



Guide de la démo « Zoom sur les côtes »

Espace LOGIN – espace interactif dédié aux sciences du numérique

10-02-23

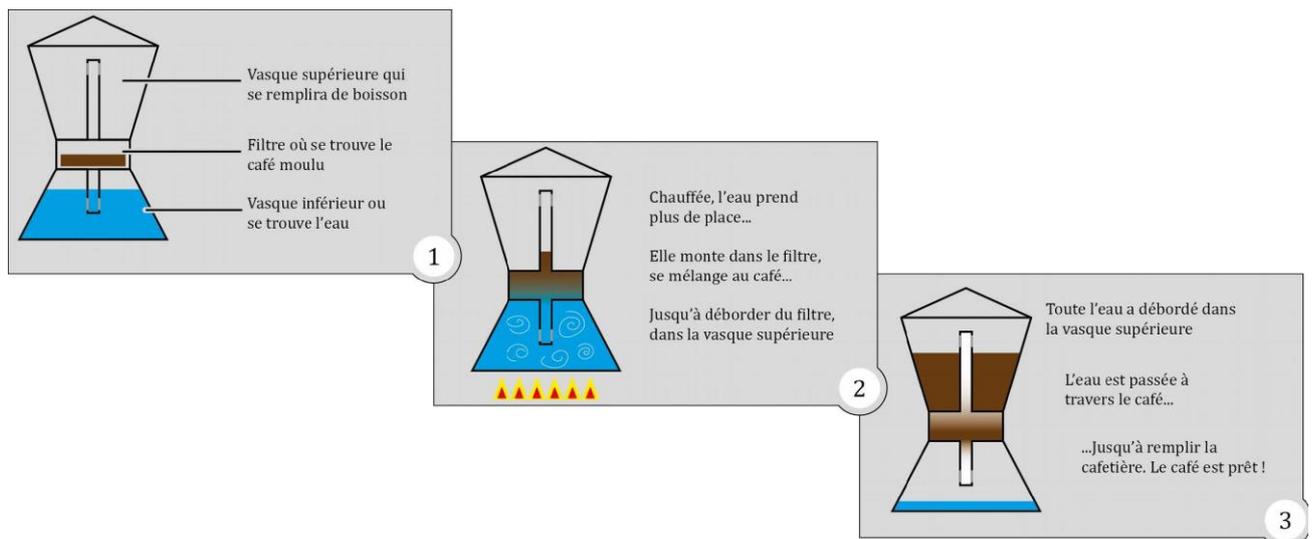
SOMMAIRE

1. La science des machines à café	3
1.1. LES LOIS DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES	3
2. Modéliser un océan	5
3. Croco	8

1. La science des machines à café

C'est lundi matin, vous venez de vous réveiller, et comme d'habitude, pour préparer votre cafetière italienne, pour commencer cette semaine de travail avec un bon café. Regardons un peu plus en détail ce qu'il se passe, et comment ce délicieux breuvage apparaît grâce la puissance de la physique, et de la mécanique des fluides.

Le café est obtenu par le passage d'une eau bouillante à travers un réservoir préalablement rempli de moud de café. Dans le cas d'une cafetière italienne, chauffer le réservoir inférieur permet de faire bouillir l'eau qui s'y trouve, mais aussi de la déplacer. En effet, l'eau chaude va se dilater, prendre plus de place, et monter le long du réservoir, rencontrer le café, et poursuivre sa course, jusqu'à déborder dans la vasque supérieure.



On voit que la cafetière repose sur un principe de mécanique physique fondamental : un liquide chauffé augmente de volume. Ce phénomène est connu et documenté depuis le XVIII^e siècle, et des équations sont capable de prédire comment un volume d'eau précis va se comporter en fonction de la température.

Toute cette connaissance est nécessaire pour fabriquer une cafetière, et surtout la fabriquer aux bonnes proportions ! Il faut une vasque contenant suffisamment d'eau pour que celle-ci puisse attendre la vasque supérieure, mais pas trop, pour ne pas faire déborder la cafetière ! De la même façon, le filtre doit être suffisamment haut pour garder le café dans la vasque supérieure, mais pas trop haut, pour tout de même permettre à l'eau chauffée de sortir.

1.1. LES LOIS DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES

La description et le calcul du comportement de l'eau fais partie d'une branche de la physique : la **mécanique des fluides**. Depuis le XIX^e siècle, des études scientifiques de plus en plus poussées sont réalisées, décrivant le comportement de l'eau et des liquides en général, pour aboutir à un ensemble de lois de plus en plus fiables et précises. Cette science nous permet de décrire avec une grande précision le comportement d'un liquide : comment il va se déplacer, comment il va réagir à la température, aux changements de pression ou aux mélanges.

Ces outils nous permettent ainsi de calculer à l'avance le comportement d'un liquide : comment l'eau va se déplacer, dans quelle direction et à quelle vitesse, et quelle force elle exerce sur son environnement. A partir de cette modélisation, nous pouvons construire des cafetières aux

proportions idéales, nous pouvons construire un barrage adapté à la force du courant, nous pouvons identifier à l'avance des territoires susceptibles d'être inondés, et surtout...

...nous pouvons utiliser la mécanique des fluides pour prédire le comportement des courants et le mouvement des océans.

2. Modéliser un océan

Seulement, les océans et les mers qui recouvrent 72% de notre globe sont infiniment plus complexes que la vasque inférieure de notre cafetière.

Ils sont différents, les mers et les océans sont situées à des latitudes différentes, subissent des climats, des températures, et des courants très différents. Il n'est pas possible de modéliser l'ensemble de ces configurations d'un seul coup, il faut s'adapter aux différents paramètres. *Il n'est donc pas possible de modéliser le comportement d'un océan comme une masse d'eau unie, comme nous le faisons avec une cafetière.*

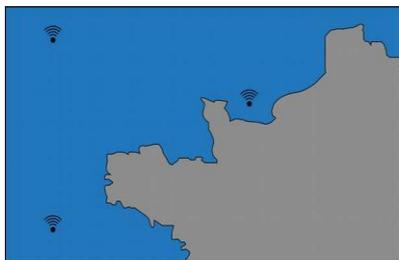
Ils sont interconnectés, les mers et les océans de notre globe sont connectés les uns aux autres, et s'échangent d'importantes masses d'eau. Il faut prendre en compte ces échanges, qui viennent modifier leurs comportements. *Contrairement à une cafetière complètement hermétique, la modélisation d'un océan nous demande de prendre en compte des flux et reflux avec d'autres étendues d'eau.*

Ils sont immenses, les mers et les océans de notre globe représentent des surfaces très importantes, et il existe donc des différences de températures et de paramètres en leur sein. Il n'est pas possible de les considérer comme un tout unique. *A une échelle si grande, certains phénomènes spécifiques se produisent, et doivent être pris en compte.*

Comment donc est-il possible de modéliser des espaces aussi changeants ?

Là où l'eau d'une cafetière peut être comprise comme un tout unique, la modélisation océanique fonctionne par étapes, en subdivisant le sujet en une multitude de sous-ensembles, dont le comportement est plus facile à calculer. La solution est donc de **découper ces immensités incalculables en petits cubes**, chacun possédant leurs propres paramètres. Au lieu de comprendre un océan comme une entité unique, on considère qu'il est constitué de plusieurs carrés d'eau aux propriétés différentes, qui agissent les uns sur les autres.

Le film d'animation devient ainsi un medium à part entière avec ses codes, ses précurseurs et des techniques. Prenons l'exemple de la technique du **Smear Frame**, une image qui n'est pas destinée à être vue, mais directement assimilée à un mouvement par notre cerveau qui comprend quelle est la trajectoire racontée.

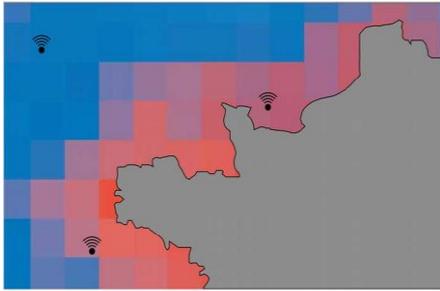


Mettons qu'un marin breton cherche à connaître les courants marins afin de choisir la meilleure zone de pêche possible. Il cherche donc à modéliser le comportement d'une large zone marine : impossible de calculer d'un coup son comportement.

Il y a bien quelques capteurs en mer qui lui donnent des informations à des endroits précis, mais impossible de généraliser ces données !

Plutôt que de prendre l'océan comme un bloc, le marin divise donc sa zone en sous-parties. Il connaît alors précisément le comportement de certains blocs, ceux dans lesquels se trouve un capteur. Grâce à cette base initiale, il est possible de calculer la température des blocs d'eau adjacents. A partir de données de base, d'informations contextuelles (ensoleillement, vent, etc) et à l'aide des lois de la mécanique des fluides, il peut déduire les paramètres des cases proches.

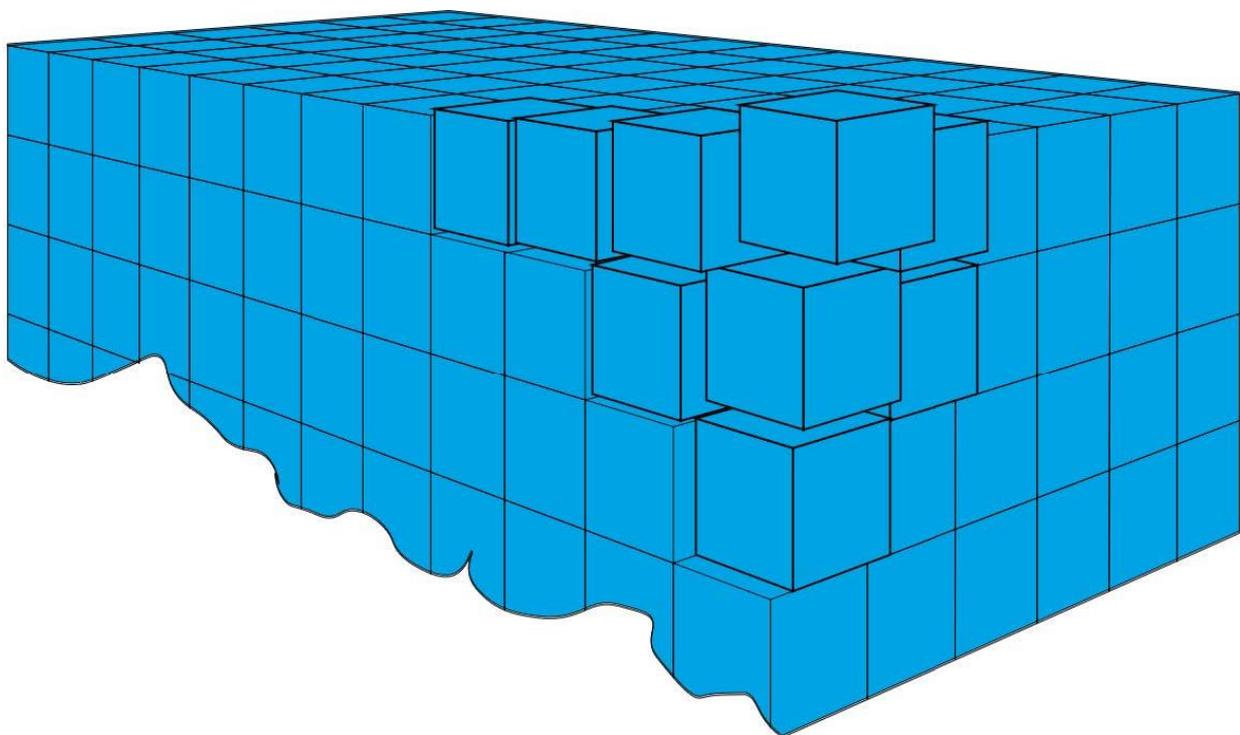




En progressant ainsi case par case, il est possible de dresser une carte de l'état de la mer à un instant donné. En coupant un problème trop large en un ensemble de sous-problèmes plus simples, il est possible d'aboutir à un résultat, au prix de quelques approximations.

Notre marin breton ne connaît pas parfaitement la force des courants ou la température exacte d'un endroit. Mais il dispose d'une vision d'ensemble suffisamment précise et suffisamment fiable pour prendre une décision : décider quelle est la meilleure zone de pêche pour lui aujourd'hui.

Il faut également prendre en compte que les carrés ne sont pas seulement un découpage sur la carte : les océans sont des espaces en trois dimensions, où le comportement de l'eau en profondeur peut avoir une influence sur les paramètres de la surface.



Pour revenir à notre exemple, un marin pourrait tout à fait calculer lui-même sa modélisation.

A partir des données de capteurs de terrain et de ses connaissances en mécanique des fluides, il pourrait calculer un par un les valeurs de température ou de courants de chaque bloc.

Mais dans la réalité, c'est une tâche qui est accomplie avec beaucoup plus d'efficacité par des supercalculateurs.

Le calcul est sous-traité à des ordinateurs et des programmes spécialisés, qui calculent les paramètres de chacun des carrés de nos simulations. Pour chacun d'eux, il faut prendre en compte l'ensemble des paramètres proches dans un calcul complexe et chronophage. Et plus la précision requise, plus le nombre de carrés pour couvrir une même zone augmente, augmentant du même coup le temps de calcul nécessaire. Même pour ces **supercalculateurs**, la tâche n'est pas aisée, et les temps de calculs peuvent s'allonger, pour atteindre des jours, voire même des mois dans le cas de simulations particulièrement précises ou complexes.

Nos besoins de modélisations se heurtent alors à une nouvelle limite : notre puissance de calcul.

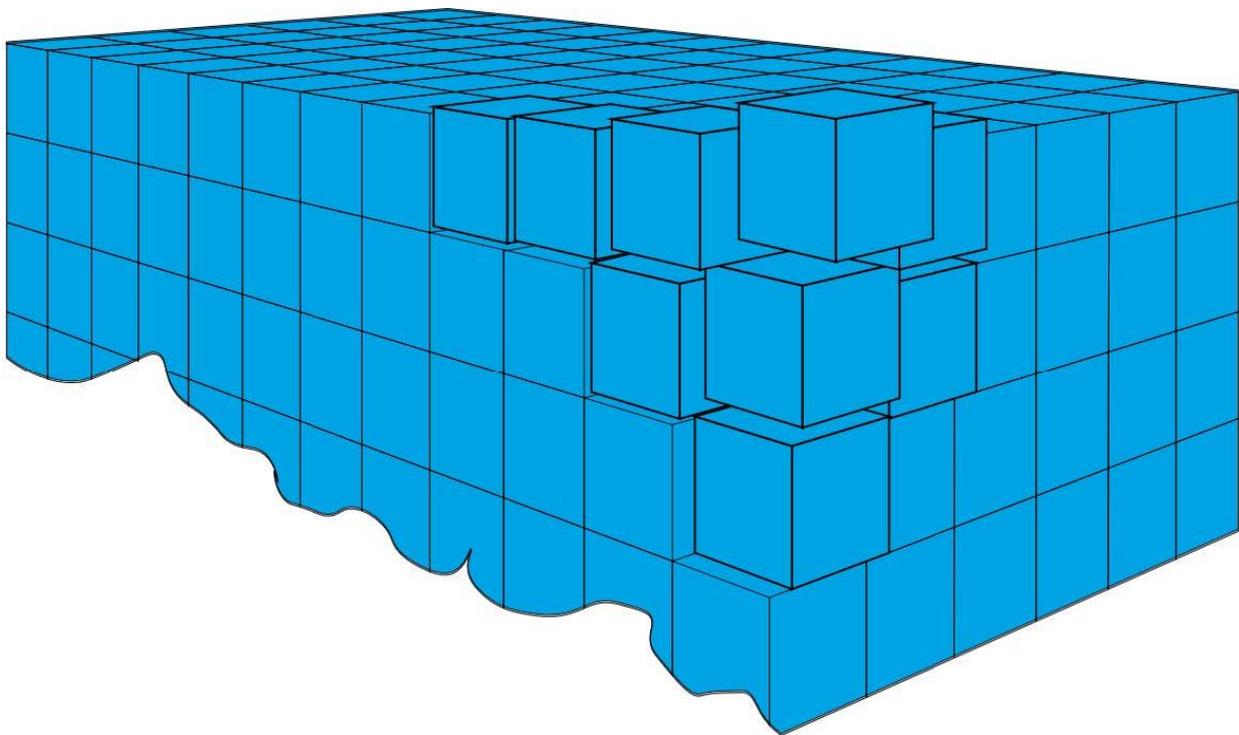
Plus les « carrés » découpant l’océan sont gros, plus il sera rapide de calculer leurs paramètres, au prix de la précision de notre modélisation. A l’inverse, nous pouvons augmenter la **résolution**, découper le même espace en plus petits carrés, pour avoir une modélisation plus fine du comportement de nos océans, au prix d’un plus grand nombre de calculs à faire.

Des choix sont donc à faire en termes de précision et de fiabilité des données, en fonction du but de notre modélisation, de la question à laquelle elle est censée répondre. Dans certains cas, cette limite pose même des problèmes de recherche, certains phénomènes de mécanique des fluides ne se produisant qu’à des échelles très faibles, et nécessitant donc un haut niveau de précision. C’est le cas, par exemple, de la modélisation des territoires côtiers.

3. Croco

La modélisation se trouve finalement en équilibre entre deux contraintes : un besoin de plus de précision d'un côté, et une nécessité de garder des temps de calculs raisonnables de l'autre. Ainsi certains phénomènes très localisés ne sont visibles qu'à des très grands niveaux de précision, c'est à dire avec une **résolution** de modélisation très fine. Mais une modélisation aussi précise demande de grandes ressources de calculs, qui ralentissent la recherche et la disponibilité de ces modélisations.

C'est pour répondre à ce problème que les chercheurs de l'équipe AIRSEA d'INRIA Grenoble ont conçu CROCO : un logiciel de modélisation océanique différent des autres. L'idée est de rendre la résolution modulable au sein d'une seule modélisation : que la taille des carrés ne soit plus identique sur l'ensemble de la surface étudiée. Plus qu'un logiciel, il s'agit donc d'un protocole, une façon de modéliser une étendue d'eau en définissant à l'avance quelles zones sont les plus intéressantes.



Plutôt que de modéliser avec une précision élevée l'ensemble d'un territoire, CROCO permet d'identifier certaines zones à modéliser avec une précision particulièrement élevée, en les découpant avec des cubes plus petits. Le problème n'est donc pas résolu, mais contourné : en étant capable de définir au sein d'un même espace des zones à précision différente, il est possible de concentrer la puissance de calcul là où elle est vraiment utile, et donc de faciliter la modélisation fine de nos côtes.