



**enssib**  
Ecole Nationale Supérieure  
des Sciences de l'Information  
et des Bibliothèques



Université  
Claude Bernard  
Lyon I

**DESS Informatique Documentaire**

**Rapport de recherche bibliographique**

# **Transferts de chaleur par convection et dynamique interne de la Terre**

**Cécile DAGUILLANES**

Sous la direction de

**Monsieur Jean-Marc LARDEAUX**

**Laboratoire de Pétrologie et Tectonique à l'Université Claude Bernard - Lyon I**

**Année 1997-1998**

# **Transferts de chaleur par convection et dynamique interne de la Terre**

Cécile Daguillanes

## **RESUME :**

La convection est un transfert de chaleur par mouvement physique des molécules d'un endroit à un autre ; le fluide chaud et moins dense remonte, le fluide froid et plus dense plonge.

Ce phénomène intervient dans différents niveaux terrestres, en particulier dans le manteau. Cette étude présente quelques hypothèses émises sur la stratification de la convection et sur son influence sur la dynamique interne de la Terre.

## **DESCRIPTEURS**

convection, chaleur, transfert de chaleur, lithosphère, asthénosphère, manteau, noyau.

## **ABSTRACT**

Convection is a transfer of heat by the physical movement of molecules from one place to another ; hot, less-dense fluid rises and cool denser fluid sinks.

This phenomenon occurs in different earth's levels, particularly in the mantle. This study presents some hypothesis expressed about layered convection and its influence on Earth's dynamics.

## **KEYWORDS**

convection, heat, heat transfer, lithosphere, asthenosphere, mantle, core.

# SOMMAIRE

## PREMIERE PARTIE : METHODE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE \_\_\_\_\_ p.5

### I. Travail préliminaire \_\_\_\_\_ p.5

### II. Les différentes recherches effectuées et les résultats obtenus \_\_\_\_\_ p.5

#### *II.1. Recherche sur CD-ROM \_\_\_\_\_ p.5*

##### *III.1.1. Recherche sur Pascal \_\_\_\_\_ p.6*

##### *IV.1.2. Recherche sur INSPEC \_\_\_\_\_ p.7*

#### *II.2. Recherche sur Internet \_\_\_\_\_ p.7*

#### *II.3. Recherche sur le serveur Dialog \_\_\_\_\_ p.10*

##### *III.3.1. Choix des bases de données à consulter \_\_\_\_\_ p.11*

##### *IV.3.2. Les équations de recherche et les résultats \_\_\_\_\_ p.11*

#### *II.4. Les références tirées des documents primaires \_\_\_\_\_ p.13*

### III. Evaluation du temps et du coût de la recherche \_\_\_\_\_ p.13

### IV. Conclusion \_\_\_\_\_ p.15

## DEUXIEME PARTIE: SYNTHESE \_\_\_\_\_ p.16

### I. Introduction \_\_\_\_\_ p.16

#### 1) Les transferts de chaleur \_\_\_\_\_ p.16

#### 2) Les méthodes d'observation et les méthodes expérimentales \_\_\_\_\_ p.16

##### 2.1. La tomographie \_\_\_\_\_ p.16

##### 2.2. Le géoïde \_\_\_\_\_ p.16

##### 2.3. Les calculs des super-ordinateurs \_\_\_\_\_ p.17

#### 4) La structure interne de la Terre. Les différents niveaux terrestres \_\_\_\_\_ p.17

<b>II.La convection dans le noyau terrestre. Limite noyau-manteau.</b>	
<b>Le manteau inférieur</b>	<b>p.18</b>
1) L'influence de la convection sur le champ magnétique terrestre	<b>p.18</b>
2) L'apparition de panaches de matière chaude	<b>p.19</b>
<b>III.La convection dans le manteau: est-elle stratifiée?</b>	<b>p.20</b>
1) L'influence des zones de transition	<b>p.20</b>
2) L'influence de la viscosité et de la profondeur	<b>p.21</b>
3) L'influence de la tectonique des plaques	<b>p.22</b>
<b>IV.La convection à petite échelle dans la lithosphère océanique</b>	<b>p.22</b>
<b>V.La pénétration des descentes de matière dans le manteau</b>	<b>p.23</b>
<b>VI.Conclusion</b>	<b>p.24</b>
<b>TROISIEME PARTIE : BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>p.25</b>

# PREMIERE PARTIE : METHODE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Travail préliminaire

Il a fallu tout d'abord cerner le sujet demandé par mon commanditaire M.Lardeaux : pour cela , celui-ci m'a fourni quatre articles de périodiques ( [100], [150], [151] ) qui m'ont permis de trouver des mots-clés, de me fournir du vocabulaire et des résumés synthétiques intéressants pour débiter ma recherche.

De plus, deux ouvrages m'ont donné des notions de géophysique générale, de traitement mathématique de la convection etc... Voici leurs références :

**Boillot, G.** .*La dynamique de la lithosphère - Une introduction à la géologie.* Masson, Enseignement des Sciences de la Terre.

**Fowler, C.M.R.** . *The solid Earth. An introduction to global geophysics.* Cambridge University Press.

## II. Les différentes recherches effectuées et les résultats obtenus

Ces différentes phases de recherche ne sont pas présentées historiquement mais par type de ressources bibliographiques utilisées. On remarquera donc que les descripteurs utilisés seront plus ou moins nombreux suivant les recherches : en effet au début de ma recherche, je m'étais limitée à la convection asthénosphérique et mantélique. Après quelques discussions avec mon commanditaire, nous avons envisagé le phénomène convectif dans les différents niveaux terrestres ; deux nouveaux descripteurs sont alors apparus : le noyau terrestre et la lithosphère.

En outre, je me suis aperçu lors de mes interrogations de bases de données en ligne que ce sujet d'étude est assez vaste de sorte que le nombre de publications touchant ce domaine est très important. Donc, en accord avec mon commanditaire, j'ai choisi de chercher des documents publiés à partir de 1994 jusqu'à aujourd'hui.

### II.1. Recherche sur CD-ROM

Le critère de sélection des CD-ROM a été assez simple puisqu'il s'est limité à ceux qui se trouvent à l'Enssib ( Pascal ) et à Doc Insa ( Inspec ). Ces deux CD-ROM ont l'avantage d'être assez généralistes en sciences exactes ou appliquées, et leur interrogation est gratuite : on peut donc élargir au maximum notre de champ de recherche en utilisant un minimum de descripteurs et d'opérateurs booléens ; ils permettent également de tester les critères de recherche employés et de les affiner pour une recherche sur base de données en ligne plus précise et beaucoup plus coûteuse.

## II. 1.1. Recherche sur Pascal

L'utilisation de ce CD-ROM présent à la Bibliothèque Universitaire de Lyon I m'a permis de m'exercer sur l'interrogation de bases de données et de cerner les mots-clés pertinents pour ma recherche.

Pour entrer les critères de recherche, j'ai utilisé le préfixe LI qui indique qu'il faut rechercher dans les champs Titre, Résumé et Descripteur. Le préfixe TD indique les types de documents recherchés ( PER pour périodique, CON pour acte de conférence ou de congrès, THE pour thèse).

Voici l'équation de recherche utilisée :

LI = convect\* ET (LI = mantle OU LI = asthenosphere) ET LI = heat ET (TD = PER OU TD = CON OU TD = THE)

\* est un opérateur de troncature

J'ai également utilisée la traduction de cette équation en français car la base de données Pascal est bilingue ( anglais et français):

LI = convect\* ET (LI = manteau OU LI = asthenosphere) ET LI = chaleur ET (TD = PER OU TD = CON OU TD = THE)

Voici les résultats de ces recherches:

CD-ROM	1994	1995	1996	1997
Résultats de la question en anglais			15	14
Réponses pertinentes	0	0	13	11
Résultats de la question en français	0	0	10	7
Réponses pertinentes			6	6

Les références non retenues concernent la convection hydrothermale dans les océans ainsi que sur d'autres planètes. Malheureusement il est impossible de restreindre la recherche à la Terre car il n'y a aucun descripteur y faisant référence ; de plus le mot Terre n'est pas indiqué dans certains titres et résumés, on a donc un risque de perte d'informations.

Par ailleurs, il apparaît des doublons entre les questions posées en anglais et celles posées en français. Je ne les ai pas enlevés dans la comptabilisation des références pertinentes.

Après examen de mes références par mon commanditaire, il s'est avéré que certains noms de chercheurs n'apparaissaient pas. J'ai donc fait une interrogation sur un auteur:

AU = Ricard Y

En interrogeant sur les CD-ROM de 1994 à 1997, 7 réponses sont apparues, dont 2 sont pertinentes.

### II. 1.2. Recherche sur INSPEC

Cette interrogation a été effectuée à Doc Insa sur le campus de la Doua.  
Voici l'équation de recherche utilisée :

convect ? AND ( mantle OR core OR asthenosphere OR lithosphere) AND heat

Ici, on n'a pas besoin d'un préfixe particulier pour indiquer que la recherche se fait dans les champs Titre, Résumé et Descripteurs.

Les résultats sont recueillis dans le tableau suivant :

Cd-Rom	1994	1995	1996	1997
Nbre réponses	61	63	58	51
Réponses pertinentes	48	15	42	16
Bruit (%)	21,3%	76,2%	27,6%	68,6%

**Remarques :** Sont comptés dans les références pertinentes, les doublons avec les références trouvées par l'intermédiaire d'Internet ou du serveur de bases de données Dialog.

En outre, pour le CD-ROM référençant les publications de l'année 1994, l'équation de recherche précédemment citée a fait apparaître un nombre trop important de références non pertinentes : elles traitaient en particulier des problèmes de réacteurs nucléaires car le mot *core* en anglais veut dire non seulement le noyau terrestre mais aussi un cœur nucléaire. Il m'a donc paru indispensable de restreindre la recherche en ajoutant dans l'équation de recherche la pondération suivante :

NOT (nuclear OR reactor)

Les critères de sélection des références pertinentes ont été choisis avec M.Lardeaux car certains documents relèvent de procédés expérimentaux en Physique pure qui ne sont pas forcément applicables en Géophysique.

### II. 2. Recherche sur Internet

Le seul moteur de recherche utilisé a été Altavista dont voici l'adresse électronique :  
<http://www.altavista.digital.com>

J'ai utilisé le formulaire de recherche avancé pour entrer mes équations de recherche.  
Voici la première équation pertinente qui a été utilisée pour ce sujet :

convect\* and (mantle or asthenosphere) and heat

1919 sites ont été répertoriés

Puis l'utilisation de la fonction *refine* permet d'exclure ou d'inclure dans la recherche des concepts récurrents à toutes ces pages web.

Pour cette équation, j'ai choisi d'exclure de la recherche les concepts suivants:

- magma, volcanic, basaltic, basalt, eruption
- igneous, sedimentary, metamorphic, rocks
- hydrothermal, paleomagnetic
- basalts, magmatic, isotopic
- seismic, earthquakes
- olivine, pyroxene
- paleomagnetism, geomagnetism, biogeochemical
- geochemistry, geochronology, petrology
- silicate, accretion, melting
- faulting, orogenic

Après cette opération 320 sites ont été répertoriés.

Voici la deuxième équation de recherche utilisée:

convection and mantle and (heat or thermal) transfer

Cette recherche donne 369 sites en réponse.

J'ai de nouveau utilisé la fonction *refine*; voici les concepts qui ont été exclus:

- yuen, truhlar, umsi, supercomputing, incompressible
- inelastic, bosons, superlattices
- scattering, magnetohydrodynamic, magnetospheres
- mesons, brillouin, resonances
- masers, phosphorescence, relaxations
- decays, semileptonic
- nitrides, carbides, superfluid

Ici, 232 sites ont été sélectionnés.

Il est apparu un nom de chercheur, *Yuen*, que j'ai d'abord décidé d'exclure de la recherche.

Après quelques consultations de sites et de références d'articles, j'ai constaté que le professeur David Yuen avait écrit beaucoup d'articles concernant la convection. J'ai donc décidé d'écrire l'équation de recherche suivante :

Yuen and geophysics,

qui fait apparaître 295 sites.

Après avoir utilisé la fonction *refine*, en sélectionnant Yuen et en excluant quelques termes ( vipin, lilja, candler, engineering aerospace), 131 sites ont été répertoriés.

La plupart de ces sites, trouvés grâce aux trois équations de recherche, proviennent des États-Unis où beaucoup de laboratoires de recherche en géologie, géophysique, pétrologie... possèdent leurs propres pages web incluses sur les sites de leurs universités respectives. Ces pages présentent les différentes recherches engagées par les laboratoires, les chercheurs impliqués qui, par des liens hypertexte, peuvent présenter leur cursus ainsi que la liste de leurs publications. Ces pages sont donc une très grande ressource bibliographique et également permettent de se procurer des résumés d'articles.

On trouve encore sur ces sites des liens très intéressants vers différents laboratoires de recherche dans le monde ayant les mêmes thèmes d'études.

Voici une liste de ces sites (ces adresses électroniques réfèrent aux pages où j'ai trouvé des références de documents concernant mon sujet) :

><http://chaos.ph.utexas.edu/entire.html#Convection>

><http://karel.troja.mff.cuni.cz/staff/matyska.html>

<http://karel.troja.mff.cuni.cz/publications.html>

<http://karel.troja.mff.cuni.cz/progress.html>

( Charles University, Prague/ Department of Geophysics )

><http://saturn.uni-muenster.de/work/publist.html>

( site de l'université de Münster/ Institut für Planetologie )

><http://www.umn.edu/safl/zhang/zhang.html>

( University of Minnesota )

><http://banzai.msi.umn.edu/vitae.html>

<http://www2.msi.umn.edu/Reports/96.html>

( University of Minnesota Supercomputing Institute )

><http://lgit.obs.ujf-grenoble.fr/~hcnataf/biblio.html>

( Université Joseph Fourier Grenoble/ Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique )

><http://www.students.uiuc.edu/~w-mantle/resume.html>

( University of Illinois, Urbana )

><http://www.missouri.edu/~geolliu/Research/mantle.html>

( University of Missouri-Columbia/ Department of Geological Sciences )

><http://earth.agu.org/revgeophys/duffy01/node10.html>

( American Geophysical Union )

><http://anusf.anu.edu.au>

( Australian National University )

Un bulletin de recherche de l'Université du Minnesota a été trouvé grâce à ces équations et est directement accessible sur Internet ( réf. [216] ). Voici son adresse électronique :

<http://www2.msi.umn.edu/Bulletins/Vol.12-No.2/Wntr95-96.html>

J'ai également trouvé un site où la base de données Géoref est directement accessible. Cette base se trouve sur le site de l' American Geological Institute :

><http://ju.umd.edu/agi/agi.html>

Il est possible d'interroger cette base à l'aide de descripteurs dans le texte intégral. On accède alors à une liste de références avec leurs résumés.

J'ai posé la question la plus large possible avec le descripteur convection.

44 réponses ont été données dont 16 sont pertinentes et que je n'ai pas retrouvé en interrogeant la base Georef par l'intermédiaire du serveur Dialog.

Le nombre de références trouvées grâce à Internet est de 82.

### ***II.3. Recherche sur le serveur Dialog***

#### *II.3.1. Choix des bases de données à consulter*

Ce choix s'est fait grâce à l'index des bases de données Dialog appelé Dialindex.

Ce fichier porte le n°411, on s'y connecte avec la commande Begin : B 411

Par l'intermédiaire du catalogue papier de Dialog, j'ai choisi deux catégories de recherche concernant mon sujet qui sont :

Geology représenté par l'acronyme GEOLOGY, et Geophysics représenté par l'acronyme GEOPHYS.

On utilise dans Dialindex de la commande Set Files (SF) suivie des acronymes :

SF GEOLOGY, GEOPHYS

Dialindex nous donne ensuite les bases de données relatives à ces thèmes de recherche.

Pour mon sujet, j'ai trouvé treize bases dont voici un bref exposé :

#### **Aerospace Database ( 108 )**

Cette base présente des références et des résumés concernant la recherche pure et appliquée en aéronautique, astronautique et en sciences de l'espace mais aussi des données en développement technologique et leurs applications dans leurs domaines concernés.

#### **AESIS (105)**

Australia's Geoscience, Mining and Petroleum Database

#### **Ei Compendex ( 8 )**

Une très grande couverture des sciences de l'ingénieur et des technologies qui inclut l'informatique et la robotique.

#### **GeoArchive ( 58 )**

Un index de la littérature couvrant tous les aspects des géosciences avec une spécialisation sur la géologie en économie, l'hydrologie, les ressources en eau et l'environnement.

#### **GEOBASE ( 292 )**

Une couverture internationale de la littérature concernant la géographie, la géologie et leurs disciplines attachées.

**GeoRef ( 89 )**

Un index mondial sur la littérature technique liée à la géologie et la géophysique.

**INSPEC ( 2 )**

Des informations sur la littérature liée à la physique, l'électronique, l'informatique et les technologies de l'information.

**JICST-Eplus ( 94 )**

Japanese Science & Technology

**Meteorological and Geostrophysical Abstracts ( 29 )**

Citations des plus importantes recherches en météorologie et en géostrophysique.

**NTIS : National Technical Information Service ( 6 )**

Les résultats des recherches financées par le gouvernement américain dans les domaines des sciences de l'ingénieur, de la recherche et du développement.

**PASCAL ( 144 )**

Une base de données multidisciplinaire où se trouvent des résumés de la littérature en sciences de la vie, en sciences physiques et en sciences de l'ingénieur. En anglais et en français avec des mots-clés en espagnol.

**SciSearch ( 434 )**

Un index multidisciplinaire de la littérature internationale couvrant les sciences et technologies et tous les aspects des sciences pures et appliquées.

**SPIN ( 62 )**

Une couverture des principaux domaines en physique, en physique théorique et statistique, en astronomie, astrophysique, en géophysique. Ces données sont tirées d'une sélection mondiale des principaux journaux traitant de physique et de conférences.

*II. 3.2. Les équations de recherche et les résultats*

L'interrogation s'est faite sur les treize bases simultanément. A chaque recherche, j'ai utilisé la fonction RD ( remove duplicates ) pour supprimer les doublons éventuels entre ces bases de données.

L'interrogation porte sur les champs Titre, Résumé et Descripteurs, c'est-à-dire que l'on n'emploie ni préfixes, ni suffixes.

Lors de la première interrogation, j'ai essayé d'utiliser des termes très précis et peut-être un peu réducteurs vu l'étendue de mon sujet, et ainsi tester le nombre de références recueillies.

Voici cette première équation de recherche :

S1 = S convect ?

S2 = S upper(W)mantle OR asthenosphere

S3 = S (heat or thermal)(W)transfer

S4 = S py>1994

$$S5 = S S1 \text{ and } S2 \text{ and } S3 \text{ and } S4$$

py>1994 indique que l'année de publication doit être égale ou supérieure à l'année 1994.

? indique une troncature illimitée à droite.

(W) est l'opérateur de proximité entre deux termes ( ici on impose aucun terme entre upper et mantle, et entre (heat or thermal) et transfer).

L'opérateur booléen OR indique la réunion, ET indique l'intersection.

La recherche a donné 11 références.

Puis j'ai décidé de ne pas restreindre la recherche au manteau supérieur mais à tout le manteau terrestre.

Voici la deuxième équation de recherche :

$$\begin{aligned} S1 &= S \text{ convect ?} \\ S2 &= S \text{ mantle or asthenosphere} \\ S3 &= S \text{ ( heat OR thermal )(W)transfer} \\ S4 &= S \text{ py}>1994 \\ S5 &= S S1 \text{ and } S2 \text{ and } S3 \text{ and } S4 \end{aligned}$$

Cette recherche a donné 73 références.

Puis, après discussions avec mon commanditaire, il a fallu envisager la convection dans la lithosphère et dans le noyau terrestre.

Voici la troisième équation :

$$\begin{aligned} S1 &= S \text{ convect ?} \\ S2 &= S \text{ lithosphere OR core} \\ S3 &= S \text{ (heat OR thermal)(W)transfer} \\ S4 &= S \text{ py}>1994 \\ S5 &= S S1 \text{ and } S2 \text{ and } S3 \text{ and } S4 \end{aligned}$$

Cette recherche a donné 220 références, ce qui est beaucoup trop important.

En visualisant les première références, j'ai remarqué qu'il y avait beaucoup de bruit autour du terme *core* ; donc , comme pour la recherche sur Inspec en CD-ROM j'ai décidé de restreindre la recherche avec l'opérateur booléen NOT :

$$\begin{aligned} S6 &= S \text{ NOT (nuclear OR reactor)} \\ S7 &= S5 \text{ and } S6 \end{aligned}$$

On trouve alors 178 références.

Celles-ci ont été téléchargées sous le format 8, qui, dans certaines bases, indique les titres et l'indexation des références. J'ai pu ainsi retenir 32 références intéressantes, téléchargées ensuite sous le format 5, c'est-à-dire en full text.

Après l'élaboration de la première bibliographie, M.Lardeaux a trouvé que les noms de certains chercheurs et de leurs travaux n'y étaient pas cités. J'ai donc engagé une nouvelle recherche avec uniquement le nom de l'auteur recherché :

S1 = S au = Rabinowicz

S2 = S py>1994

S3 = S S1 and S2

Malheureusement aucune référence n'a été trouvée.

En cas de faute d'orthographe dans le nom de l'auteur, je fais une autre recherche avec une troncature à droite :

S1 = S au = Rabinowic ?

S2 =n S py>1994

S3 = S S1 and S2

On trouve finalement 62 références.

Puis en les téléchargeant en full text, bizarrement le nom de Rabinowicz apparaît sous l'orthographe initiale. Après vérification des équations de recherche, j'obtiens exactement le même résultat. Je suis donc obligée de télécharger les 62 références.

J'en trouve 10 écrites par Rabinowicz dont 4 sont pertinentes.

Dans le tableau suivant sont répertoriées le nombre de références obtenues pour chaque base de données et le bruit constaté.

Base	<b>108</b>	<b>105</b>	<b>8</b>	<b>58</b>	<b>292</b>	<b>89</b>	<b>2</b>	<b>94</b>	<b>29</b>	<b>6</b>
Nbre réponses	1	0	12	4	4	23	2	7	1	0
Réponses pertinentes	0	-	10	2	1	19	1	1	0	-
Bruit (%)	100	-	16,7	50	75	17,4	50	85,7	100	-

Base	<b>144</b>	<b>434</b>	<b>62</b>
Nbre réponses	49	62	13
Réponses pertinentes	13	8	10
Bruit (%)	73,5	87,1	23,1

Remarques : Dans le nombre de références pertinentes, ne sont pas comptés les doublons trouvés par l'intermédiaire d'Internet ou de CD-ROM.

Les références non pertinentes concernaient les réacteurs nucléaires, les expériences non applicables en géophysique, des articles en russe, en japonais et en allemand, des articles traitant de la convection hydrothermale ou de la convection sur d'autres planètes.

#### ***II.4. Les références tirées des documents primaires***

Ces références sont au nombre de 31 et ce chiffre est totalement exhaustif car je n'ai bien évidemment pas pu consulter tous les documents primaires dont j'ai trouvé les références.

Voici la liste des articles d'où proviennent ces références :

[28], [66], [99], [105], [110],[158], [169], [220].

### **III. Evaluation du temps et du coût de la recherche**

Le temps de connexion aux différentes bases ainsi que le nombre de références téléchargées en format 5 sont indiquées dans le tableau suivant, avec leurs coûts respectifs .

Les références sorties en format 8 sont gratuites pour chaque base utilisée.

Base	<b>108</b>	<b>105</b>	<b>8</b>	<b>58</b>	<b>292</b>	<b>89</b>	<b>2</b>
Temps connexion (h)	0,029	0,004	0,057	0,004	0,037	0,17	0,075
Prix/h (\$)	45	60	60	45	60	60	60
Nbre références téléchargées	1	0	12	4	4	23	2
Prix/référence (\$)	1,35	0,95	1,85	1	1,35	0,95	1,85
Coût total (\$)	2,66	0,24	28,53	4,18	8,4	31,54	12,03

Base	<b>94</b>	<b>29</b>	<b>6</b>	<b>144</b>	<b>434</b>	<b>62</b>
Temps connexion (h)	0,03	0,004	0,033	0,45	0,89	0,237
Prix/h (\$)	45	30	45	45	45	30

Nbre références téléchargées	7	1	0	49	62	13
Prix/référence (\$)	1,05	1,25	1,75	1,40	2,10	1,70
Coût total (\$)	8,77	1,37	1,49	96,95	214,31	34,19

Le coût total de la recherche sur Dialog est donc de 445\$ ce qui correspond à environ 2670 F.

Le temps de la recherche sur le CD-ROM Pascal a été de 1 heure ; celui sur Inspec de 3 heures.  
Le temps de connexion sur Internet a été de 8 à 10 heures.

L'acquisition des documents primaires s'est faite dans les lieux suivants :

- la bibliothèque universitaire de Lyon I
- la bibliothèque universitaire de Toulouse III
- la bibliothèque de l'observatoire de Midi-Pyrénées
- le laboratoire de Pétrophysique et Tectonique de Toulouse
- le Prêt entre Bibliothèques

Cinq articles ont été commandés par l'intermédiaire du Prêt Entre Bibliothèques, cela correspond à 210 F.

Environ 200 F. ont été nécessaires pour la reproduction des articles présents aux deux bibliothèques universitaires et au laboratoire de Pétrologie.

Toutes les photocopies exécutées à l'observatoire de Midi-Pyrénées ont été gratuites.

## IV. Conclusion

Cette recherche s'est axée sur le sujet assez vaste des transferts de chaleur par convection envisagés dans tous les niveaux terrestres, le but étant de cibler les différentes théories s'y rapportant.

Après m'être documenté sur le sujet, la première phase de la recherche a été de s'exercer à l'interrogation des bases de données grâce au CD-ROM Pascal. Puis, la recherche sur Internet, assez longue, a pu me fournir un grand nombre de références complété par celles trouvées sur le serveur de bases de données Dialog.

Avec l'aide de mon commanditaire, j'ai pu également compléter mon interrogation avec de nouveaux mots-clés. La recherche sur le CD-ROM Inspec, du fait de sa gratuité, a permis enfin une interrogation assez large et l'obtention de références intéressantes.

Au total 224 références ont été trouvées :

- 215 proviennent de périodiques
- 7 de rapports de recherche
- 8 sont des thèses
- 5 proviennent de livres
- 1 est une référence d'un document consultable sur Internet.

## **DEUXIEME PARTIE: SYNTHESE**

### **I. Introduction**

#### **1) Les transferts de chaleur**

Un flux de chaleur apparaît lorsque on a un gradient de température ( une différence de température) entre deux milieux. Ce flux de chaleur permet alors d'uniformiser la température de ces deux milieux.

Il existe trois formes de flux de chaleur :

- la conduction : c'est le transfert de chaleur dans un milieu matériel sans mouvement de matière
- la convection : c'est le transfert de chaleur dans un milieu matériel avec mouvement de matière
- le rayonnement : c'est le transfert de chaleur sans support matériel.

Tous ces transferts de chaleur se produisent à l'intérieur de la Terre (pas forcément aux mêmes endroits et en même temps). Nous allons ici nous préoccuper de la convection dans les différents niveaux terrestres.

## **2) Les méthodes d'observation et les méthodes expérimentales**

### **2.1. La tomographie**

C'est une technique qui permet d'obtenir, à partir de la transmission d'ondes acoustiques, une image à 3 dimensions de la répartition de la célérité du son au sein d'un volume solide ou fluide et d'en déduire les valeurs des propriétés physiques et chimiques de ce milieu.

En particulier, la tomographie sismique analyse l'amplitude des vitesses de propagation des ondes sismiques le long de trajets entrecroisés à l'intérieur du globe. La tomographie révèle les différences de température et de composition du manteau et permet de visualiser la structure tridimensionnelle du manteau inférieur et du manteau supérieur.

### **2.2. Le géoïde**

Surface représentant la forme de la Terre : elle est définie par une surface équipotentielle du champ de gravité terrestre, c'est-à-dire une surface où la pesanteur est constante ; elle est par définition horizontale et perpendiculaire en tout point à la verticale.

La surface choisie comme référence coïncide avec le niveau moyen des océans, supposés au repos (en l'absence de marées, courants, tourbillons et de tout phénomène météorologique) et se prolonge sous les continents. La surface de l'océan réel est partout à moins d'un mètre du géoïde.

La surface du géoïde est irrégulière avec des creux et des bosses dus aux hétérogénéités de densité de l'écorce terrestre. Cependant le géoïde reste proche d'une surface géométrique simple, l'ellipsoïde de révolution, et présente des ondulations de très grande longueur d'onde (plus de 5000 km) dont l'amplitude est de quelques dizaines de mètres ; ces ondulations sont liées au manteau profond et à la convection thermique.

Le géoïde est donc défini en chaque point par sa distance à l'ellipsoïde de référence.

### **2.3. Les calculs des super-ordinateurs**

D'autres méthodes de compréhension de la dynamique de la Terre grâce aux calculs très puissants réalisés sur ordinateurs qui permettent de résoudre des équations très complexes et d'établir des modèles numériques.

## **3) La structure interne de la Terre. Les différents niveaux terrestres**

La structure interne de la Terre  
(*La dynamique de la lithosphère*, Gilbert Boillot, ed. Masson)

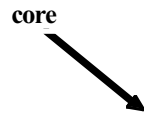


Diagramme schématique montrant les processus intervenant dans le manteau  
(*Physics World*, vol.9, n°5)

rising hot plume : remontée de matière chaude  
descending oceanic slab : descente de matière océanique  
mid ocean ridge : rift  
upper mantle : manteau supérieur  
lower mantle : manteau inférieur

## **II. La convection dans le noyau terrestre. Limite noyau-manteau. Le manteau inférieur.**

### **1) L'influence de la convection sur le champ magnétique terrestre**

A partir d'un modèle du refroidissement du noyau terrestre, on peut reconstituer l'histoire thermique du noyau qui se comporte comme une fonction du temps et du flux de chaleur délivré au manteau à travers la limite noyau-manteau.

La compréhension de ce refroidissement est très importante car elle influe sur la génération du champ magnétique terrestre.

La graine, quant à elle refroidit par conduction. Lorsque la chaleur est extraite du noyau, la température à la frontière graine-noyau diminue, il se produit alors une solidification et une perte de chaleur latente ( en effet lors d'un changement de phase, la température du corps ne varie pas mais il perd ( ou gagne) de la chaleur dite latente.

Tout au long de l'évolution la Terre, la graine, constituée de fer et d'alliages, se solidifie et donc son rayon augmente.

Certains chercheurs [15] ont trouvé que le rayon de la graine a grandi très vite au début : celle-ci ne peut pas être aussi vieille que la Terre. Si elle était plus vieille que 1,7 milliards d'années, sa taille actuelle serait plus grande que celle observée aujourd'hui.

L'âge limite de la graine est obtenue pour des valeurs basses du flux de chaleur à la frontière noyau-manteau. Or on remarque, d'après les calculs, que la quantité de chaleur transmise par conduction dans le noyau est plus importante que la quantité de chaleur quittant le noyau à la frontière noyau-manteau.

Où passe donc cet excès de chaleur ?

Ici les scientifiques émettent plusieurs hypothèses. La plupart d'entre eux supposent que cet excès de chaleur retourne dans le noyau par convection compositionnelle. [9]. Cette convection contribuerait alors au fonctionnement de « la dynamo géomagnétique » (geodynamo).

En effet la Terre possède depuis trois milliards d'années un champ magnétique qui doit être obligatoirement régénéré en énergie sinon il aurait disparu à cause des pertes de chaleur en moins de  $10^5$  années. Le modèle qui explique le mieux le champ magnétique est donc la geodynamo, une dynamo qui produit son propre champ magnétique. Mais un apport d'énergie est nécessaire pour faire fonctionner la dynamo.

Certains supposent que la convection contribuerait alors à cet apport d'énergie: cela est d'autant plus notable que sur Vénus, la convection est très faible et cette planète ne possède ni champ magnétique, ni graine.

Cependant, d'autres hypothèses sont émises [15]. L'excès d'énergie ne retournerait pas dans le noyau par convection, mais contribuerait à la formation d'une couche au sommet du noyau, à travers laquelle la chaleur serait évacuée par conduction. Cette couche serait épaisse de 600 km et serait stable par rapport à la convection compositionnelle. L'apparition d'une telle couche entraînerait un changement de régime dans le mouvement du noyau et générerait le champ magnétique terrestre.

Ce champ est vieux d'environ 3,5 milliards d'années et le mécanisme de la dynamo géodynamique aurait changé deux fois durant cette période ( les pôles se seraient inversés deux fois ): la première fois lorsque la graine a commencé à grossir ( il y a 1,7 milliards d'années ), la deuxième fois lorsque la couche conductrice est apparue au sommet du noyau terrestre [10].

## **2) L'apparition de panaches de matière chaude**

La région se trouvant entre le noyau et le manteau est appelée la couche D" qui est uniquement conductrice de chaleur; une région conductrice séparée par deux zones convectives est appelée une couche-limite thermique. Dans de telles zones, se développent des hétérogénéités thermiques mais aussi des hétérogénéités dans la structure ( la vitesse des ondes élastiques n'augmente pas autant que dans le reste du manteau inférieur ).

Depuis cette couche-limite thermique, apparaissent des panaches de matière chaude ("plumes" en anglais) qui sont transférés du noyau vers la base de la lithosphère. Les variations de viscosité et de température à travers cette couche, affectent la nature des panaches. Ceux-ci, pour qui la variation de viscosité est faible entre la source et le manteau, sont appelés "diapir plumes": ils ont la forme de champignons possédant des tiges cylindriques; par contre, les panaches de matière pour qui la

variation de viscosité est grande entre la source et le manteau, sont des "cavity plumes": ils possèdent des têtes sphériques connectées à la source par un conduit.

On pense que les points chauds de la surface de la Terre sont la manifestation de ces panaches mantéliques ( les points chauds sont à l'origine du volcanisme), plus particulièrement des "cavity plumes".

*Nataf* a constaté que la convection mène à une plus grande baisse de température ( et donc de viscosité ) à travers la couche-limite froide qu'à travers la couche-limite chaude ( plus basse ). Mais dans ces conditions, la naissance des "cavity plumes" est impossible. Cette différence de baisse de température vient du fait que la couche-limite froide bouge plus lentement que la couche-limite chaude qui développe ainsi une plus grande différence de température. Cela est en contradiction avec le fait que l'augmentation de la température interne devrait faire baisser la viscosité et augmenter le nombre de Rayleigh ( plus ce nombre est grand, plus la convection est vigoureuse).

Les modèles incorporant la tectonique des plaques dans les modèles convectifs, ont montré que la structure thermique de tels systèmes diffère de celle des modèles convectifs sans tectonique des plaques. De tels modèles entraîneraient une plus grande baisse de température à travers la couche-limite chaude ce qui prouverait la relation entre le mouvement tectonique et les panaches mantéliques [16].

Une autre étude montre que des panaches géants rencontrés dans le manteau inférieur, sous l'Afrique et le Pacifique, possèderaient des anomalies chimiques qui pourraient provenir de transferts de chaleur radioactifs accrus dans la convection mantélique inférieure. De plus, des matériaux très froids ( dont la température est inférieure à la température ambiante de 1200 à 1500 K ) pourraient exister dans le manteau: ils pourraient se trouver dans des sites d'anciennes zones de subduction. Cela révélerait un processus de subduction avec des injections de matière froide intermittentes dans le manteau inférieur, au lieu d'un processus stable de subduction.

On voit donc de nouvelles complexités dans la convection mantélique: le modèle stable familial doit être réexaminé. L'importance de la conductivité thermique et du transfert radiatif devra être pris en compte car cela pourrait expliquer les anomalies thermique du manteau inférieur [36].

### **III.La convection dans le manteau: est-elle stratifiée?**

#### **1) L'influence des zones de transition**

Le fait de savoir si le manteau organise sa convection en une seule ou plusieurs couches, est peut-être le fait le plus controversé qui soit dans la compréhension de la structure et de la dynamique du manteau terrestre.

Le mécanisme qui tend à faire penser à un modèle stratifié, est l'action des zones de transition et plus particulièrement de la zone où se produit un changement de phase endothermique ( ce changement nécessite de l'énergie extérieure): ce phénomène se produit à 660 km de profondeur.

Comme ce changement de phase est endothermique, le flux est défléchi (la direction de l'écoulement est modifiée) vers le bas, en descente de matière froide et vers le haut, en remontée de matière chaude : cela provoque une anomalie de masse qui empêche la pénétration du flux de matière à travers cette zone de transition. Le phénomène convectif est donc renforcé à 670 km de profondeur [100].

Le modèle numérique en 2 dimensions (*Christensen et Yuen, 1985*) indique qu'une grande pente négative de  $-6 \text{ MPaK}^{-1}$  dans le diagramme de Clapeyron devrait être requise pour que la stratification se passe : mais cette pente paraît irréaliste. ( Le diagramme de Clapeyron représente le gradient de la limite de phase dans l'espace pression/température).

D'autres travaux plus récents (*Liu et al., 1991, Zhao et al., 1992, Weinstein, 1993*) dans des géométries à 2D et des coordonnées sphériques, avec des paramètres de changement de phase réalistes, ont montré une stratification significative ; il apparaît des nouveaux phénomènes complexes et des modes de dépendance en temps dans le flux. En particulier *Peltier et Solheim* (1992) et *Weinstein* (1993) ont trouvé des périodes de grande stratification ponctuées par de brefs et vigoureux épisodes de convection de tout le manteau associés à des avalanches catastrophiques.

Par contre, l'influence exercée par l'autre zone de transition de phase située à 400 km, est d'accroître le flux de matière à travers elle. La question de savoir si elle influe sur la stratification n'est pas claire car plusieurs études montrent des résultats contradictoires [90], (*Steinbach, Yuen, 1992, Zhao et al., 1992*).

Pour pouvoir comprendre la dynamique terrestre , il est essentiel de déterminer comment ces effets observés en 2D, sont modifiés en 3D [127]. *Yuen* et son équipe ont démontré les effets d'un nombre de Rayleigh plus grand : il réduit le flux massique à travers la discontinuité située à 670 km de profondeur. Bien que de tels calculs manquent encore de réalisme par rapport aux phénomènes observés comme la tectonique des plaques, ils deviennent de plus en plus performants et doivent être comparés avec les modèles de tomographie sismique et avec le géoïde.

*Tackley* et son équipe [102] ont montré que les modèles numériques de la convection mantélique qui incorporent les changements de phase des zones de transition, révèlent un flux tridimensionnel ayant différentes caractéristiques cylindriques et linéaires qui n'ont pas la même capacité à pénétrer dans la discontinuité située à 670 km de profondeur.

Il y a accumulation de matière froide descendante au-dessus de la limite de 670 km, ce qui entraîne des avalanches de matière du manteau supérieur vers le manteau inférieur.

La transition de phase exothermique située à 400 km de profondeur, entraîne une réduction du degré de stratification de la convection : les avalanches sont alors plus fréquents mais plus petites.

Le changement de phase se produisant à 670 km affecte assez fortement le champ de température avec trois régions distinctes :

- 1) le manteau supérieur qui contient des descentes de matière linéaires et des cellules de matière froide dans la zone de transition : il est caractérisé par un spectre de grandes longueurs d'onde ayant de grandes amplitudes.
- 2) le manteau « central » qui contient des conduits d'avalanches quasi-cylindriques : il est caractérisé par un spectre large avec des faibles amplitudes.
- 3) le manteau profond ou inférieur qui contient d'importantes descentes de matière froide provenant d'avalanches : il est caractérisé par un spectre ultra-rouge (de grandes longueurs d'onde) ayant de grandes amplitudes.

La pénétration du flux de matière à travers la frontière de 670 km est très dépendante de la longueur d'onde : la pénétration sera facile pour les grandes longueurs d'onde, les plus courtes seront inhibées.

Quand on compare ces modèles numériques avec la tomographie sismique de grande longueur d'onde, les diagnostics basés sur le champ de densité sont plus sensibles aux effets des transitions que ceux basés sur le champ de vitesse.

L'amplitude du géoïde n'est pas affectée significativement par la semi-stratification car la contribution de l'hétérogénéité de la zone de transition est presque parfaitement équilibrée par la contribution de la déflexion se produisant à 670 km.

Les avalanches sont associées au géoïde mais une structure plus complexe de la viscosité est requise pour faire correspondre le signe du géoïde aux descentes de matière froide.

## 2) L'influence de la viscosité et de la profondeur

Les mouvements des plaques lithosphériques de la surface de la Terre résultent de la convection thermique du manteau. La compréhension de la convection mantélique est redue difficile par les propriétés matérielles des roches comme la pression et la température, qui augmentent la surface au noyau.

Les plaques résultent d'une grande résistance de la roche et de sa rupture à basse température près de la surface. Dans le manteau profond, l'élévation de la pression pourrait faire augmenter la viscosité effective par ordres de grandeur.

Même si la convection peut être étudiée en 3D dans des laboratoires de dynamique des fluides, de telles études ne peuvent pas simuler la rhéologie, celle-ci variant avec la profondeur ( la rhéologie étudie le comportement des roches et de leurs déformations sous l'action de contraintes ).

*Bunge* [32] a utilisé un modèle convectif sphérique en 3D pour montrer qu'une modeste augmentation de la viscosité mantélique avec la profondeur a un effet marquant sur la convection : il apparaît des descentes de matière longues et linéaires partant de la surface supérieure de la couche-limite ; on observe également un surprenant spectre thermique rouge et hétérogène comme celui observé dans le manteau terrestre. Les effets de la viscosité, dépendant de la profondeur, pourraient être comparables aux effets des plaques.

Dans ce modèle on a négligé le flux de chaleur venant du noyau.

Par contre *Zhang et Yuen* [136] ont étudié la convection avec la dépendance de la viscosité à la profondeur, mais ils se sont focalisés sur les remontées de matière chaude provenant de la limite noyau-manteau : ils n'ont pas reconnu la transition de la convection interne (causée par le saut de viscosité) d'une descente de matière cylindrique dans la couche limite supérieure, à des nappes planes interconnectées.

## 3) L'influence de la tectonique des plaques

L'étude menée par *Dupeyrat* et son équipe [45], décrit une série de modèles en 2D qui simulent les effets de la poussée d'Archimède chimiquement contrôlée et induite par la variation de

densité : en effet, la fusion du manteau supérieur et l'extraction de la matière découlant de cette fusion, entraîne la formation d'un manteau moins dense, donc appauvri.

Le premier modèle qui ne tient pas compte de la tectonique des plaques, démontre que la poussée chimique a un effet important sur la géométrie de la convection. Une couche appauvrie se forme au sommet du manteau, elle est épaisse de 100 km. Cette couche, légère et stagnante, réduit le transfert de chaleur et fait augmenter la taille des cellules convectives. Par conséquent, le manteau se refroidit plus lentement.

Les autres modèles incluent le mouvement horizontal des plaques qui font 5000 km de large ; le recyclage de la croûte terrestre est également pris en compte. Pour une vitesse des plaques suffisamment élevée (elle dépend de la valeur du nombre de Rayleigh thermique), la taille des cellules dépend fortement de la taille des plaques. Les mouvements des plaques forcent la matière « légère » à plonger dans le manteau. Alors la poussée chimique positive produit des remontées de matière lorsque le manteau appauvri atteint l'interface manteau supérieur-manteau inférieur. Ce processus est très efficace pour mélanger la matière du manteau appauvri avec celle du reste du manteau.

A un taux faible de propagation, les zones de remontée de matière entraînent une fusion et le modèle prévoit un volcanisme intraplaques par fusion de la croûte en zone de subduction.

A un taux de propagation rapide, le manteau appauvri favorise aussi la formation de ces zones de remontées de matière mais elles ne sont pas assez fortes pour produire une fusion partielle.

#### **IV. La convection à petite échelle dans la lithosphère océanique**

Le modèle le plus commun pour représenter l'évolution de la lithosphère océanique au cours du temps, est le « plate model » où la température est imposée à une profondeur fixe: cette profondeur est appelée la « base de la plaque »; elle n'a pas de signification physique mais ce modèle fournit un substitut mathématique pour un système où la convection à petite échelle se produit par l'intermédiaire d'instabilités se développant à la base de la lithosphère.

Lorsque la perturbation thermique atteint la base de la plaque, le transfert de chaleur entre le manteau et la plaque limite l'expansion de la lithosphère.

Dans des modèles où la viscosité dépendant de la température, est réaliste [140], les instabilités grossissant à la base entraîne une convection mature pour un âge critique, qui dépend de la viscosité sous la plaque. Mais cet âge pourrait être de l'ordre de 70 Ma entraînant une évolution lithosphérique similaire prévue par le « plate model ».

Ce modèle serait simplement considéré comme une paramétrisation mathématique pour un système où la chaleur ne pourrait migrer qu'à la base de la plaque pour des âges importants; la couche -limite thermique ne pourrait pas alors excéder une certaine épaisseur.

Un autre point de vue a été énoncé [156]: la convection fournirait, dans ce modèle, de la chaleur à la base de la lithosphère quel que soit l'âge de la plaque supérieure. Ce procédé peut être simulé à un flux de chaleur constant à travers l'isotherme lithosphérique inférieur ( c'est le modèle de CHABLIS ). La plaque, à l'âge de 100 Ma, est épaisse de seulement 80 km pour ce modèle: une fusion au-dessus d'un point chaud, pourrait se produire dans une transition grenat-spinelle sans vraiment amincir la plaque.

Pour le « plate model », l'affaissement de la lithosphère est arrêté à l'âge de 80 Ma alors que pour le modèle de CHABLIS, quelques centaines de mètres d'affaissement sont attendus après 100 Ma. Dans le modèle de CHABLIS, le refroidissement global du manteau, venant de la matière froide érodée par une seconde convection à la base de la plaque, est considérablement plus grand que celui du « plate model » : il atteint 40%, le reste étant dû au processus de subduction.

## V. La pénétration des descentes de matière dans le manteau

Un autre point de discussion apparaît : est-ce que les descentes de matière lithosphérique pénètrent dans le manteau inférieur ou est-ce qu'elles restent dans le manteau supérieur. Des résultats récents de réalisation de cartes tomographiques de zones de subduction, ainsi que des nouveaux modèles numériques de convection, montrent que le comportement de ces mouvements descendants autour de la discontinuité de 660 km, sont plus complexes et variables que l'on pensait.

*Van der Hilst* et son équipe (1995), ont proposé que le manque de pénétration de ces descentes est causé par une migration dans la direction de la plaque de subduction (« fast trench rollback »), ce qui pourrait stopper le mouvement descendant autour de 670 km. En comparaison, les descentes adjacentes, qui semblent pénétrer directement dans le manteau inférieur, présentent moins de « rollback ».

Avec certains modèles, il a été démontré qu'un changement de phase endothermique pourrait en principe arrêter les descentes de matière et entraîner une convection sur deux couches. D'autres, [91], utilisant des modèles géométriques réalistes, ont démontré que la circulation est au moins stratifiée localement pour de longues périodes pendant lesquelles le fluide froid descendant s'accumule au-dessus de la limite de phase. Ensuite se produit une avalanche et la matière plonge rapidement dans le manteau inférieur.

Dans le manteau terrestre, la subduction est certainement le mode le plus significatif de descente de matière. Mais les modèles introduisant les avalanches ne représentent pas trois caractéristiques importantes de la subduction :

- 1) les descentes de matière, à cause de leur basse température, sont rhéologiquement distinctes du manteau ambiant
- 2) la subduction est non symétrique et donc la matière descend d'un angle oblique alors que, dans les modèles convectifs, le fluide plonge verticalement
- 3) les zones de convergence de la surface terrestre migrent alors que le lieu de descente de matière, dans les principaux modèles, reste stable.

*Christensen* [226] a donc ajouté dans son modèle, la migration des fosses de subduction. La viscosité dépend de la température et de la profondeur. Différents comportements des descentes de matière ont été trouvés et dépendent particulièrement de la vitesse de migration de la fosse.

Lorsque cette vitesse atteint 2 à 4 cm par an, la matière descendante s'arrête au-dessus de la limite de phase. A des vitesses moins élevées, elle pénètre verticalement dans le manteau profond, bien que

cette matière puisse être plus tard arrêtée dans la zone de transition : la morphologie de ce flux sera alors très complexe.

La descente peut se déformer (cela est indépendant de la pénétration du flux dans le manteau), spécialement lorsqu'une augmentation de viscosité est localisée à la limite de phase.

Ces flux ne sont cependant arrêtés que temporairement dans la zone de transition, et finissent par plonger dans le manteau profond.

## **VI. Conclusion**

On voit bien que le point de discussion des chercheurs sur la convection est de savoir si les manteaux inférieurs et supérieurs convectent séparément (convection à plusieurs couches) ou bien les cellules de convection s'étendent de la surface à la frontière noyau-manteau.

Il se peut que la vérité soit entre les deux et que certaines plaques en subduction plongent dans le manteau inférieur alors que d'autres s'arrêtent à 670 km, et que certains panaches viennent de la frontière noyau-manteau, alors que d'autres ont leur origine à 670 km.

## **TROISIEME PARTIE : BIBLIOGRAPHIE**

Cette bibliographie est organisée suivant les différents thèmes du sujet, à l'intérieur desquels les références sont classées par ordre alphabétique d'auteurs.

Les références sont numérotées : ces numéros apparaissent entre crochets dans la synthèse et renvoient aux documents référencés dans la bibliographie.

La norme qui a été suivie pour la rédaction des notices est la suivante :

Z44-005 « Documentation, références bibliographiques : contenu, forme et structure » de décembre 1987, qui elle-même reproduit intégralement la norme internationale ISO 690 - 1987.

## La convection dans le noyau. Limite noyau-manteau

1. **Aldridge, K.D.** . *The Earth's Deep Interior*, in the series *The Fluid Mechanics of Astrophysics and Geophysics*, Ed. Michael Ghil and Andrew Soward, Gordon and Breach, 1996. Perspectives on Core Dynamics from Laboratory Experiments, Doornbos Memorial Volume.
2. **Arkani-Hamed, J.** . Effects of the core cooling on the internal dynamics and thermal evolution of terrestrial planets. *Journal of Geophysical Research*, 1994, Vol.99, Iss.B6, p.12109-19.
3. **Aurnou, J.M., Brito, D., Olson, P.L.** . Mechanics of inner core super-rotation. *Geophysical Research Letters*, 1996, vol.23, n° 23, p.3401-3404.
4. **Bergman, M.I., Fearn, D.R.** . Chimneys on the Earth's inner-outer core boundary? *Geophysical Research Letters*, 1994, Vol.21, Iss.6, p. 477-80.
5. **Bizon, C., Werne, J., Predtechensky, A. A., et al.** . Plume Dynamics in Quasi 2D Turbulent Convection. *Chaos*, 1996, 7, p.107-124.
6. **Braginsky, S.I., Roberts, P.H.** . Equations governing convection in Earth's core and the geodynamo. *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*, 1995, Vol.79, Iss.1-4, p. 1-97.
7. **Bruto, D., Cardin, Ph., Nataf, H-C., et al.** . Experiments on Joule heating and the dissipation of energy in the Earth's core. *Geophys. J. Int.*, 1996, 127, p.339-347.
8. **Buffett, B.A.** . Effects of a heterogeneous mantle on the velocity and magnetic fields at the top of the core. *Geophysical Journal International*, 1996, V125, N1, p. 303-317.
9. **Buffett, B.A., Huppert, H.E., Lister, J.R., et al.** . On the thermal evolution of the Earth's core. *Journal of Geophysical Research*, 1996, Vol.101, Iss.B4, p. 7989-8006.
10. **Gillet, P., Guyot, F.** . Exploring the core-mantle boundary. *Physics World*, 1996, vol.9, n°5, p.27-31.
11. **Glatzmaier, G.A., Roberts, P.H.** . Simulating the geodynamo. *Contemporary Physics*, 1997, Vol.38, Iss.4, p. 269-88.
12. **Gubbins, D.** . Geomagnetic polarity reversals: a connection with secular variation and core-mantle interaction? *Reviews of Geophysics*, 1994, Vol.32, Iss.1, p. 61-83.
13. **Hansen, U., Yuen, D.A.** . Potential role played by viscous heating in thermal-chemical convection in the outer core. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, Vol.60, Iss.7, p. 1113-23.

14. **Honda, S.** . Local Rayleigh and Nusselt numbers for cartesian convection with temperature-dependent viscosity. *Geophysical Research Letters*, 1996, Vol.23, Iss.18, p. 2445-8.
15. **Labrosse, S., Poirier, J.-P., Le Mouel, J.-L.** . On cooling of the Earth's core. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, Vol.99, Iss.1-2, p. 1-17.
16. **Lenardic, A., Kaula, W.M.** . Tectonic plates, D" thermal structure, and the nature of mantle plumes. *Journal of Geophysical Research*, 1994, Vol.99,Iss.B8, p. 15697-708.
17. **Lister, J.R., Buffett, B.A.** . The strength and efficiency of thermal and compositional convection in the geodynamo. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1995, vol. 91, no. 1-3, p. 17-30.
18. **Matyska, C., Moser, J.** . Heating in the D"-layer and the style of mantle convection. *Studia Geophys. et Geod.*, 1994, 38, p. 286-292.
19. **Matyska, C., Moser, J.; Yuen, D.A.** . The potential influence of radiative heat transfer on the formation of megaplumes in the lower mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, vol. 125, no. 1-4, p.255-266.
20. **Mistr, Z.** . *Fluid dynamics in the Earth's outer core: Effects of rotation and adiabatic heating*, Diploma Thèse, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, 1996.
21. **Olson, P., Glatzmaier, G.A.** . Magnetoconvection and thermal coupling of the Earth's core and mantle. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series A [Mathematical, Physical and Engineering Sciences]*, 1996, Vol.354, Iss.1711, p. 1413-24.
22. **Richards, M.A., Ricard, Y., Lithgow-Bertelloni, C., et al.** . An explanation for Earth's long-term rotational stability. *Science*, vol.275, n° 5298, p.372-375.
23. **Yuen, D.A., Balachandar, S., Steinbach, V.C., et al.** . Non-equilibrium effects of core cooling and time-dependent internal heating on mantle flush events. *Non-linear Processes in Geophysics*, 1995, 2, no. 3/4, p. 206-221.

## La convection dans le manteau

24. **Alda, W., Dzwiniel, W., Kitowski, J., et al.** . *High performance simulation of thermal convection using quasi-particle approach*. University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/232, December 1996.
25. **Balachandar, S., Yuen, D.A., Reuteler, D.M.** . Localization of toroidal motion and shear heating in 3-D high Rayleigh number convection with temperature dependant viscosity. *Geophys.Res.Lett.*, 1995, 22, p.477-480.
26. **Balachandar, S., Yuen, D.A., Reuteler, D.M., et al.** . Viscous dissipation in 3-dimensional convection with temperature dependent viscosity. *Science*, 1995, 267, p.1150-1153.
27. **Bercovici, D.** . On the purpose of toroidal motion in a convecting mantle. *Geophysical Research Letters*, 1995, vol. 22, no. 23, p. 3107-3110.
28. **Bercovici, D., Jian Lin.** A gravity current model of cooling mantle plume heads with temperature-dependent buoyancy and viscosity. *Journal of Geophysical Research*, 1996, Vol.101, Iss.B2, p. 3291-309.
29. **Bina, C., Liu, M.** . A note on the sensivity of mantle convection to composition-dependent phase relations. *Geophys. Res. Lett.*, 1995, 22, p.2565-2568.
30. **Breuer, D., Spohn, T.** . Episodic crust growth caused by an instability of two-layered mantle convection. *Annal. Geophys.*, 1994, 12 Suppl. C71.
31. **Breuer, D., Spohn, T.** . Flush instability of two-layer mantle convection: Consequences for continental crust growth and freeboard. *Annal. Geophys.*, 1995, 13 Suppl. C743.
32. **Breuer, D., Spohn, T.** . Possible flush instability in mantle convection at the Archean-Proterozoic transition. *Nature*, 1995, 378, p. 608-610.
33. **Bunge, H.P., Richards, M.A., Baumgardner, J.R.** . The effect of viscosity stratification on mantle convection. *Nature*, 1996, 379, p.436-438.

34. **Bunge, H.P., Richards, M.A., Baumgardner, J.R.** . A sensitivity study of three-dimensional spherical mantle convection at 10(8) Rayleigh number : Effects of depth-dependent viscosity, heating mode, and an endothermic phase change. *Journal of Geophysical Research*, 1997, vol.102, n° B6, p.11991-12007.
35. **Busse,F.,Christensen,U.,Clever,R., et al.** . 3D convection at infinite Prandtl number in Cartesian geometry - a benchmark comparison. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 1994, 75,p. 39-59.
36. **Cadek, O., Yuen, D.A., Cízková, H., et al.** . *New Perspectives on Mantle Dynamics from High-Resolution Seismic Tomographic Model P1200*. University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/211, October 1996.
37. **Cadeck, O., Yuen, D.A., Steibach, V., et al.** . Lower mantle thermal structure deduced from seismic tomography, mineral physics and numerical modelling. *Earth Planet.Sci.Lett.*, 1994, 121, p.385-402.
38. **Cizkova, H., Cadek, O., Yuen, D.A., et al.** . *Slope of Geoid Spectrum and Constraints on Mantle Viscosity Stratification*. University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/49, April 1996.
39. **Corrieu-Sipahimalani, Vr., Ricard, Y.** . *Modèles dynamiques du manteau terrestre: observations et contraintes*. Thèse, 1995, Université de Cergy-Pontoise, 200p.
40. **Corrieu,V.,Thoraval,C.,Ricard,Y.** . Mantle dynamics and geoid Green functions. *Geophys.J.Int.*, 1995, p.120,516-523.
41. **Cserepes,L.,Yuen,D.A.** . Dynamical Consequences of Mid-mantle Viscosity Stratification on Mantle Flows with an Endothermic Phase Transition. *Geophysical Research Letters*, 1997, 24, p. 181.
42. **Davaille, A.** . Is the mantle stratified? Yes and no depending on the heterogeneities wavelength. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1995, vol. 76, no. 46, Suppl., p. 578.
43. **Dobretsov, N.L., Kirdyashkin, A.E.** . Heat and exchange and rheology of the lower mantle during early earth history. *Transaction (Doklady) of the Russian Academy of Sciences: EarthScience Sections*, 1996, v 345A, n.9, p 441-445.
44. **Doin, M.P., Fleitout, L.** . Mantle convection and stability of depleted and undepleted continental lithosphere.*Journal of Geophysical Research*, vol.102, n° B2, p.2771-2787.
45. **Dupeyrat, L., Sotin, C., Parmentier, E.M.** . Thermal and chemical convection in planetary mantles. *Journal of Geophysical Research*, 1995, Vol.100, Iss.B1, p. 497-520.
46. **Fleitout, L., Monceau, C.** . Structure des courants de convection dans le manteau et origine du volcanisme sur la plaque pacifique. *Geologies*, 1997, 112, p. 31-39.
47. **Forte, A.M., Woodward, R.L.** . Seismic-geodynamic constraints on three-dimensional structure, vertical flow, and heat transfer in the mantle. *Journal of Geophysical Research*, 1997, vol.102, no. 8; p. 17,981-17,994.
48. **Franck, S., Bounama, C.** . Effects of water-dependent creep rate on the volatile exchange between mantle and surface reservoirs. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1995, Vol.92, Iss.1-2, p. 57-65.
49. **Franck, S., Bounama, C.** . Mantle devolatilization and rheology in the framework of planetary evolution. *AIP Conference Proceedings*, 1995, Iss.no.341, p. 45-55.
50. **Guillou,L., Jaupart,C.,Gariépy,C., et al.** . Heat flow, gravity and structure of the Abitibi belt, Superior Province, Canada : implication for mantle heat flow. *Earth Planet.Sci.Lett.*, 1994, 122, p. 103-123.
51. **Honda, S.** . A simple parameterized model of Earth's thermal history with the transition from layered to whole mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 1995, Vol.131, Iss.3-4, p. 357-369.
52. **Honda, S.** . Applicability of adaptive grid inversion to imaging thermal anomalies caused by convection. *Geophysical Research Letters*, 1996, Vol.23, Iss.20, p. 2733-6.
53. **Honda, S., Iwase, Y.** . Comparison of the dynamic and parameterized models of mantle convection including core cooling. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, Vol.139, Iss: 1-2, p. 133-45.
54. **Honda, S., Yuen, D.A.** . Model for Convective Cooling of Mantle with Phase Changes: Effects of Aspect Ratios and Initial Conditions. *J.Phys.Earth*, 1994, VOL.42,NO.2, p.165-186.

55. **Irizarry-Rivera, R., Seider, W.D.** . Model-predictive control of the Czochralski crystallization process. Pt. II. Reduced-order convection model. *Journal of Crystal Growth*, 1997, vol.178, no.4, p.612-33.
56. **Ita, J., King, S. D.** . Sensitivity of convection with an endothermic phase change to the form of the governing equations, initial conditions, boundary conditions, and equation of state. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99, p.15,919-15,938.
57. **Iwase, Y., Honda, S.** . An interpretation of the Nusselt-Rayleigh number relationship for convection in a spherical shell. *Geophysical Journal International*, 1997, 130(3), p. 801-804.
58. **Jha, K., Parmentier, E.M., Sparks, D.W.** . 3D buoyant mantle flow beneath spreading centers and along-axis variations in melt production. *Eos Trans. AGU (American Geophysical Union)*, 1994, 75(16) Spring Meet. Suppl., 336.
59. **Jordan, K.E., Yuen, D.A., Reuteler, D.M., et al.** . Parallel Interactive Visualization of 3-D Mantle Convection. *Computational Science & Engineering*, 1996, 3, p. 29.
60. **Jordan, K.E., Yuen, D.A., Reuteler, D.M., et al.** . Distributed visualization of 3D thermal convection in the geological sciences. *IEEE computational Science & Engineering*, 1996, Vol. 3, p. 29-37.
61. **Katsura, T.** . Thermal diffusivity of periclase at high temperatures and high pressures. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, V101, N1-2.
62. **King, S., Scott, D., Balachanda, J. J., et al.** . Using eigenfunctions of the two-point correlation function to study convection with multiple phase transformations. *Geophys. Res. Lett.*, 1997, 24(6), p.703-706.
63. **Klika, M., Cadek, O.** . Comparison between two methods of modelling the flow in a mantle with laterally variable viscosity. *Studia Geophys. et Geod.*, 1996, 40, p.156-166.
64. **Larsen, T.B., Yuen, D.A.; Smedsmo, J.L., et al.** . Generation of fast timescale phenomena in thermo-mechanical processes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, 102(3-4), p. 213-222.
65. **Lenardic, A., Kaula, W.M.** . Near-surface thermal/chemical boundary layer convection at infinite Prandtl number: two-dimensional numerical experiments. *Geophysical Journal International*, 1997, Vol.126, Iss.3, p. 689-711.
66. **Lenardic, A., Kaula, W.M.** . Mantle dynamics and the heat flow into the Earth's continents. *Nature*, 1995, 378 (6558), p. 709-711.
67. **Lenardic, A., Kaula, W.M.** . Self-lubricated mantle convection: two-dimensional models. *Geophysical Research Letters*, 1994, Vol.21, Iss.16, p. 1707-10.
68. **Lenardic, A., Kaula, W.M.** . Near-surface thermal/chemical boundary layer convection at infinite Prandtl number: two-dimensional numerical experiments. *Geophysical Journal International*, 1997, Vol.126, Iss.3, p. 689-711.
69. **Liu, M.** . Asymmetric phase effects and mantle convection patterns. *Science*, 1994, 264, p. 1904-1907.
70. **Manglik, A., Christensen, U. R.** . Effect of mantle depletion buoyancy on plume flow and melting beneath a stationary plate. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(3), p. 5019-5028.
71. **Matyska, C.** . Variational principles for the momentum equation of mantle convection with Newtonian and power-law rheologies. *Geophys. J. Int.*, 1996, 126, p. 281-286.
72. **Megnin, H.P., Bunge, B., Romanowicz, M.A., et al.** . Imaging 3-D spherical convection models: What can seismic tomography tell us about mantle dynamics? *Geophys. Res. Lett.*, 1997, 24(11), p.1299-1302.
73. **Monnereau, M., Rabinowicz, M.** . Is the 670-km phase transition able to layer the Earth's convection in a mantle with depth-dependant viscosity ? *Geophysical Research Letters*, 1996, vol. 23, no. 9; p. 1001-1004.
74. **Monnereau, M., Rabinowicz, M.** . Viscosity stratification influence on the mantle convection layering induced by phase transition °conference abstract: EUG 8, Strasbourg, 9-13. *Terra Abstr°Oxford*, 1995, § 7/1, p.89.
75. **Montagner, J.-P.** . Can seismology tell us anything about convection in the mantle ? *Rev. Geophys.*, 1994, 32, p.115-138.
76. **Moresi, L., Parsons, B.** . Interpreting gravity, geoid, and topography for convection with temperature dependent viscosity : application to surface features on Venus. *Journal of geophysical research*, 1995, VOL. 100, NO. E10,

p. 21155-21171.

77. **Moser, J.** . *Mantle dynamics and rotation of the Earth*. PhD Thesis : Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague, 1994.
78. **Nataf, H-C.** . *La Machine Terre*. Formation permanente des professeurs de physique et de sciences naturelles des classes préparatoires, 1994. Convection du manteau et tomographie.
79. **Ogawa, M.** . Effects of chemical fractionation of heat-producing elements on mantle evolution inferred from a numerical model of coupled magmatism-mantle convection system. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1994, Vol.83, Iss.2, p. 101-27.
80. **Pari, G., Peltier, W. R.** . Mantle tomography and layered convection; implications from global heat flow. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1995, vol. 76, no. 17, Suppl., p. 44.
81. **Pari, G., Peltier, W.R.** . The heat flow constraint on mantle tomography-based convection models: towards a geodynamically self-consistent inference of mantle viscosity. *Journal of Geophysical Research*, 1995, Vol.100, Iss.B7, p. 12731-12751.
82. **Parmentier, E.M., Sotin, C., Travis, B.J.** . Turbulent 3D thermal convection in an infinite Prandtl number, volumetrically heated fluid : Implications for mantle dynamics. *Geophys.J.Int.*, 1994, 116, p. 241-251.
83. **Puster, P., Hager, B.H., Jordan, T.H.** . Mantle convection experiments with evolving plates. *Geophys.Res.Lett.*, 1995, 22, p.2223-2226.
84. **Puster, P., Jordan, T.H.** . Stochastic analysis of mantle convection experiments using two-point correlation functions. *Geophys.Res.Lett.*, 1994, 21, p.305-308.
85. **Pyskylwic, R.N., Mitrovica, J.X.** . The role of mantle dynamics in the Devonian to Carboniferous subsidence of Western Canada. *Lithoprobe Report*, 1997, 59, p. 81-90.
86. **Ratcliff, J.T., Schubert, G., Zebib, A.** . Three-dimensional variable viscosity convection of an infinite Prandtl number Boussinesq fluid in a spherical shell. *Geophys.Res.Lett.*, 1995, 22(16), p.2227-2230.
87. **Ricciardi, K., Abbott, D.** . Increased mantle convection during the mid-Cretaceous: a comparative study of mantle potential temperature. *Journal of Geophysical Research*, 1996, Vol.101, Iss.B4, p. 8673-84.
88. **Rosenblatt, P.** . *Hypsométrie comparée Terre/Vénus: Implications sur la géodynamique et la structure convective du manteau de Vénus*. Th. Doct./ Université de Toulouse 3. 171p.
89. **Ross, G.M.** . Lifestyles of the hot and buoyant; dynamic mantle control on the longevity of the Pacific Ocean. *Lithoprobe Report*, 1997, 56, p. 169-170.
90. **Solheim, L.P., Peltier, W.R.** . Avalanche effects in phase transition modulated thermal convection : A model of the Earth's mantle. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99, p. 6997-7018.
91. **Solheim, L.P., Peltier, W.R.** . Phase boundary defections at 660-km depth and episodically layered isochemical convection in the mantle. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99, p. 15,861-15,875.
92. **Solomatov, V. S., Moresi, L. N.** . Plate tectonics and mantle convection with ductile/brittle. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1997, 78(17, SUPPL.), p. 322.
93. **Solomatov, V.S.** . Can hotter mantle have a larger viscosity? *Geophysical Research Letters*, 1996, Vol.23, Iss.9, p. 937-40.
94. **Steinbach, V., Spohn, T.** . Effects of secular cooling on mantle convection with the two major phase transitions. *Annal. Geophys.*, 1996, 14 Suppl. I, C12.
95. **Steinbach, V., Yuen, D.A.** . *The Influences of Temperature- and Pressure-Dependent Lower-Mantle Rheology on the Interaction of Upwellings with Phase Transitions*, University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/1 & UM-IBM 96/1, January 1996.
96. **Steinbach, V., Yuen, D.A.** . Melting instabilities in the transition zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, Vol.12, Iss.1-4, p. 67-75.

97. **Ten, A., Yuen, D.A., Larsen, T.B., et al.** . The Evolution of Material Surfaces in Convection with Variable Viscosity as Monitored by a Characteristics-based Method. *Geophysical Research Letters*, 1996, 23, p. 2001.
98. **Tackley, P.J.** . Slow motion in the mantle. *Physics World*, 1996, vol.9, n°5, p.33-37.
99. **Tackley, P.J.** . Effects of strongly variable viscosity on three-dimensional compressible convection in planetary mantles. *Journal of geophysical research*, 1996, VOL. 101, NO. B2, p. 3311-3332.
100. **Tackley, P.J.** . Mantle dynamics : Influence of the transition zone. *Rev. Geophys.*, 1995, suppl.33, p.275-282.
101. **Tackley, P.J.** . *Three-dimensional models of mantle convection : influence of phase transitions and temperature dependant viscosity*. Ph.D. Thesis : Calif. Inst. Of Technol., Pasadena, 1994.
102. **Tackley, P. J., Stevenson, D. J., Glatzmaier, G. A., et al.** . Effects of multiple phase transitions in a three-dimensional spherical model of convection in Earth's mantle. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99, p.15,877-15,901.
103. **Ten, A., Yuen, D.A., Podladchikov, Y.Y., et al.** . *Chaotic Mixing of Non-Newtonian and Newtonian Convection in the Earth's Mantle*. University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/16, March 1996.
104. **Tjoo, D., van Keken, P.** . Constraints on the amount of radiogenic heating in the mantle from convection models. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1997, 78(17, SUPPL.), p. 322-323.
105. **Thorval, C., Machetal, P., Cazenave, A.** . Locally layered convection inferred from dynamic models of the Earth's mantle. *Nature*, 1995, 375, p. 777-780.
106. **Travis, B., Olson, P.** . Convection with internal heat sources and thermal turbulence in the Earth's mantle. *Geophysical Journal International*, 1994, Vol.118, Iss.1, p. 1-19.
107. **Tributsyn, V.P., Belavina, Yu.F., Rykov, V.V.** . Interaction of mantle convection with continental and oceanic plates. *Transaction (Doklady) of the Russian Academy of Sciences: Earth Science Sections*, 1996, v.340, n 1, p 31-35.
108. **Turcotte, D.L., Bougher, S.W., Phillips, R.J.** . Magellan and comparative planetology. *Journal of geophysical research*, 1996, 101 (E2), p.4765-4773.
109. **Van den Berg, A.P., Yuen, D.A.** . Convectively induced transition in mantle rheological behavior. *Geophysical Research Letters*, 1995, Vol.22, Iss.12, p. 1549-52.
110. **Van der Hilst, R.D., Widiyantoro, S., Engdahl, E.R.** . Evidence for deep mantle circulation from global tomography. *Nature*, 1997, vol. 386, p.578-584.
111. **Vangelov, V.I., Jarvis, G.T.** . Geometrical effects of curvature in axisymmetric spherical models of mantle convection. *Journal of Geophysical Research*, 1994, Vol.99, Iss.B5, p. 9345-58.
112. **Vinnik, L.P.** . Seismic anisotropy and mantle flow. *Die Geowissenschaften*, 1997, 15(3-4), p. 101-104.
113. **Wen, L., Anderson, D.L.** . Layered mantle convection; a model for geoid and topography. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1997, 78(17, SUPPL.), p. 318.
114. **Wullner, U.** . Influence of a giant impact on mantle convection. *Annal. Geophys.*, 1996, 14 Suppl. III, C790.
115. **Yang Shen, Solomon, S.C., Bjarnason, I.T., Purdy, G.M.** . Hot mantle transition zone beneath Iceland and the adjacent Mid-Atlantic Ridge inferred from P-to-S conversions at the 410- and 660-km discontinuities. *Geophysical Research Letters*, 1996, Vol.23, Iss.24, p. 3527-30.
116. **Yuen, D.A., Balachandar, S.** . Three-dimensional fully spectral numerical method for mantle convection with depth-dependent properties. *J. Comp. Physics*, 1994, Vol. 113(1), p.62-74.
117. **Yuen, D.A., Balachandar, S., Hansen, U.** . *Modeling Mantle Convection: A Significant Challenge in Geophysical Fluid Dynamics*. University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/210, October 1996.
118. **Yuen, D.A., Balachandar, S., Reuteler, D.M.** . High Rayleigh number convection at infinite Prandtl number with weakly temperature-dependent viscosity. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 1996, 83, p.79-117.

119. **Yuen, D.A., Cadek, O., Boehler, R., et al.** . Large cold anomalies in the deep mantle and mantle instability in the Cretaceous. *Terra Nova*, 1994, 6, p.238-245.
120. **Yuen, D.A., Cadek, O., Ciskova, H.** . Can long-wavelength dynamical signatures be compatible with layered convection? *Geophys. Res. Lett.*, 1997, 24, p.2091-2094.
121. **Yuen, D.A., Cadek, O., van Keken, P., et al.** *Seismic Modelling of the Earth's Structure*. Ed. by E. Boschi, G. Ekstrom and A. Morelli, Editrice Compositori, Bologna, Italy, 1996. Combined results from mineral physics, tomography and mantle convection and their implications on global geodynamic, p. 463-506.
122. **Yuen, D.A., Hansen, U.** . *Double Diffusive Convection, Geophysical Monograph 94*. Ed. by J. Fernando and A. Brandt, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1995. Formation of Layered Structures in double-diffusive convection as applied to the geosciences, p.135-149.
123. **Yuen, D.A., Jordan, K.E., Reuteler, D.M., et al.** *Parallel Computational Fluid Dynamics: Algorithms and Results Using Advanced Computers*. Editors: P. Schiano, A. Ecer, J. Periaux and N. Satofuka, Elsevier Science, 1997. Distributed Visualization of 3D Thermal Convection in the Geological Sciences, p. 243-250.
124. **Yuen, D.A., Larsen, T.B., Malevsky, A., et al.** Dynamics of strongly time-dependent convection with non-Newtonian temperature-dependent viscosity. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1996, 94, p.75-103.
125. **Yuen, D.A., Larsen, T.B., Moser, J., et al.** A higher-order finite-difference method applied to large Rayleigh number mantle convection. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 1997, 84, p.53-83.
126. **Yuen, D.A., Moser, J., Larsen T.B., et al.** Dynamical influences of depth-dependent properties on mantle upwellings and temporal variations of the moment of inertia. *Phys. Earth Plan. Int.*, 1997, 102, p.153-170.
127. **Yuen, D.A., Reuteler, D.M., Bachalandar, S., et al.** . Various influences on 3-dimensional mantle convection with multiple phase transitions. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1994, 86, p.185-203.
128. **Yuen, D.A., Steinbach V.C.** . The effects of temperature-dependent viscosity on mantle convection with the two major phase transitions. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1995, 90, p.13-36.
129. **Yuen, D.A., Steinbach, V.C.** . Effects of depth-dependent properties on the thermal anomalies produced in flush instabilities from phase transitions. *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 1994, 86, p.165- 183.
130. **Yuen, D.A., Steinbach, V.C.** . The non-adiabatic nature of mantle convection as revealed by passive tracers. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1995, 136, p.241-250.
131. **Yuen, D.A., Ten, A., Podladchikov, Yu. Yu, et al.** Fractal features in mixing of non-Newtonian and Newtonian mantle convection. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1997, 146, p.401-414.
132. **Yuen, D.A., van den Berg, A.P.** . The role of shear heating in lubricating mantle flow. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1997, 151, 33-42.
133. **Yuen, D.A., van den Berg, A.P., van Keken, P.E.** . Rheological transition in mantle convection with a composite temperature- dependent, non-Newtonian and Newtonian rheology. *Earth Planet. Science Lett.*, 1995, 129, p.249-260.
134. **Yuen, D.A., van Keken, P.E., Petzold, L.R.** . DASPK: a new high order and adaptive time-integration technique with applications to mantle convection with strongly temperature- and pressure-dependent rheology. *Geophys. Astrophys. Fluid Dynam.*, 1995, 80, p.57-74.
135. **Zhang, S.** *Supercomputing and real-time visualization : application to 3-D modeling of thermal mantle convection*. Minnesota Supercomputing Institute, Research Bulletin, vol.12, n.2, Winter 95-96. [On-line]. [last modified : February 19, 1996]. Available from internet : <URL : <http://www2.msi.umn.edu/Bulletins/Vol.12-No.2/Wntr95-96.html>>
136. **Zhang, S., Yuen, D.A.** . The influences of steep viscosity stratification on 3-D spherical shell mantle convection. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1995, 132, p.156-166.
137. **Zhang, S., Yuen, D. A.** . Intense local toroidal motion generated by variable viscosity compressible convection in spherical shell. *Geophys. Res. Lett.*, 1996, 23, p.3135-3138.
138. **Zhong, S., Gurnis, M., Moresi, L.** . Free-surface formulation of mantle convection. I. Basic theory and application to plumes. *Geophysical Journal International*, 1996, Vol.127, Iss.3, p. 708-18.

## Le manteau supérieur

139. **Carlson, R.L., Johnson, H.P.** . On modelling the thermal evolution of the oceanic upper mantle : An assessment of the cooling plate model. *J.Geophys.Res.*, 1994, 99, p.3201-3214.
140. **Davaille, A., Jaupart, C.** . Onset of thermal convection in fluids with temperature-dependent viscosity : Application to the oceanic mantle. *J.Geophys.Res.*, 1994, 99, p.19,853-19,866
141. **Fanucci, F.; Santini, S.** . Study of a mathematical model with cylindric symmetry for convection in the upper layers of the mantle. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicada*, 1995, Vol.37, Iss.146, p. 145-53.
142. **Kameyama, M., Fujimoto, H., Ogawa, M.** . A thermo-chemical regime in the upper mantle in the early Earth inferred from a numerical model of magma-migration in a convecting upper mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1996, vol.94, iss.3-4, p.187-215.
143. **Katzman, R., Zhao, L., Jordan, T.H.** . Image of small-scale convection in the Pacific upper mantle; implications for the Hawaii, Marquesas and Society hotspots. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1997, 78(17, SUPPL.), p. 322.
144. **Moresi, L.N., Lenardic, A.** . Three-dimensional numerical simulations of crustal deformation and subcontinental mantle convection. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, V150, N3-4 , p. 233-243.
145. **Nimmo, D., Francis, McKenzie.** Convective thermal evolution of the upper mantles of Earth and Venus. *Geophys. Res. Lett.*, 1997, 24(12), p.1539-1542.
146. **Ogawa, M.** . A bifurcation in the coupled magmatism-mantle convection system and its implications for the evolution of the Earth's upper mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, 102(3-4), p. 259-276.
147. **Schmeling, H.** . Partial melting and segregation in a convecting upper mantle. *International Union of Geodesy and Geophysics, General Assembly*, 1995, vol. 21, Week B, p. 383.
148. **Yuen, D.A., Larsen, T.B.** . Ultrafast upwelling bursting through the upper mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 146, p. 393-400.

## La convection dans la lithosphère et l'asthenosphère

149. **Agnon, A., Lyakhovsky, V.** . Oceanic topography and heatflow: indications for a silent discharge of cold rock into the convecting Earth. *Geophysical Research Letters*, 1995, Vol.22, Iss.10, p. 1273-6.
150. **Anderson, D.L.** . Lithosphere, asthenosphere, and perisphere. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33(1), p.125-149.
151. **Bercovici, D.** . Plate generation in a simple model of lithosphere-mantle flow with dynamic self-lubrication. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 144, p.41-51.
152. **Bibby, H. M., Caldwell, T. G., Davey, F. J., et al.** . Geophysical evidence on the structure of the Taupo volcanic zone and its hydrothermal circulation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1995, vol. 68, no. 1-3, p. 29-58.
153. **Blindeman, I.N., Davis, A. M.** . Ion microprobe study of basalt-rhyolite mixing experiments; convection, uphill diffusion, and trace element exchange. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1997, 78(17, Suppl.), p.332.
154. **Buffett, B.A., Gable, C.W., O'Connell, R.J.** . Linear stability of a layered fluid with mobile surface plates. *Journal of Geophysical Research*, 1997, Vol.99, Iss.B10, p. 19885-900.
155. **Conrad, C.P., Molnar, P.** . The growth of Rayleigh-Taylor-type instabilities in the lithosphere for various rheological and density structures. *Geophysical Journal International*, 1997, Vol.129, Iss.1, p. 95-112.

156. **Doin, M. P.; Fleitout, L.** . Thermal evolution of the oceanic lithosphere; an alternative view. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, vol. 142, no. 1-2, p.121-136.
157. **Doin, M.P., Fleitout, L.** . *Structure des lithosphères océaniques et continentales et anomalies du champ de gravité de la Terre*. Thèse, 1995, Université de Paris 06.
158. **Doin, M. P.; Fleitout, L., Mckenzie, D.** . Geoid anomalies and the structure of continental and oceanic lithospheres. *Journal of geophysical research*, 1996; VOL. 101; NO. B7, p. 16119-16136.
159. **Duncan, R.A., Sinton, C.W.** . Timing and volume of large igneous provinces. *Abstracts with Programs - Geological Society of America*, 1995, vol. 27, no. 6, p. 279.
160. **Eberle, M.A., Forsyth, D.W.** . Regional viscosity variations, small-scale convection and slope of the depth-age<sup>1/2</sup> curve. *Geophysical research letters*, 1995, 22 (4), p.473-476.
161. **Franck, S., Bounama, C.** . Continental growth and volatile exchange during Earth's evolution. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, Vol.100, Iss.1-4, p. 189-96.
162. **Franck, S., Bounama, C.** . Rheology and volatile exchange in the framework of planetary evolution. *Advances in Space Research*, 1995, Vol.15, Iss.10, p. 79-86.
163. **Gaherty, J.B., Hager, B.H.** . Compositional vs. thermal buoyancy and the evolution of subducted lithosphere. *Geophysical Research Letters*, 1994, Vol.21, Iss.2, p. 141-4.
164. **Giggenbach, W.F., Simmons, S.F., Weaver, S.D.** . Variations in the chemical and isotopic composition of fluids discharged from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of volcanology and geothermal research*, 1995, VOL. 68, NO. 1-3, p. 89-116.
165. **Goodwillie, A.M.** . Short-wavelength gravity lineations and unusual flexure results at the Puka Puka volcanic ridge system. *Earth and Planetary Science Letters*, 1995, Vol.136, Iss.3-4, p. 297-314.
166. **Hochstein, M.P., Simmons, S.F., WEAVER, S.D.** . Crustal heat transfer in the Taupo Volcanic Zone (New Zealand) : comparison with other volcanic arcs and explanatory heat source models. Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of volcanology and geothermal research*, 1995, VOL. 68, NO. 1-3, p. 117-151.
167. **Iwamori, H.** . Heat sources and melting in subduction zones. *J.Geophys. Res.*, 1997, 102(B7), p.14803-14820.
168. **Kincaid, C.; Silver, P.** . The role of viscous dissipation in the orogenic process. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, vol. 142, no. 3-4, p.271-288.
169. **Kincaid, C., Sparks, D.W., Detrick, R.** . The relative importance of plate-driven and buoyancy-driven flow at mid-ocean ridges. *Journal of Geophysical Research*, 1996, vol. 101, n°B7, p.16,177-16,193.
170. **Lagabrielle, Y., Goslin, J., Martin, H., et al.** . Multiple active spreading centres in the hot North Fiji Basin (southwest Pacific): a possible model for Archaean seafloor dynamics. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, Vol.149, Iss.1-4, p. 1-13.
171. **Lenardic, A.** . On the heat flow variation from Archean cratons to Proterozoic mobile belts. *Journal of Geophysical Research*, 1997, V102, NB1, p.709-721.
172. **Liu, M., Zandt, G.** . Convective thermal instabilities in the wake of the migrating Mendocino triple junction, California. *Geophysical Research Letters*, 1996, Vol.23, Iss.13, p. 1573-1576.
173. **Nagihara, S., Lister, C.R.B., Sclater, J.G.** . Reheating of old oceanic lithosphere: deductions from observations. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, Vol.139, Iss.1-2, p. 91-104.
174. **O'Reilly, S. Y., Griffin, W. L.** . 4-D lithosphere mapping; methodology and examples. *Tectonophysics*, 1996, vol. 262, no. 1-4, p. 3-18.
175. **Peacock, S.M., Bebout, G.E., Scholl, D.W., et al.** . Thermal and petrologic structure of subduction zones. Subduction top to bottom. *Geophysical monograph*, 1996, vol.96, p. 119-133.
176. **Platt, J.P., England, P.C.** . Convective removal of lithosphere beneath mountain belts: thermal and mechanical consequences. *American Journal of Science*, 1994, Vol.294, Iss.3, p. 307-36.

177. **Ramana, D.V., Singh, R.N.** . Effects of transient uplift/erosion on the surface heat flow and heat generation relationship in presence of small scale asthenospheric convection. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Earth and Planetary Sciences*, 1994, Vol.103, Iss.1, p. 27-36.
178. **Rouzo, S., Rabinowicz, M.** . *Modélisation de la segmentation des dorsales induite par la circulation convective à petite échelle*. Thèse, Université de Toulouse 3, 1995, 220 p.
179. **Rouzo, S., Rabinowicz, M., Briais, A.** . Segmentation of mid-ocean ridges with an axial valley, induced by small-scale mantle convection °conference abstract: EUG 8, Strasbourg, 9 -13. *Terra Abstr °Oxford*, 1995, § 7/1, p.147.
180. **Ruppel, C.** . Extensional processes in continental lithosphere. *Journal of geophysical research*, 1995, VOL. 100, NO. B12, p. 24187-24215.
181. **Schmeling, H., Bussod, G.Y.** . Variable viscosity convection and partial melting in the continental asthenosphere. *Journal of geophysical research*, 1996, VOL. 101, NO. B3, p. 5411-5423.
182. **Solov'yov, S.V.** . Simulation of the heat transfer of a lithospheric platform in the subduction zone. II. Method of solution and results of calculations. *Journal of engineering physics and thermophysics*, 1996, 69(2), p.208-217.
183. **Tsay, Y.L.** . Transient conjugated mixed-convective heat transfer in a vertical annular passage. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 1994, Vol.15, Iss.3, p. 226-232.
184. **Van Hook, S.J., Schatz, M. F., Swift, J.B., et al.** . Long-Wavelength Surface-Tension-Driven Bénard Convection: Experiment and Theory. *J. Fluid Mech.*, 1997, 345, p.45-78.
185. **Walzer, U., Hendel, R.** . Time-dependent thermal convection, mantle differentiation and continental-crust growth. *Geophysical Journal International*, 1997, Vol.130, Iss.2, p. 303-325.
186. **Walzer, U., Hendel, R.** . Tectonic episodicity and convective feedback mechanisms. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, Vol.100, Iss.1-4, p. 167-188.
187. **Wever, H.E., Storey, B.C., Leat, P.** . Peraluminous granites in NE Palmer Land, Antarctic Peninsula : early Mesozoic crustal melting in a magmatic arc. *Journal of the Geological Society* , 1995, 152 (p.1), p.85-96.
188. **Williams, C. F., Galanis Jr, S. P., Grubb, F. V., et al.** . The thermal regime of Santa Maria province, California. *US Geological Survey Bulletin*, 1994, v 1995-F,G, p. F1-F25.
189. **Woodward, R. L., Dziewonski, A., Peltier, W. R.** . Comparisons of seismic heterogeneity models and convective flow calculations. *Geophys. Res. Lett.*, 1994, 21, p.325-328.

## Les panaches de matière chaude

190. **Bizon, C., Werne, J., Predtechensky, A. A., et al.** . Plume Dynamics in Quasi 2D Turbulent Convection. *Chaos*, 1996, 7, p.107-124.
191. **Farnetani, C.G., Richards, M.A.** . Numerical investigations of the mantle plume initiation model for flood basalt events. *Journal of Geophysical Research*, 1994, Vol.99, Iss.B7, p. 13813-13833.
192. **Feighner, M., Richards, M.** . The fluid dynamics of plume-ridge and plume-plate interactions : an experimental investigation. *Earth Planet.Sci.Lett.*, 1995, 129, p.171-182.
193. **Kincaid, C., Ito, G., Cable, C.** . Laboratory investigation of the interaction of off-axis mantle plumes and spreading centres. *Nature*, 1995, Vol.376, Iss.6543, p. 758-761.
194. **Kincaid, C., Schilling, J-G., Gable, C.** . The dynamics of off-axis plume-ridge interaction in the uppermost mantle. *Earth Planet.Sci.Lett.*, 1996, 137, p.29-43.
195. **Leitch, A.M., Steinbach, V., Yuen, D.A.** . Centerline temperature of mantle plumes in various geometries : Incompressible flow. *Journal of Geophysical Research*, 1996, vol.101, n°B10, p.21829-21846.

196. **Morgan, J.P., Morgan, W.J., Yu-Shen Zhang, et al.** . Observational hints for a plume-fed, suboceanic asthenosphere and its role in mantle convection. *Journal of Geophysical Research*, 1995, Vol.100, Iss.B7, p. 12753-12767.
197. **Nakakuki, T., Sato, H., Fujimoto, H.** . Interaction of the upwelling plume with the phase and chemical boundary at the 670km discontinuity - effects of temperature-dependent viscosity. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, V121, N3-4 , P369-384.
198. **Osmond, D.** . *The Shape of Mantle Plumes Under Moving Plates*, ANU honours thesis, 1996.
199. **Pedersen, T., van der Beek, P.** . Extension and magmatism in the Oslo rift, southeast Norway: no sign of a mantle plume. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, Vol.123, Iss.1-4, p. 317-329.
200. **Ribe, N.M., Christensen, U.R.** . Three-dimensional modeling of plume-lithosphere interaction. *J. Geophys. Res.*, 1994, 99, p.669-682.
201. **Sleep, N.H.** . Lithospheric thinning by midplate mantle plumes and the thermal history of hot plume material ponded at sublithospheric depths. *Journal of Geophysical Research*, 1994, Vol.99, Iss.B5, p. 9327-9343.
202. **Stein, S., Stein, C.A.** . Sea-floor depth and the lake Wobegon effect. *Science*, 1997, 275 (5306), p. 1613-1614.
203. **West, B.P., Wilcock, W.S.D., Sempere, J., Geli, L.** . Three-dimensional structure of asthenospheric flow beneath the Southeast Indian Ridge. *Journal of Geophysical Research*, 1997, Vol.102, Iss.B4, p. 7783-7802.
204. **Yuen, D.A., Larsen, T.B.** . Fast plumeheads: Temperature-dependent versus non-Newtonian rheology. *Geophys. Research Lett.*, 1997, vol. 24, no. 16, p.1995-1998.
205. **Yuen, D.A., Leitch, A.M., Steinbach, V.C.** . Centerline temperature of mantle plumes in various geometries: incompressible flow. *J. Geophys. Res.*, 1996, 101, p.21,829-21,846.
206. **Yuen, D.A., Nakakuki, T., Honda, S.** . The interaction of plumes with the transition zone under continents and oceans. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1997, 146, p.379-392.
207. **Zhang, S., Yuen, D.A.** . Various influences on plume and dynamics of time-dependent, compressible mantle convection in 3-D spherical shell. *Phys. Earth Planet Inter.*, 1996, 94, p.241-267.

## La convection du point de vue expérimental

208. **Alchaar, S., Vasseur, P., Bilgen, E.** . Natural convection heat transfer in a rectangular enclosure with a transverse magnetic field. *Transactions of the ASME. Journal of Heat Transfer*, 1995, Vol.117, Iss.3, p. 668-673.
209. **Bassom, A.P., Soward, A.M.** . Localised rotating convection induced by topography. *Physica D*, 1996, Vol.97, Iss.1-3, p. 29-44.
210. **Becerril, R., Swift, J.B.** . Amplitude Equations for Isothermal Double Diffusive Convection. *Phys. Rev.*, 1996, E 55, p.6270-6273.
211. **Blennerhasset, P.J., Bassom, A.P.** . Nonlinear high-wavenumber Benard convection. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 1994, Vol.52, Iss.1, p. 51-77.
212. **Cowley, M.D.** . On the temperature distribution due to convection in the horizontal Bridgman crystal-growth configuration with vertical magnetic field. *Magnetohydrodynamics*, 1995, Vol.31, Iss.3, p. 236-244.
213. **Desai, C.P., Vafai, K.** . An investigation and comparative analysis of two- and three-dimensional turbulent natural convection in a horizontal annulus. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1994, Vol.37, Iss.16, p. 2475-504.
214. **Henkes, R.A.W.M., Le Quere, P.** . Three-dimensional transition of natural-convection flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 1996, Vol.319, p. 281-303.

215. **Hoon Ki Choi, Park, S.O.** . Mixed convection flow in curved annular ducts. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1994, Vol.37, Iss.17, p. 2761-2769.
216. **Jin, Y.Y., Chen, C.F.** . Natural convection of high Prandtl number fluids with variable viscosity in a vertical slot. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1996, Vol.39, Iss.13, p. 2663-2670.
217. **Kerswell, R.R.** . Variational bounds on shear-driven turbulence and turbulent Boussinesq convection. *Physica D*, 1997, Vol.100, Iss.3-4, p. 355-376.
218. **Mantle, W. J., Kazmierczak, M., Hiaw, B.** . The Effect of Temperature Modulation on Natural Convection in a Horizontal Layer Heated From Below: High-Rayleigh-Number Experiments. *ASME Journal of Heat Transfer*, 1994, Vol. 116, , p. 614-620.
219. **Moresi, L.N., Solomatov, V.S.** . Numerical investigations of 2D convection with extremely large viscosity variations. *Phys.Fluids*, 1995, 7, p.2154-2162.
220. **Ratcliff, J.T., Schubert, G., Zebib, A.** . Effects of temperature-dependent viscosity on thermal convection in a spherical shell. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1996, v 97, n 1-3, p 242-252.
221. **Ratcliff, J.T., Schubert, G., Zebib, A.** Steady tetrahedral and cubic patterns of spherical shell convection with temperature-dependent viscosity. *Journal of geophysical research*, 1996, 101 (B11), p.25473-25484
222. **Ratcliff, J.T.; Tackley, P.J., Schubert, G. et al.** . Transitions in thermal convection with strongly variable viscosity. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, 102(3-4), p. 201-212.
223. **Schopf, W., Patterson, J.C.** . Visualization of natural convection in a side-heated cavity: transition to the final steady state. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1996, Vol.39, Iss.16, p. 3497-509.
224. **Solomatov, V.S.** . Scaling of temperature dependent and stress-dependent viscosity convection. *Phys.Fluids*, 1995, 7, p.266-274.
225. **Wang, G., Vanka, S.P.** . Convective heat transfer in periodic wavy passages. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1995, Vol.38, Iss.17, p. 3219-30.

## Les descentes de matière

226. **Christensen, U.R.** . The influence of trench migration on slab penetration into the lower mantle. *Earth Planet.Sci.Lett.*, 1996, 140, p.27-39.
227. **Insergueix, D., Dupeyrat, L., Menvielle, M., Tric, E.** . Dynamical and thermal structure of a subduction zone: influence of slab geometry on the convective state of the Earth's upper mantle; preliminary results. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1997, Vol.99, Iss.3-4, p. 231-247.
228. **Lay, T.** . The fate of descending slabs. *Annu.Rev.Earth Planet.Sci.*, 1994, 22, p.33-62.
229. **Lins S.J., Hanggi, P.** .Effects of periodic shear on avalanches in granular systems. *Physica D*, 1996, V97, N4, p.577-587.
230. **Ray, T.W., Anderson, D.L.** . Spherical disharmonics in the Earth sciences and the spatial solution : Ridges, hotspots, slabs, geochemistry, and tomography correlations. *J.Geophys.Res.*, 1994, 99, p.9605-9614.
231. **Wen, L., Anderson, D.L.** . The fate of slabs inferred from seismic tomography and 130 million years of subduction. *Earth Planet.Sci.Lett.*, 1995, 133, p.185-198.
232. **Yoshioka, S., Daessler, R., Yuen, D.A.** . *Stress Fields Associated with Metastable Phase Transitions in Descending Slabs and Deep-Focus Earthquakes*. University of Minnesota Supercomputing Institute Research Report UMSI 96/224, November 1996.
233. **Yuen, D.A., Daessler, R.** . The metastable olivine wedge in fast subducting slabs: constraints from thermokinetic coupling. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1996, 137, p.109-118.

234. **Yuen, D.A., Daessler, R., Karato, S. et al.** Two-dimensional thermo-kinetic model for the olivine-spinel phase transition in subducting slabs. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1996, 94, p.217-239.
235. **Yuen, D.A., Larsen, T., Malevsky, A.** . Dynamical consequences on fast subducting slabs from a self-regulating mechanism due to viscous heating in variable viscosity convection. *Geophys. Res. Lett.*, 1995, 22, p.1277-1280.
236. **Yuen, D.A., Yoshioka, S., Larsen, T.B.** . Slab weakening: mechanical and thermal-mechanical consequences for slab detachment. *The Island Arc*, 1995, 4, p.89-103.