

Année Universitaire 2025 – 2026
Unité de Recherche : IPGP
Équipe(s) : Dynamique des fluides géologiques & Sismologie
Encadrant(s) : A. Fournier & G. Moguilny



GÉOPHYSIQUE OU AUTRE

Le Rapport de Stage de Master

Albert Tarantola

30 mars 2026

Résumé

Le stage de recherche du master est essentiel dans la formation d'un scientifique, car il permet un premier contact avec le monde de la recherche. La rédaction du rapport est une composante importante du stage. Il doit être rédigé en suivant le style littéraire habituel des articles scientifiques, avec ses usages bien codifiés. Les différentes parties du rapport : *Résumé*, *Introduction*, *Résultats*, *Discussion*, *Conclusion*, *Remerciements*, *Références bibliographiques*, et *Annexes*, ont chacune des objectifs bien déterminés. On doit chercher la perfection dans la forme.

Mots clés : Sciences de la Terre, master, rapport, conseils

Albert Tarantola (1949-2009) : Géophysicien français d'origine espagnole, dont les travaux ont notamment porté sur la théorie du problème inverse. Il a effectué sa carrière à l'IPGP, étant notamment responsable du DEA (diplôme d'études approfondies, l'ancêtre du master 2) de géophysique interne entre 1991 et 1996. En tant que responsable du DEA, il a encouragé l'utilisation de \LaTeX pour la rédaction des rapports de stage, et rédigé des recommandations reprises dans ce document.

Sommaire

1	Introduction	3
2	Les différentes parties d'un article	3
2.1	Le résumé	3
2.2	L'introduction	3
2.3	La méthodologie, l'analyse, la discussion	3
2.4	Les conclusions	3
2.5	Les références bibliographiques	3
2.6	Les annexes	4
3	Quelques remarques d'ordre général	4
3.1	Les figures	4
3.2	Les tables	5
3.3	Les équations	6
3.4	La typographie	6
3.5	L ^A T _E X, Word, ou quoi d'autre ?	6
3.6	Les erreurs courantes à éviter	7
3.7	Utilisation de B _I B _L T _E X avec (biber) pour les références	7
3.8	I _A graphie	8
4	Conclusion	8
5	Remerciements	8
	Références	10
A	Annexes	11
A.1	Précisions sur un certain point	11
A.2	Précisions sur un autre point	11

1 Introduction

Le stage de recherche du master permet aux étudiants d'apprendre le métier de chercheur, en participant au travail de recherche d'un laboratoire. Le travail d'un chercheur ressemble beaucoup à celui d'un journaliste : il faut d'abord avoir l'idée d'un sujet d'enquête, ensuite, il faut que l'enquête fournisse des informations et, enfin, il faut la publier. Une grande quantité d'enquêtes journalistiques, et de recherches scientifiques, sont restées ignorées parce que leur publication a été bâclée.

Rédiger un rapport scientifique prend beaucoup de temps. Après un "premier jet", il faut souvent tout réécrire. Lorsque la forme du rapport semble acceptable, il faut demander l'avis de ses collègues, y apporter des modifications (souvent dramatiques), et itérer le processus jusqu'à ce qu'un document de lecture facile ait été produit. Il existe un *style littéraire* très strict que les jeunes chercheurs ont parfois du mal à accepter. Si l'originalité est indispensable pour le sujet de recherche, elle est simplement distrayante dans la publication, où on ne demande que de la perfection dans la présentation.

2 Les différentes parties d'un article

2.1 Le résumé

Partie très importante du rapport. Il doit permettre de se faire une idée précise des résultats. Le style est identique à celui de l'article, simplement en résumé. Oubliez que le résumé est publié au début de l'article et rédigez comme s'il devait être la seule chose qui existe : ne faites pas référence à l'article (si vous disiez "nous montrons que..." vous seriez en train de le faire). Ne parlez pas de "certaines" hypothèses ou résultats ; dites lesquels ou lesquelles (ou n'en parlez pas si ce n'est pas important). Il est difficile de véhiculer beaucoup d'information en peu de lignes, mais c'est indispensable.

2.2 L'introduction

Sert à situer le contexte du travail. Pourquoi est-ce intéressant ? Qui a travaillé avant sur ce sujet ? Quelle démarche avons-nous suivies ? Il faut aussi dans l'introduction expliquer l'organisation de l'article (après quelques rappels de la théorie de base, l'instrument utilisé est décrit dans la section 3.2...), sans que cela devienne une "table des matières".

2.3 La méthodologie, l'analyse, la discussion

Évidemment, la partie la plus importante dans le fond, très difficile à écrire. C'est ici que la démarche scientifique doit être scrupuleusement suivie. De la rigueur, de la rigueur, et de la clarté.

2.4 Les conclusions

Les conclusions doivent déjà apparaître dans le résumé et le corps de l'article. Ici, en utilisant un langage technique —permis par la lecture de l'ensemble du rapport,— on doit oublier les détails, faire ressortir l'essentiel et *ouvrir des perspectives*.

2.5 Les références bibliographiques

Il existe plusieurs styles pour les références bibliographiques. Il en existe même trop : raison de plus pour ne pas en inventer davantage. Pour le rapport de stage du master, suivez le style défini avec ce gabarit.

Notez que l'article de (Cao et al., 1990) contient, dans la liste de références bibliographiques, le nom explicite de tous les auteurs. L'article de (Crase et al., 1992) est sorti. Il y a aussi un article qui n'a été

que soumis (Frezat et al., 2025). En fait, si vous utilisez L^AT_EX et ce gabarit, le formatage des références est géré automatiquement et vous n’avez pas à vous occuper du style (quand vous aurez besoin d’aide, adressez-vous à Geneviève Moguilny, au troisième étage).

Lors de votre présentation orale, souvenez-vous que la locution latine “et al.” est réservée à l’écrit : on ne dit pas “Cao et al.”, mais “Cao et collaborateurs”.

2.6 Les annexes

Un article doit être très lisible. Pour cela, il est utile de mettre en annexe toute démonstration ou discussion un peu lourde qui peut être distrayante. Il est préférable de n’écrire dans l’article, dans un langage simple, que la trame des conclusions, qui seront justifiées dans le détail seulement dans les annexes.

3 Quelques remarques d’ordre général

L’information essentielle du rapport doit se trouver à **quatre** endroits différents : dans le résumé, dans le corps de l’article, dans les légendes des figures et des tables, et dans la conclusion.

Il faut lire beaucoup d’articles scientifiques. C’est la seule façon de saisir le *style littéraire* d’un rapport scientifique. N’envisagez pas d’écrire votre rapport sans une bonne connaissance des revues scientifiques importantes (*Nature*, *Science*, *Journal of Geophysical Research*, *Geophysical Journal International*, *Journal of Fluid Mechanics*, *Seismica*, *Journal of Studies of the Earth’s Deep Interior*, ...). Le style d’un rapport scientifique n’est pas celui des revues de vulgarisation (*Epsilon*, *La Recherche*...) qui, par ailleurs, peuvent être excellentes.

De plus, pour ce rapport, au format A4 :

- la première page doit contenir le résumé de 20 à 25 lignes,
- la deuxième page doit contenir le Sommaire,
- le nombre de pages ne doit pas excéder 30,
- les pages doivent être numérotées en haut à droite/gauche (pour celles de numéro impair/pair).

3.1 Les figures

Si possible, les points clefs de l’article doivent être illustrés par une figure (celle qui vaut plus que 100 mots).

En utilisant des logiciels habituels de dessin (e.g., *Illustrator*, *gimp*), il est possible de produire des figures propres qui peuvent s’intégrer dans l’article en utilisant un des paquets (ou *packages*) existants comme `graphicx`. Essayez, dans la mesure du possible, de produire des figures en format pdf (*Portable Document Format*).

Il n’est pas interdit d’utiliser une figure extraite d’un livre ou d’un article, mais il ne faut pas oublier d’en donner la référence exacte.

Dans la forme finale du rapport, les figures doivent être à leur place. Les légendes des figures doivent être assez explicites pour permettre de comprendre le travail, même si on ne lit que le résumé et les légendes des figures.

L’inclusion d’une image simple est montrée sur la figure 1, et un agencement plus sophistiqué sur les figures 2 à 4.



FIGURE 1 – Logo de l’IPGP depuis juin 2022.

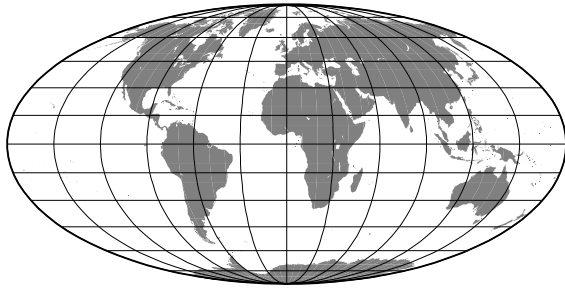


FIGURE 2 – Image produite par GMT.

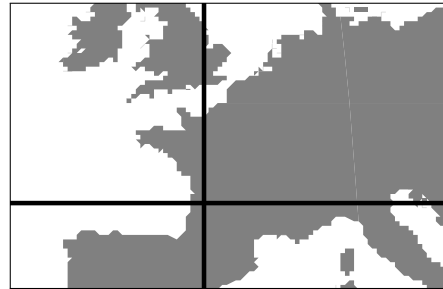


FIGURE 3 – Zoom sur la Fig 2.

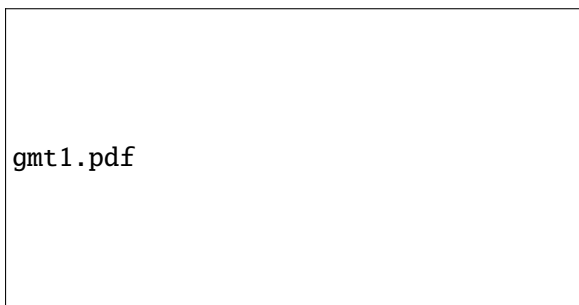


FIGURE 4 – Comme la Fig 2, mais en draft.

Deux erreurs sont très communes

1. Des figures inutilement grandes : la résolution d’une figure est plus importante que la taille et souvent une même figure est plus “sympathique” en plus petit.
2. Des figures tournées de 90° qui forcent le lecteur à la tourner, pour l’afficher en mode “paysage”. C’est très rare qu’il existe des bonnes raisons à cela.

3.2 Les tables

L’environnement pour créer des tableaux est `tabular`. Cet environnement doit être accompagné d’un argument qui précise le nombre de colonnes, et la position de leur contenu (à droite, centrée ou à gauche). Le passage d’une colonne à l’autre se fait avec le symbole `&` et le passage d’une ligne à l’autre par `\\`. Il est possible d’ajouter des lignes verticales. (dans la définition des colonnes) et des lignes horizontales avec `\hline` après le `\\`.

Les commandes `\toprule`, `\midrule` et `\bottomrule` du package `booktabs` permettent d’obtenir des lignes plus esthétiques que les lignes standard.

Un tableau peut être encapsulé dans un environnement `table`, qui est un objet flottant comme les figures, mais il est d’usage de mettre la légende avant le tableau lui-même.

TABLE 1 – Quelques nombres de pétales.

Fleur	Pétales (ou fleurons)
Marguerite	21
Tulipe	6
Rose sauvage	5
Lys	6

3.3 Les équations

Écrivons quelques lignes de texte technique pour illustrer la façon normale d'écrire des équations.

Soit un milieu parfaitement élastique, et soient $\sigma^{ij}(\mathbf{x}, t)$ et $\varepsilon^{ij}(\mathbf{x}, t)$ respectivement les composantes $\{i, j\}$ de la contrainte et de la déformation au point \mathbf{x} et à l'instant t . Pour des petites déformations, nous pouvons écrire, au premier ordre,

$$\sigma^{ij}(\mathbf{x}, t) = \sigma_0^{ij}(\mathbf{x}, t) + c_0^{ijkl}(\mathbf{x}) \varepsilon^{kl}(\mathbf{x}, t), \quad (1)$$

où le terme $\sigma_0^{ij}(\mathbf{x}, t)$ est appelé *précontrainte*, et où les coefficients $c_0^{ijkl}(\mathbf{x})$ sont les *constantes élastiques*. L'équation (1) représente la *Loi de Hooke*. Maintenant, que représente l'équation

$$E(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{2} \sigma^{ij}(\mathbf{x}, t) \varepsilon^{ij}(\mathbf{x}, t) ? \quad (2)$$

Peu importe en vérité, car elle est hors sujet. Par contre, en utilisant la loi de Hooke (1) et le principe fondamental de la dynamique, on démontre l'*équation des ondes élastiques* :

$$\rho \frac{\partial^2 u^i}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial x^j} \left(c_0^{ijkl} \frac{\partial u^k}{\partial x^l} \right) = 0. \quad (3)$$

La discussion ci-dessus illustre quelques unes des règles à utiliser dans un texte contenant des équations :

- Il faut introduire dans le texte **toutes** les variables.
- Il faut numéroter **toutes** les équations.
- Dans la mesure du possible, il faut donner un *nom* à chaque équation, et, dans la suite du texte, dire "l'équation des ondes (3)" au lieu de "l'équation (3)".
- Il faut *ponctuer* les équations, car elles font partie du texte. Ici, non seulement nous avons des équations se terminant par des virgules et des points, mais même une équation se terminant par un point d'interrogation.
- N'abusez pas du " : " pour arriver aux équations : dans les exemples ci-dessus, seulement une équation le permet.

3.4 La typographie

Soignez l'orthographe. Évitez même les erreurs comme celle de ne pas accentuer les majuscules (cette phrase commence par une majuscule accentuée, et pour vous convaincre, regardez les couvertures de livres ou les titres des journaux, ou vérifiez dans votre dictionnaire que l'on écrit bien États-Unis. . .).

3.5 L^AT_EX, Word, ou quoi d'autre ?

Tout logiciel de préparation de documents peut être utilisé pour produire votre rapport. L^AT_EX est bien adapté à la publication scientifique, avec ses notations mathématiques. Mais, surtout, il est devenu le standard pour la publication technique.

Pour votre rapport vous devrez utiliser exactement le style illustré par ce document. Si vous utilisez \LaTeX , vous n’aurez rien de spécial à faire : ni à définir les polices de caractères (ou fontes), ni les espaces entre sections, etc.), car ceci n’est qu’une adaptation mineure du style “article” de \LaTeX . Je déconseille de choisir un autre logiciel, moins standard ou moins technique. Si vous êtes obligés de le faire, reproduisez exactement le style de ce document. Pensez à bien utiliser une taille de police de caractères de 11 points¹ pour le texte principal.

3.6 Les erreurs courantes à éviter

Une erreur courante des auteurs inexpérimentés est de ne pas donner assez d’importance aux références bibliographiques : références manquantes, références citées dans le texte, mais absentes de la liste finale, etc. Souvent aussi, la liste des références ne suit pas un des formats habituels, ou il y manque un des éléments (année, page, etc.).

Souvent les figures sont trop grandes, ou bien elles dépassent des marges de l’article. Évitez d’obliger le lecteur à tourner la revue : il est rare qu’une figure doive absolument avoir un format paysage sur une page entière. Parfois il y a une multiplicité de légendes : on écrit des phrases dans la figure elle-même.

Il arrive que le résumé ou l’introduction manquent, ou que l’on confonde leurs rôles respectifs.

Si un document a un seul auteur, on ne doit jamais utiliser le “nous”, qui est réservé au Pape. Le “je” doit être utilisé dans des très rares occasions. Soyez neutre : “il” est possible de montrer que. . .

Une grave erreur consiste à sous-estimer le temps qu’il faut pour produire un rapport sous sa forme finale : commencez à rédiger dès la mi-stage. Même si vos recherches sont loin d’avoir abouti, vous pouvez déjà commencer à mettre la bibliographie — et, surtout, vos idées — en place.

Autres erreurs communes :

- utiliser le retour chariot (`\`) pour finir un paragraphe,
- essayer de forcer le placement des objets flottants comme les figures et les tables (option `[h]`),
- continuer à saisir du texte, sans corriger les erreurs de compilations, et ne pas regarder les causes d’erreurs dans les fichiers log.

3.7 Utilisation de $\Bib\LaTeX$ avec (biber) pour les références

Il est impératif que vous preniez l’habitude d’utiliser $\Bib\LaTeX$ pour gérer votre base de données de références et son adressage dans votre texte. L’utilisation de $\Bib\LaTeX$ est détaillée dans le texte de ([Moguilny](#)). Ne pas oublier d’ajouter les DOI (*Digital Object Identifier*) dans les entrées de la base de données `.bib`.

Quelques emplois possibles :

```
\textcite{roberts2012theory} donnera Roberts et Aurnou (2012)
\parencite{roberts2012theory} donnera (Roberts et Aurnou, 2012)
\parencite[voir par exemple][\S 2]{roberts2012theory} donnera
    (voir par exemple Roberts et Aurnou, 2012, §2)
\citeauthor{roberts2012theory} donnera Roberts et Aurnou
\citeyear{roberts2012theory} donnera 2012
```

La variable `pubstate` dans l’entrée d’une publication de la base de données permet de préciser son état, par exemple “soumis” pour [Frezat et al. \(2025\)](#).

1. Au passage, pour éviter de couper entre un nombre et son unité, utiliser le tilde (blanc insécable) : 11~points.

3.8 IAgraphie

3.8.1 Utilisation de l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (qui inclut, sans s'y limiter, les grands modèles de langage) peut être utilisée de manière responsable et éthique tout au long d'une étude scientifique. Le principe directeur concernant l'utilisation de l'IA est que les auteurs d'un manuscrit sont entièrement responsables de l'intégrité de leur travail, qu'ils aient utilisé ou non des outils d'IA.

3.8.2 Amélioration linguistique

Les outils d'intelligence artificielle peuvent être utiles pour améliorer la qualité rédactionnelle d'un manuscrit. Il n'est **pas nécessaire de déclarer** l'utilisation d'outils d'amélioration linguistique basés sur l'IA.

3.8.3 Génération d'images

L'utilisation d'**images générées par IA est interdite** sauf si elle s'inscrit dans le cadre de traitement de données (cas ci-dessous).

3.8.4 Outils d'analyse scientifique

Les outils d'intelligence artificielle peuvent être utilisés dans le cadre d'une analyse scientifique. Cela inclut notamment la génération de code informatique, l'assistance au débogage, la reconnaissance de motifs ou d'autres méthodes d'analyse de données adaptées à une approche par IA.

Cette usage doit être déclaré. L'auteur doit fournir suffisamment de détails pour permettre la reproductibilité des résultats générés avec l'IA (IA et la version utilisée, instructions utilisées ou *prompts*, ...).

4 Conclusion

Écrire un rapport de stage de master n'est pas aisé. Cela prend du temps, et les difficultés sont souvent sous-estimées. Mais cette rédaction est une composante essentielle du stage de recherche.

Le *style* d'un rapport technique est bien codifié, et laisse peu de place à l'originalité, qui, par contre, aura libre cours dans le choix du sujet ou des méthodes de recherche. On demande une grande *clarté* et une grande *concision* dans la présentation. Pour cela, il faut s'y prendre avec du temps : un document écrit se travaille beaucoup avant de le divulguer.

5 Remerciements

Généralement, vous serez le seul signataire du rapport — et, donc, le seul responsable —. Votre directeur de stage n'apparaîtra que dans cette section "*Remerciements*". Si votre rapport contient des résultats scientifiques, veillez à faire justice, et faire apparaître ici les apports respectifs de votre directeur de stage et de vous même.

Un style typique pour cette section est le suivant :

Remerciements. Ce stage de master a été effectué dans le Laboratoire de Géopantouffisme de l'Institut de physique du globe de Paris, sous la direction de Napoléon Bonaparte, que je voudrais remercier pour la qualité du café qu'il sait faire. Émile Zola m'a aidé avec le logiciel L^AT_EX de préparation de documents. Le logiciel de dessin utilisé appartient à l'Université de Cochabamba. Cette recherche a été menée à bien grâce à une bourse du Ministère des Anciens Ministres, et le microscope aquatique utilisé a été financé par le Centre National de la Recherche Parapsychologique.

Références

- Cao, D., Beydoun, W. B., Singh, S. C. et Tarantola, A. (1990). “A simultaneous inversion for background velocity and impedance maps”. In : *Geophysics* 55.4, p. 458-469. DOI : [10.1190/1.1442855](https://doi.org/10.1190/1.1442855).
- Cruse, E., Wideman, C., Noble, M. et Tarantola, A. (1992). “Nonlinear elastic waveform inversion of land seismic reflection data”. In : *Journal of Geophysical Research* 97.B4, p. 4685-4703. DOI : [10.1029/90JB00832](https://doi.org/10.1029/90JB00832).
- Frezat, H., Gastine, T. et Fournier, A. (2025). “Online learning of subgrid-scale models for quasi-geostrophic turbulence in planetary interiors”. In : *Journal of Fluid Mechanics*. Soumis.
- Moguilny, G. (s. d.). *Introduction à L^AT_EX*. Rapp. tech. IPGP. URL : <https://www.ipgp.fr/en/ltxdoc/>.
- Roberts, P. H. et Aurnou, J. M. (2012). “On the theory of core-mantle coupling”. In : *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics* 106.2, p. 157-230. DOI : [10.1080/03091929.2011.589028](https://doi.org/10.1080/03091929.2011.589028).

A Annexes

A.1 Précisions sur un certain point

A.2 Précisions sur un autre point

