

Modèle inverse en boîtes

Auteur : C. Kermabon

Date : 19 Octobre 1999

1 - Introduction

Ce document est destiné aux utilisateurs du programme 'inverse' ainsi qu'à la personne chargée de sa maintenance. En effet, il est probable que l'utilisateur ait à modifier le logiciel pour l'adapter à ses fichiers de données, pour appliquer ses propres méthodes de calculs, ...etc. Aussi, la documentation utilisateur et la documentation maintenance sont regroupées dans ce seul document.

Le chapitre 2 présente le but du logiciel 'modèle inverse' et l'implémentation associée. Les chapitres 3, 4 et 5 sont consacrés à l'environnement utilisateur et aux fichiers en entrée du programme d'inversion. Les chapitres 6 et 7 présentent les fichiers résultats. Le chapitre 8 est dédié à l'environnement de développement, à la précompilation et à la compilation tandis que le chapitre 9 est consacré à l'architecture logicielle avec organigrammes. Au chapitre 10, les scripts matlab disponibles permettant d'exploiter les résultats de l'inversion sont succinctement présentés.

2 - But du logiciel

2.1 Problème à résoudre

Le calcul des champs de vitesses géostrophiques (composante barocline + composante barotrope) associées à des sections de stations hydrologiques permet de quantifier les transports des masses d'eaux et de décrire la circulation océanique. La composante barocline se calcule à partir des hauteurs dynamiques. Cette approche ne permet pas d'assurer que les champs de vitesses géostrophiques répondent aux lois dynamiques telles que la conservation de la masse et elle est dépendante du choix d'un niveau de référence. La composante barotrope (vitesse géostrophique au niveau de référence) peut s'estimer par diverses méthodes. Ici, on utilise une méthode inverse qui permet le respect de contraintes imposées.

Le formalisme utilisé dans le logiciel présenté dans ce document est celui de Tarantola et Valette.

2.2 Données du problème

Afin d'étudier les courants dans la zone géographique qui l'intéresse, l'utilisateur doit déterminer la *vitesse géostrophique* à un *niveau de référence (barotrope)* pour différentes paires de stations. Il est à noter qu'à l'équateur, la vitesse géostrophique ne peut pas être calculée (cf. §2.5). Dans ce cas, l'utilisateur cherche alors à déterminer un transport par *tranche d'eau* (tranche d'eau qu'il définit).

Pour ce faire, il a à sa disposition des *stations hydrologiques*. Il constitue des volumes (ou encore boîtes) fermés définis par un ensemble de paires de stations. La boîte peut éventuellement être fermée en considérant les continents. L'utilisateur impose aux

vitesses géostrophiques de ces boîtes des contraintes. Les contraintes sont autant d'éléments pour lever les incertitudes sur les vitesses au niveau de référence. Les contraintes sont déduites des équations générales de la dynamique telles que la conservation de la masse totale et les conservations de *propriétés* par *tranche d'eau*. Pour chaque contrainte imposée, l'utilisateur donne une barre d'erreur (écart-type). Il est à noter que si le programme fournit des vitesses géostrophiques qui ne satisfont pas les contraintes correctement, c'est probablement que ces contraintes sont incompatibles.

L'utilisateur peut également avoir à sa disposition une connaissance a priori sur les vitesses à un niveau donné et/ou transports associés à certaines paires de stations. Le logiciel lui permet de préciser cette valeur a priori ainsi qu'un écart-type associé indiquant dans quelle mesure la vitesse géostrophique (resp. transport) finale (issue de l'inversion) peut s'écarter de la vitesse géostrophique (resp. transport) a priori.

C'est donc à partir de toutes ces informations (paires de stations, niveau de référence, vitesses et/ou transports a priori et écart-type, tranches d'eau, contraintes et écart-type) que le logiciel va calculer les inconnues du problème à savoir les vitesses géostrophiques des paires de stations à des niveaux de référence déterminés. A l'équateur, la vitesse géostrophique ne pouvant être calculée (cf. §2.5), on pose en inconnue, pour chaque paire de stations concernée, le transport associé à chaque tranche d'eau. Le programme pose également en inconnue le coefficient de diffusion verticale associé à chaque interface de tranche (ie à chaque limite haute de tranche exceptée en surface).

2.3 Les contraintes

Pour schématiser, on peut dire qu'au sein du même boîte, la quantité d'eau ne varie pas et que tout ce qui sort de la boîte contrebalance tout ce qui entre dans la boîte et inversement. Ainsi, au sein d'une même boîte, la masse, le volume ainsi que les traceurs (salinité, chaleur, silice, ...etc) doivent être conservés.

2.3.1 Contrainte de conservation de la masse

La conservation de la masse pour une tranche d'eau T s'écrit comme ci-après :

$$\sum_{i=1}^N \int_{z_b}^{z_h} \rho_i(z) \vec{u}_i(z) \vec{n} dz di = \text{Impose} \quad (1)$$

où :

- N est le nombre de paires de stations composant la boîte
- z_h est la profondeur associée à la limite haute de la tranche T
- z_b est la profondeur associée à la limite basse de la tranche T
- $\rho_i(z)$ est la densité à la profondeur z de la paire de stations i
- \vec{u}_i est la vitesse géostrophique (barocline + barotrope) de la paire de stations i comprenant le transport d'ekman en surface
- \vec{n} est la normale entrante dans la boîte
- di est la distance entre les deux stations de la paire i
- *Imposé* est le transport imposé par l'utilisateur. Ce transport peut être dû à des interactions air-mer ou à l'existence d'un transport non résolu par les stations hydrologiques dont on dispose. Ce transport peut aussi découler de la connaissance de la région sur laquelle l'inversion est effectuée.

2.3.2 Contrainte de conservation du volume

La conservation du volume est une approximation de la conservation de la masse pour laquelle on pose : $\rho_i(z) = 1000 \text{ kg m}^{-3} = 1 \text{ Sv}$ (Sverdrup).

2.3.3 Contrainte de conservation d'une propriété ou traceur

La caractéristique d'un traceur tel que le sel ou la température potentielle est qu'il diffuse. Outre les transports advectifs à travers chacune des parois de la boîte, il faut donc également prendre en compte les transports diffusifs. Dans le logiciel, seuls sont pris en compte les termes de diffusion verticale.

Pour une boîte, on a donc pour une tranche d'eau T définie l'équilibre suivant :

$$\sum_{i=1}^N \int_{z_b}^{z_h} T_i(z) \vec{u}_i(z) \vec{n} dz di - A_h \overline{T(z_h)} \vec{W}_h \vec{w} + A_b \overline{T(z_b)} \vec{W}_b \vec{w} + K_{v_h} \overline{\frac{\partial T(z_h)}{\partial z}} A_h - K_{v_b} \overline{\frac{\partial T(z_b)}{\partial z}} A_b = \text{Impose} \quad (2)$$

où :

- N est le nombre de paires de stations
- z_h est la profondeur associée à la limite haute de la tranche T
- z_b est la profondeur associée à la limite basse de la tranche T
- T_i correspond à :
 - $T_i = \rho_i S_i$ pour le sel
 - $T_i = \rho_i C_p \Theta_i$ pour la chaleur (Θ_i est la température potentielle)
- \vec{u}_i représente la vitesse géostrophique (composante barocline + composante barotrope).
Le transport de traceur associé à la couche d'ekman est pris en compte dans la couche de surface.
- \vec{n} est la normale entrante dans la boîte
- di est la distance entre les deux stations de la paire i
- A_h représente l'aire associée à la limite haute de la tranche T calculée sur toute la boîte
- A_b représente l'aire associée à la limite basse de la tranche T calculée sur toute la boîte
- $T(z_h)$ correspond à la moyenne sur toutes les paires de stations du traceur pour la profondeur z_h
- $T(z_b)$ correspond à la moyenne sur toutes les paires de stations du traceur pour la profondeur z_b
- W_h est la vitesse verticale de la limite haute de la tranche T
- W_b est la vitesse verticale de la limite basse de la tranche T
- \vec{w} est le vecteur unitaire pour la vitesse verticale positif vers le haut
- K_{v_h} est le coefficient de diffusion associé à la limite haute de la tranche T
- K_{v_b} est le coefficient de diffusion associé à la limite basse de la tranche T
- $\overline{\frac{\partial T(z_h)}{\partial z}}$ représente la moyenne du gradient du traceur associé à la limite haute de la tranche T calculée sur toute la boîte
- $\overline{\frac{\partial T(z_b)}{\partial z}}$ représente la moyenne du gradient du traceur associé à la limite basse de la tranche T

calculée sur toute la boîte

- *Imposé* est le transport imposé par l'utilisateur. Ce transport peut être dû à des interactions air-mer ou à l'existence d'un transport non résolu par les stations hydrologiques dont on dispose. Ce transport peut aussi découler de la connaissance de la région sur laquelle l'inversion est effectuée.

2.3.4 Contraintes de transports

En plus des contraintes de conservation, l'utilisateur peut également appliquer ses propres contraintes. Ce sont des contraintes de transport locales provenant de la connaissance de la région sur laquelle l'inversion est effectuée.

L'équation de cette contrainte s'écrit :

$$\sum_{i=Lz_b}^M \int_{z_h}^{\rightarrow} u_i(z) \vec{n} dz di = Transport \quad (3)$$

où :

- L et M correspondent à la première et dernière paire de stations concernées par la contrainte
- z_h est la profondeur associée à la limite haute de la masse d'eau concernée par la contrainte
- z_b est la profondeur associée à la limite basse de la masse d'eau concernée par la contrainte.
- \vec{u}_i représente la vitesse géostrophique (composante barocline + composante barotrope)
- \vec{n} est la normale entrante dans la boîte

Il est à noter que l'utilisateur peut aussi utiliser cette contrainte lorsqu'il a une connaissance sur les transports à l'équateur.

2.4 Hypothèses du logiciel

Le logiciel est basé sur des vitesses géostrophiques et transports positifs entrants dans la boîte.

D'autre part, les tranches d'eau définies par l'utilisateur pour chaque boîte sont supposées consécutives et allant de la surface au fond.

2.5 Terminologie

□ vitesse géostrophique :

se calcule à partir de la formule : $\int_{z1}^{z2} \frac{1}{\rho f g} \nabla p dz$ où f est la force de Coriolis et

s'exprime ainsi : $f = 2\Omega \sin \Theta$ avec Ω rotation de la terre et Θ latitude. g est l'accélération de gravité.

La vitesse géostrophique ne peut donc pas se calculer pour des stations hydrologiques proches de l'équateur car f tend alors vers 0.

□ niveau de référence :

Un niveau de référence est déterminé par un paramètre hydrologique (pression, densité in situ, température potentielle, ...etc) et une valeur associée.

□ station hydrologique :

Point géographique pour lequel on dispose d'informations physiques issues d'une sonde (pression, salinité, oxygène, ...etc) de la surface au fond et d'informations chimiques issues d'analyses effectuées sur des échantillons d'eau correspondant à différentes profondeurs.

□ propriété :

Volume, masse, chaleur, salinité, paramètres chimiques tels que silice, nitrate, ...etc.

□ tranche d'eau :

Une tranche d'eau est définie par une limite haute et une limite basse. Chaque limite est déterminée par un paramètre et une valeur associée.

Exemples :

Tranche 1 : limite haute : pression = 1 db - limite basse : pression = 700 db

Tranche 2 : limite haute : pression = 700 db - limite basse : fond

3 - Environnement Utilisateur

3.1 Accès à l'exécutable

Afin de pouvoir lancer le programme 'inverse', l'utilisateur doit avoir accès dans sa variable \$PATH au chemin : /home2/doelan/chemon/geostrophie/inv. Pour ce faire, dans son fichier .cshrc, l'utilisateur doit rajouter une ligne du style :

☞ **set path = (\$path /home2/doelan/chemon/geostrophie/inv)**

Le programme peut alors être lancé à partir d'une simple fenêtre en tapant au niveau du prompt : **inverse**

3.2 Arborescence de travail

Le programme 'inverse' impose à l'utilisateur de travailler dans un répertoire de travail sous lequel doivent se trouver les sous-répertoires suivants :

- ❑ sous-répertoire **dat_inv** : contient les fichiers utiles au programme
- ❑ sous-répertoire **res_inv** : contient les fichiers résultats de l'inversion
- ❑ 1 sous-répertoire par campagne : contient les fichiers «.clc» des stations d'hydrologie (cf. §3.3).
- ❑ Selon le type de vents utilisé pour l'inversion,
 - sous-répertoire **hellerman** : contient les données de vent hellerman annuel taux et tauy. 'taux' contient la tension en X du vent. C'est un fichier binaire de 2 degrés de résolution. La grille en longitude est : 1E, 3E, 5E, ..etc. La grille en latitude est : 89S, 87S, 85S, ...etc. Les valeurs sont stockées par mois (janvier à décembre) puis par latitude (la 2ième ligne comprend 180

valeurs correspondant aux tensions en X pour le mois de janvier, pour la 2^{ième} latitude (87S) pour toutes les longitudes). Le fichier 'tauy' est similaire pour les tensions du vent en Y.

- sous-répertoire **ers** : contient les données de vent ERS. Les fichiers associés sont des fichiers ASCII issus du CDROM de vent ERS. Ces fichiers sont nommés *miaamm01.dat* où :

* i : vaut 1 (respectivement 2) si les données sont issues de ERS1 (resp. ERS2)

* aa = année

* mm = mois

Ces fichiers comprennent 19200 lignes (160 latitudes * 120 longitudes) comportant :

* latitude (de -79.5 à 79.5 par pas de 1 degré)

* longitude (de 260.5 à 19.5 par pas de 1)

* le nombre de points

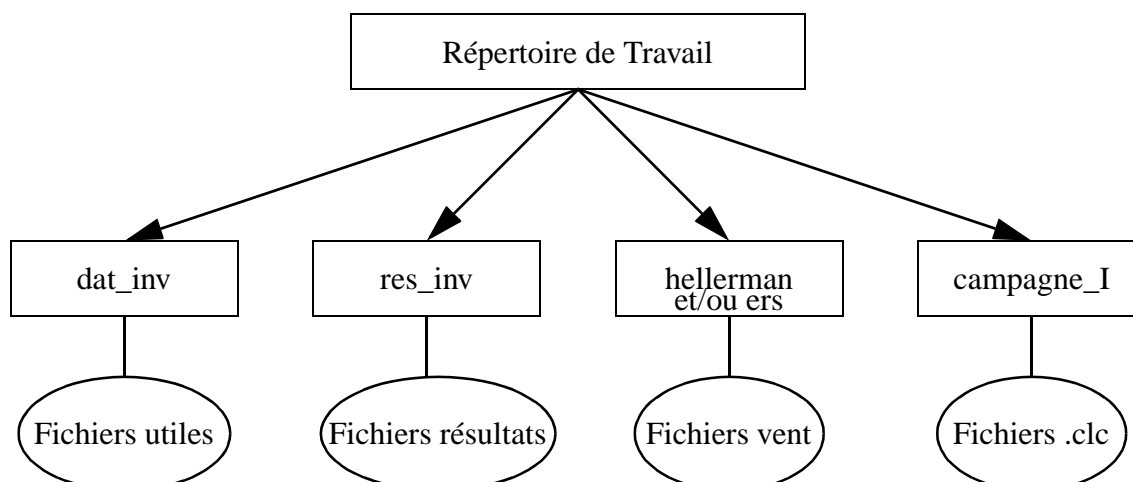
* la tension de vent zonale (tx)

* la tension de vent méridionale (ty)

* l'erreur sur tx

* l'erreur sur ty

L'arborescence de travail se représente donc par le schéma ci-après :



Il est à noter cependant que l'utilisateur peut avoir en sa possession d'autres vents que les vents hellerman ou ers. Il doit alors :

- créer son propre module de vent (en s'inspirant de `m_vent_hr.F90`) qui doit notamment définir la subroutine de lecture et de calcul de vent. L'arborescence relative aux vents découle alors directement de la subroutine de lecture.
- modifier `transport_ekman.F90` afin d'ajouter la possibilité de travailler avec ce nouveau type de vent
- modifier le makefile en conséquence (partie précompilation et partie compilation)

3.3 Fichiers «.clc»

Les fichiers «.clc» sont des fichiers dont le format est propre au Laboratoire de Physique des Océans (LPO). Ce sont des fichiers binaires contenant des données de chimie et des données physiques pour une station hydrologique.

Les données de chimie sont issues d'analyses effectuées sur des échantillons d'eau prélevés à diverses profondeurs. Généralement, on mesure la salinité, l'oxygène, le fréon, le nitrate, le phosphate, la silice, le silicate, ...etc. Par la suite, pour l'inversion, quand on parle de paramètre chimique, il ne faut considérer que les paramètres conservatifs.

Les données physiques sont issues de la bathysonde. Un fichier «.clc» contient une valeur de la surface au fond par pas de 1 dbar pour chaque paramètre physique (pression, température, salinité, oxygène, conductivité). Ces données physiques sont calibrés :

- à partir de l'étalonnage de la sonde pour la pression et la température
- à partir des données de chimie pour la salinité, l'oxygène

Dans les fichiers «.clc», à chaque paramètre est associé un code (sur 3 caractères pour les données de physique, sur 4 caractères pour les données de chimie).

Exemples de code paramètre utilisés au LPO :

- Paramètres physiques
 - prs* pour pression
 - tmp* pour température
 - oxy* pour oxygène
- Paramètres chimiques
 - salc* pour salinité

- *oxyc* pour oxygène
- *silc* pour silice
- *phoc* pour phosphate

Par la suite, quand on parle de code paramètre, il faut entendre code des paramètres dans les fichiers «.clc». Pour désigner le fond, l'utilisateur peut néanmoins utiliser un code paramètre '*fond*' reconnu par le programme de modèle inverse.

Le logiciel impose que dans les fichiers «.clc» des stations utiles à l'inversion les paramètres physiques suivants existent :

- la pression avec en code paramètre **prs**
- l'immersion avec en code paramètre **imm**
- la hauteur dynamique avec en code paramètre **hyd**
- la fréquence de Brunt-Väisälä avec en code paramètre **bv2**
- la température potentielle avec en code paramètre **tet**
- la densité potentielle avec en code paramètre **sig**
- la salinité avec en code paramètre **sal**

Si l'utilisateur ne peut avoir à sa disposition des fichiers «.clc» et souhaite néanmoins utiliser le logiciel d'inversion, il doit alors adapter les fichiers utiles au programme (cf. §4) en conséquence ainsi que les modules suivants :

- m_fic_entree.f90*
- m_paire_de_station.f90* : modifier la subroutine *mpds_get_station_hydro*

4 - Fichiers à créer par l'utilisateur

Le programme 'inverse' requiert la création par l'utilisateur de 3 types de fichiers :

- ❑ un fichier en entrée du programme contenant les noms du fichier Liste et des fichiers Boite ainsi qu'éventuellement une option pour les vents utilisés
- ❑ un fichier Liste contenant diverses informations sur les paires de stations utiles
- ❑ des fichiers Boite contenant la description des boîtes

4.1 Structure commune des fichiers

Pour chacun de ces fichiers, une ligne de commentaires doit impérativement débiter par un point d'exclamation (!). D'autre part, chaque type d'information commence par une ligne comportant un mot-clef délimité par un crochet ouvert et fermé ([,]).

4.2 Fichier en entrée

Ce fichier contient 3 types d'informations :

- ❑ **nom du fichier Liste** comportant les informations des diverses paires de stations. La structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Liste]

- 1 ligne indiquant le nom du fichier ‘liste de stations’ (1 et 1 seul fichier liste de stations doit être mentionné)
- **nom du (des) fichier(s) comportant la description des diverses boîtes.** La structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Boites]
 - 1 ligne par boîte indiquant le nom du fichier ‘boîte’ à utiliser
- **information sur les vents** à utiliser. Cette partie doit être présente :
 - Dans le cas où l'utilisateur souhaite utiliser **les vents Hellerman moyennés sur plusieurs mois successifs.** L'information ‘vent’ doit alors être décrite comme ci-après :
 - ⇒ 1 ligne mot-clef : [Vents]
 - ⇒ 1 ligne mot-clef : [HR_MOY]
 - ⇒ 1 ligne comportant le numéro du premier et du dernier mois à moyenner.
 Ainsi, si l'utilisateur souhaite moyenner sur les vents Hellerman entre les mois de janvier à mars, cette dernière ligne comprend : 01 03
 - Dans le cas où l'utilisateur souhaite utiliser **les vents ERS moyennés entre 2 dates.** L'information ‘vent’ doit alors être décrite comme ci-après :
 - ⇒ 1 ligne mot-clef : [Vents]
 - ⇒ 1 ligne mot-clef : [ERS_MOY_DEB_FIN]
 - ⇒ 1 ligne contenant la date début (AnnéeMois) et la date fin (AnnéeMois) entre lesquelles les vents ERS doivent être moyennés.
 Ainsi, si l'utilisateur souhaite utiliser les vents ERS moyennés entre février et mars 1993, cette dernière ligne comprend : 9302 9303
 - Dans le cas où l'utilisateur souhaite utiliser **les vents ERS moyennés sur des dates aléatoires.** L'information ‘vent’ doit alors être décrite comme ci-après :
 - ⇒ 1 ligne mot-clef : [Vents]
 - ⇒ 1 ligne mot-clef : [ERS_MOY_ALEATOIRE]
 - ⇒ 1 ligne par date (Année Mois) à prendre en compte pour la moyenne des vents. Ainsi, si l'utilisateur souhaite utiliser les vents ERS moyennés sur mars 1993 et mars 1994, le fichier doit comporter les 2 lignes suivantes :

93 03

94 03

4.3 Fichier Liste

Ce fichier contient les informations relatives à toutes les paires de stations dont on souhaite déterminer la vitesse géostrophique ou le transport à l'équateur.

□ La structure est la suivante :

- 1 ligne mot-clef : [Paires_Stations]
- 1 ligne par paire de stations comportant les éléments ci-dessous :
 - ⇒ Numéro de paire
 - ⇒ Sous-répertoire contenant le fichier '.clc' associé à la 1ère station de la paire
 - ⇒ Nom du fichier '.clc' correspondant
 - ⇒ Sous-répertoire contenant le fichier '.clc' associé à la 2nde station de la paire
 - ⇒ Nom du fichier '.clc' correspondant
 - ⇒ **Flag (oui/non)** : Il indique si la vitesse géostrophique peut (flag=oui) ou ne peut pas (flag=non) être calculée. En pratique, l'utilisateur met ce flag à 'non' pour des paires de stations où l'une d'entre elles est proche de l'équateur.

Selon la valeur de ce flag, le contenu du reste de la ligne diffère.

=====

Dans le cas où le flag vaut oui, les informations correspondent aux :

- ⇒ Code paramètre déterminant le niveau de référence choisi pour la paire de stations
- ⇒ Valeur associée
- ⇒ Valeur a priori de la vitesse géostrophique (en m/s).

Pour une paire de stations composée des 2 stations A et B, le vecteur unitaire \vec{n} définissant une valeur positive de la vitesse est donné par :

$$(\vec{AB}, \vec{n}) = \pi/2$$

⇒ Ecart-type associé (en m/s). L'utilisateur indique en quelle mesure la vitesse géostrophique issue de l'inversion peut différer de cette valeur a priori.

⇒ Valeur (F/L/C/T) indiquant comment les triangles de fond doivent être traités dans l'inversion.

* Si cette valeur vaut 'F' (false), pour chaque paire de stations, la vitesse géostrophique dans le triangle de fond est considérée nulle.

* Si cette valeur vaut 'L' (linéaire), pour chaque paire de stations, la vitesse géostrophique dans le triangle de fond est interpolée linéairement en imposant une vitesse nulle au fond

* Si cette valeur vaut 'C' (continu), pour chaque paire de stations, la vitesse géostrophique du triangle de fond est initialisée à la vitesse géostrophique calculée pour la profondeur commune .

* Si cette valeur vaut 'T' (true), pour chaque paire de stations, la vitesse géostrophique du triangle de fond est déterminée à partir de la fréquence de Brunt-Vaisala de la station la plus profonde

=====

Dans le cas où le flag vaut non (cas d'une paire de stations à l'équateur), les informations correspondent aux :

⇒ Valeurs a priori du transport (en m^3s^{-1}). 1 valeur par tranche d'eau. La convention de signe est identique à celle des vitesses géostrophiques.

⇒ Ecart-types associés (en m^3s^{-1}). Egalement 1 valeur par tranche d'eau.

4.4 Fichier Boîte

Ce fichier contient les informations permettant de définir une boîte, à savoir :

□ information sur les **tranches d'eau** dont la structure est la suivante :

- 1 ligne mot-clef : [Tranches]
- 1 ligne par tranche d'eau comportant :
 - ⇒ Code paramètre déterminant le début de la tranche d'eau
 - ⇒ Valeur associée
 - ⇒ Code paramètre déterminant la fin de la tranche d'eau
 - ⇒ Valeur associée

Les tranches sont supposées consécutives et allant de la surface au fond.

□ information sur les **coefficients de diffusion verticale** associés à chaque interface haute de tranche (excepté l'interface air-mer) dont la structure est la suivante :

- 1 ligne mot-clef : [Kv]
- 1 ligne par Kv comportant :
 - ⇒ Valeur a priori du Kv (en m^2/s)

⇒ Ecart-type associé (en m^2/s)

- information relative aux **surfaces de la limite haute des tranches d'eau** définies pour la boîte en cours dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Aires]
 - 1 ligne par tranche indiquant pour chacune d'elles la surface de sa limite haute (en m^2) pour la boîte (actuellement, il n'existe pas de programme disponible permettant d'approximer cette surface. La seule solution est donc de déterminer cette aire manuellement, à partir d'une carte de bathymétrie).
- information sur les diverses **paires de stations** associées à la boîte. La structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Troncons]
 - 1 ligne par suite consécutive (croissante ou décroissante) de numéros de paires de stations indiquant :
 - ⇒ Numéro de la 1ère paire de stations à prendre en compte
 - ⇒ Numéro de la dernière paire de stations à prendre en compte
 - ⇒ coefficient (+1/-1) à appliquer aux vitesses géostrophiques et/ou transports à l'équateur de ces paires de stations afin que les vitesses géostrophiques et/ou transports à l'équateur entrants dans la boîte soient positifs et que les vitesses géostrophiques et/ou transports à l'équateur sortants de la boîte soient négatifs.

Supposons une paire de stations composée des 2 stations A et B :

⇒ Si ce coefficient vaut +1, l'orientation du vecteur vitesse unitaire \vec{n} est telle que : $(\vec{AB}, \vec{n}) = \pi/2$

⇒ Si ce coefficient vaut -1, l'orientation du vecteur vitesse unitaire \vec{n} est telle que : $(\vec{AB}, \vec{n}) = -\pi/2$

ATTENTION :

L'utilisateur doit faire attention à la définition des tronçons. Les paires de stations définissant une boîte doivent être géographiquement adjacentes. Dans le cas contraire, la distance cumulée le long de la boîte mémorisée dans les fichiers résultats sera incohérente et les tracés (cf. §10.2) incorrects.

Les informations suivantes, toutes associées à des contraintes, sont optionnelles.

- information de contrainte de **conservation du volume par tranche** dont la structure est la suivante :

- 1 ligne mot-clef : [Volume_Tranche]
- 1 ligne par tranche d'eau comprenant :
 - ⇒ Transport imposé (en m³/s). Ce transport peut être dû à des interactions air-mer ou à l'existence d'un transport non résolu par les stations hydrologiques dont on dispose. Si ce transport imposé est non résolu par les paires de stations, la convention de signe est que ce transport imposé est positif sortant de la boîte. Dans le cas contraire, le transport doit être donné positif entrant.
 - ⇒ Ecart-type associé (en m³/s)
- information de contrainte de **conservation de la masse par tranche** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Masse_Tranche]
 - 1 ligne par tranche d'eau comprenant :
 - ⇒ Transport de masse imposé (en Kg/s). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé (en Kg/s)
- information de **contrainte de conservation de la chaleur par tranche** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Chaleur_Tranche]
 - 1 ligne par tranche d'eau comprenant :
 - ⇒ Transport de chaleur imposé (en W). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé.

Attention : L'écart-type indiqué dans le fichier est multiplié dans le programme par :

$$A_h^* \frac{\partial}{\partial z} T(z_h).$$

Le terme indiqué dans le fichier est donc équivalent à un coefficient de diffusion (Kv) et a pour unité m²s⁻¹.

- information de contrainte de **conservation du sel par tranche** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Sel_Tranche]
 - 1 ligne par tranche d'eau comprenant :
 - ⇒ Transport de sel imposé (en Kg/s). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé.

Attention : L'écart-type indiqué dans le fichier est multiplié dans le programme par :

$$A_h * \frac{\partial}{\partial z} T(z_h).$$

Le terme indiqué dans le fichier est donc équivalent à un coefficient de diffusion (Kv) et a pour unité m^2s^{-1} .

- information de contrainte de **conservation de paramètres (ou encore traceurs) chimiques par tranche**. Pour chaque traceur chimique différent, le fichier doit donc comporter la structure suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Chimie_Tranche]
 - 1 ligne correspondant au code du traceur chimique (silc, phoc, ...etc)
 - 1 ligne par contrainte et par tranche d'eau comprenant :
 - ⇒ Transport imposé (en unité traceur Kg/s). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé.

Attention : L'écart-type indiqué dans le fichier est multiplié dans le programme par :

$$A_h * \frac{\partial}{\partial z} T(z_h).$$

Le terme indiqué dans le fichier est donc équivalent à un coefficient de diffusion (Kv) et a pour unité m^2s^{-1} .

- information de contrainte de **conservation du volume de la surface au fond** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Volume_Surf_Fond]
 - 1 ligne comprenant :
 - ⇒ Transport imposé (en m^3/s). Ce transport peut être dû à des interactions air-mer ou à l'existence d'un transport non résolu par les stations hydrologiques dont on dispose. Si ce transport imposé est non résolu par les paires de stations, la convention de signe est que ce transport imposé est positif sortant de la boîte. Dans le cas contraire, le transport doit être donné positif entrant.
 - ⇒ Ecart-type associé (en m^3/s)
- information de **contrainte de conservation de la masse de la surface au fond** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Masse_Surf_Fond]
 - 1 ligne comprenant :

-
-
- ⇒ Transport de masse imposé (en Kg/s). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé (en Kg/s)
 - information de **contrainte de conservation de la chaleur de la surface au fond** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Chaleur_Surf_Fond]
 - 1 ligne comprenant :
 - ⇒ Transport de chaleur imposé (en W). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé (en W)
 - information de contrainte de **conservation du sel de la surface au fond** dont la structure est la suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Sel_Surf_Fond]
 - 1 ligne comprenant :
 - ⇒ Transport de sel imposé (en Kg/s). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé (en Kg/s)
 - information de contrainte de **conservation de traceurs chimiques de la surface au fond**. Pour chaque traceur chimique différent, le fichier doit donc comporter la structure suivante :
 - 1 ligne mot-clef : [Chimie_Surf_Fond]
 - 1 ligne correspondant au code du traceur chimique
 - 1 ligne comprenant :
 - ⇒ Transport imposé (en unité traceur Kg/s). Pour le signe, il faut utiliser la même convention que pour le volume.
 - ⇒ Ecart-type associé (en unité traceur Kg/s)
 - information relative aux **contraintes de transports à respecter pour l'équateur**:
 - 1 ligne mot_clef : [Contraintes_Equateur]
 - 1 ligne par tranche d'eau comprenant :
 - ⇒ Transport imposé (en m³/s) entre les paires de stations définies ci-après. Ce transport doit être résolu par les paires de stations. La convention de signe est donc que ce transport imposé est positif entrant de la boîte.
 - ⇒ Ecart-type associé (en m³/s)
 - ⇒ Numéro de la première paire de stations à considérer pour la contrainte

- ⇒ Numéro de la dernière paire de stations à considérer pour la contrainte
- ⇒ Tranche d'eau concernée (numéro d'ordre dans ce même fichier)
- information relative aux **contraintes de transport autres qu'à l'équateur** :
 - 1 ligne mot-clef : [Autres_Contraintes]
 - 1 ligne par contrainte comprenant :
 - ⇒ Transport imposé (en m^3/s) entre les paires de stations définies ci-après. Ce transport doit être résolu par les paires de stations. La convention de signe est donc que ce transport imposé est positif entrant dans la boîte.
 - ⇒ Ecart-type associé (en m^3/s)
 - ⇒ Code paramètre définissant le début de la tranche d'eau pour laquelle la contrainte s'applique
 - ⇒ Valeur associée
 - ⇒ Code paramètre définissant la fin de la tranche d'eau pour laquelle la contrainte s'applique
 - ⇒ Valeur associée
 - ⇒ Numéro de la première paire de stations à considérer pour la contrainte
 - ⇒ Numéro de la dernière paire de stations à considérer pour la contrainte

4.5 Valeurs limites

Du fait du compilateur fortran 90 (limitation de la taille de certaines tables internes), le programme inverse a été compilé en imposant :

- le nombre maximum de boîte pour un run à 5
- le nombre maximum de paires de stations par boîte à 200
- le nombre maximum de tranches par boîte à 10.

5 - Exemples de fichiers à créer par l'utilisateur

5.1 Fichier en entrée

```
!  
[Liste]  
!  
dat_inv/cither1_5b.list2  
!  
[Boites]  
!  
dat_inv/boite_A6  
dat_inv/boite_A7  
dat_inv/boite_W35_A6  
dat_inv/boite_W4_A7  
dat_inv/boite_W35_W4_A6_A7  
[Vents]  
HR_MOY  
1 3
```

Remarque : L'existence de l'option [Vents] dépend des clefs utilisées lors de la phase de précompilation.

5.2 Fichier Liste

```
!  
! Fichier comportant toutes les paires de stations utiles.  
! Liste des paires de stations  
!  
[Paires_Stations]  
001 cit1 cit10120.clc cit1 cit10121.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
002 cit1 cit10121.clc cit1 cit10122.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
003 cit1 cit10122.clc cit1 cit10123.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
004 cit1 cit10123.clc cit1 cit10124.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
005 cit1 cit10124.clc cit1 cit10125.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
006 cit1 cit10125.clc cit1 cit10126.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
007 cit1 cit10126.clc cit1 cit10127.clc oui si1 32.20 0.0 0.1 T  
008 cit1 cit10127.clc cit1 cit10128.clc oui si2 36.98 0.0 0.1 T  
009 cit1 cit10128.clc cit1 cit10129.clc oui si2 36.98 0.0 0.1 T  
010 cit1 cit10129.clc cit1 cit10130.clc oui si2 36.98 0.0 0.1 T  
011 cit1 cit10130.clc cit1 cit10131.clc oui si2 36.98 0.0 0.05 T  
...  
113 cit1 cit10032.clc cit1 cit10033.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T  
112 cit1 cit10031.clc cit1 cit10032.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T  
111 cit1 cit10030.clc cit1 cit10031.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T  
110 cit1 cit10029.clc cit1 cit10030.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T  
109 cit1 cit10028.clc cit1 cit10029.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T
```

108 cit1 cit10026.clc cit1 cit10028.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T
107 cit1 cit10025.clc cit1 cit10026.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T
106 cit1 cit10024.clc cit1 cit10025.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T
105 cit1 cit10023.clc cit1 cit10024.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T
104 cit1 cit10022.clc cit1 cit10023.clc oui fond 0.0 0.0 0.02 T

...

179 cit1 cit10111.clc cit1 cit10110.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
180 cit1 cit10110.clc cit1 cit10109.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
181 cit1 cit10109.clc cit1 cit10108.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
182 cit1 cit10108.clc cit1 cit10107.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
183 cit1 cit10107.clc cit1 cit10106.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 6 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
184 cit1 cit10106.clc cit1 cit10105.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
185 cit1 cit10105.clc cit1 cit10104.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
186 cit1 cit10104.clc cit1 cit10103.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
187 cit1 cit10103.clc cit1 cit10102.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
188 cit1 cit10102.clc cit1 cit10101.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
189 cit1 cit10101.clc cit1 cit10100.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
190 cit1 cit10100.clc cit1 cit10099.clc oui si2 36.98 0.0 0.05 T
191 cit1 cit10099.clc cit1 cit10098.clc oui si2 36.98 0.0 0.05 T
192 cit1 cit10098.clc cit1 cit10097.clc oui si2 36.98 0.0 0.05 T

5.3 Fichier Boite

! Boite W35_W4_A6_A7 :

[Tranches]

prs 0000.000 si0 0024.58

si0 0024.58 si0 0026.75

si0 0026.75 si0 0027.15

si0 0027.15 si1 0032.20

si1 0032.20 si2 0036.98

si2 0036.98 si4 0045.83

si4 0045.83 si4 0045.90

si4 0045.90 fond 0

[Kv]

5.0e-05 3.0e-05

5.0e-05 3.0e-05

1.0e-04 5.0e-05

5.0e-04 3.0e-04

5.0e-04 3.0e-04

5.0e-04 3.0e-04

5.0e-04 3.0e-04

[Aires]

394.e10

394.e10

394.e10

394.e10

394.e10

394.e10

330.e10

227.e10

[Troncons]

37 82 -1

198 216 +1

170 112 -1

[Chaleur_Tranche]

0.15e+15 1.0e-03

0 0.2e-04
0 1.0e-04
0 1.0e-04
0 1.0e-04
0 3.0e-04
0 3.0e-04
0 3.0e-04
[Chimie_Tranche]
silc
! Ecart-type de la contrainte
0.0e+09 1.0e-03
0 1.0e-04
0 1.0e-04
0 1.0e-04
0 1.0e-04
0 3.0e-04
0 3.0e-04
0 3.0e-04
[Masse_Surf_Fond]
-0.000e+09 03.000e+09
[Chaleur_Surf_Fond]
0.15e+15 0.200e+15
[Chimie_Surf_Fond]
silc
0.0e+09 100.0e+09

6 - Fichiers résultats de l'inversion

6.1 Généralités

Durant l'exécution, diverses informations s'affichent à l'écran permettant à l'utilisateur de suivre le bon déroulement du programme.

- Avant inversion s'affichent :
 - Pour chaque boîte :
 - ⇒ les résidus des contraintes
 - Le nombre d'inconnues totales (pour l'ensemble des boîtes à traiter)
 - Le nombre de contraintes totales
- Après inversion :
 - Pour chaque boîte :
 - ⇒ la valeur des inconnues
 - ⇒ les résidus des contraintes
 - ⇒ les erreurs sur les transports horizontaux pour chaque tranche
 - ⇒ les erreurs sur les transports horizontaux de la surface au fond
 - ⇒ les erreurs sur les transports verticaux

Le programme crée également des fichiers résultats de l'inversion dans le sous-répertoire 'res_inv' du répertoire de travail.

Pour une exécution, 7 types de fichiers sont créés :

- ❑ 6 fichiers associés à chacune des boîtes de l'inversion
- ❑ 4 fichiers globaux

6.2 Les fichiers associés aux boîtes

Pour chaque boîte, les 6 types de fichiers suivants sont créés :

- ❑ un fichier d'extension «**.deb**» généré avant l'inversion comprenant :
 - 3 lignes de commentaires
 - 1 ligne par paire de stations composée de :
 - ⇒ le numéro de paire de stations
 - ⇒ la longitude et la latitude de la première station de la paire
 - ⇒ la longitude et la latitude de la seconde station de la paire
 - ⇒ la longitude et la latitude moyenne de la paire de stations
 - ⇒ la distance cumulée le long de la boîte à partir du milieu de la première paire de stations de la boîte (unité : km)
 - ⇒ le nombre de tranches d'eau définies dans la boîte
 - ⇒ pour chaque tranche d'eau : le débit (unité : 10^6)
 - ⇒ le débit associé au triangle de fond (unité : 10^6)
 - ⇒ le transport d'ekman (unité : 10^6)
- ❑ un fichier d'extension «**.deb.inv**» : Ce fichier est similaire au fichier «.deb» si ce n'est qu'il est généré après inversion.
- ❑ un fichier d'extension «**.vit**» généré avant l'inversion comprenant :
 - 3 lignes de commentaires
 - 1 ligne indiquant le nombre de paires de stations de la boîte
 - 1 ligne par paire de stations composée de :
 - ⇒ le numéro de paire de stations
 - ⇒ la longitude et la latitude de la première station de la paire
 - ⇒ la longitude et la latitude de la seconde station de la paire

- ⇒ la longitude et la latitude moyenne de la paire de stations
- ⇒ la distance cumulée le long de la boîte à partir du milieu de la première paire de stations de la boîte (unité : km)
- ⇒ le coefficient (-1/1) à appliquer à la vitesse géostrophique de la paire de stations afin d'avoir la convention positif entrant dans la boîte.
- ⇒ le nombre 'N' de lignes suivantes
- ⇒ un caractère indiquant si la paire de stations est ('E') ou n'est pas ('N') située à l'équateur.
- 'N' lignes comprenant :
 - ⇒ l'immersion
 - ⇒ la vitesse géostrophique associée. Pour l'équateur, on 'simule' une vitesse géostrophique à partir des transports par tranche.
- un fichier d'extension «**.vit.inv**» : Ce fichier est similaire au fichier «.vit» si ce n'est qu'il est généré après inversion.
- un fichier d'extension «**.sol**» généré avant l'inversion comprenant :
 - 3 lignes de commentaires
 - 1 ligne indiquant le nombre 'N' d'inconnues de vitesses géostrophiques
 - 'N' lignes comprenant :
 - ⇒ le numéro de paire de stations
 - ⇒ le numéro d'inconnue associée
 - ⇒ la valeur de l'inconnue (convention de signe : positif entrant dans la boîte)
 - ⇒ l'écart-type associé
 - 3 lignes de commentaires
 - 1 ligne indiquant le nombre 'M' d'inconnues de transports équatoriaux
 - 'M' lignes comprenant :
 - ⇒ le numéro de paire de stations
 - ⇒ le numéro d'inconnue
 - ⇒ la valeur de l'inconnue (convention de signe : positif entrant dans la boîte)
 - ⇒ l'écart-type associé
 - 3 lignes de commentaires

- 1 ligne indiquant le nombre ‘P’ d’inconnues de coefficient de diffusion verticale
- ‘P’ lignes comprenant :
 - ⇒ le numéro d’inconnue
 - ⇒ la valeur de l’inconnue (convention de signe : positif vers le haut)
 - ⇒ l’écart-type associé
- 3 lignes de commentaires
- 1 ligne indiquant le nombre ‘C’ de contraintes
- ‘C’ lignes comprenant :
 - ⇒ le résidu de la contrainte
 - ⇒ l’écart-type associé
- un fichier d’extension «**.sol.inv**» : Ce fichier est similaire au fichier «.sol» si ce n’est qu’il est généré après inversion.

6.3 Les fichiers globaux

6.3.1 Fichiers ASCII

Le programme d’inversion crée 3 fichiers ASCII. Le nom de ces fichiers est constitué du nom du fichier en entrée du programme suivi de diverses extensions.

- un fichier d’extension «**.inv**» : Ce fichier est similaire au fichier Liste si ce n’est qu’il comporte les vitesses géostrophiques et/ou transports après inversion.

Il contient également les inconnues de coefficients de diffusion et les écart-types associés pour chacune des boîtes.

- un fichier d’extension «**.vit**» : Ce fichier est une concaténation des fichiers d’extension «.vit» associés aux boîtes. La différence est la convention de signe. Pour les fichiers Boite, la convention de signe est «vitesse positive entrant dans la boîte». Pour ce fichier global, la convention de signe est telle que, pour une paire de stations composée des 2 stations A et B, le vecteur unitaire \vec{n} définissant une valeur positive de la vitesse est donné par la formule :

$$(\overrightarrow{AB}, \vec{n}) = \pi/2$$

- un fichier d’extension «**.vit.inv**» : ce fichier est similaire au fichier précédent si ce n’est qu’il est généré après inversion.

6.3.2 Fichier binaire

Le programme d'inversion crée un fichier binaire d'extension «.xk». Ce fichier contient les valeurs de toutes les inconnues, à savoir la valeur des :

- vitesses géostrophiques au niveau de référence
- transports équatoriaux
- coefficients de diffusion

Pour exploiter ce fichier binaire, on peut s'inspirer du programme situé sous le répertoire :

`/home2/doelan/chemon/geostrophie/inv/src_diag/diag.f90`

L'utilisateur peut modifier et adapter ce programme en fonction de ses besoins. La modification doit avoir lieu après l'appel à 'transport'. A partir de là, l'utilisateur a à sa disposition toutes les variables utiles (variables mbr_ (cf. §9.2.2)) pour effectuer divers calculs de transports sur la boîte en cours.

Pour compiler le programme 'diag', il faut utiliser le makefile makediag situé sous le répertoire **`/home2/doelan/chemon/geostrophie/inv`** de la manière qui suit :

`make -f makediag diag`

Le programme 'diag' doit s'exécuter dans le même répertoire et prend les mêmes fichiers en entrée que le programme inverse (cf. §3.2 - §4).

7 - Exemples de fichiers résultats

7.1 Exemples de fichiers associés aux boîtes

7.1.1 Exemple de fichier «.deb»

%
% Debits - Ekman
%
1 -51.312 5.760 -51.319 5.788 -51.315 5.774 1.590 8 -0.91538 -0.30289 0.08134 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.08150 0.00877
2 -51.319 5.788 -51.303 5.805 -51.311 5.797 4.473 8 0.29763 0.13652 -0.06242 -0.13991 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 -0.16227 0.01649
3 -51.303 5.805 -51.245 5.820 -51.274 5.813 9.057 8 3.48720 1.93482 2.60707 -0.82454 -0.53742 0.00000 0.00000 0.00000 -1.86803 0.03811
4 -51.245 5.820 -51.247 5.920 -51.246 5.870 17.886 8 -0.31177 -0.74274 -3.27870 -2.89327 2.71928 0.00000 0.00000 0.00000 2.17265 0.04461
5 -51.247 5.920 -51.264 6.098 -51.255 6.009 33.373 8 5.32985 2.12752 2.39937 3.33142 0.53289 0.72416 0.00000 0.00000 0.86829 0.07208
6 -51.264 6.098 -51.050 6.221 -51.157 6.160 56.974 8 -4.54192 -2.31098 -2.97597 -0.75352 -3.02824 -1.94954 -0.01203 0.00000 -0.63248 0.16787
7 -51.050 6.221 -50.900 6.333 -50.975 6.277 80.943 8 4.22696 1.72232 2.70787 1.70987 -2.73932 -5.01210 -1.60265 0.00000 -0.83745 0.11300
8 -50.900 6.333 -50.669 6.673 -50.785 6.503 114.068 8 -0.48089 -0.08804 0.60214 4.04646 2.41462 -0.80827 -2.84378 -0.01741 -0.84582 0.24558

7.1.2 Exemple de fichier «.vit»

```
%  
% Prof. et vit.geo associee  
%  
2  
1 -51.315 5.774 1.590 10  
1.0 -3.087118  
10.9 -3.064037  
20.9 -3.030789  
30.8 -2.982582  
40.8 -2.920835  
50.7 -2.870679  
60.7 -2.829476  
70.6 -2.800624  
80.5 -2.825616  
90.5 -3.054605  
2 -51.311 5.797 4.473 14  
1.0 1.292561  
10.9 1.289494  
20.9 1.277040  
30.8 1.247469  
40.8 1.198685  
50.7 1.158131  
60.7 1.138042  
70.6 1.120018  
80.5 1.192020  
90.5 1.237972  
100.4 1.385787  
110.4 1.680039  
120.3 1.360284  
130.2 0.707366
```

7.1.3 Exemple de fichier «.sol»

```
%  
% Inconnues de vitesses  
%  
11  
1 1 0.000000 0.100000  
2 2 0.000000 0.100000  
3 3 0.000000 0.100000  
4 4 0.000000 0.100000  
5 5 0.000000 0.100000  
6 6 0.000000 0.100000  
7 7 0.000000 0.100000  
8 8 0.000000 0.100000  
9 9 0.000000 0.100000  
10 10 0.000000 0.100000  
11 11 0.000000 0.100000  
%  
% Inconnues de transports equatoriaux  
%  
0  
%  
% Inconnues de coefficient de diffusion verticale  
%  
7  
83 0.000500 0.000300  
84 0.000500 0.000300  
85 0.000500 0.000300  
86 0.000500 0.000300  
87 0.000500 0.000300  
88 0.000500 0.000300  
89 0.000500 0.000300
```

%

% Contraintes

%

4

0.919009E+10 0.200000E+10

0.358211E+12 0.700000E+11

-0.276756E+07 0.100000E+07

-0.186143E+06 0.500000E+06

7.2 Exemples de fichiers globaux

7.2.1 Exemple de fichier «.inv»

```
001 cit1 cit10120.clc cit1 cit10121.clc oui si1 32.2000 -0.0002421 0.0999998 T
002 cit1 cit10121.clc cit1 cit10122.clc oui si1 32.2000 -0.0003678 0.0999995 T
003 cit1 cit10122.clc cit1 cit10123.clc oui si1 32.2000 -0.0016275 0.0999903 T
004 cit1 cit10123.clc cit1 cit10124.clc oui si1 32.2000 -0.0042648 0.0999341 T
005 cit1 cit10124.clc cit1 cit10125.clc oui si1 32.2000 -0.0101413 0.0996290 T
006 cit1 cit10125.clc cit1 cit10126.clc oui si1 32.2000 -0.0169992 0.0989477 T
007 cit1 cit10126.clc cit1 cit10127.clc oui si1 32.2000 -0.0147693 0.0992019 T
008 cit1 cit10127.clc cit1 cit10128.clc oui si2 36.9800 -0.0360432 0.0951169 T
009 cit1 cit10128.clc cit1 cit10129.clc oui si2 36.9800 -0.0355462 0.0939573 T
010 cit1 cit10129.clc cit1 cit10130.clc oui si2 36.9800 -0.0188906 0.0953726 T
011 cit1 cit10130.clc cit1 cit10131.clc oui si2 36.9800 -0.0056571 0.0495555 T
012 cit1 cit10131.clc cit1 cit10132.clc oui si2 36.9800 -0.0078902 0.0493565 T
013 cit1 cit10132.clc cit1 cit10133.clc oui si2 36.9800 -0.0085109 0.0492952 T
014 cit1 cit10133.clc cit1 cit10134.clc oui si2 36.9800 -0.0072704 0.0493976 T
015 cit1 cit10134.clc cit1 cit10135.clc oui si2 36.9800 -0.0098672 0.0488970 T
...
179 cit1 cit10111.clc cit1 cit10110.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
180 cit1 cit10110.clc cit1 cit10109.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
181 cit1 cit10109.clc cit1 cit10108.clc non 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06 1.0e+06
...
```

dat_inv/boite_A6

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

dat_inv/boite_A7

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

0.000500 0.000300

...

7.2.2 Exemple de fichier «.vit»

```
%  
% Prof - Vitesse (AB,N)=+pi/2  
%  
216  
1 -51.312 5.760 -51.319 5.788 -51.315 5.774 0.000 1 46 N 1.0 -3.087118  
10.9 -3.064037  
20.9 -3.030789  
30.8 -2.982582  
40.8 -2.920835  
50.7 -2.870679  
60.7 -2.829476  
70.6 -2.800624  
80.5 -2.825616  
90.5 -3.054605  
100.4 -2.975515  
110.4 -2.870788  
...  
2 -51.319 5.788 -51.303 5.805 -51.311 5.797 0.000 1 80 N 1.0 1.292561  
10.9 1.289494  
20.9 1.277040  
30.8 1.247469  
40.8 1.198685  
50.7 1.158131  
...
```

8 - Environnement de développement

8.1 ‘Outils’ de développement

8.1.1 Langage

Tous les sources (modules, sous-routines) du programme ‘inverse’ sont écrits :

- ❑ en fortran 90.

8.1.2 Bibliothèques

Le programme fait appel à :

- ❑ des sous-routines fortran 77 de la bibliothèque NAG (Numerical Algorithms Group)
- ❑ des sous-routines de la bibliothèque ‘hydsgf’ (bibliothèque de gestion des fichiers hydrologiques tels que les fichiers ‘.clc’ (bibliothèque interne au LPO)).

8.2 Répertoire de développement

Tous les sources du programme ‘inverse’ se situent sous le répertoire :

```
/home2/doelan/chemon/geostrophie/inv/src
```

8.3 Les fichiers '.F90' et le préprocesseur

Parmi les sources existent 3 fichiers d'extension '.F90'. Chacun de ces fichiers comporte des 'clefs'. En fonction de ces 'clefs', les fichiers '.f90' finaux (pris en compte lors de la phase de compilation) sont créés via le préprocesseur.

8.3.1 m_vent_ers.F90

Ce fichier permet de créer le fichier m_vent_ers.f90 (module associé aux vents ERS). Pour le passage via le préprocesseur, 3 clefs sont possibles :

- **key_vent_ers_mois** : Le fichier m_vent_ers.f90 correspondant permet à l'utilisateur d'utiliser les vents ERS du mois et de l'année associés à chaque paire de stations.
- **key_vent_ers_moy_deb_fin** : Le fichier m_vent_ers.f90 correspondant permet à l'utilisateur d'utiliser les vents ERS moyennés entre une date de début (année/mois) et une date fin (année/mois)
- **key_vent_ers_moy_aleatoire** : Le fichier m_vent_ers.f90 correspondant permet à l'utilisateur d'utiliser les vents ERS moyennés sur un ensemble de dates (année/mois) fixées par l'utilisateur.

8.3.2 m_vent_hr.F90

Ce fichier permet de créer le fichier m_vent_hr.f90 (module associé aux vents Hellerman). Pour le passage via le préprocesseur, 3 clefs sont disponibles :

- **key_vent_hr_an** : Le fichier m_vent_hr.f90 correspondant permet à l'utilisateur d'utiliser les vents Hellerman moyennés sur l'année.
- **key_vent_hr_mois** : Le fichier m_vent_hr.f90 correspondant permet à l'utilisateur d'utiliser les vents Hellerman du mois associé à la paire de stations en cours.
- **key_vent_hr_moy** : Le fichier m_vent_hr.f90 correspondant permet à l'utilisateur d'utiliser les vents Hellerman moyennés sur un ensemble de mois consécutifs. L'utilisateur fournit le numéro du premier et du dernier mois à prendre en compte.

Remarque : L'option de [Vents] est nécessaire dans le fichier en entrée de l'inversion pour les clefs ci-après :

- ⇒ key_vent_ers_moy_deb_fin
- ⇒ key_vent_ers_moy_aleatoire
- ⇒ key_vent_hr_moy

8.3.3 transport_ekman.F90

Ce fichier permet de créer le fichier transport_ekman.f90 (subroutine permettant de déterminer le transport dû aux vents). Pour le passage via le préprocesseur, 2 clefs sont disponibles :

- **key_vent_hr** : Le fichier transport_ekman.f90 correspondant permet à l'utilisateur de considérer les vents Hellerman pour l'inversion.
- **key_vent_ers** : Le fichier transport_ekman.f90 correspondant permet à l'utilisateur de considérer les vents ERS pour l'inversion.

8.4 Précompilation

Le fichier makefile (/home2/doelan/chemon/geostrophie/inv) comporte une partie **pre_proc**. Les 3 fichiers '.F90' sont précompilés. En fonction de ses besoins, l'utilisateur modifie les clefs pour chacun de ces fichiers. L'exemple ci-dessous illustre le cas où l'utilisateur souhaite utiliser les vents Hellerman moyennés sur des mois consécutifs (fixés par l'utilisateur dans le fichier en entrée de l'inversion). A noter que dans ce cas, le module m_vent_ers.f90 ne sera pas utilisé.

```
pre_proc: src/transport_ekman.F90 src/m_vent_hr.F90 src/m_vent_ers.F90 src/m_vent.f90
```

```
/usr/ccs/lib/cpp -P -Dkey_vent_hr src/transport_ekman.F90 src/transport_ekman.f90
```

```
/usr/ccs/lib/cpp -P -Dkey_vent_hr_moy src/m_vent_hr.F90 src/m_vent_hr.f90
```

```
/usr/ccs/lib/cpp -P -Dkey_vent_ers_moy_aleatoire src/m_vent_ers.F90 src/m_vent_ers.f90
```

Pour créer les fichiers ‘.f90’ associés qui serviront à générer l’exécutable final, il faut lancer la commande :

```
make pre_proc
```

8.5 Compilation de l’exécutable

Pour compiler, il faut lancer le makefile situé sous le répertoire /home2/doelan/chemon/geostrophie/inv de la manière suivante :

```
make inverse
```

L’exécutable **inverse** est généré sous le répertoire /home2/doelan/chemon/geostrophie/inv.

Bien évidemment, si un module ou une nouvelle subroutine est développé, le makefile doit être modifié en conséquence. Lors de l’ajout d’un module, une attention particulière doit être portée dans le makefile sur toutes les dépendances associées. Une recompilation totale peut être effectuée en effaçant préalablement tous les ‘.o’ situés sous le répertoire /home2/doelan/chemon/geostrophie/inv/src (pour les subroutines) ainsi que tous les ‘.o’ et ‘.M’ situés sous /home2/doelan/chemon/geostrophie/inv/exe (pour les modules).

9 - Architecture logicielle

9.1 Généralités

9.1.1 Modules/Subroutines

Le programme est constitué de :

- ❑ 1 programme principal (**inverse.f90**)
- ❑ 13 modules
- ❑ 38 subroutines

Les noms des divers modules, subroutines et variables ont été choisis autant que faire se peut afin qu'ils soient explicites. D'autre part, il est à noter que, outre à cette documentation, l'utilisateur peut également se référer aux commentaires des sources. Aussi, dans ce qui suit, les modules et subroutines sont présentés de manière succincte excepté les 2 parties suivantes qui sont plus détaillées :

- ❑ le module `m_boite_res` (cf. §9.2.2) contenant les variables utiles à l'utilisateur pour l'exploitation des résultats via un programme similaire à `diag.f90` (cf. §6.3)
- ❑ le programme principal `inverse.f90`

9.1.2 Hypothèses

Le code est écrit de sorte qu'une vitesse géostrophique ou un transport est défini positif lorsqu'il est entrant dans la boîte en cours.

9.1.3 Précisions des calculs

Pour des soucis de précision, la plupart des calculs est effectuée en double précision (real*8).

9.2 Les modules

Un module définit tous les types et toutes les variables relatifs à un même ‘concept’ ainsi qu’éventuellement toutes les sousroutines associées.

Tous les noms de modules débutent par **m_**.

Toutes les variables, types et sousroutines d’un module débutent par une même chaîne de caractères. Ainsi, à la lecture du code, on peut rapidement déterminer qu’une variable est issue de tel ou tel autre module.

9.2.1 Module **m_adcp_data**

Toutes les variables et sousroutines de ce module débutent par **mad_**.

Ce module définit les variables et la sousroutine de lecture relatives aux données ADCP après traitement.

Il est à noter que ce module n’a pas été testé. En effet, actuellement, le modèle n’a pas été finalisé afin de prendre en compte ce type de données.

9.2.2 Module **m_boite_res**

Toutes les variables de ce module débutent par **mbr_**.

Ce module définit toutes les variables résultats associées à une boîte, c’est-à-dire à un ensemble de paires de stations.

Ces variables peuvent être utilisées dans un programme similaire à diag.f90 (cf. §6.3) afin d'exploiter les résultats de l'inversion. Aussi, les variables les plus utiles sont présentées ci-après :

- ❑ `mbr_aire_haute(it)` :
Aire de la limite haute de la tranche d'eau (it) calculée sur toute la boîte
- ❑ `mbr_coef_aire(prof,ip)` :
Coefficient d'aire de la paire de stations de numéro (ip) pour la pression (prof)
- ❑ `mbr_debit(it,ip)` :
Débit de la paire de stations de numéro (ip) pour la tranche d'eau (it)
- ❑ `mbr_debit_ekman(ip)` :
Débit d'ekman pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_debit_surf_fond(ip)` :
Débit de la paire de stations de numéro (ip) de la surface au fond
- ❑ `mbr_dist_AB(ip)` :
Distance entre les 2 stations constituant la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_imm(prof,ip)` :
Immersion associée à la pression (prof) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_params_surf_fond(param,ip)` :
Intégrale de ($\text{rhau} * \text{paramètre chimique (param)}$) de la surface au fond pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_params_tranche(param,it,ip)` :
Intégrale de ($\text{rhau} * \text{paramètre chimique (param)}$) sur la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_salinite_surf_fond(ip)` :
Intégrale de ($\text{rhau} * \text{salinite}$) de la surface au fond pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_salinite_tranche(it,ip)` :
Intégrale de ($\text{rhau} * \text{salinite}$) sur la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_surf_fond(ip)` :
Intégrale de rhau de la surface au fond pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_theta_cp_surf_fond(ip)` :
Intégrale de ($\text{rhau} * \text{theta} * \text{cp}$) de la surface au fond pour la paire de stations de numéro (ip)

- ❑ `mbr_int_rhau_theta_cp_tranche(it,ip)` :
Intégrale de $(\text{rhau} * \text{theta} * \text{cp})$ sur la tranche d'eau (it) pour la paire de stations numéro (ip)
- ❑ `mbr_int_rhau_tranche(it,ip)` :
Intégrale de `rhau` sur la tranche d'eau (it) pour la paire de stations numéro (ip)
- ❑ `mbr_itran_bas(it,ip)` :
Pression associée à la limite basse de la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_itran_haut(it,ip)` :
Pression associée à la limite haute de la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_rhau_moy_tranche(it,ip)` :
Moyenne de la densité (`rhau`) pour la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_rhau_params_moy_tranche(param,it,ip)` :
Moyenne de $(\text{rhau} * \text{paramètre chimique (param)})$ pour la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_rhau_salinite_moy_tranche(it,ip)` :
Moyenne de $(\text{rhau} * \text{salinite})$ pour la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_rhau_theta_cp_moy_tranche(it,ip)` :
Moyenne de $(\text{rhau} * \text{theta} * \text{cp})$ pour la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_signe_inconnue(ip)` :
Signe (-1/+1) associé à la vitesse géostrophique ou transport pour la paire de stations de numéro (ip) pour la boîte en cours (cf. §9.3.21)
- ❑ `mbr_surface_surf_fond(ip)` :
Surface de la surface au fond pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_surf_tranche(it,ip)` :
Surface de la tranche d'eau (it) pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_surf_triangle_fond(ip)` :
Surface du triangle de fond pour la paire de stations de numéro (ip)
- ❑ `mbr_tr_chaleur(it,ip)` :

Transport de chaleur de la paire de stations de numéro (ip) pour la tranche d'eau (it)

❑ mbr_tr_chaleur_surf_fond(ip) :

Transport de chaleur de la paire de stations de numéro (ip) de la surface au fond

❑ mbr_tr_ekman_chaleur(ip) :

Transport de chaleur dû à ekman pour la paire de stations de numéro (ip)

❑ mbr_tr_ekman_masse(ip) :

Transport de masse dû à ekman pour la paire de stations de numéro (ip)

❑ mbr_tr_ekman_params(param,ip) :

Transport du paramètre chimique (param) dû à ekman pour la paire de stations de numéro (ip)

❑ mbr_tr_ekman_sel(ip) :

Transport de sel dû à ekman pour la paire de stations de numéro (ip)

❑ mbr_tr_masse(it,ip) :

Transport de masse de la paire de stations de numéro (ip) pour la tranche d'eau (it)

❑ mbr_tr_masse_surf_fond(ip) :

Transport de masse de la paire de stations de numéro (ip) de la surface au fond

❑ mbr_tr_params(param,it,ip) :

Transport du paramètre chimique (param) de la paire de stations de numéro (ip) pour la tranche d'eau (it)

❑ mbr_tr_params_surf_fond(param,ip) :

Transport du paramètre (param) de la paire de stations de numéro (ip) de la surface au fond

❑ mbr_tr_sel(it,ip) :

Transport de sel de la paire de stations de numéro (ip) pour la tranche d'eau (it)

❑ mbr_tr_sel_surf_fond(ip) :

Transport de sel de la paire de stations de numéro (ip) de la surface au fond

❑ mbr_vit_geo(prof,ip) :

Vitesse géostrophique de la paire de stations de numéro (ip) pour la pression (prof)

❑ mbr_vit_vert_haute(it) :

Vitesse verticale haute de la tranche d'eau (it) calculée sur toute la boîte

9.2.3 Module **m_contrainte**

Tous les types et variables de ce module débutent par **mc_**.

Ce module définit toutes les variables associées aux contraintes.

9.2.4 Module **m_fic_entree**

Toutes les variables et subroutines de ce module débutent par **mfe_**.

Ce module définit les variables et les subroutines de lecture associées aux fichiers en entrée du logiciel (cf. §4 et §5).

9.2.5 Module **m_inverse**

Toutes les subroutines de ce module débutent par **mi_**.

Ce module définit les subroutines d'inversion proprement dites.

9.2.6 Module **m_paire_de_station**

Tous les types, variables et subroutines de ce module débutent par **mpds_**.

Ce module définit les types, variables et subroutines relatifs à une paire de stations hydrologiques.

9.2.7 Module **m_paire_res**

Toutes les variables de ce module débutent par **mpr_**.

Ce module définit les variables résultats propres à une paire de stations.

9.2.8 Module **m_param_phys_chim**

Toutes les variables de ce module débutent par **mppc_**.

Ce module définit les variables associées aux paramètres physiques et chimiques utiles pour l'exécution en cours.

9.2.9 Module **m_parameter**

Ce module définit toutes les constantes utiles au programme.

9.2.10 Module **m_tranche_eau**

Tous les types et variables de ce module débutent par **mte_**.

Ce module définit les types et variables relatifs à une tranche d'eau.

9.2.11 Module **m_vent**

Ce module définit le type **mv_t_paire_vent** correspondant au vent associé à une paire de stations.

9.2.12 Module **m_vent_hr**

Tous les types et sous-routines de ce module débutent par **mhv_**.

Ce module définit notamment la sous-routine permettant de lire et de calculer le vent à partir des données hellerman en fonction des clefs utilisées lors de la précompilation.

9.2.13 Module **m_vent_ers**

Tous les types et sous-routines de ce module débutent par **mve**.

Ce module définit notamment la subroutine de lecture et de calcul des vents ERS en fonction des clefs choisies par l'utilisateur lors de la précompilation.

9.3 Les subroutines

9.3.1 cal_cp

Cette subroutine calcule la chaleur spécifique à partir de la pression, de la température potentielle et la salinité.

9.3.2 cal_debit_adcp

Cette subroutine calcule le transport ADCP de chaque tranche d'eau. A l'heure actuelle, le programme n'étant pas encore mis au point pour prendre en compte les données ADCP, cette subroutine n'a pas été testée.

9.3.3 cal_debit_surf_fond

Cette subroutine calcule le transport de volume, de masse, de sel, ... de la surface au fond.

9.3.4 cal_debit_tranche

Cette subroutine calcule le transport de volume, de masse, de sel, ... pour chaque tranche d'eau définie par l'utilisateur.

9.3.5 cal_erreur_transport

Cette subroutine calcule l'erreur sur les transports avant et après inversion selon le principe expliqué ci-dessous.

Tout transport T peut s'exprimer sous la forme :

$$T = \sum_i m_i u_i + \sum_i T_{equaj} + \sum_i T_{geoi}$$

où :

- i et j sont des indices de stations
- m_i représente l'aire de la paire de stations i de la tranche pour laquelle le transport est calculé
- u_i représente la vitesse géostrophique au niveau de référence pour la paire de stations i (composante barocline)
- T_{equaj} représente le transport à l'équateur de la paire de stations j
- T_{geoi} représente le transport géostrophique de la paire de stations i (composante barotrope)

L'équation ci-dessus est équivalente à :

$$T = M^T X_k + \sum_i T_{geoi}$$

où :

- X_k est le vecteur de dimension (nombre d'inconnues) contenant les inconnues (vitesse géostrophique au niveau de référence, transport à l'équateur, coefficient de diffusion).
- M^T est la transposé du vecteur M de dimension (nombre d'inconnues).

Les éléments de M sont :

- pour les vitesses géostrophiques : les aires des paires de stations de la tranche pour laquelle le transport est calculé.
- pour les transports équatoriaux : 1
- pour les coefficients de diffusion : 0

L'erreur sur le transport T est alors donné par la formule qui suit :

$$E[TT^T] = E[M^T X_k X_k^T M]$$

9.3.6 cal_integrale_rhau_surf_fond

Cette subroutine calcule l'intégrale de 'rhau' de la surface au fond où rhau peut être :

- densité
- densité * salinité
- densité * température potentielle * chaleur spécifique
- densité * paramètre chimique

9.3.7 cal_integrale_rhau_tranche

Cette subroutine calcule l'intégrale de 'rhau' pour chaque tranche d'eau définie par l'utilisateur où 'rhau' peut être :

- densité
- densité * salinité
- densité * température potentielle * chaleur spécifique
- densité * paramètre chimique

9.3.8 cal_surface_surf_fond

Cette subroutine calcule l'aire de la surface au fond pour la paire de stations en cours.

9.3.9 cal_surface_tranche

Cette subroutine calcule l'aire de chaque tranche d'eau définie par l'utilisateur pour la paire de stations en cours.

9.3.10 cal_surface_triangle_fond

Cette subroutine calcule l'aire du triangle de fond pour la paire de stations en cours.

9.3.11 cal_vit_vert_haute

Cette subroutine calcule la vitesse verticale haute de chaque tranche d'eau définie par l'utilisateur.

La vitesse verticale se calcule à partir de la conservation de la masse exprimée ci-dessous pour une boîte et pour une tranche d'eau T donnée:

$$\sum_{i=1}^{N} \int_{z_b}^{z_h} \rho_i(z) \vec{u}_i(z) \vec{n} dz di - A_h W_h \vec{w} \overline{\rho(z_h)} + A_b W_b \vec{w} \overline{\rho(z_b)} = 0 \quad (4)$$

où :

- N est le nombre de paires de stations composant la boîte
- z_h est la profondeur associée à la limite haute de la tranche T
- z_b est la profondeur associée à la limite basse de la tranche T
- $\rho_i(z)$ est la densité à la profondeur z de la paire de stations i
- \vec{u}_i est la vitesse géostrophique (barocline + barotrope) de la paire de stations i
- \vec{n} est la normale entrante dans la boîte
- di est la distance entre les deux stations de la paire i
- A_h représente l'aire associée à la limite haute de la tranche calculée sur toute la boîte
- A_b représente l'aire associée à la limite basse de la tranche calculée sur toute la boîte
- W_h est la vitesse verticale de la limite haute de la tranche T
- W_b est la vitesse verticale de la limite basse de la tranche T
- \vec{w} est le vecteur unitaire de la vitesse verticale positif vers le haut
- $\overline{\rho(z_h)}$ est la densité moyenne à la profondeur z_h calculée sur toute la boîte
- $\overline{\rho(z_b)}$ est la densité moyenne à la profondeur z_b calculée sur toute la boîte

Pour la dernière tranche, la vitesse verticale de la limite basse correspond à la vitesse verticale du fond. Par conséquent, pour la dernière tranche, on peut poser : $W_b = 0$. A partir de l'expression (4), on peut alors en déduire la vitesse verticale haute (W_h) pour la dernière tranche. Les tranches d'eau étant consécutives, la vitesse verticale haute de la

tranche T correspond à la vitesse verticale basse de la tranche (T-1) précédente. On peut alors calculer la vitesse verticale haute de la tranche (T-1). En répétant le principe de proche en proche, on détermine les vitesses verticales hautes de toutes les tranches.

9.3.12 contrainte_equateur

Cette subroutine permet de prendre en compte les contraintes de transport définies par l'utilisateur pour une zone équatoriale (cf.§2.3.4).

9.3.13 contrainte_surf_fond

Cette subroutine permet de prendre en compte les contraintes surface-fond de conservations de propriétés (conservation de la masse, de la salinité, ...etc).

9.3.14 contrainte_tranche

Cette subroutine permet de prendre en compte les contraintes tranches de conservations de propriétés (conservation de la masse, de la salinité, ...etc)..

9.3.15 contrainte_user

Cette subroutine permet de prendre en compte d'autres contraintes de transports définies par l'utilisateur (cf. §2.3.4).

9.3.16 correl_vit_traceur

Cette subroutine permet de corréliser un paramètre (salinité, température potentielle, paramètre chimique, ...etc) avec la densité et la vitesse géostrophique. Les paramètres corrélés sont ensuite utilisés pour l'écriture des contraintes de conservation.

9.3.17 cumul_traceur

Cette subroutine permet de cumuler les traceurs (densité, salinité, température potentielle, paramètre chimique) et les gradients associés pour chaque limite haute de tranche sur l'ensemble des paires de stations de la boîte.

Cette subroutine permet également de calculer la moyenne du traceur pour chaque tranche d'eau pour la paire de stations en cours.

9.3.18 cree_fic_boite

Cette subroutine permet de créer les fichiers résultats associés aux boîtes (cf. §6).

9.3.19 cree_fic_global

Cette subroutine permet de créer des fichiers temporaires utiles à la génération des fichiers résultats globaux (cf. §6).

9.3.20 det_tranche

Cette subroutine permet de déterminer les profondeurs (les pressions plus exactement) associées aux limites hautes et basses des tranches d'eau définies par l'utilisateur.

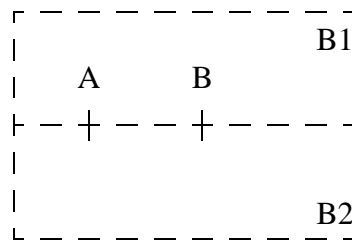
9.3.21 det_unknown

Cette subroutine permet de déterminer le nombre d'inconnues de l'inversion pour l'ensemble des boîtes. Elle permet également d'affecter un signe (-1/+1) aux inconnues de vitesses géostrophiques et/ou transports équatoriaux.

On parcourt l'ensemble des boîtes. A chaque nouvelle paire de stations, on rajoute en inconnue la vitesse géostrophique au niveau de référence. Dans le cas d'une paire de stations située à l'équateur, la vitesse géostrophique ne pouvant être calculée, on pose alors en inconnues le transport associé à chaque tranche d'eau définie par l'utilisateur.

On pose également comme inconnue le coefficient de diffusion associé à chaque interface de tranche.

Dans le cas où une paire de stations est commune à diverses boîtes, il est nécessaire de déterminer un signe. Soit P une paire de stations communes à 2 boîtes B1 et B2. P est définie par les stations (A,B) et un coefficient (le coefficient (-1/+1) est positionné par l'utilisateur de sorte que le terme (coefficient * vitesse géostrophique) soit positif entrant dans la boîte (cf. §4.4)). L'inconnue vitesse géostrophique de P doit être identique pour B1 et B2. On a donc une et une seule inconnue pour la vitesse géostrophique de P pour les 2 boîtes. En inconnue, on pose la vitesse géostrophique de P pour la première boîte où P a été définie (soit ici B1).



Si l'inconnue vitesse géostrophique de P est positive pour B1 (c'est-à-dire que la vitesse entre dans B1), elle doit être considérée négative (sortant de la boîte) pour B2. D'où l'utilité de définir un signe.

Pour la première boîte où la paire P est définie, le signe vaut +1. Pour les boîtes suivantes comprenant P, le signe vaut -1 si les coefficients de P dans B1 et B2 sont opposés. Le signe vaut +1 sinon.

9.3.22 erreur_alloc

Cette subroutine affiche un message à l'utilisateur pour le prévenir d'un problème d'allocation mémoire.

9.3.23 init_cz

Cette subroutine initialise la matrice de corrélation d'erreur des vitesses géostrophiques et transports équatoriaux (matrice de covariance des vitesses). Actuellement, seuls les éléments diagonaux de la matrice sont différents de 0.

9.3.24 `init_mat_M`

Cette subroutine initialise la matrice M (cf. §9.3.5) permettant de calculer les erreurs sur les transports horizontaux.

9.3.25 `init_mat_M_vit_vert_haute`

Cette subroutine initialise la matrice M permettant de calculer les erreurs sur les transports verticaux.

9.3.26 `inverse`

C'est le programme principal. Ci-dessous une brève description des variables les plus importantes :

- ❑ `nb_unknown` :
Nombre d'inconnues (vitesses géostrophiques au niveau de référence, transports équatoriaux, coefficients de diffusion)
- ❑ `nb_contrainte` :
Nombre de contraintes à respecter définies par l'utilisateur
- ❑ `xz` :
Vecteur inconnues avant inversion (valeurs a priori)
- ❑ `xk` :
Vecteur inconnues après inversion
- ❑ `ix_ur` :
Variable liée aux inconnues de vitesse géostrophique au niveau de référence.
`ix_ur(num_paire)` : Indice dans le vecteur `xz` et/ou `xk` de la vitesse géostrophique au niveau de référence pour la paire de stations `num_paire`.
- ❑ `ix_transport_couche` :
Idem que `ix_ur` mais pour les inconnues de transports équatoriaux.
- ❑ `ix_kv` :
Idem pour les coefficients de diffusion.
- ❑ `residu` :

Résidu des contraintes. L'inversion cherche donc à minimiser cette quantité.

❑ *cz* :

Matrice de covariance d'erreur sur les vitesses géostrophiques avant inversion

❑ *cstar* :

Idem après inversion

❑ *ct* :

Matrice de covariance d'erreur sur les contraintes

❑ *F* :

Matrice principale de l'inversion.

9.3.27 *lisgoa*

Cette subroutine permet de lisser un tableau via l'utilisation d'un filtre gaussien.

9.3.28 *maj_contrainte_surf_fond*

Cette subroutine permet de mettre à jour les variables utiles à l'inversion afin de prendre en compte les contraintes de conservation *surface_fond*.

9.3.29 *maj_contrainte_tranche_SCchim*

Cette subroutine permet de mettre à jour les variables utiles à l'inversion afin de prendre en compte les contraintes de conservation par tranche pour les paramètres autres que le volume et la masse.

9.3.30 *maj_contrainte_tranche_VM*

Cette subroutine permet de mettre à jour les variables utiles à l'inversion afin de prendre en compte les contraintes de conservation par tranche pour le volume et la masse.

9.3.31 nivref

Cette subroutine permet de déterminer la profondeur (la pression plus exactement) associé au niveau de référence pour la paire de stations en cours.

9.3.32 paire_geometrie

Cette subroutine calcule diverses caractéristiques de la paire de stations (AB) en cours :

- distance entre les 2 stations de la paire
- angle formé par la perpendiculaire positive à (AB) par rapport à l'est
- coefficient d'aire pour chaque profondeur
- latitude et longitude moyenne

9.3.33 test_an

Cette subroutine permet de tester la validité des années fournies par l'utilisateur dans le fichier en entrée de l'inversion pour l'option [Vents] lors de l'utilisation des vents ERS moyennés (sur des dates consécutives et/ou sur des dates non consécutives).

9.3.34 test_mois

Cette subroutine permet de tester la validité des mois fournis par l'utilisateur dans le fichier en entrée de l'inversion pour l'option [Vents] lors de l'utilisation des vents Hellerman ou ERS moyennés.

9.3.35 transport

Cette subroutine effectue tous les calculs préliminaires à l'inversion.

9.3.36 transport_ekman

Cette subroutine calcule le transport ekman (en terme de volume).

9.3.37 transport_ekman_traceur

Cette subroutine calcule le transport d'ekman pour la masse, la salinité, la chaleur ainsi que pour les paramètres chimiques.

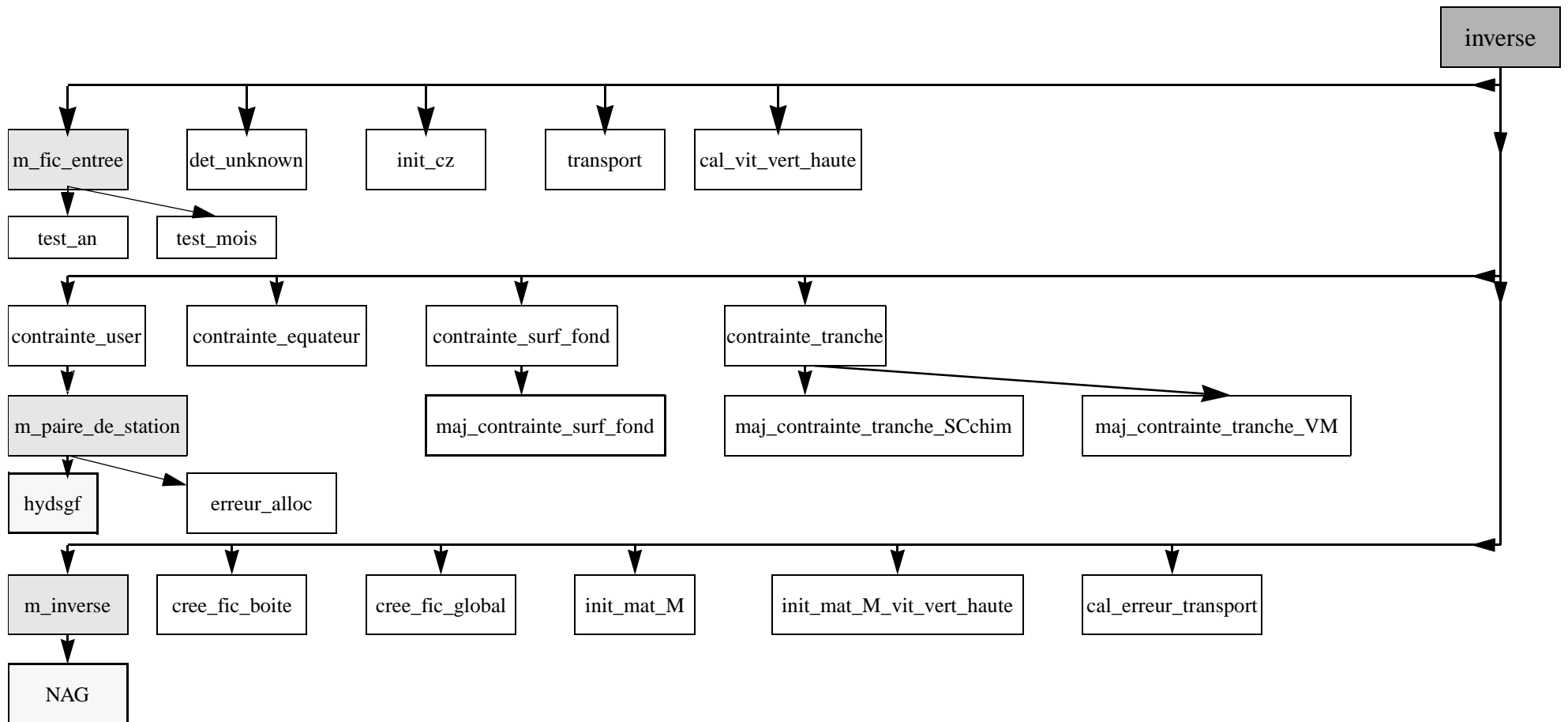
9.3.38 vitgeo

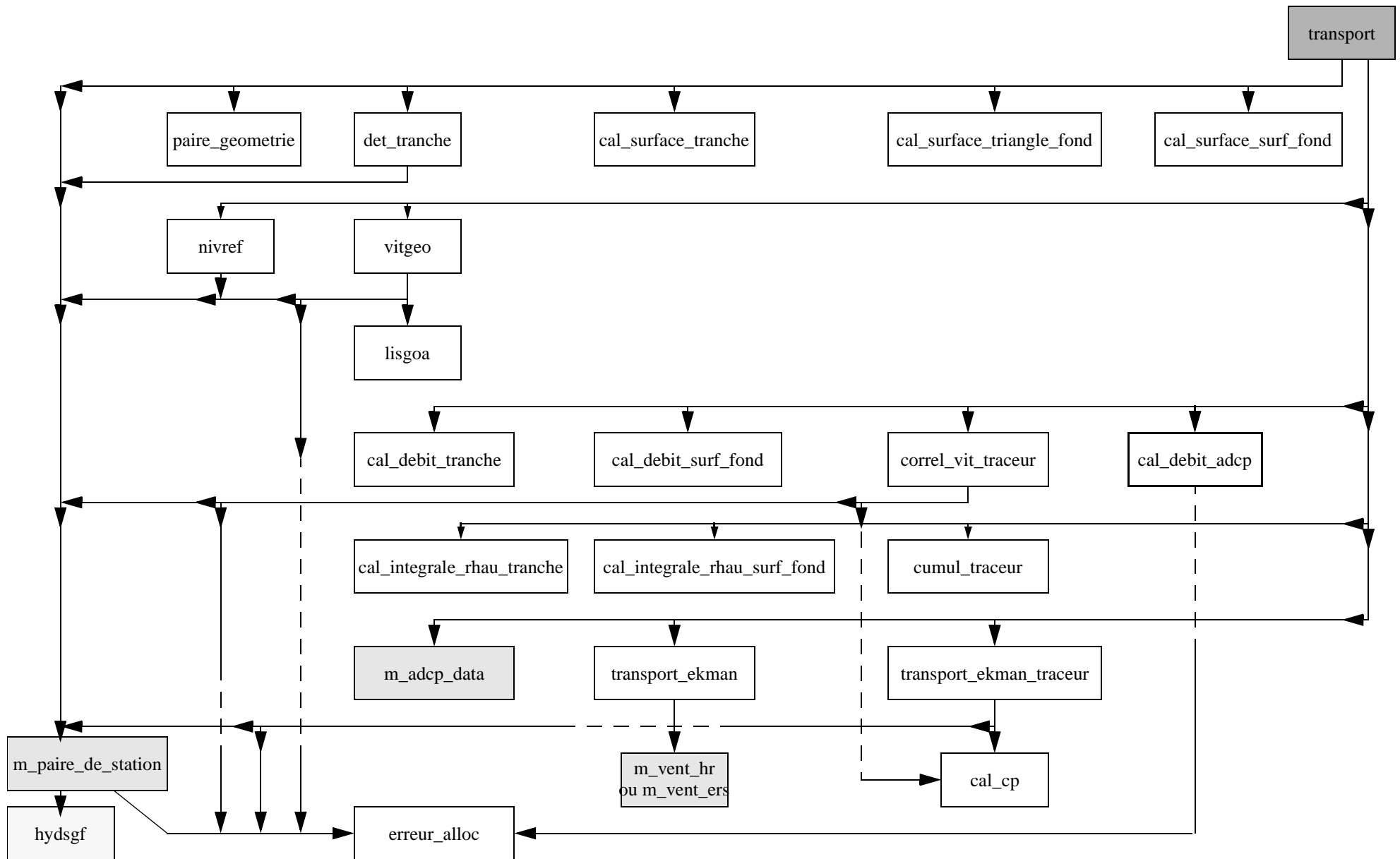
- Cette subroutine calcule la vitesse géostrophique pour une paire de stations. A la sortie de cette subroutine, la vitesse géostrophique au niveau de référence vaut 0 et la convention de signe est telle que, pour une paire de stations composée des 2 stations A et B, le vecteur unitaire \vec{n} définissant une valeur positive de la vitesse est donné par la formule :

$$(\vec{AB}, \vec{n}) = \pi/2$$

9.4 Organigrammes

Les organigrammes d'appel relatifs au programme principal 'inverse' et à la subroutine 'transport' sont présentés ci-après.





10 - Tracés

Afin d'exploiter les résultats du programme d'inversion, quelques scripts matlab de visualisation sont disponibles sous le répertoire **/home2/doelan/chemon/geostrophie/inv/matlab**. Certains de ces scripts utilisent le script matlab `continent.m` situé sous **/home2/doelan/chemon/trace/matlab**.

Il est à noter que l'utilisateur doit faire attention au(x) fichier(s) en entrée des scripts. En effet, pour les fichiers boîte, les vitesses sont données positives lorsqu'elles sont entrantes dans la boîte. Dans les fichiers globaux, la convention de signe est telle que, pour une paire de stations composée des 2 stations A et B, le vecteur unitaire \vec{n} définissant une valeur positive de la vitesse est donné par la formule : $(\overrightarrow{AB}, \vec{n}) = \pi/2$

10.1 Tracé des boîtes

A partir de fichiers boîte «.deb» (ou «.deb.inv») sélectionnés par l'utilisateur, le script **trace_multi_boite.m** permet de positionner les stations des paires constituant ces boîtes dans un cadre géographique.

10.2 Tracé des débits cumulés le long des boîtes

A partir d'un fichier boîte «.deb» (ou «.deb.inv») sélectionné par l'utilisateur, le script **transport_tranche.m** permet de visualiser le transport cumulé le long de cette boîte pour chaque tranche d'eau.

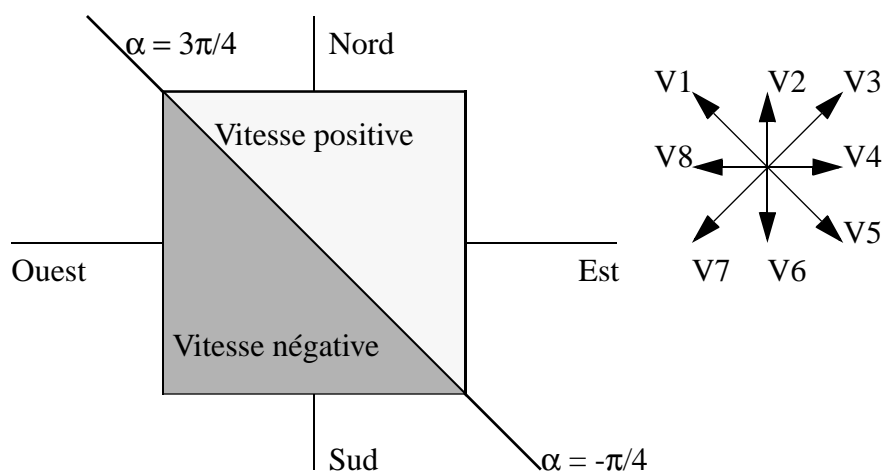
10.3 Tracé des vecteurs vitesse géostrophique

A partir d'un fichier boîte «.vit» (ou «.vit.inv») sélectionné par l'utilisateur, le script **vecteur_vit_boîte.m** permet de tracer les vecteurs vitesse géostrophique des paires de stations constituant cette boîte dans un cadre géographique.

A partir du fichier global «.vit» (ou «.vit.inv»), le script **vecteur_vit.m** permet à l'utilisateur de tracer les vecteurs vitesse géostrophique des paires de stations qui l'intéressent dans un cadre géographique.

10.4 Tracé de contourage de vitesse géostrophique

A partir d'un fichier boîte «.vit» (ou «.vit.inv») sélectionné par l'utilisateur, le script **contour_vit_boîte.m** permet de contourer les vitesses géostrophiques le long de cette boîte. Il est à noter que la convention de signe (convention géographique) est automatiquement déterminée par le script de la manière illustrée par le schéma ci-après :



Ainsi, les vecteurs vitesse V1 à V5 (resp. V6 à V8) sont donnés positifs (resp. négatifs).

A partir du fichier global «.vit» (ou «.vit.inv»), le script **contour_vit.m** permet à l'utilisateur de contourer les vitesses géostrophiques des paires de stations qui l'intéressent. Par défaut, la convention de signe est identique à ci-dessus. Néanmoins, l'utilisateur peut, s'il le souhaite, imposer sa propre convention de signe. Pour ce faire, il doit créer un fichier d'extension «.user» comportant :

- ❑ le nombre N de lignes
- ❑ N lignes comprenant :
 - le numéro de la première paire de stations
 - le numéro de la dernière paire de stations. Ce numéro peut être inférieur ou supérieur au numéro ci-dessus.
 - le coefficient (-1/1) à appliquer à la vitesse géostrophique de l'ensemble de ces paires de stations afin d'obtenir la convention géographique souhaitée par l'utilisateur. On rappelle que dans le fichier global, la convention de signe est telle que, pour une paire de stations composée des 2 stations A et B, le vecteur unitaire \vec{n} définissant une valeur positive de la vitesse est donné par la formule :
$$(\vec{AB}, \vec{n}) = \pi/2$$