

---

# **Recalage difféomorphique d'images respectant les différences topologiques**

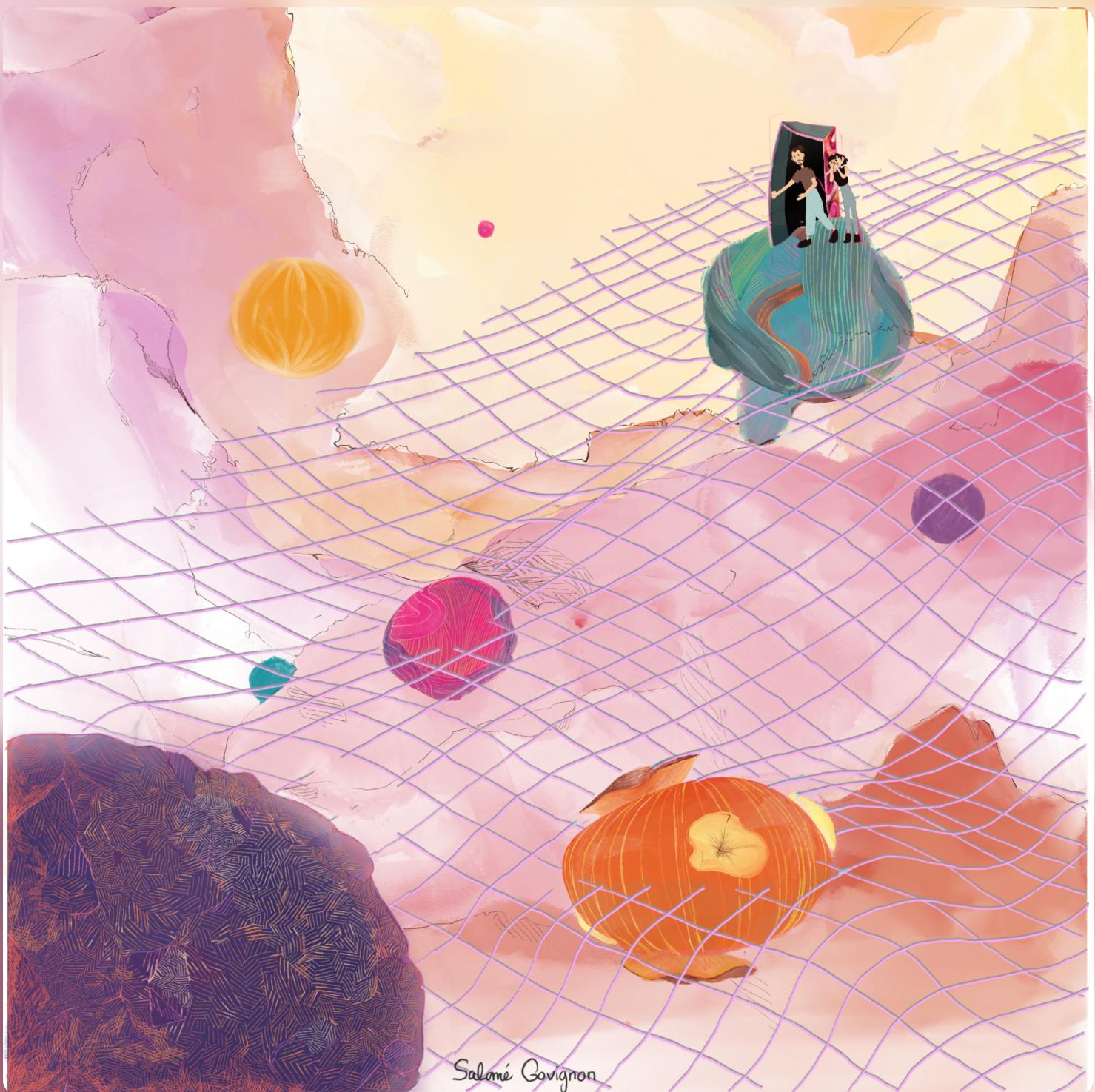
**Metamorphoses sur des IRM de cerveaux  
atteints de Glioblastomes**

---

## **THÈSE DE DOCTORAT MATHÉMATIQUES**

*Spécialité:* Mathématiques Appliquées

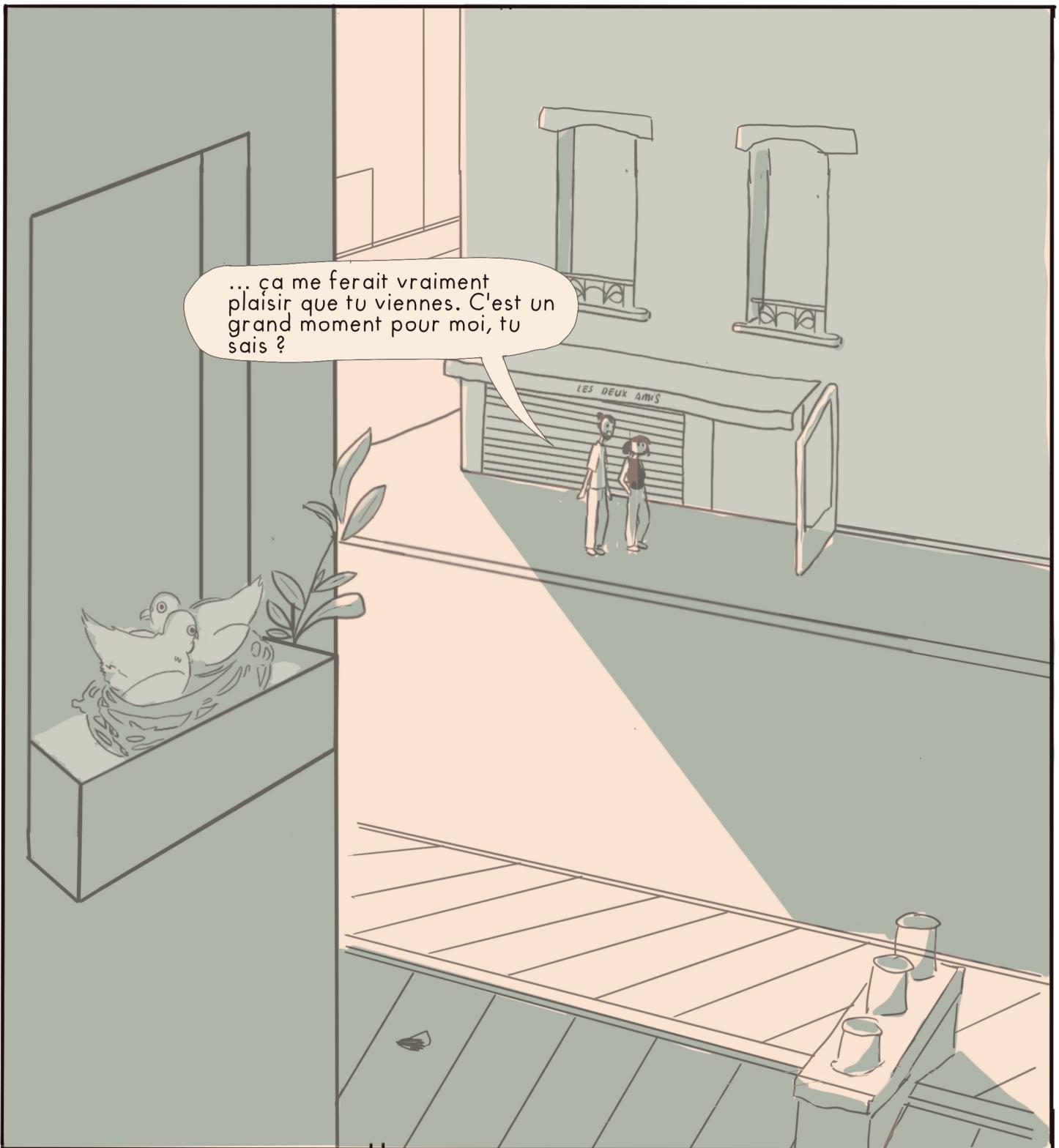
*Scénario: Anton François - Illustration: Salomé Govignon*



Salomé Govignon





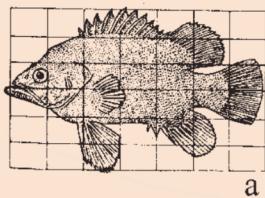


Je peux essayer de t'expliquer si tu veux.

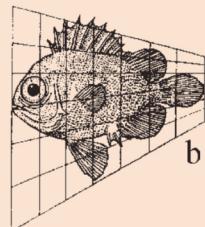
oui !

Alors la première graine du domaine dans lequel je travaille a été plantée par le biologiste D'Arcy Thompson en 1917. Il est arrivé après le grand Darwin, et s'est inscrit dans sa lignée. Comme tous les biologistes de l'époque il a seulement pu accepter les grandes similarités entre espèces.

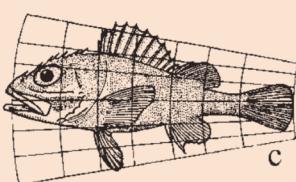
Il a remarqué et construit une première méthode pour comparer des espèces en comparant la déformation nécessaire pour pouvoir les aligner parfaitement. Il n'avait bien sûr pas d'ordinateur à disposition, et il ne s'est pas borné qu'aux déformations linéaires. C'est à dire : zoom, rotation et étirement.



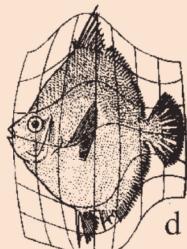
a



b



c



d

Les biologistes ont aussi remarqué que les déformations linéaires étaient efficaces pour comparer les espèces entre elles, alors que les variations aux sein d'une espèce sont mieux expliquées par des déformations plus complexes.



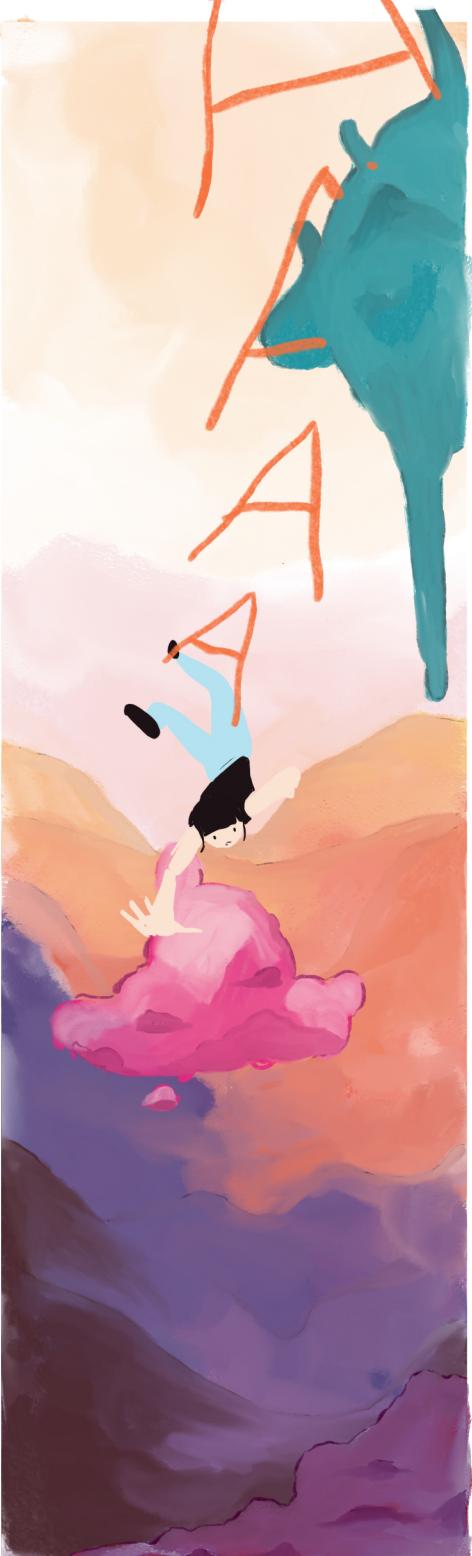
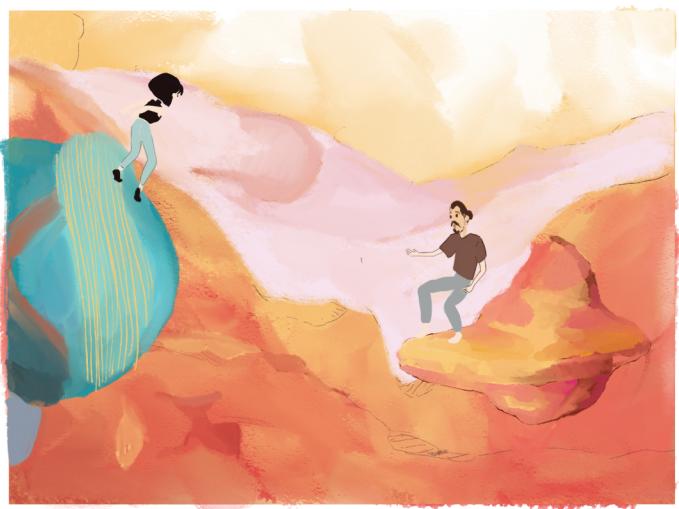
C'est ça que tu fais avec tes photos de cerveaux ?

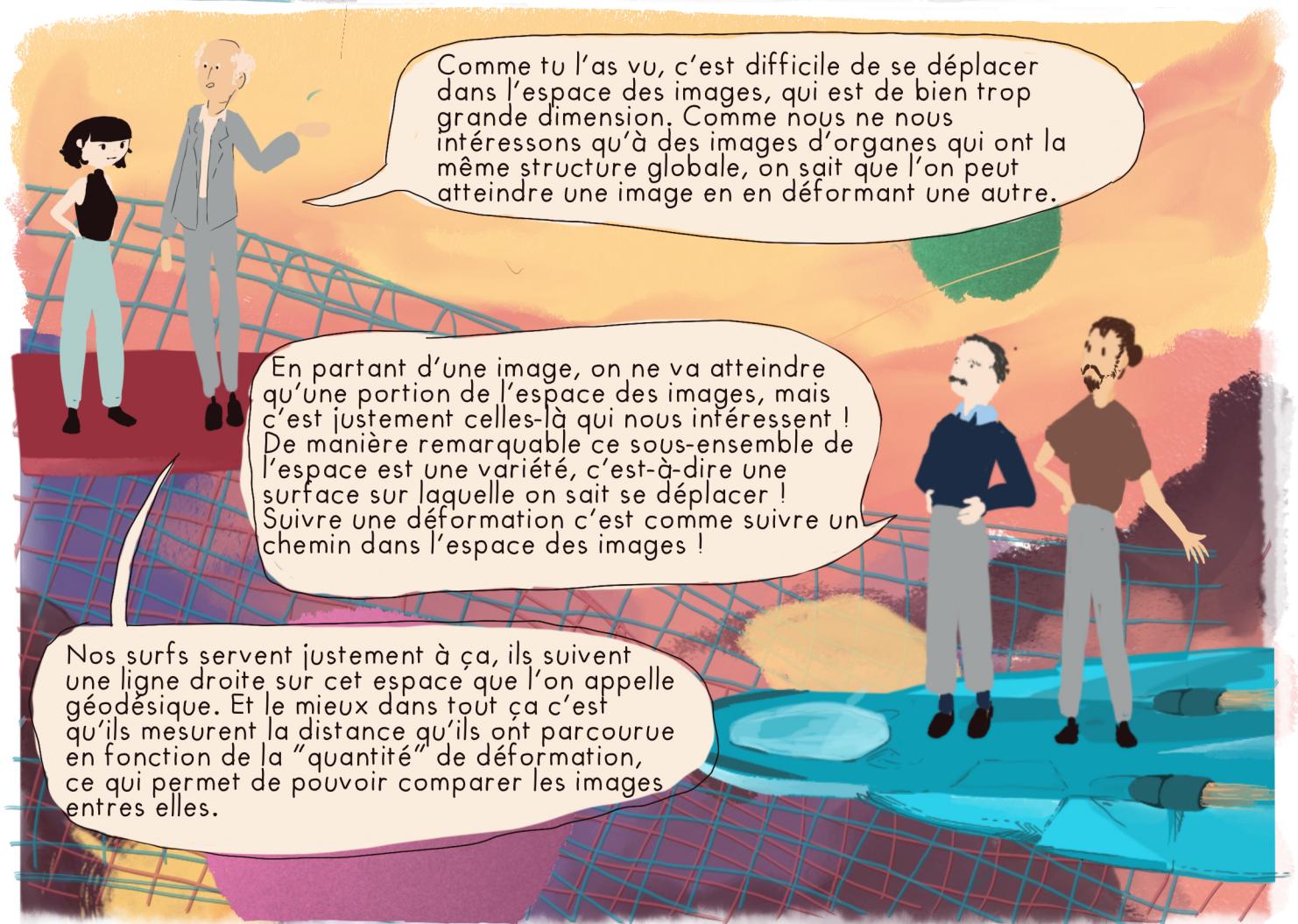
Oui! Exactement, je me place dans l'espace des images et ...

L'espace des images ? c'est quoi ?











C'est vrai ! Au fait, si vous voulez sortir d'ici vous trouverez une sortie à cette image ci.

Merci pour ces informations !









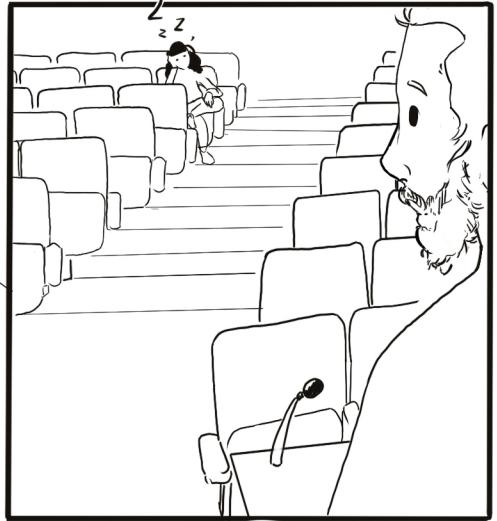


Le recalage d'image est réalisé par l'intégration d'une géodésique dans l'espace latent. On cherche la déformation qui va amener une image à ressembler à une autre.

L'évolution des images est décrite par des équations aux dérivées partielles qui sont, de manière remarquable les mêmes que celles de la dynamique des fluides.

En effet on reconnaît ici l'advection ...

Qu'est ce que c'est que cette langue, je n'y comprends rien.



Attends je vais t'expliquer !



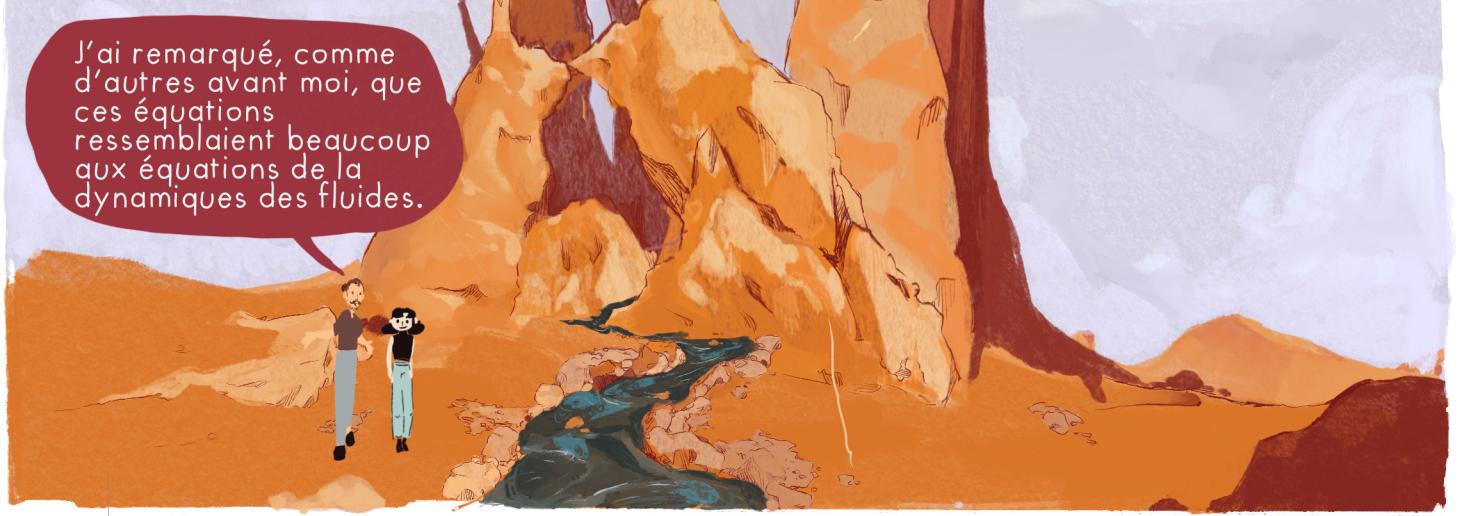


Ok mais je ne suis pas sur de comprendre

Tu vas voir ce n'est pas si compliqué



Mon objectif était d'implémenter les Métamorphoses, et pour ça j'avais à disposition la formule d'une géodésique qui relie deux images.



J'ai remarqué, comme d'autres avant moi, que ces équations ressemblaient beaucoup aux équations de la dynamiques des fluides.

Si ces équations décrivent l'évolution du fluide, il faut pouvoir réaliser cette opération par un ordinateur afin de pouvoir le représenter.

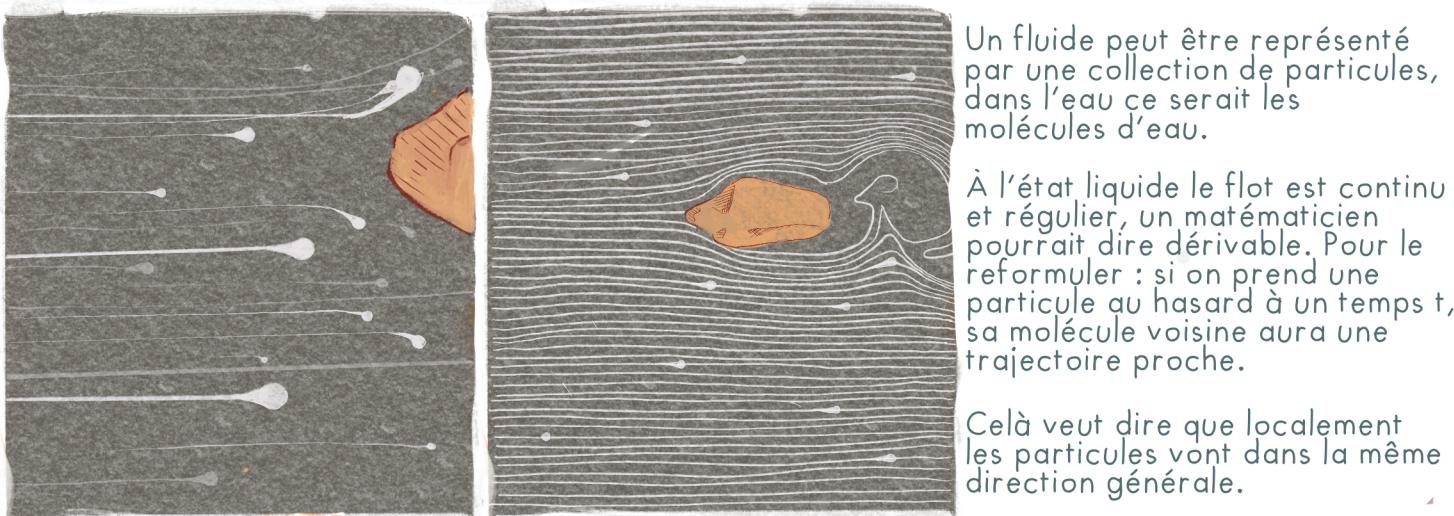
Ça a l'air compliqué...

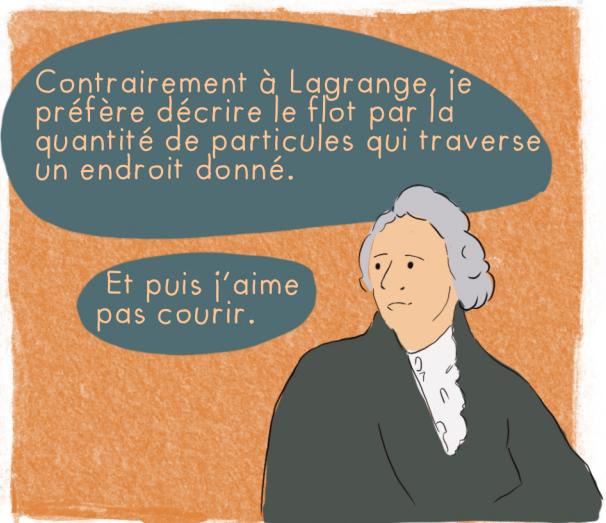
C'est vrai...



Heureusement tout un pan de la physique essaie d'y répondre. Mais je n'y connaissait rien ...

Allons voir Lagrange, il nous donnera peu être une idée.





Si la méthode d'Euler fonctionne bien elle demande de faire les variations avec des petits pas de temps et donc de faire beaucoup de calculs ! Et elle est bien moins stable que celle de Lagrange



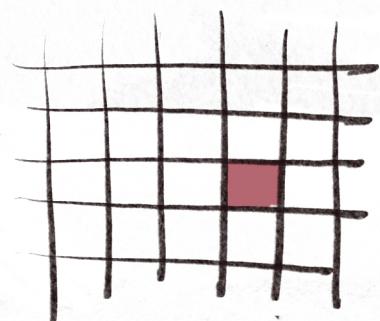
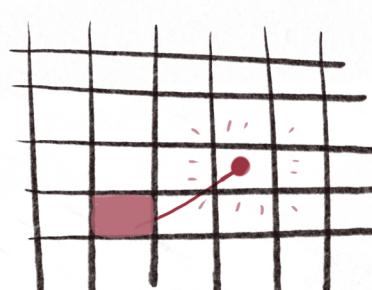
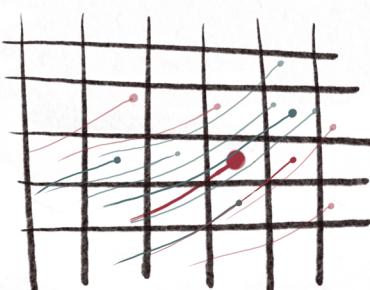
Heureusement, on peut faire en sorte de prendre le meilleur des deux méthodes.



On choisit les particules qui arrivent au centre de nos pixels ...

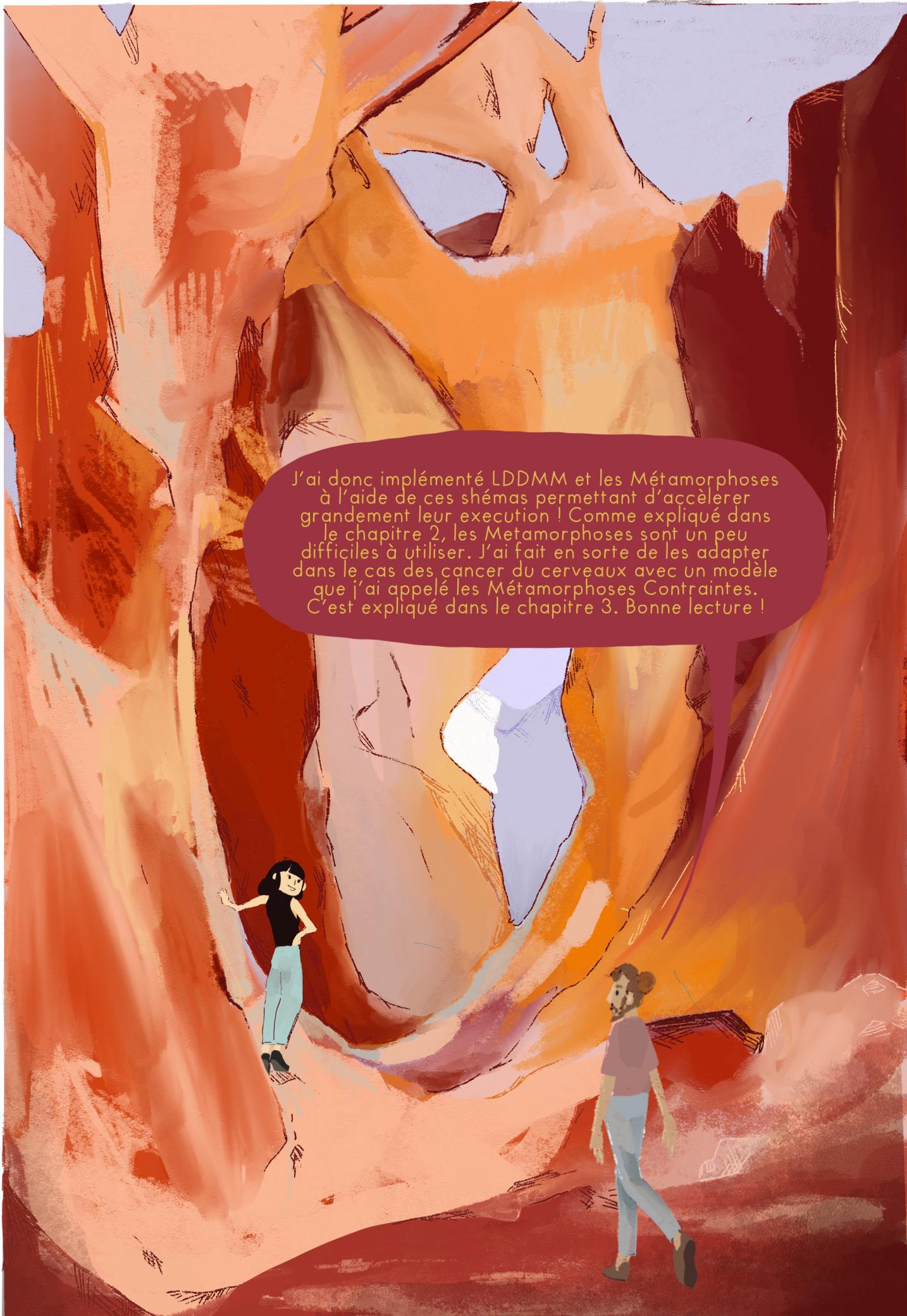
On récupère la couleur de la case, d'où elle est partie ...

Et on remplace la couleur de la case d'arrivée par cette dernière!



Ici on peut voir un exemple d'évolution de ce type de schémas numériques.





J'ai donc implémenté LDDMM et les Métamorphoses à l'aide de ces schémas permettant d'accélérer grandement leur execution ! Comme expliqué dans le chapitre 2, les Metamorphoses sont un peu difficiles à utiliser. J'ai fait en sorte de les adapter dans le cas des cancer du cerveaux avec un modèle que j'ai appelé les Métamorphoses Contraintes. C'est expliqué dans le chapitre 3. Bonne lecture !