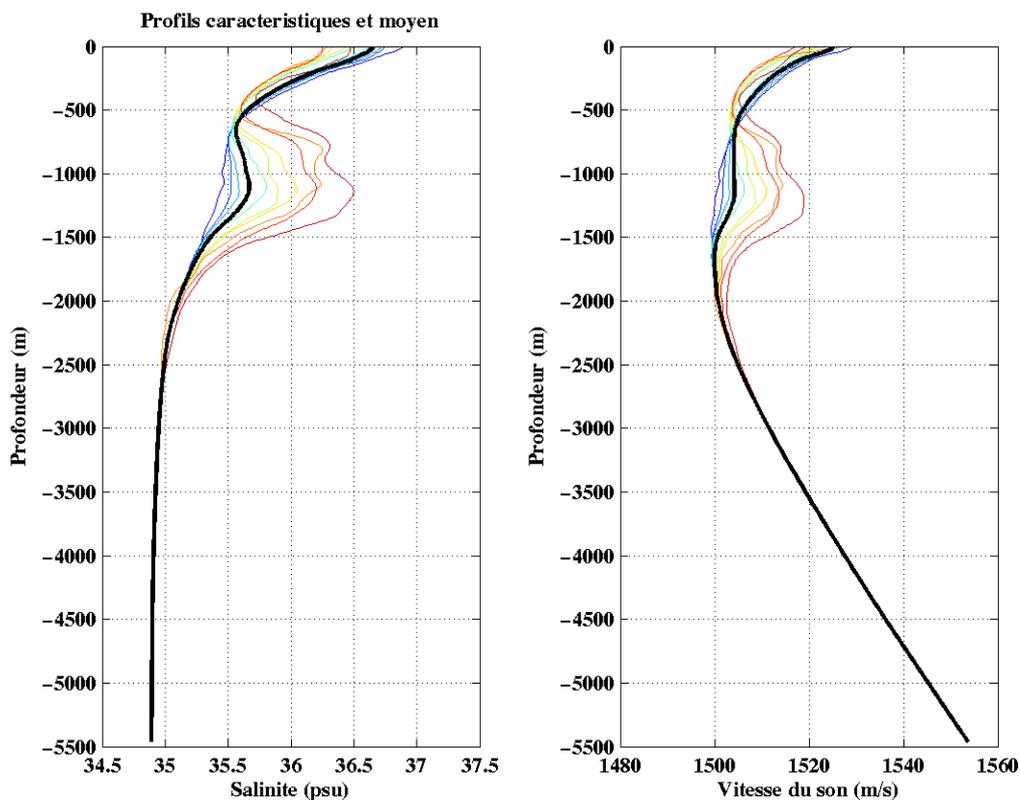


Figure 13 – Profils moyen des partitions et profil moyen d'ensemble.

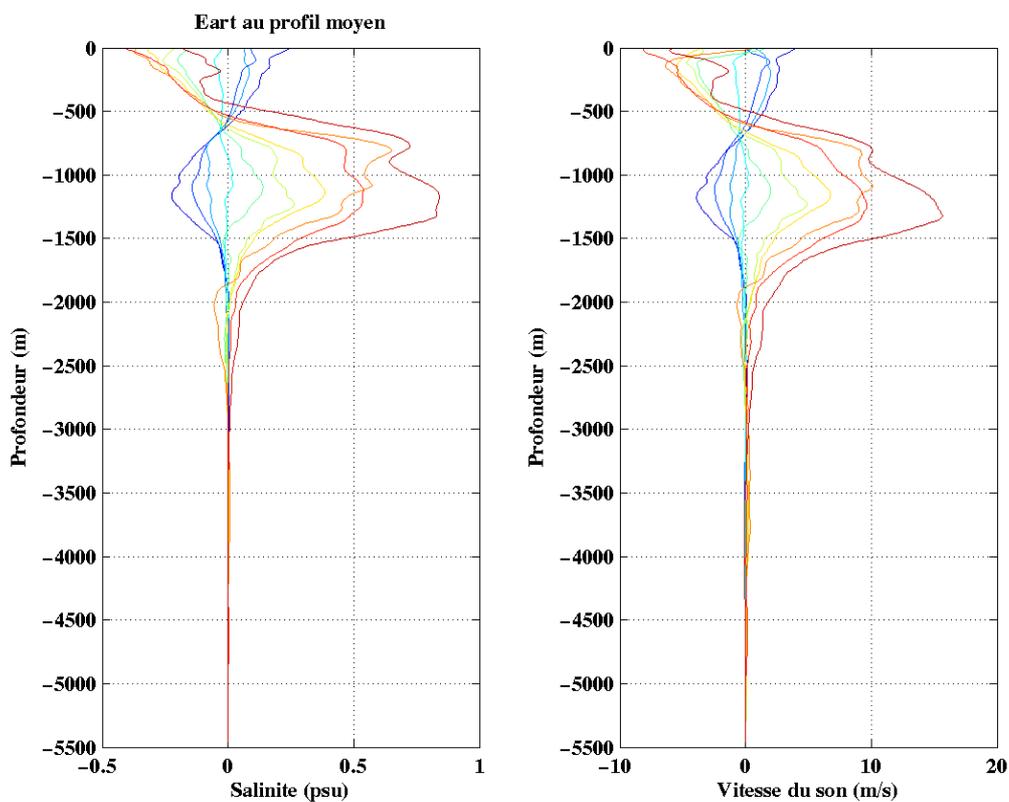


Figure 14 – Ecart au profil moyen d'ensemble des profils des partitions.

### 1.1.6. Organisation des données

Sous-répertoire : **cambios/pbdirect/SSP\_tout**

Le programme *get\_ssp\_tout.m* du répertoire **cambios/pbdirect** génère ces fichiers.

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>SSP_brut.mat</b>  | <p>Ce fichier contient les vitesses du son calculées d'après les données CTD des campagnes dont la liste est fournie dans les fichiers <i>liste_ctd.dep</i> et <i>liste_ctd.zzz</i>. Il contient les données des CTD sélectionnées dans la zone Cambios [-25 -15] Lon et [31 36.5] Lat. Les données sont sous trois formes : brutes, lissées (60 m) et rééchantillonnées à 10 m entre 0 et 3000 m et à 30 m entre 3000 et profondeur station, extrapolées jusqu'à la profondeur max de la section T1T2. Les données sont regroupées en cellules par campagne. Le fichier contient les variables suivantes :</p> <p><b>C</b> Vitesse du son (del Grosso et T90) pour chaque station<br/> <b>camp</b> Nom des stations retenues<br/> <b>ctd_mois</b> Mois de mesures des stations<br/> <b>ctd_num</b> Numéro de la station dans la campagne<br/> <b>ctd_sel</b> Indice de la station dans la campagne<br/> <b>depth</b> Profondeur de chaque station<br/> <b>lat_ctd</b> Latitude de chaque station<br/> <b>lon_ctd</b> Longitude de chaque station<br/> <b>nlev</b> Nombre de niveaux pour chaque station<br/> <b>pres</b> Pression à chaque niveau pour chaque station<br/> <b>psal</b> Salinité à chaque niveau pour chaque station<br/> <b>range</b> Distance à la section T1-T2<br/> <b>temp</b> Température à chaque niveau pour chaque station<br/> <b>Cf</b> Vitesse du son lissée et rééchantillonnée<br/> <b>Sf</b> Salinité lissée et rééchantillonnée<br/> <b>Tf</b> Température lissée et rééchantillonnée<br/> <b>Nf</b> Nombre de niveaux après lissage et rééchantillonnage<br/> <b>Zf</b> Profondeurs après lissage et sous-échantillonnage<br/> <b>Z_BOTTOM</b> Profondeur maximale de la bathymétrie section<br/> <b>Cex</b> Vitesse du son extrapolée jusqu'à profondeur Z_BOTTOM<br/> <b>Sex</b> Salinité extrapolée jusqu'à profondeur Z_BOTTOM<br/> <b>Tex</b> Température extrapolée jusqu'à profondeur Z_BOTTOM<br/> <b>Zex</b> Profondeurs associées</p> |
| <b>liste_ctd.txt</b> | Caractéristiques des stations CTD sélectionnées  |
| <b>resu_sel.txt</b>  | Indique pour chaque campagne, le nombre de stations CTD, le nombre de stations retenues, le nombre de stations hors-zone, le nombre de stations insuffisamment profondes.  |
| <b>SSP_moy.mat</b>   | <p>Profil moyen de l'ensemble des profils retenus. Il contient les variables suivantes :</p> <p><b>Z</b> Niveaux du profil moyen<br/> <b>mC</b> Vitesse du son moyenne<br/> <b>mS</b> Salinité moyenne<br/> <b>mT</b> Température moyenne<br/> <b>sC</b> Ecart-type vitesse du son<br/> <b>sS</b> Ecart-type salinité<br/> <b>sT</b> Ecart-type température</p>  |

|   |  |
|---|--|
| <b>SSP_groupe.mat</b>   | Profils moyens de chaque groupe défini en fonction du maximum de salinité entre 800 et 1400 m. Il contient les variables suivantes.<br><b>CC</b> Vitesse du son de chaque groupe<br><b>DD</b> Mois moyen de chaque groupe<br><b>NC</b> Nombre de niveaux moyenné<br><b>SC</b> Salinité de chaque groupe<br><b>ZC</b> Niveaux de chaque groupe<br><b>mlim</b> limites des groupes en salinité et profondeur |
| <b>SSP_&lt;c&gt;_&lt;n&gt;.ssp</b><br><b>SSP_groupe_&lt;n&gt;.ssp</b><br><b>SSP_moy.ssp</b> | Fichier texte contenant les profils de vitesse du son au format compatible <i>raybowl</i> . Pour les stations, <c> est l'identificateur de la campagne, et <n> le numéro de la station. Pour les groupes, <n> est le numéro du groupe.   |

Sous-répertoire : **cambios/pbdirect/SSP\_groupe\_saisons**

Le programme *ssp\_saisons\_groupe.m* génère ces données.

|   |   |
|---|---|
| <b>SSP_groupe_&lt;n&gt;_&lt;s&gt;.ssp</b><br><b>SSP_moy_&lt;s&gt;.ssp</b> | Fichier texte contenant les profils de vitesse du son au format compatible <i>raybowl</i> . <n> le numéro du groupe et <s> le nom de la saison. |
|---|---|

## **1.2. La base des temps d'arrivée prédits**

Nous utilisons pour le calcul de tracé de rayons le programme *raybowl* qui a été retenu dans le volume n°7 de cette série. Pour une bonne estimation de la propagation dans le canal acoustique, un calcul de propagation de modes normaux est effectué dans certains cas et le résultat superposé au calcul de rayons.

### **1.2.1. Prédications avec profil moyen et effet saisonnier**

Les profils saisonniers du profil moyen ont été calculés et afin de quantifier l'influence de l'effet saisonnier sur les temps d'arrivée nous calculons les rayons avec ces profils. Les résultats sont visualisés Figure 15. Sur ce graphe sont indiquées les prédictions calculées avec le profil moyen puis le profil asaisonalisé et ensuite les variations saisonnières du profil moyen du printemps à l'hiver. Le motif d'arrivée ne subit pas de déformations conséquentes et reste relativement stable au cours des saisons. Nous notons que les variations temporelles introduites sur le dernier rayon du premier paquet d'arrivée par un effet saisonnier sont au maximum de 30 ms entre les saisons extrêmes hiver et été.

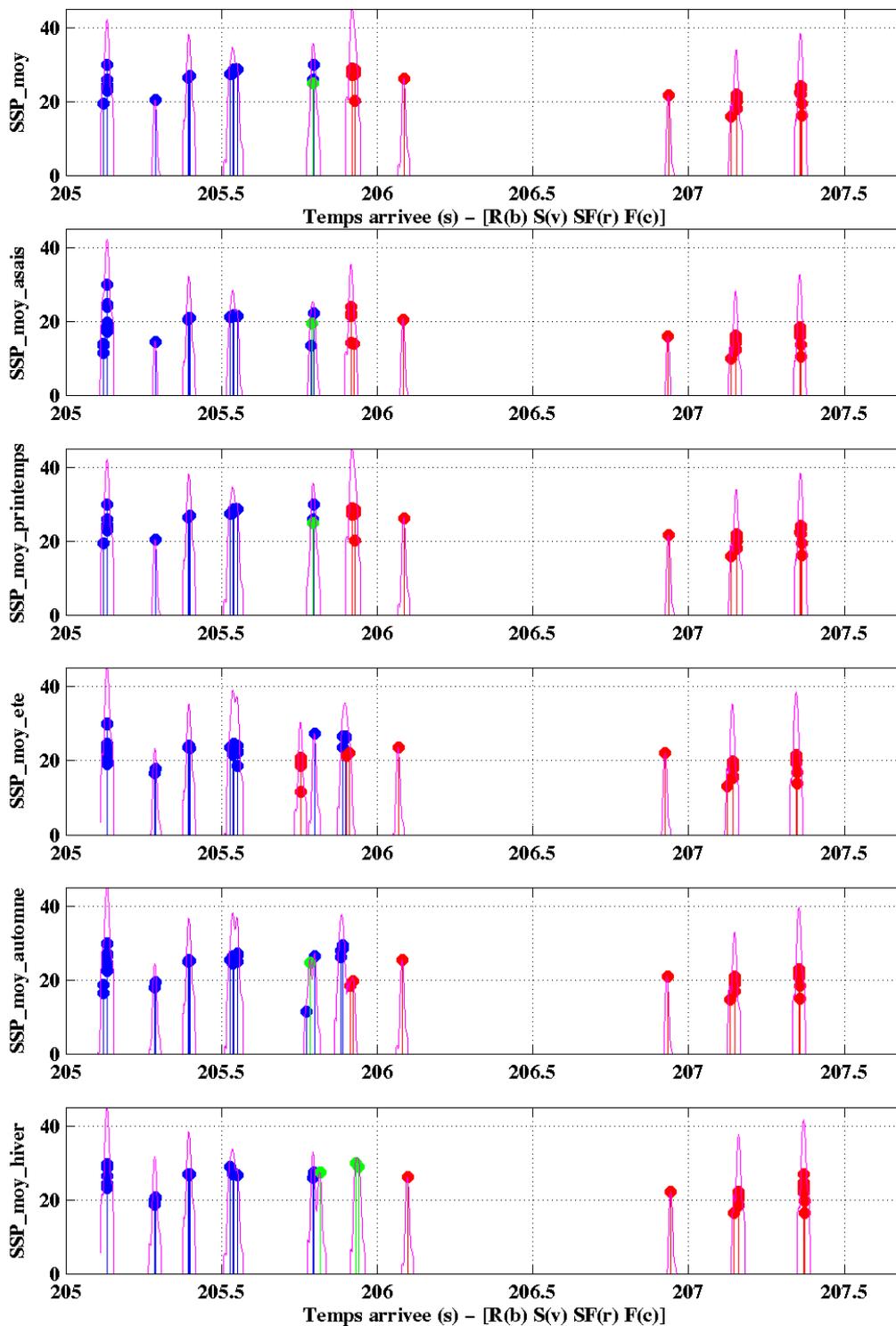


Figure 15 – Variations saisonnières des prédictions effectuées avec le profil moyen.  
 (Rouge : réfléchi surface et fond ; Vert : réfléchi fond ; Bleu : réfracté)

### **1.2.2. Prédiction avec profils caractéristiques**

Les résultats des calculs de tracé de rayons et des modes normaux pour les profils caractéristiques des 10 partitions sont visualisés Figure 16 et Figure 17.

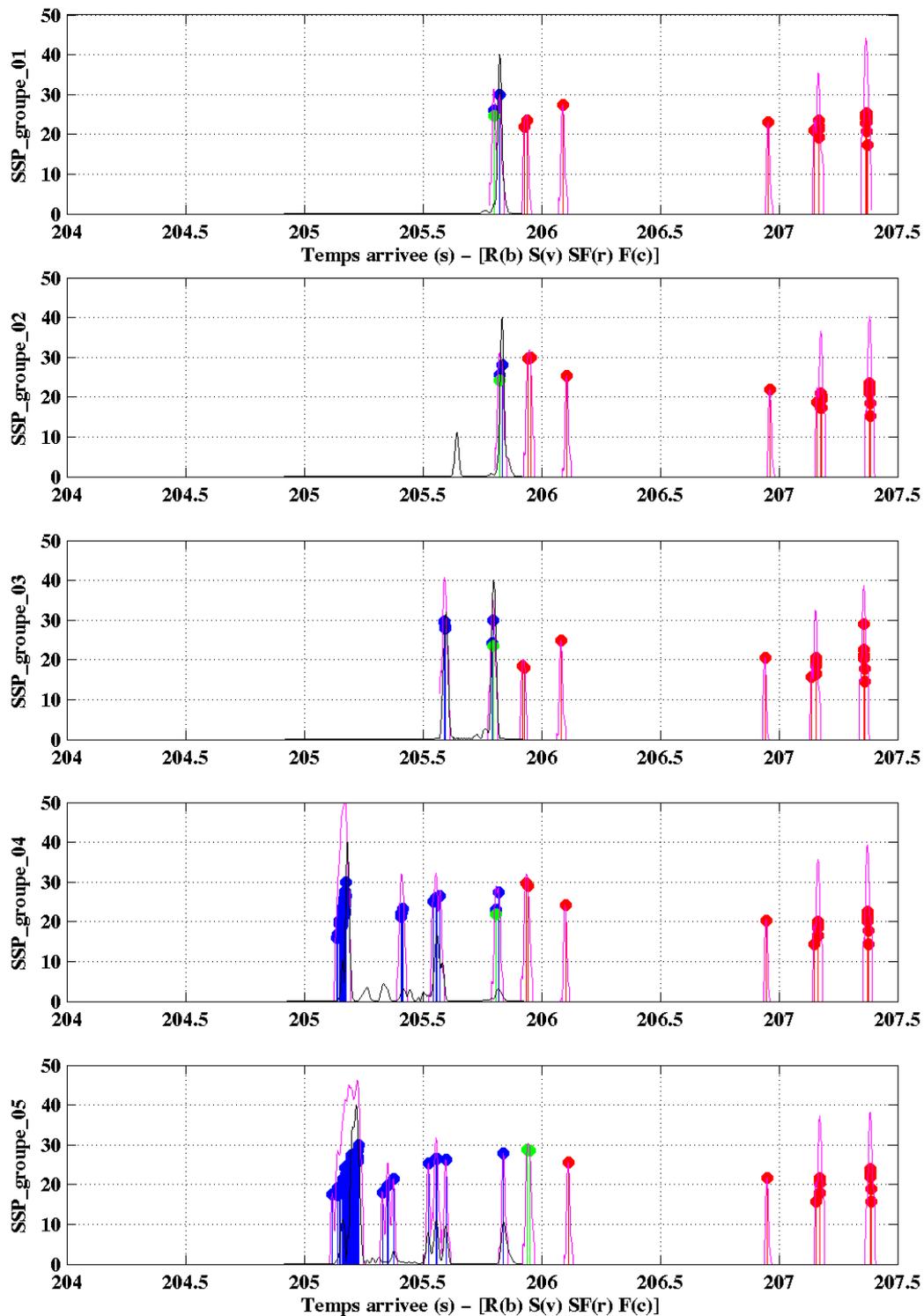


Figure 16 – Diagramme temps/amplitude des rayons et modes normaux calculés pour les groupes 1 à 5. (Rouge : réfléchi surface et fond ; Vert : réfléchi fond ; Bleu : réfracté ; Noir : modes normaux).

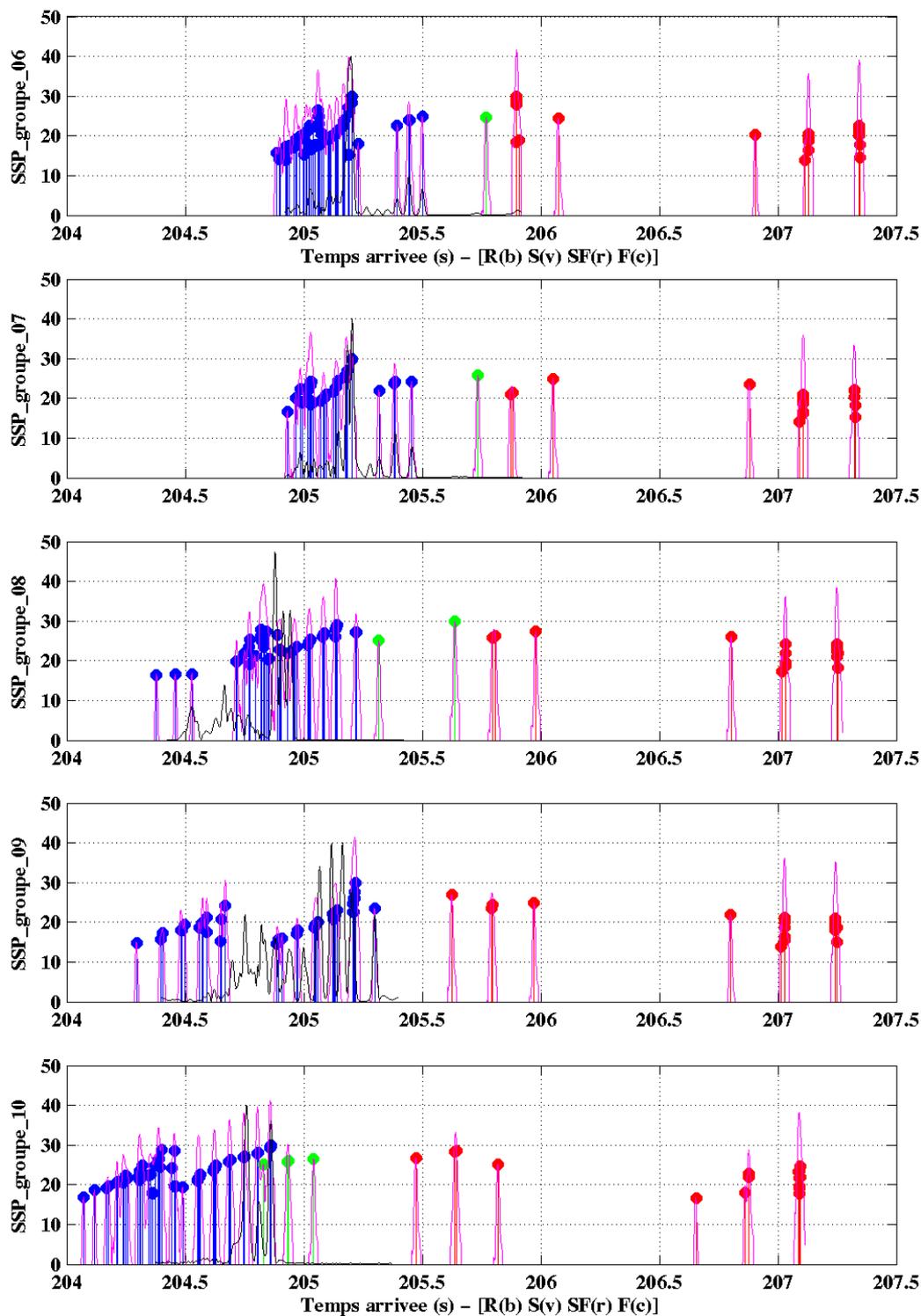


Figure 17 – Diagramme temps/amplitude des rayons et modes normaux calculés pour les partitions 6 à 10. (Rouge : réfléchi surface et fond ; Vert : réfléchi fond ; Bleu : réfracté ; Noir : modes normaux).

### 1.2.3. Rayons utilisés

Le traitement des données de cette expérience (volume n°7 de cette série) a fait apparaître 7 rayons résolus qui ont pu être suivi pour le sens direct et réciproque de la paire T1T2. Les temps d'arrivée de ces rayons restent cependant affectés de dérives d'horloges de chaque instrument. Une manière de s'affranchir des dérives d'horloges consiste à travailler avec le temps moyen des trajets direct et réciproque. Ces temps sont visualisés Figure 18.

Nous avons donc réduit les prédictions de manière à produire un motif similaire à celui issu des données. En règle générale, le plus intense de chaque paquet de rayons prédits est conservé pour représenter le paquet. Le résultat de cette réduction des prédictions est visualisé Figure 19 et Figure 20.

Les rayons observés et prédits conservés ont reçu un label de 1 à 8 comme indiqué Figure 21. Nous avons également porté sur cette figure, deux caractéristiques du paquet d'arrivées non résolues : la limite inférieure et le barycentre numérotés 9 et 10 respectivement. Pour les prédictions, nous avons fait figurer pour ces deux cas, les mêmes informations calculées à partir des calculs de rayons et de modes. Cependant il s'avère qu'aucune prédiction (rayon ou mode) n'est satisfaisante pour représenter les arrivées non résolues (Figure 21, rayons numérotés 9 et 10) et par conséquent ces derniers ne sont pas pris en compte pour la suite. Le doublet prédit 6-7 n'étant pas observé, il n'est pas pris en compte pour la classification. Pour le doublet 2-3, nous avons choisi de prendre en compte la composante avec le temps minimum soit le seul rayon 2.

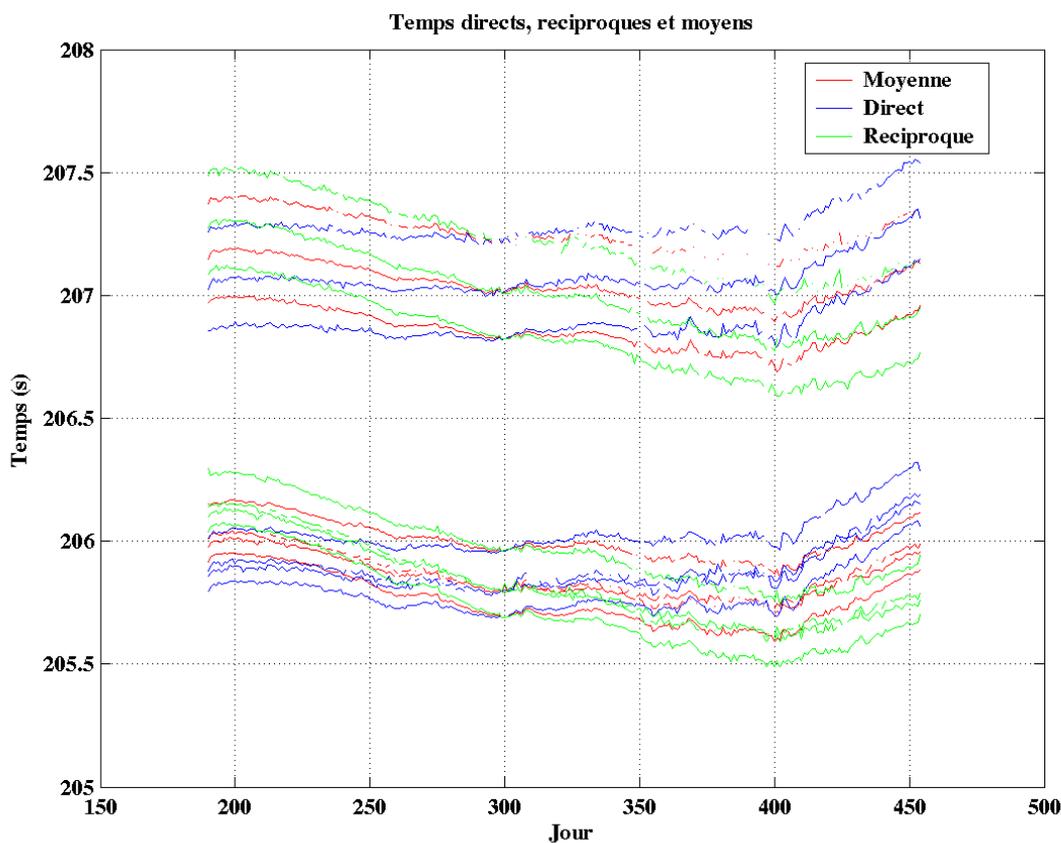


Figure 18 – Temps de trajet direct et réciproque ainsi que les temps moyen pour la paire T1T2.

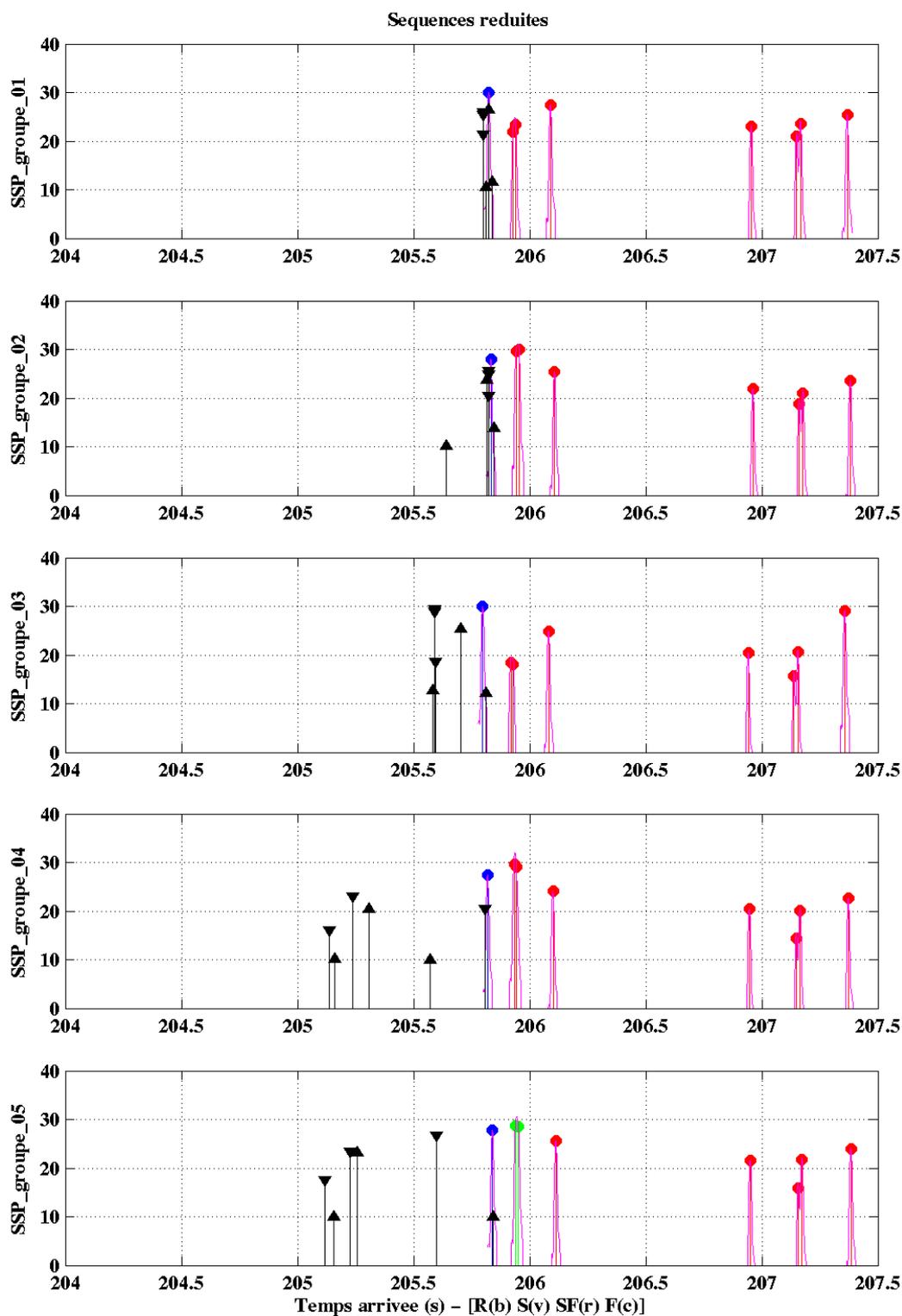


Figure 19 – Diagramme réduit temps / amplitude des rayons acoustiques calculés pour les partitions 1 à 5. (Rouge : réfléchi surface et fond ; Vert : réfléchi fond ; Bleu : réfracté ; ▲ : limites inférieure, supérieure et barycentre des modes; ▼ : limites inférieure, supérieure et barycentre du paquet non résolu).

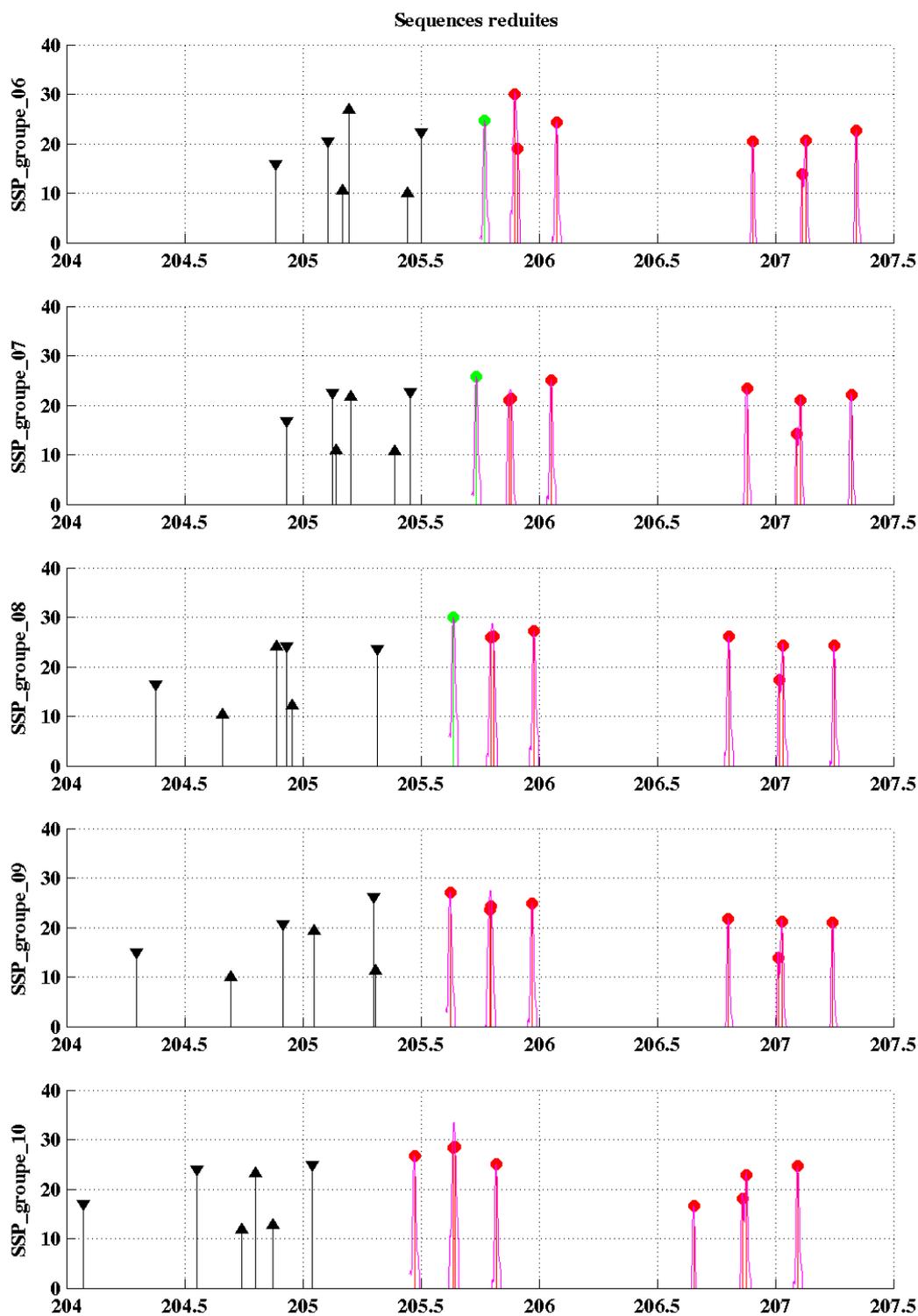


Figure 20 – Diagramme réduit temps/amplitude des rayons acoustiques calculés pour les partitions 6 à 10. (Rouge : réfléchi surface et fond ; Vert : réfléchi fond ; Bleu : réfracté; ▲ : limites inférieure, supérieure et barycentre des modes; ▼ : limites inférieure, supérieure et barycentre du paquet non résolu).

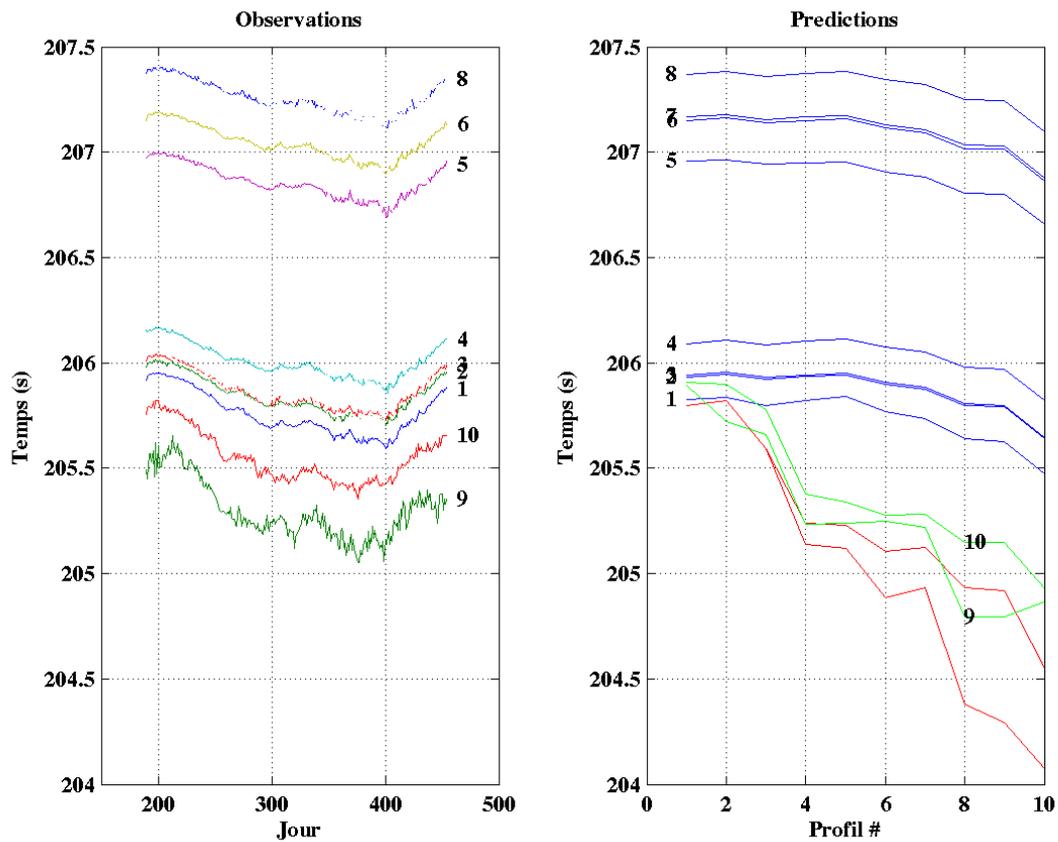


Figure 21 – Motifs des arrivées mesurées et prédites. Les données portant les numéros 9 et 10 correspondent respectivement aux limites inférieures et barycentre des arrivées non résolues. Les prédictions correspondantes sont représentées à droite en rouge pour les rayons et en vert pour les modes.

### 1.2.4. Organisation des données

Répertoire : **cambios/pbdirect/raybowl/etopo\_groupe\_10**

Le programme de tracé de rayons *raybowl* génère ces fichiers.

|   |   |
|---|---|
| <b>raybowl.go</b>   | Fichier de lancement du programme <i>raybowl</i> .  |
| <b>ssp_tout.in</b>  | Fichier de paramétrage du programme <i>raybowl</i> .  |
| <b>ssp_groupe &lt;n&gt;.mat</b>   | Fichiers bruts des résultats du programme <i>raybowl</i> .  |
| <b>ssp_groupe &lt;n&gt;.tps</b><br><b>ssp_groupe &lt;n&gt;.lng</b><br><b>ssp_groupe &lt;n&gt;.red</b> | Fichiers ASCII de description des rayons calculés. Le format <b>.tps</b> contient la description de tous les rayons calculés. Le format <b>.lng</b> contient la description de rayons compris dans des limites de temps. Le format <b>.red</b> contient la description des seuls 8 rayons correspondant au motif des arrivées observées. <n> est le numéro du groupe. |

Répertoire : **cambios/pbdirect/modes**

La boîte à outils *Tomolab-Forward Acoustics* génère ces fichiers.

|   |  |
|---|--|
| <b>MS_groupe &lt;n&gt;_200_STD.mat</b>  | Fichier contenant la forme des modes normaux calculée avec 200 modes en utilisant le code standard. <n> est le numéro du groupe.<br><b>ms</b> amplitude des modes en fonction de la profondeur<br><b>zMS</b> profondeur  |
| <b>TAF_groupe &lt;n&gt;_200_STD.mat</b> | Fichier contenant les temps et amplitudes des motifs d'arrivée des modes normaux calculés avec 200 modes en utilisant le code standard. <n> est le numéro du groupe.<br><b>pattAF</b> motif des arrivées<br><b>tAF</b> temps des arrivées<br><b>normalpat</b> facteur de normalisation |

Répertoire : **cambios/pbdirect**

Le programme *cr\_st.m* génère ces fichiers.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>st_pred.mat</b>         | Fichier contenant la série des données prédites issues des fichiers <b>.red</b> . Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>idx</b> indice des rayons retenus parmi les 8 caractéristiques<br><b>ray_b</b> description complète des 8 rayons caractéristiques<br><b>tt_pred</b> temps des arrivées sélectionnées<br><b>aa_pred</b> amplitude des arrivées sélectionnées<br><b>prof_pred</b> nom du profil associé<br><b>help_st_pred</b> ce descriptif  |
| <b>st_pred_saisons.mat</b> | Fichier contenant la série des données prédites issues des fichiers <b>.red</b> correspondant aux variations saisonnières du profil moyen. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>idx_sais</b> indice des rayons retenus parmi les 8 caractéristiques<br><b>ray_b_sais</b> description complète des 8 rayons caractéristiques<br><b>tt_pred_sais</b> temps des arrivées sélectionnées<br><b>aa_pred_sais</b> amplitude des arrivées sélectionnées<br><b>prof_pred_sais</b> nom du profil associé<br><b>help_st_pred_sais</b> ce descriptif   |
| <b>st_pred_gene.mat</b>    | Fichier contenant la série des données prédites issues des fichiers <b>.red</b> ainsi que les données correspondant à la limite inférieure et au barycentre des temps d'arrivée. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>ray_g</b> description complète de toutes les arrivées prédites<br><b>tt_bary</b> temps des limites inférieures et barycentres<br><b>aa_bary</b> amplitude des limites inférieures et barycentres<br><b>help_st_gene</b> ce descriptif  |
| <b>st_pred_modes</b>       | Fichier contenant la série des données correspondant à la limite inférieure et au barycentre des motifs d'arrivée issus du calcul des modes normaux. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>AP</b> vecteurs des amplitudes des motifs des arrivées<br><b>tA</b> vecteurs des temps des motifs d'arrivée<br><b>tt_modes</b> temps des limites inférieures et barycentres<br><b>aa_modes</b> amplitude des limites inférieures et barycentres<br><b>help_st_modes</b> ce descriptif  |
| <b>st_obs.mat</b>          | Fichier contenant les séries temporelles de toutes les arrivées résolues (7), la limite inférieure et le barycentre des arrivées non résolues. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>yd_obs</b> jour des observations (réf. 1/01/97)<br><b>tt_obs</b> temps en secondes des arrivées<br><b>yd_lis</b> jour des arrivées interpolées pour combler données absentes<br><b>tt_lis</b> temps en secondes des arrivées interpolées<br><b>ix_pre</b> indices des séquences ou les 4 temps sont présents<br><b>ix_abs</b> indices des séquences ou 1 temps au moins est manquant<br><b>help_st_obs</b> ce descriptif |

## 2. Classification des observations

### 2.1. Diagrammes prédiction et observation

L'espace des paramètres que nous utilisons pour classer les observations est constitué de 5 temps d'arrivée T1, T2, T3, T4, T5 et T8. Une représentation de cet espace est obtenue en effectuant des diagrammes  $T_i/T_j$  pour chaque combinaison possible des temps d'arrivée comme il est indiqué Figure 22 et Figure 23. On note d'ailleurs un écart important entre les observations et les prédictions dans ces deux diagrammes. On remarque sur les seules observations une 2<sup>ème</sup> branche dans le nuage de points lorsque T1, T2 ou T4 sont en cause. La localisation dans la durée de l'expérience des points de cette 2<sup>ème</sup> branche est donnée Figure 24. Ces temps sont situés à la fin de l'expérience pendant laquelle se produit une augmentation constante des temps d'arrivée.

La superposition des prédictions (points en rouge) montre un décalage entre les observations et les prédictions, décalage plus ou moins important selon les temps en considération et qui met en évidence une inadéquation du modèle de propagation pour ces cas. Nous procédons alors à un calage des prédictions sur les observations pour pallier ce défaut de modélisation. Cette superposition s'effectue par rapport à T8 uniquement comme visualisé Figure 25. Les décalages appliqués sont tels que:

|             |               |
|-------------|---------------|
| T8 recalé = | T8 obs        |
| T5 recalé = | T5 obs + 34.6 |
| T4 recalé = | T4 obs + 21.3 |
| T2 recalé = | T8 obs + 37.1 |
| T1 recalé = | T8 obs + 99.8 |

**Tableau 1 – Décalages prédictions/observation appliqués en millisecondes.**

Les prédictions ainsi translatées sont par la suite utilisées pour effectuer la classification des données observées dans les classes de prédiction.

Afin de visualiser l'effet des variations saisonnières sur la classification, les prédictions correspondantes effectuées pour le profil moyen sont superposées aux données précédentes (Figure 26). Ces variations induites recouvrant une amplitude de 3 classes peuvent ainsi contribuer à faire passer à la classe immédiatement supérieure ou inférieure.

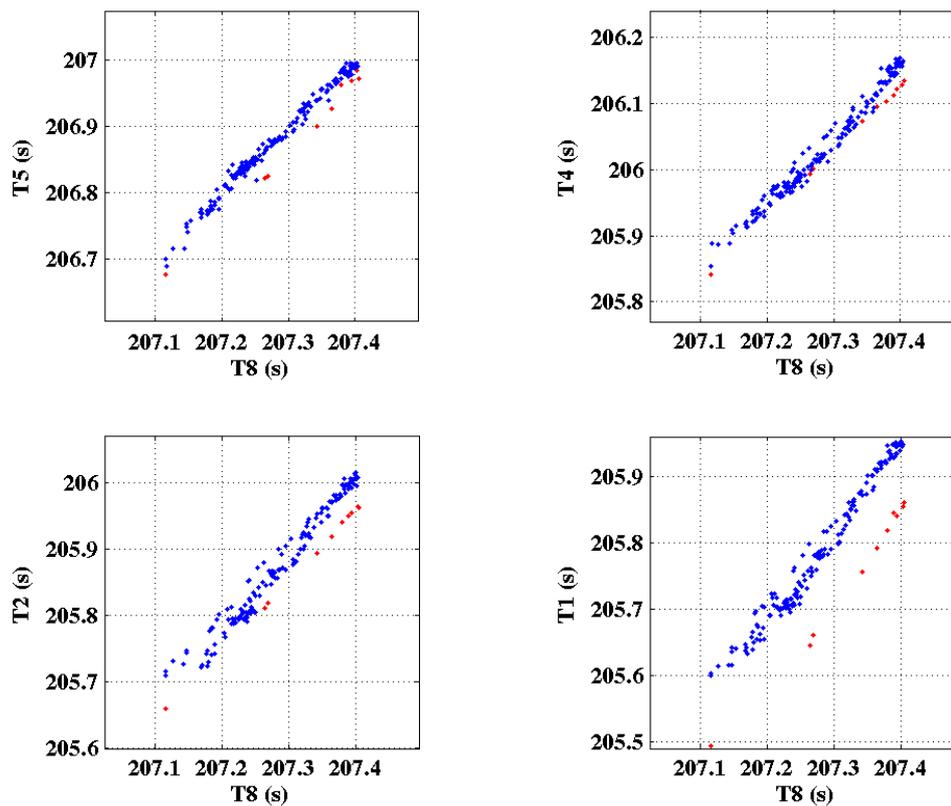


Figure 22 – Diagrammes T8/Tj pour les temps prédits et observés (j=5 4 2 1).  
(Bleu : les données observées ; Rouge : données prédites rayons)

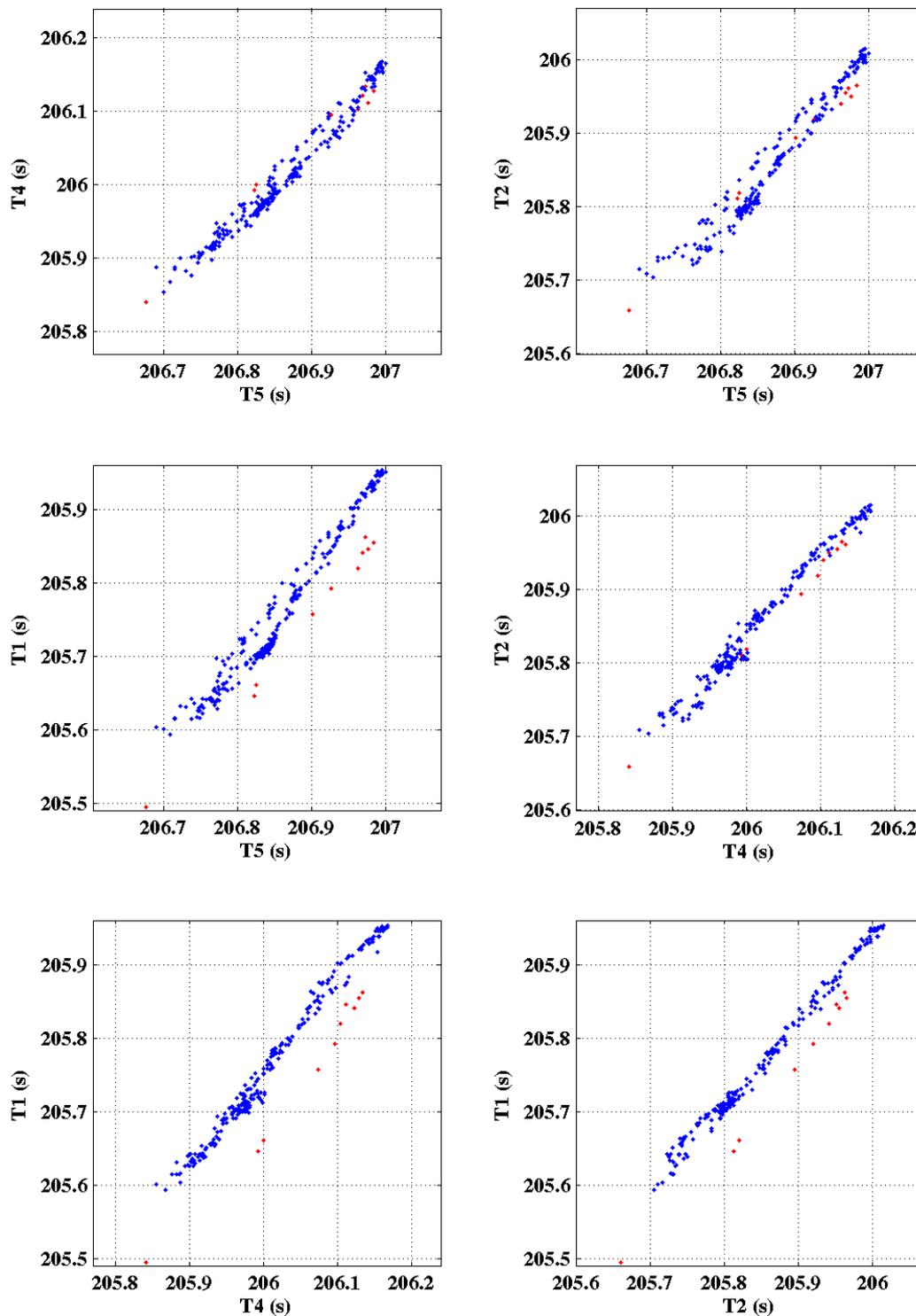


Figure 23 – Diagrammes  $T_i/T_j$  ( $i=5, 4, 2$  ;  $j=4, 2, 1$ ) pour les temps prédits et observés. L'étalement temporel de chaque correspond à une durée de 500ms (Bleu : les données observées ; Rouge : données prédites rayons)

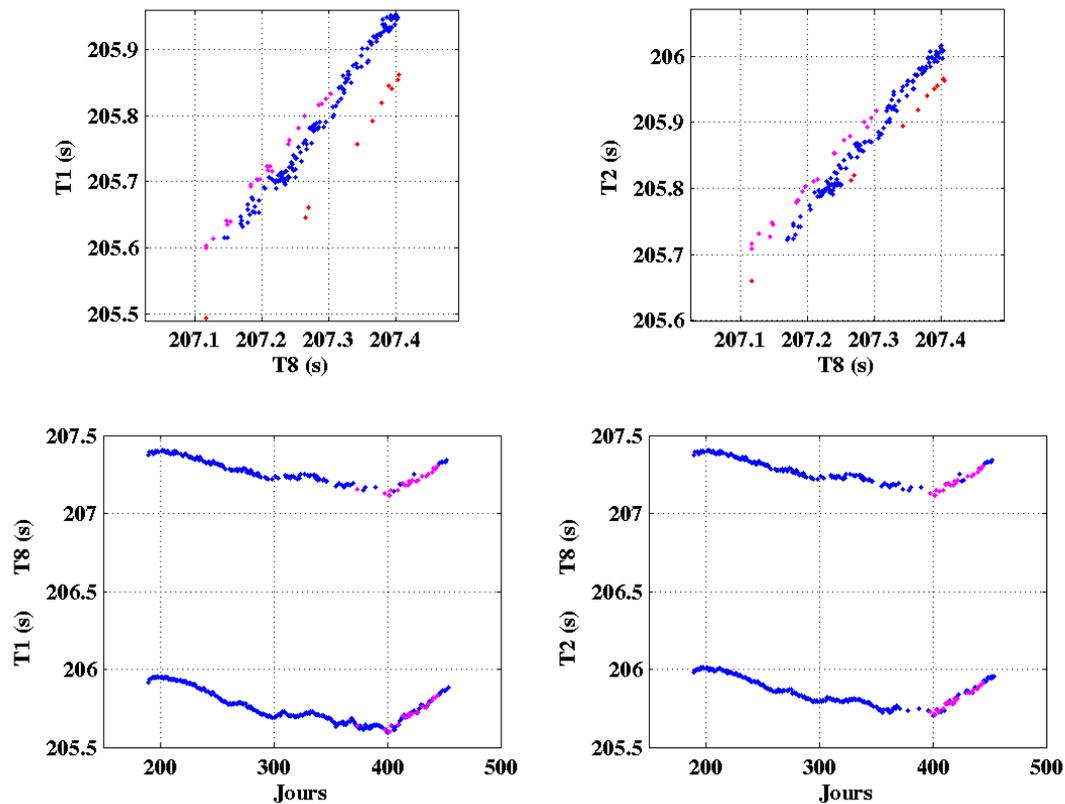


Figure 24 – Localisation dans les temps des points de la 2ème branche (Magenta) de chaque combinaison des temps d'arrivée.

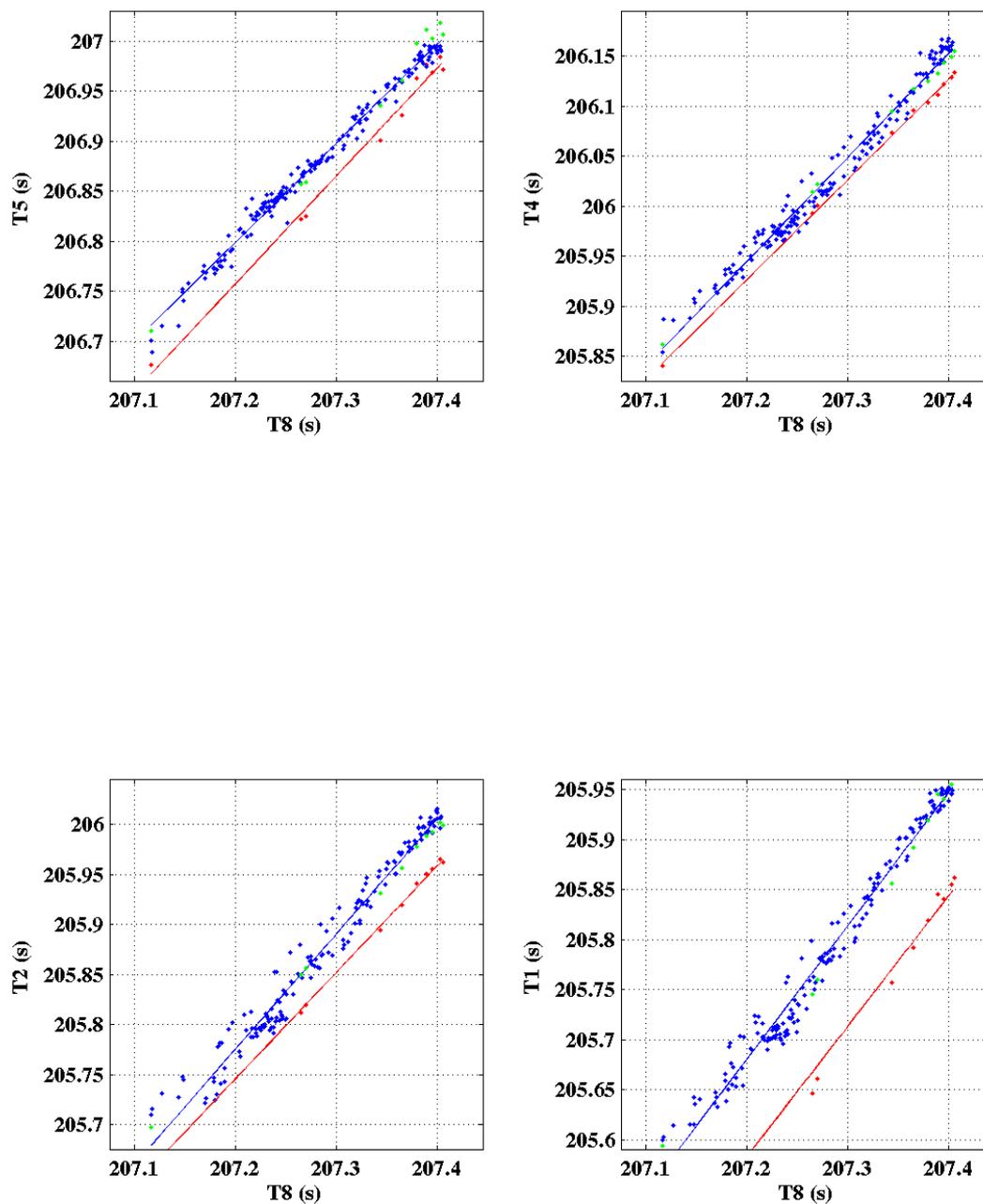


Figure 25 – Superposition des prédictions sur les observations. L'étalement temporel de chaque axe correspond à une durée de 370ms  
(Bleu : les données observées ; Rouge : données prédites ; Vert : données prédites décalées)

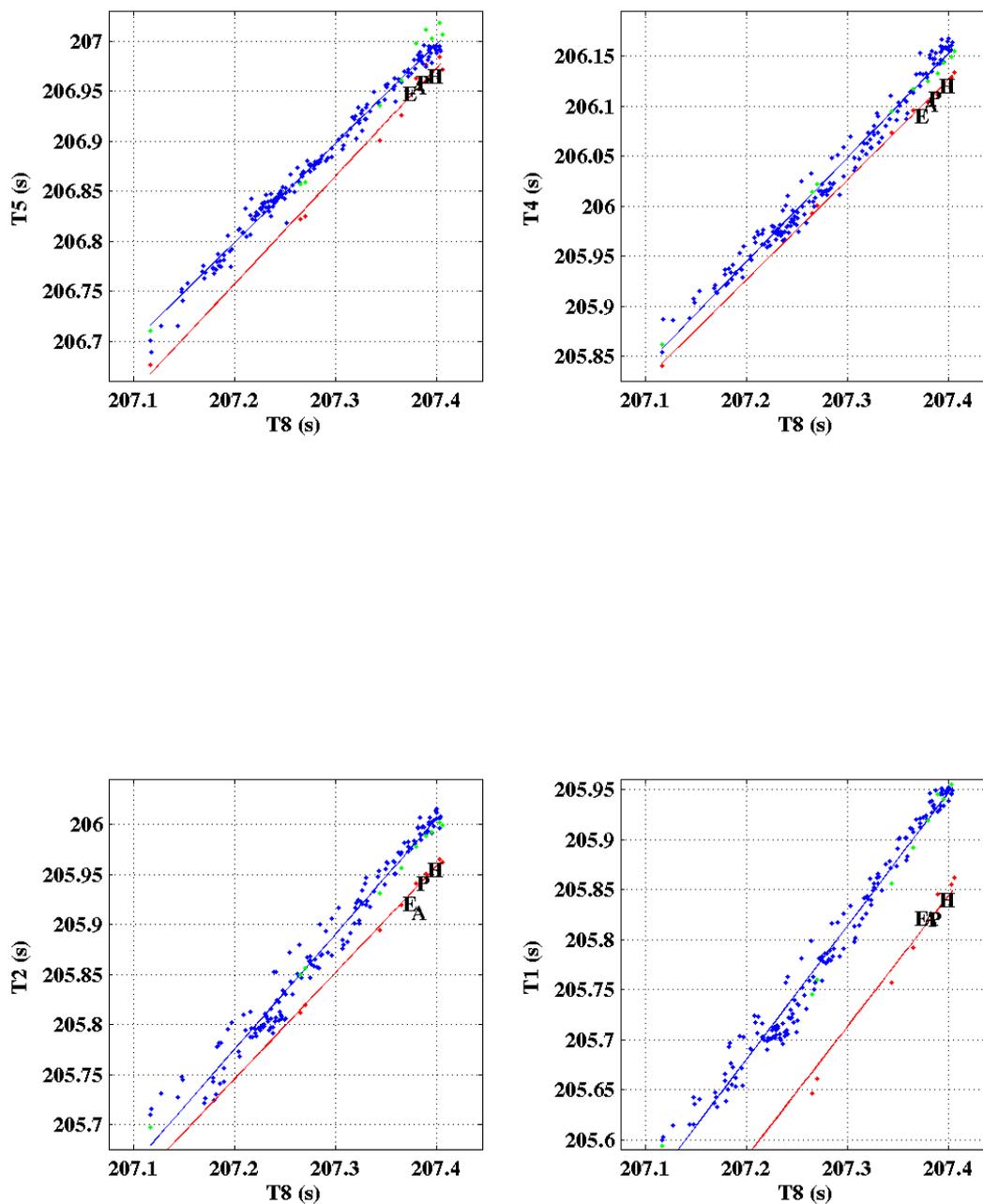


Figure 26 – Superposition des prédictions saisonnières, repérées par la première lettre de la saison, pour le profil moyen sur les observations. L'étalement temporel de chaque axe correspond à une durée de 370ms. (Bleu : les données observées ; Rouge : données prédites ; Vert : données prédites décalées)

## 2.2. Distance aux prédictions et classification

Pour classer les observations nous calculons la distance euclidienne de chaque vecteur observation constitué des rayons pris en compte au vecteur prédiction translattée constitué des rayons équivalents. Les observations sont affectées à la classe la plus proche. La distance  $d_{ij}$  à la classe  $i$  représentée par le vecteur prédiction  $Tp_i$  de l'observation du jour  $j$  représentée par le vecteur observation  $To_j$ , chacun possédant  $N$  composantes est donnée par :

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^N (Tp_i(k) - To_j(k))^2}$$

Dans un premier temps nous avons pris en compte les seuls temps T4, T5 et T8 qui correspondent aux décalages des prédictions les plus faibles puis nous avons rajouté successivement T2 puis T1.

### 2.2.1. Cas 1 - Temps pris en compte : T4 T5 T8

L'évolution de la distance aux classes définies par les 10 profils types ainsi que l'évolution du minimum de la distance aux classes est visualisée sur le graphe du haut Figure 27. L'évolution de l'appartenance des observations aux classes –i.e. type de profils du son- est visualisé sur le graphe du bas. La classe 11 correspond aux observations non classées car les 3 temps ne sont pas tous définis.

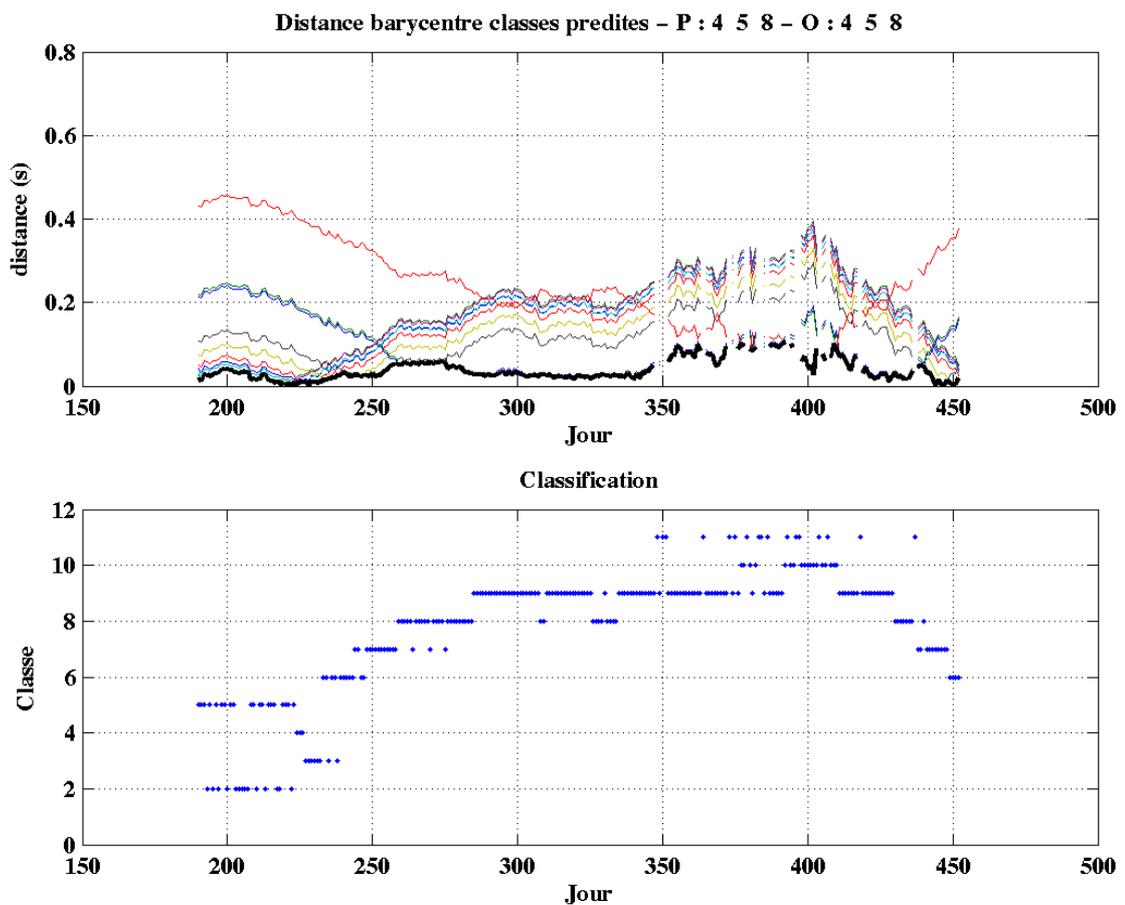


Figure 27 – Cas 1 - Haut : évolution au cours de l'expérience de la distance aux classes (couleur) et du minimum de la distance aux classes (noir). Bas : résultat de la classification.

### 2.2.2. Cas 2 - Temps pris en compte : T2 T4 T5 T8

L'évolution de la distance aux classes définies par les 10 profils types ainsi que l'évolution du minimum de la distance aux classes est visualisée sur le graphe du haut Figure 28. L'évolution de l'appartenance des observations aux classes –i.e. type de profils du son- est visualisé sur le graphe du bas. La classe 11 correspond aux observations non classées car les 4 temps ne sont pas tous définis.

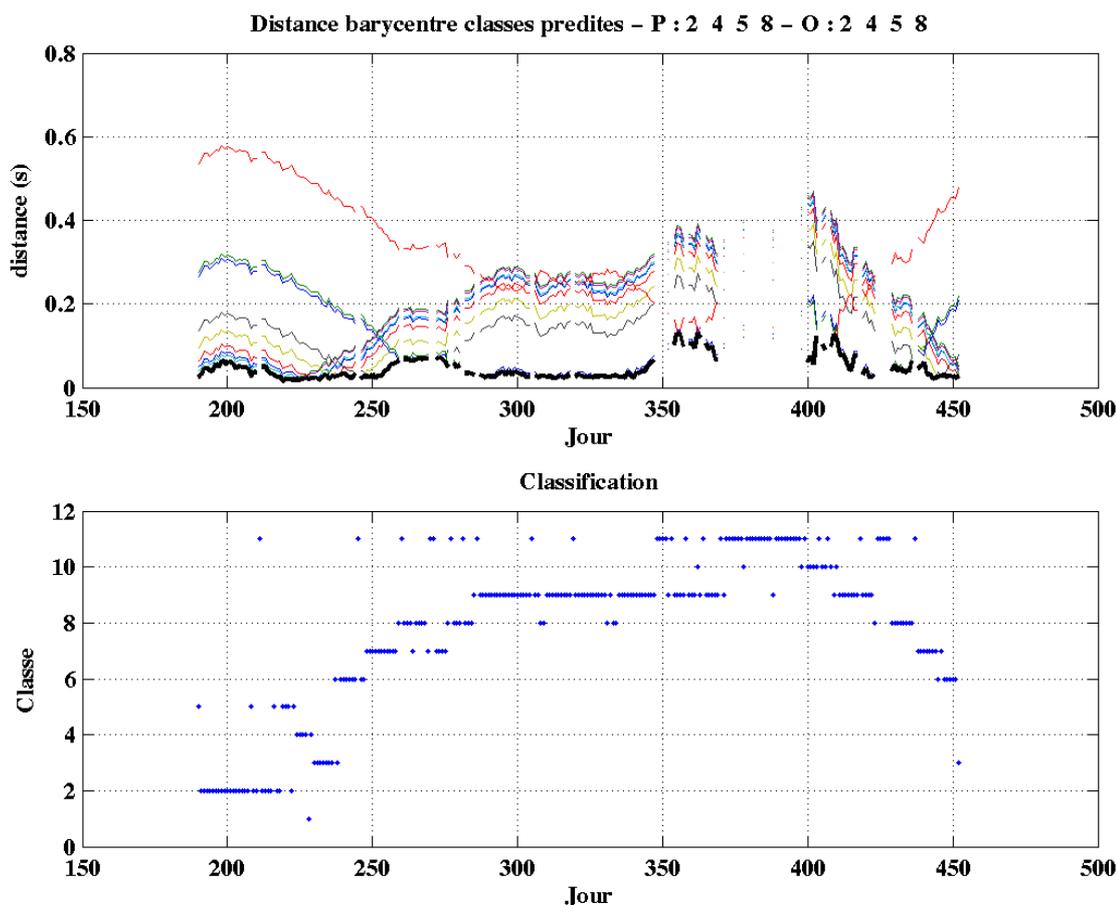


Figure 28– Cas 2 - Haut : évolution au cours de l'expérience de la distance aux classes (couleur) et du minimum de la distance aux classes (noir). Bas : résultat de la classification.

### 2.2.3. Cas 3 - Temps pris en compte : T1 T2 T4 T5 T8

L'évolution de la distance aux classes définies par les 10 profils types ainsi que l'évolution du minimum de la distance aux classes est visualisée sur le graphe du haut Figure 29. L'évolution de l'appartenance des observations aux classes –i.e. type de profils du son- est visualisé sur le graphe du bas. La classe 11 correspond aux observations non classées car les 5 temps ne sont pas tous définis.

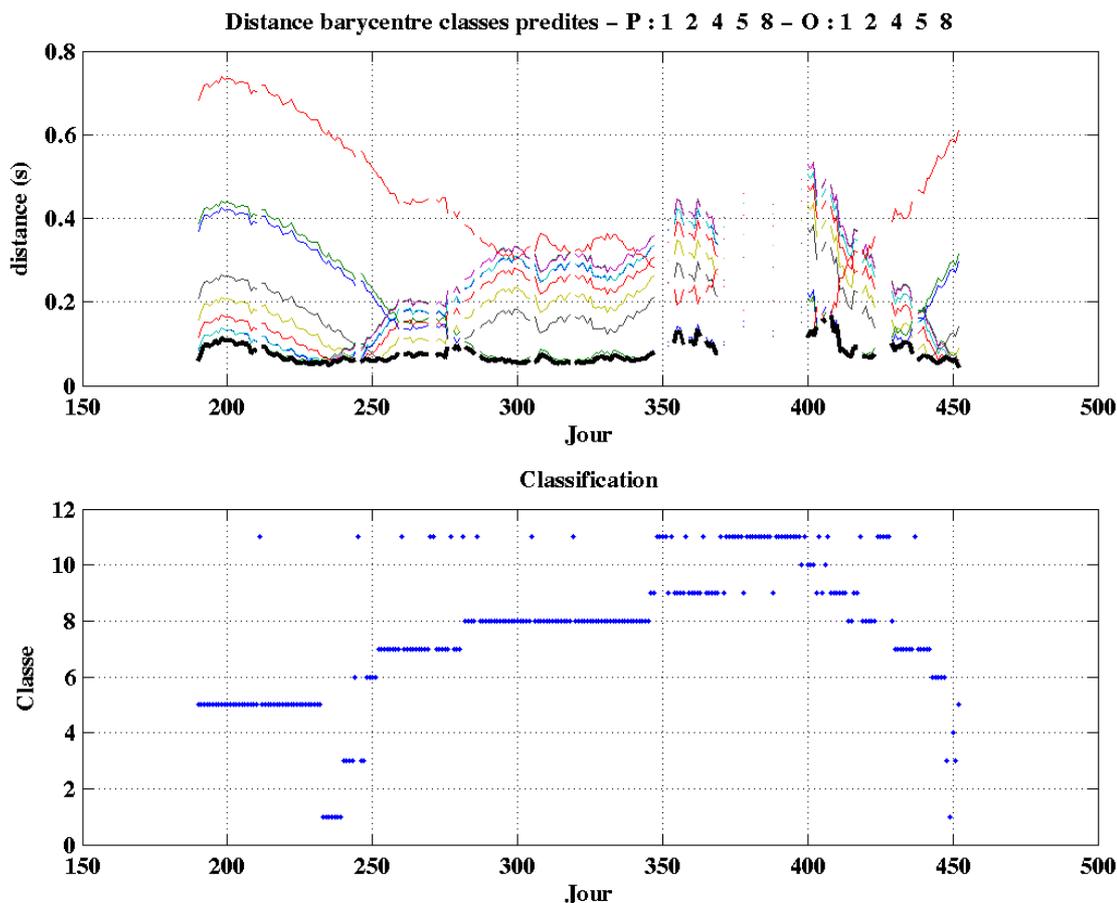


Figure 29 – Cas 3 - Haut : évolution au cours de l'expérience de la distance aux classes (couleur) et du minimum de la distance aux classes (noir). Bas : résultat de la classification.

## 2.2.4. Commentaires

L'objectif en effectuant ces classifications avec 3 jeux de données est de vérifier l'apport éventuel de chaque composante. L'évolution du minimum de la distance aux classes en fonction des 3 jeux de données considérés est représentée Figure 30. Les deux premiers cas montrent des courbes très proches qui indiquent la nature proche des 2 jeux de données. En revanche, lorsque le temps T1 est pris en compte, un écart en distance plus important apparaît.

Le résultat de la classification s'en trouve modifié comme visualisé Figure 31. Pour les 2 premiers cas, la classification est très proche avec cependant une différence marquée pour les observations des jours 190 à 225 classées soit en classe 2 et 5 pour les cas 1, soit majoritairement en classe 5 pour le cas 2. L'ajout du temps T1 classe systématiquement ces observations en classe 5. Par la suite, l'ajout du temps T1 semble imposer un décalage temporel dans les changements de classe.

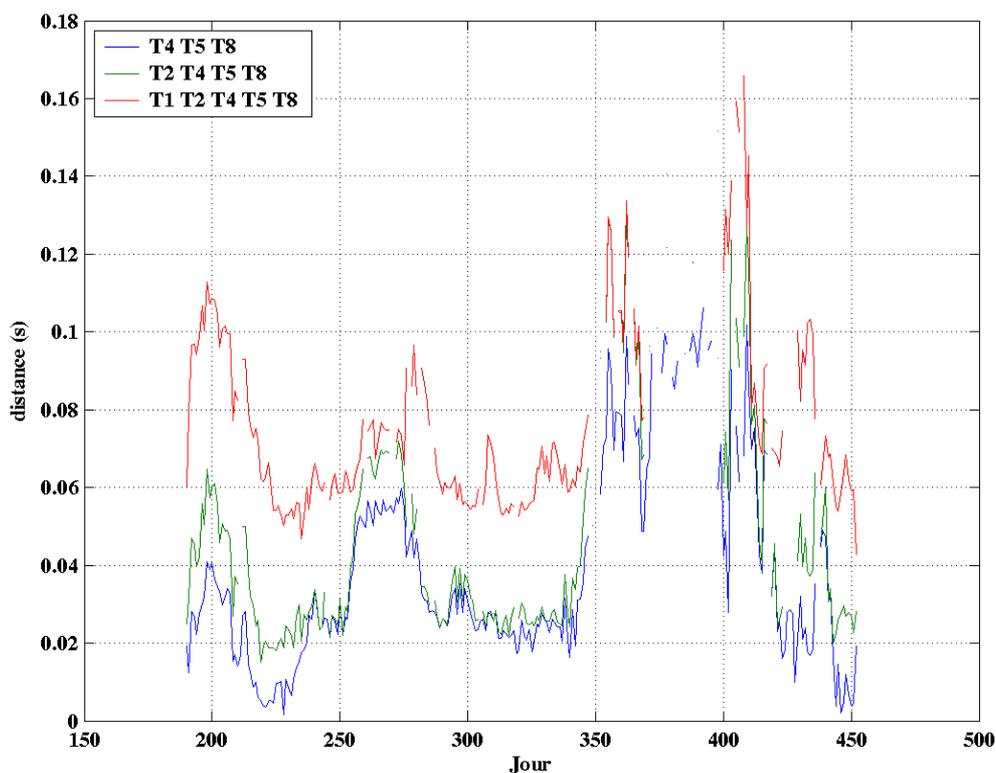


Figure 30 – Comparaison de l'évolution du minimum de distance selon les 3 cas.

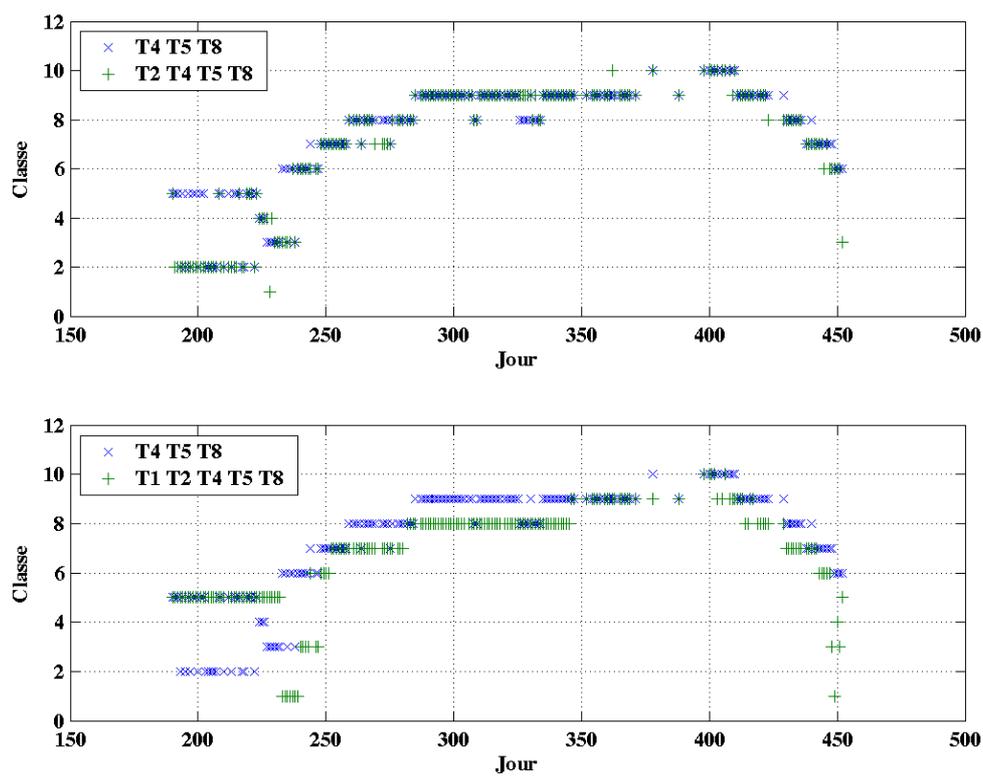


Figure 31 – Comparaison des résultats de classification. Haut : cas 1 - cas 2 ; Bas : cas 1 – cas 3.

## 2.2.5. Classification continue

Une classification en continue est également calculée en affectant à chaque vecteur observation, la classe  $C_c = \alpha C_i + \beta C_s$ , où  $C_i$  et  $C_s$  sont les classes les plus proches et  $\alpha$ ,  $\beta$  les coefficients calculés en fonction des distances  $D_i$  et  $D_s$  aux 2 classes et tels que  $\alpha + \beta = 1$  et  $\alpha = 1 - D_i / (D_i + D_s)$ . Le résultat de la classification continue pour les 3 cas est visualisé Figure 32.

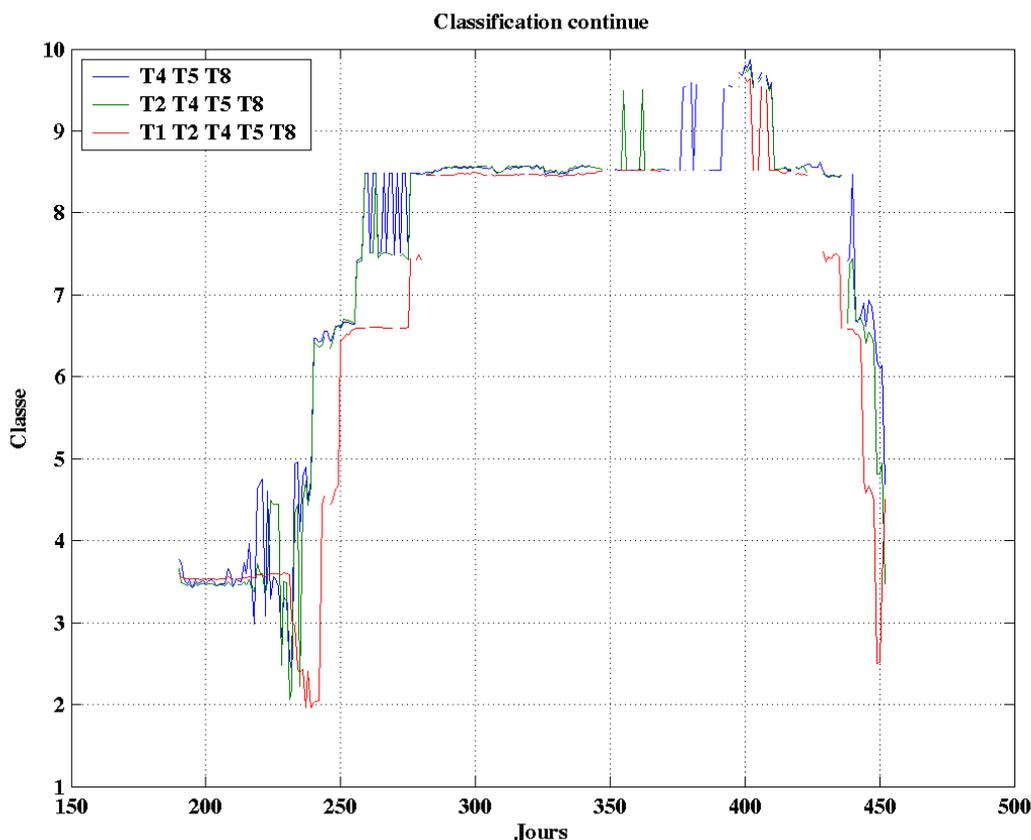


Figure 32 – Classification continue des observations.

## 2.2.6. Evolution des variations de la vitesse du son

A partir de la classification continue, nous construisons l'évolution au cours de l'expérience des écarts de vitesse du son au profil moyen. Cependant afin d'avoir une continuité temporelle, il convient de combler les trous de données par interpolation. Ensuite la procédure de classification discrète est appliquée à ces données interpolées puis la procédure de classification continue. Les coefficients utilisés pour calculer les classes continues sont appliqués aux profils de vitesse du son des classes encadrantes. Un filtrage passe-bas sur 5 jours des variations de vitesse du son est finalement appliqué. Les résultats dans les 3 cas considérés sont visualisés Figure 33, Figure 34 et Figure 35. Les saisons indiquées sont des saisons océanographiques c'est-à-dire décalées d'un mois par rapport aux saisons terrestres de par l'inertie thermique de l'océan. (cf. paragraphe 1.1.4) :

- Printemps : mai – juin - juillet
- Eté : août – septembre - octobre
- Automne : novembre – décembre - janvier
- Hiver : février – mars - avril

Les numéros de jour sont comptés à partir de la date référence du 1 janvier 1997.

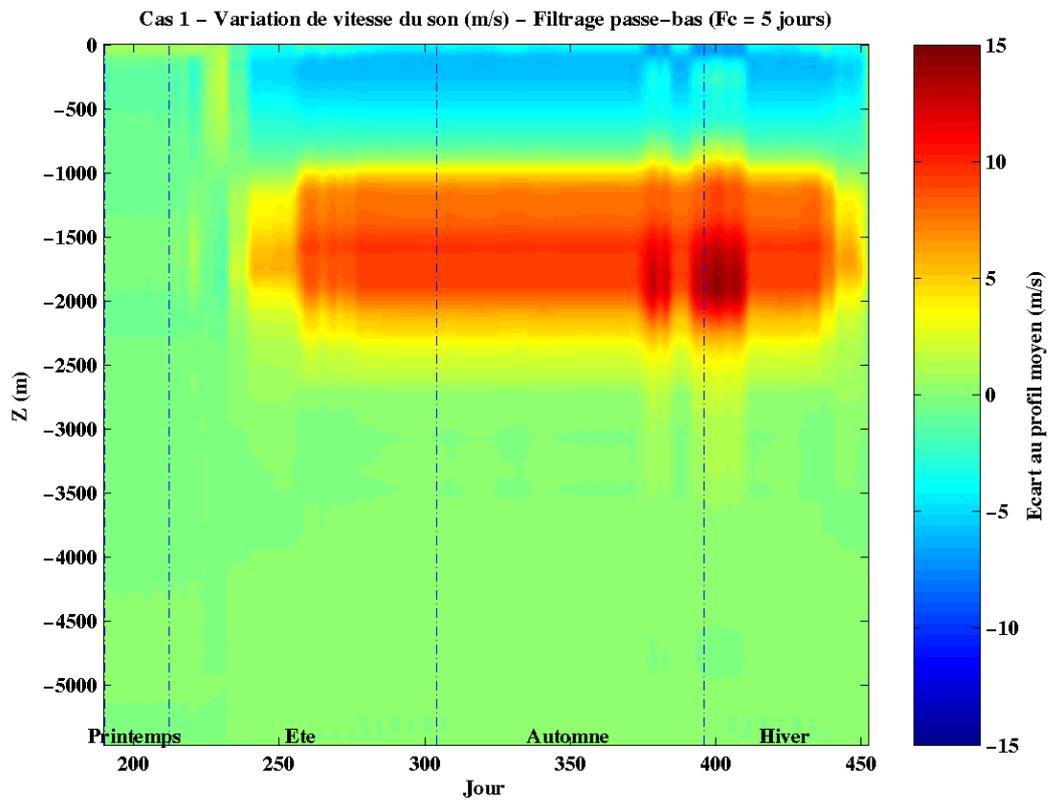


Figure 33 – Cas 1 : Evolution au cours de l'expérience des écarts au profil moyen de vitesse du son.

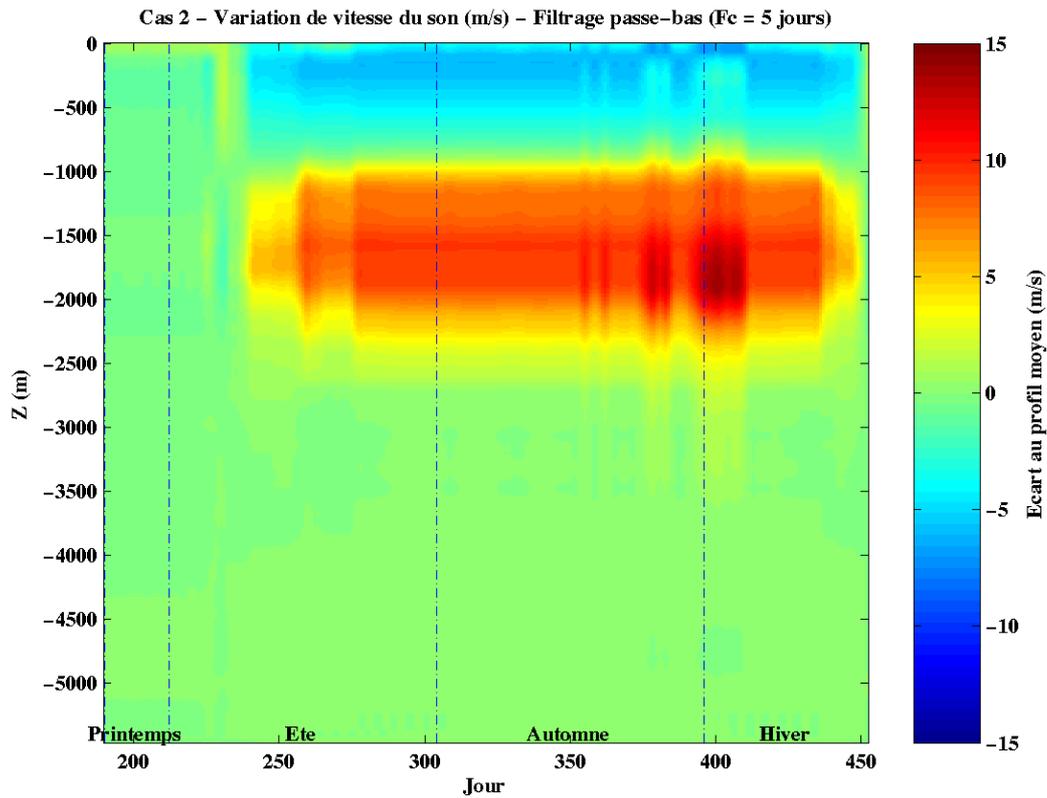


Figure 34 – Cas 2 : Evolution au cours de l'expérience des écarts au profil moyen de vitesse du son.

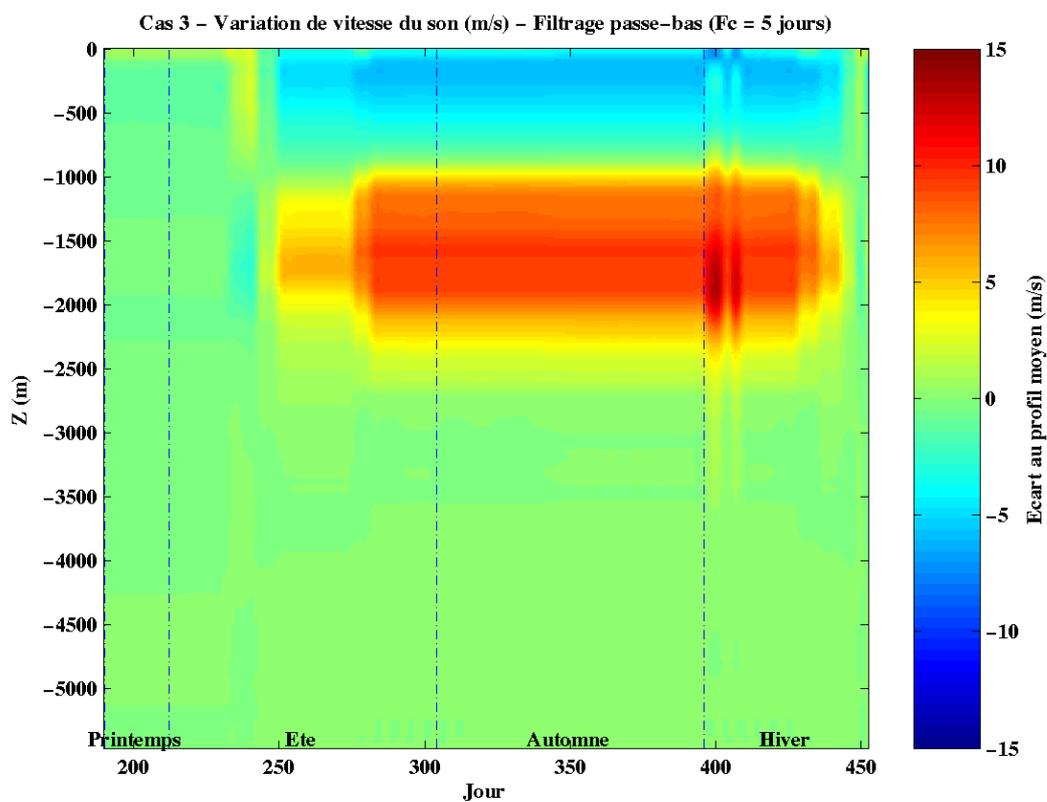


Figure 35 – Cas 3 : Evolution au cours de l'expérience des écarts au profil moyen de vitesse du son.

## 2.2.7. Evolution de la salinité

A partir de la classification continue et sur le même modèle que la vitesse du son, nous construisons l'évolution au cours de l'expérience de la salinité. Le résultat pour le seul cas 2 est visualisé Figure 36.

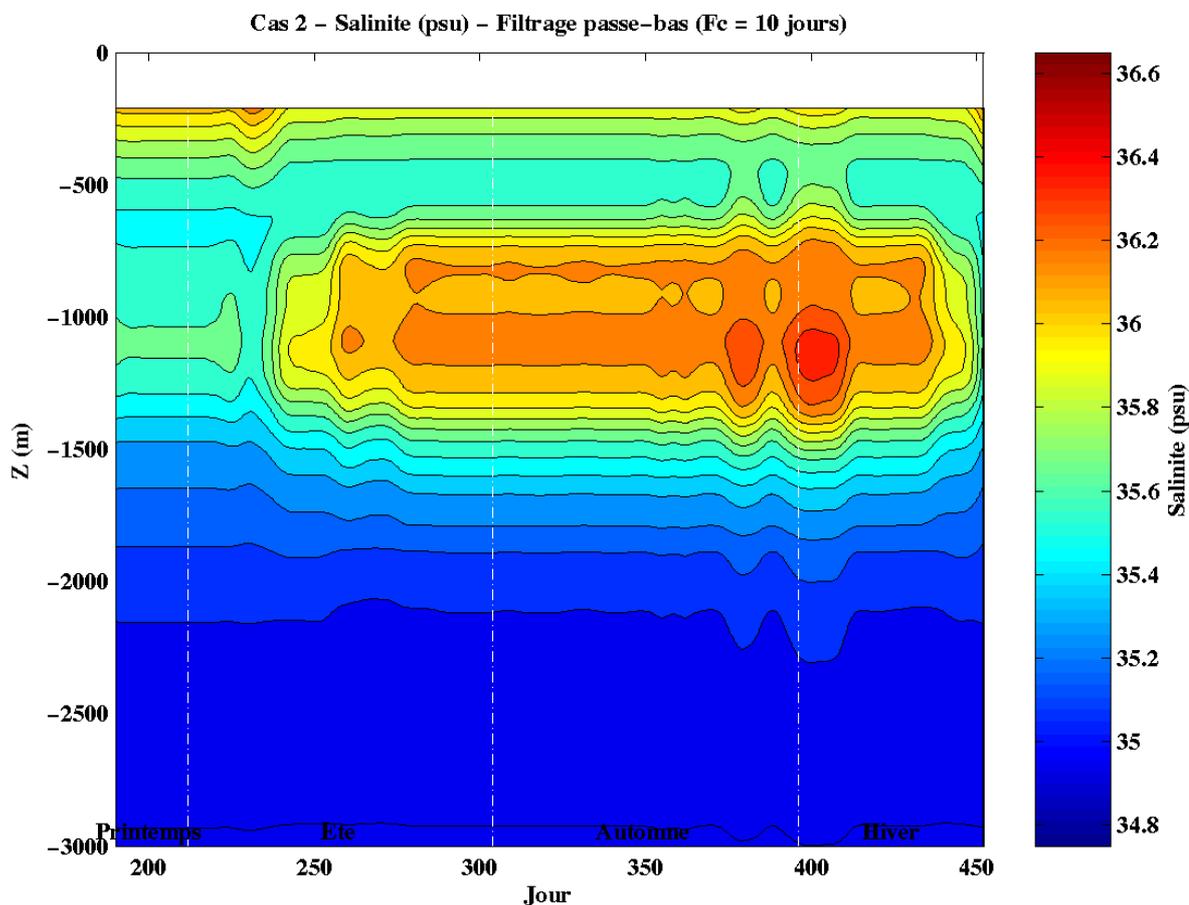


Figure 36 – Cas 2 : Evolution au cours de l'expérience de la salinité dans la tranche 0-3000 m. L'espace des contours est de 0.1 psu. Les 200 premiers mètres ne sont pas pris en compte.

## 2.2.8. Organisation des données

Répertoire : **cambios/pbdirect**

Le programme *clas\_groupe* génère ces fichiers.

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>classif_dis_brut.mat</b> | Fichier contenant les résultats de la classification discrète sur les observations brutes. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>dd_brut</b> distance aux 10 classes définies<br><b>clo_brut</b> classe du vecteur observation<br><b>nco_brut</b> nombre de vecteurs observations par classe<br><b>indT_brut</b> numéro des temps du vecteur observation<br><b>help_classif_dis_brut</b> ce descriptif   |
| <b>classif_dis_lis.mat</b>  | Fichier contenant les résultats de la classification discrète sur les observations interpolées. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>dd_lis</b> distance aux 10 classes définies<br><b>clo_lis</b> classe du vecteur observation<br><b>nco_lis</b> nombre de vecteurs observations par classe<br><b>indT_lis</b> numéro des temps du vecteur observation<br><b>help_classif_dis_lis</b> ce descriptif   |
| <b>classif_cont_lis.mat</b> | Fichier contenant les résultats de la classification continue ainsi que l'évolution des variations de vitesse du son par rapport au profil moyen. Ce fichier contient les variables suivantes :<br><b>alpha</b> coefficient de pondération classe inférieure<br><b>beta</b> coefficient de pondération classe supérieure<br><b>coef_d</b> distances triées en ordre croissant aux classes<br><b>coef_c</b> classes inférieure et supérieure<br><b>cc</b> classes continues<br><b>VC</b> variation de vitesse du son C par rapport au profil moyen<br><b>VCf</b> variation de vitesse du son C filtrée passe-bas<br><b>CS</b> salinité S en continue<br><b>VSf</b> salinité S en continue filtrée passe-bas<br><b>cfeC</b> fréquence normalisée de coupure du passe-bas pour C<br><b>cfeS</b> fréquence normalisée de coupure du passe-bas pour S<br><b>fe</b> fréquence échantillonnage (Hz)<br><b>TcC</b> période de coupure en jours du passe-bas pour C<br><b>TcS</b> période de coupure en jours du passe-bas pour C<br><b>yd_lis</b> numéros des jours expérience (ref. 1/1/97)<br><b>ZC</b> profondeur des profils<br><b>days</b> limites en jour des saisons océanographiques<br><b>nom_sai</b> nom des saisons<br><b>help_classif_cont_lis</b> ce descriptif |