

LES TRAVAUX DE L'ÉQUIPE AIRSEA

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.

La science des machines à café

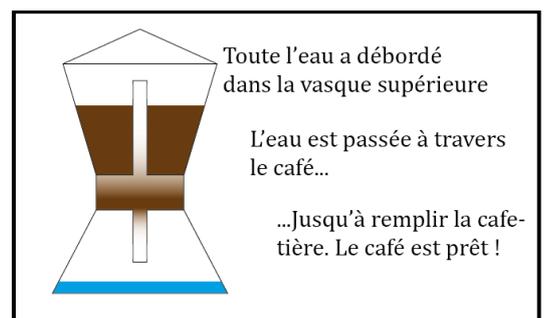
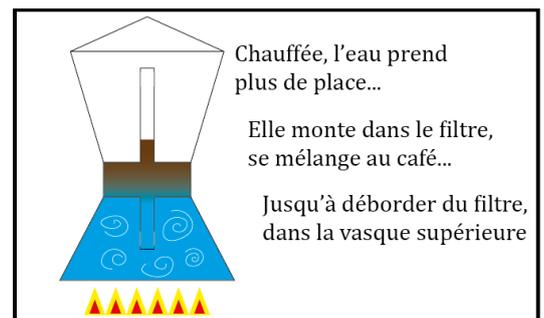
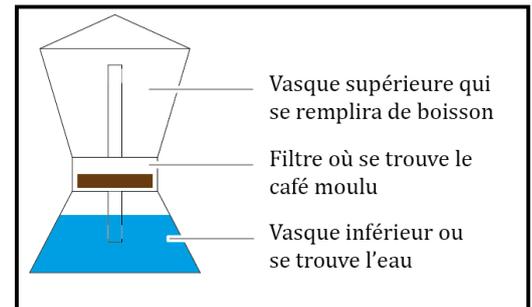
Le café est obtenu par le passage d'une eau bouillante à travers un réservoir préalablement rempli de moud de café. Dans le cas d'une cafetière italienne, chauffer le réservoir inférieur permet de faire bouillir l'eau qui s'y trouve, mais aussi de la déplacer. En effet, l'eau chaude va se dilater, prendre 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 atteindre 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.

Les lois de la Mécanique des fluides

La description et le calcul du comportement de l'eau fait 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 !

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 ouverts, les mers et les océans de notre globe sont connectés les uns aux autres, et subissent également l'influence de l'atmosphère et de la météo. Il faut prendre en compte les interactions avec les masses d'eau et d'air proches. *Contrairement à une cafetière complètement hermétique, la modélisation d'un océan nous demande de prendre en compte des échanges avec d'autres étendues d'eau et d'air.*

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.*

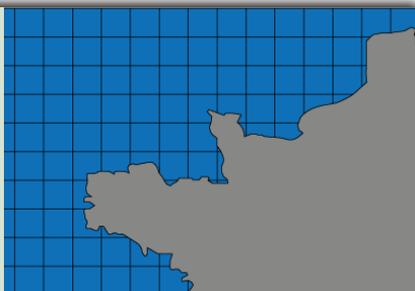
Comment donc est-il possible de modéliser des espaces aussi changeants ?

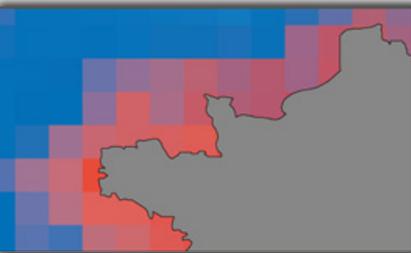
Là où l'eau d'une cafetière peut être comprise comme un tout unique, la modélisation océanique fonctionne par étapes, en subdivisant le sujet en une multitude de sous-ensembles, dont le comportement est plus facile à calculer. La solution est donc de découper ces immensités incalculables en petits cubes, chacun possédant ses 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.



Mettons qu'un marin breton cherche à connaître les courants marins afin de choisir la meilleure zone de pêche possible. Un des moyens à sa disposition est d'utiliser sa connaissance des lois de la dynamique des fluides pour modéliser le comportement de sa zone de pêche. Mais par où commencer ? Il est impossible de calculer la température, la salinité et la vitesse des courants de façon globale !

Plutôt que de prendre l'océan comme un bloc, le marin divise donc sa zone en sous-parties dans lesquelles il considère que la température et la vitesse sont constantes. Bloc par bloc, il définit ensuite pour chacun d'eux des paramètres initiaux, basés sur des modélisations et des observations passées. Si celles-ci ne sont pas disponibles, il peut utiliser une normale climatique, une moyenne du climat de la zone sur les 30 dernières années, pour calculer grossièrement les valeurs de chaque zone.

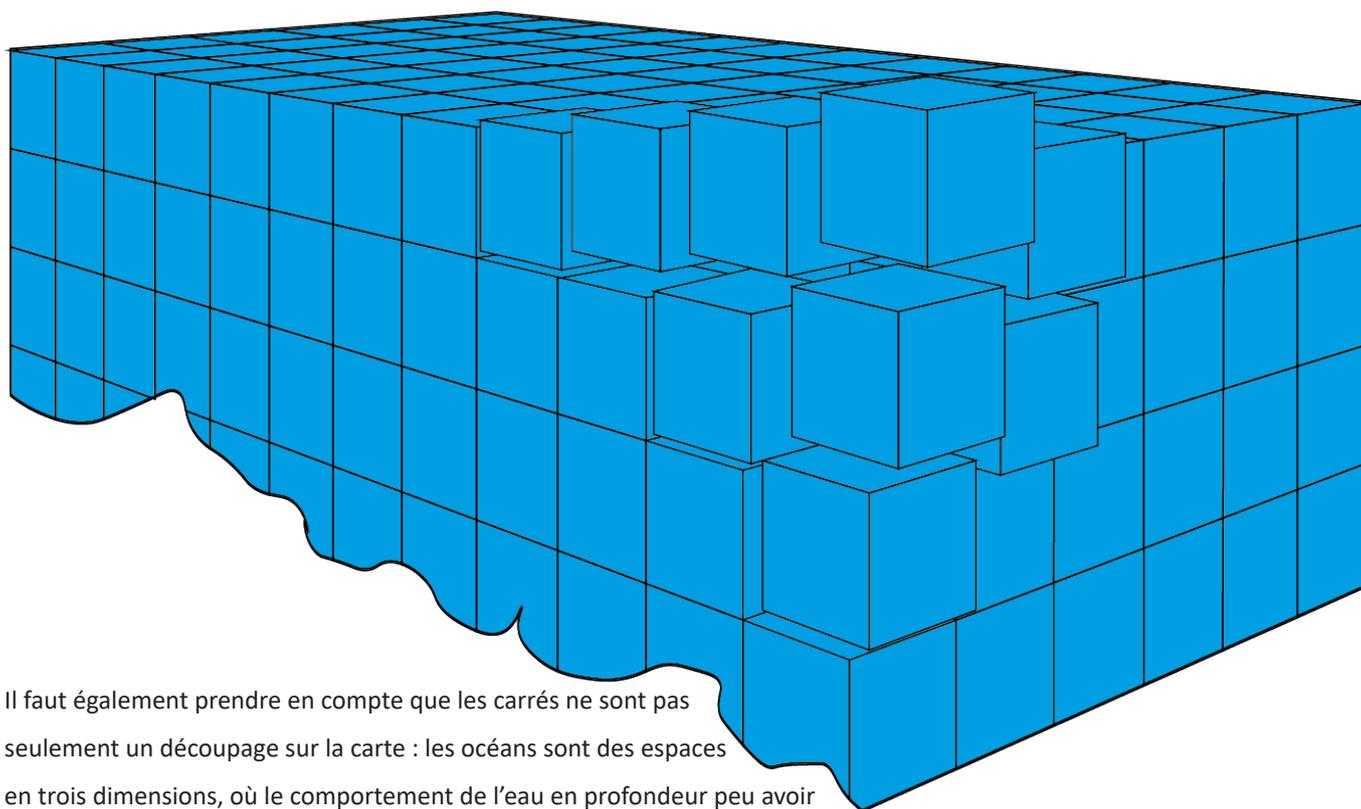




Une fois que chaque bloc est rempli, le marin dispose de la base de sa modélisation. A l'aide de lois de la mécanique des fluides, il peut alors calculer comment les cases vont interagir les unes avec les autres, et comment elles vont réagir aux paramètres extérieurs au fil du temps. En progressant case par case, il est possible de dresser une carte de l'état de la mer à un instant donné.

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.

Dans un système aussi grand et aussi fluctuant que l'océan, la précision absolue n'est pas envisageable. Mais en comparant les résultats des modélisations et des observations sur le terrain, il est possible de valider ou d'invalider l'efficacité de nos méthodes. Peu à peu, il est ainsi possible de progresser vers des modèles aux prédictions de plus en plus précises de nos océans.



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 effectué par des programmes spécialisés sur des ordinateurs haute-performance, 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 est importante, plus le nombre de carré 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

LES INNOVATIONS DU LOGICIEL CROCO

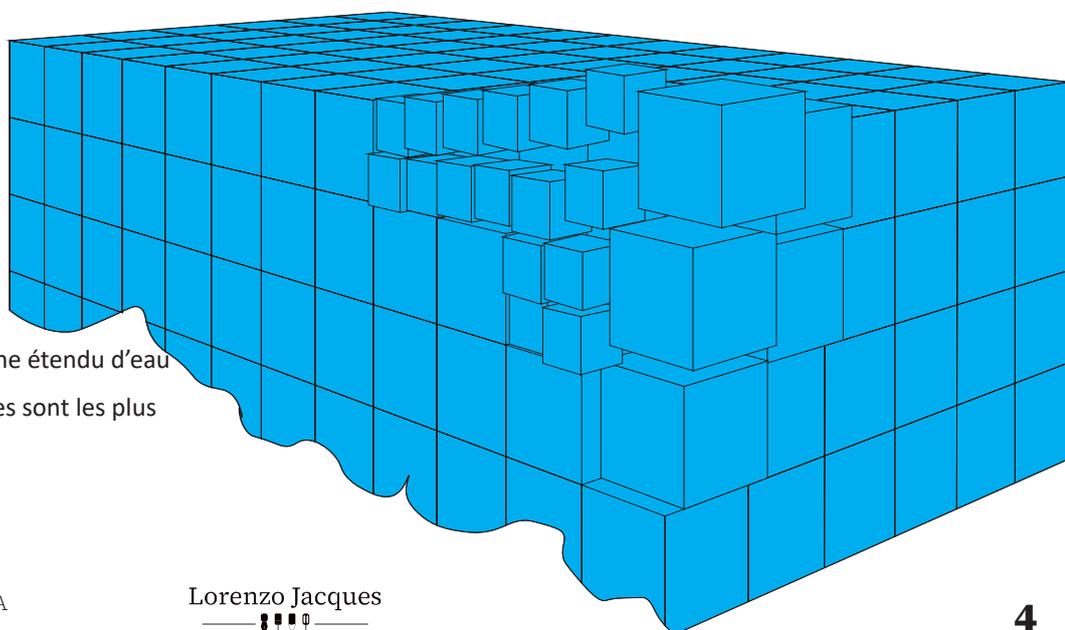
La modélisation se trouve finalement en équilibre entre deux contraintes : un besoin de plus de précision d'un côté, et une nécessité de garder des temps de calculs raisonnables de l'autre. Ainsi certains phénomènes très localisés ne sont visibles qu'à des très grands niveaux de précision, c'est à dire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

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.

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.



Gérer un logiciel

Une part importante du travail des scientifiques de l'équipe AIRSEA est ainsi de développer et d'améliorer un logiciel, CROCO, qui est utilisé par des scientifiques partout dans le monde pour modéliser le comportement de portions côtières. Les chercheurs sont ainsi sollicités pour créer des fonctions supplémentaires et améliorer les performances de cet outil en fonction des besoins de ses utilisateurs. Actuellement, leurs objectifs sont....

...de prendre en compte les phénomènes à petite échelle.

La résolution d'une simulation océanique augmentant, de nouveaux problèmes apparaissent. Certains phénomènes physiques qui étaient négligeables à grande échelle, et donc ignorés, deviennent majeurs et doivent être pris en compte, par le biais de nouvelles fonctions à intégrer à CROCO. La turbulence par exemple : à petite échelle, la vitesse et la direction des courants va être influencée par des tourbillons provoqué par la collision de masses d'eau immobiles et de masses d'eau en mouvement. Ce phénomène doit être pris en compte, si l'on veut pouvoir modéliser certaines zones avec une grande précision.

...d'adapter et optimiser CROCO pour fonctionner sur carte graphique.

Dans un ordinateur classique, il existe deux composants capables de faire des calculs : le processeur principal, dit CPU, et la carte graphique, dit GPU. Le processeur s'occupe de la plupart des calculs que nécessite le fonctionnement d'un ordinateur, tandis que la carte graphique, comme son nom l'indique, se spécialise dans les calculs utilisés dans l'affichage d'images 2D ou 3D à l'écran.

CROCO, comme tous les programmes de modélisation océanique, est un programme très gourmand en puissance de calcul. Lui permettre d'utiliser toutes les ressources d'un ordinateur, CPU et GPU, le rendrais plus efficace. Mais il faut pour cela modifier le fonctionnement du logiciel, les deux unités de calculs ne fonctionnant pas sur les mêmes principes.

... de gérer et représenter des phénomènes spécifiques aux zones côtières.

En plus des nouveaux phénomènes liés à l'augmentation de la résolution, la spécialisation de CROCO dans la modélisation de côte l'oblige à prendre en compte des phénomènes spécifiques aux côtes. Par exemple, près des côtes, la sédimentation et le mouvement de l'eau vont peu à peu constituer des bacs de sables, qui eux-mêmes vont venir influencer le sens et la force du courant. Encore une fois, des fonctions supplémentaires à intégrer au logiciel CROCO, pour lui permettre de mieux modéliser le comportement du milieu côtier.

Conclusion

Comme notre marin modélisant un espace maritime cube par cube, les scientifiques de l'équipe AIRSEA cherchent à modéliser un sous-ensemble d'océan : ses portions de côtes. A terme, en interfaçant leurs travaux avec d'autres approches de la modélisation océanique, notre compréhension de l'ensemble deviendra plus précise, et plus efficace. Ces travaux profiteront ainsi à nos prédictions météorologiques et climatiques, à la connaissance de nos côtes et de leur comportement, et à toutes les applications concrètes de la modélisation océanique.