

*AntCO*² a été couplé avec une application de simulation d'écosystème marin [80, 77]. Le comportement collectif des animaux au niveau du déplacement repose sur le principe des Boids de [Reynolds, 1987] avec plusieurs modifications comme la prise en compte du flux et plusieurs espèces s'attirant ou se repoussant suivant leur nature (proies/prédateurs). Cette application non seulement permet de tester *AntCO*² sur un problème réel, mais permet de comparer ses résultats avec deux autres méthodes de distribution.

Ainsi le comportement de nos espèces vivantes est régi par :

- Des rétroactions positives :
 - attraction vers le barycentre du groupe perçu ;
 - attraction vers les proies éventuelles ;
 - orientation dans la direction générale du groupe ;
 - adaptation à la vitesse du groupe ;
- qui sont contrecarrées par plusieurs rétroactions négatives :
 - distance minimale vis-à-vis des membres du groupe ;
 - angle de vue inférieur à 360 degrés ;
 - réaction de fuite vis-à-vis des prédateurs.

Ces mécanismes génèrent des organisations (des bancs) qui, au lieu de ne former finalement un unique groupe, se scindent en plusieurs organisations, évoluant au fil du temps, pouvant être brisées par des interactions avec d'autres espèces.

L'implantation de cette simulation utilise une grille évitant ainsi de parcourir tout l'espace pour déterminer le voisinage d'individus à prendre en compte lors du déplacement. De plus cette grille est utilisée pour simuler un mode de distribution par maillage de l'environnement.

Chaque boid est modélisé par un nœud dans le graphe dynamique. Lorsqu'un boid entre dans le champ de vision d'un autre cela crée une interaction qui se traduit par un arc dans le graphe et la durée de l'interaction value l'arc. Les figures 4.18 and 4.19 montrent à la fois la simulation et le graphe dynamique coloré par *AntCO*². La figure 4.19 montre l'état de l'application lorsque des organisations ont émergé.

Trois modes de distributions ont été testés avec cette simulation :

1. aléatoire,
2. par maillage,
3. *AntCO*².

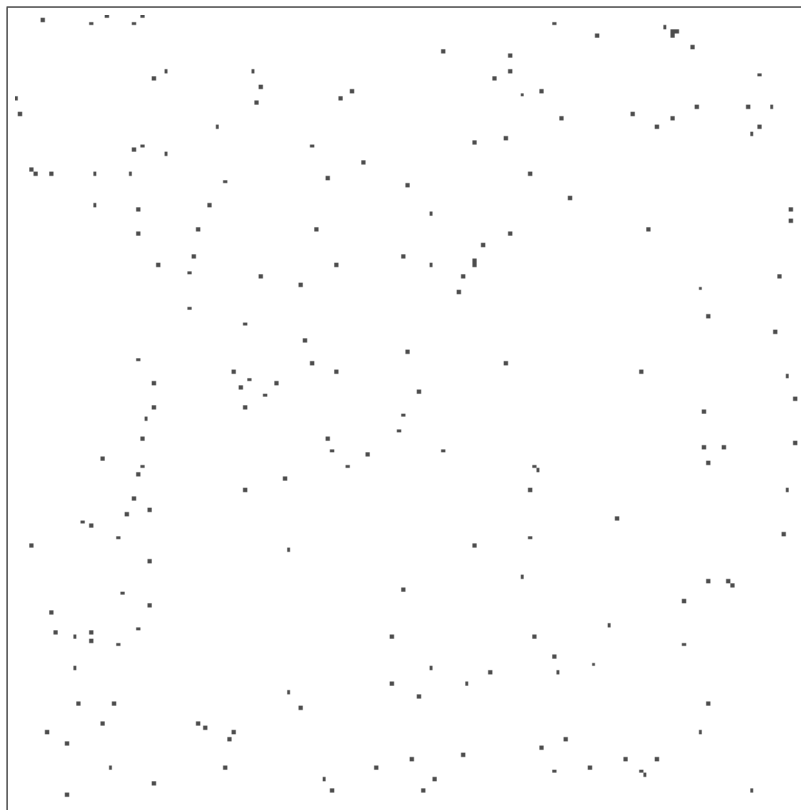
Dans le mode aléatoire, les boids se voient assigner un processeur dès leur apparition et n'en changent plus par la suite. Dans la simulation que nous avons utilisé, le nombre de boids est fixé par avance, et ne varie pas par la suite. Ce mode de distribution donne un équilibrage de la charge optimal. Chaque machine est chargée de manière équivalente. Par contre la charge de communication n'est pas prise en compte. Au sein d'une organisation il y a donc de fortes chances que deux boids communicants soient sur des processeurs différents. Ce mode de distribution est donc le pire en ce qui concerne la charge réseau.

Dans le mode par maillage, l'environnement est découpé en mailles, et ces dernières sont assignées chacune à une ressource de calcul. Les boids s'exécutent sur la ressource de calcul assignée à la maille dans laquelle ils se trouvent. Ce mode améliore la minimisation

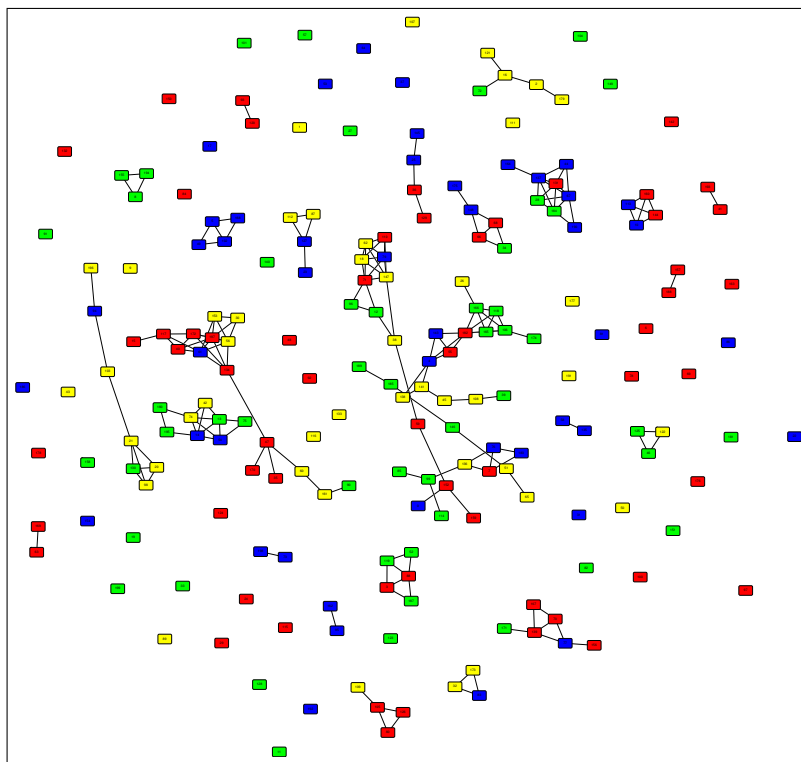
des communications au détriment de l'égalisation de la charge machine. En effet dans ce mode, les boids se déplaçant sans contrainte, il est possible que tous les individus migrent sur une machine donnée. De plus, vis-à-vis des communications, il est possible qu'une organisation stagne à la frontière de deux mailles gérées par des processeurs différents, plaçant donc des communications de forte intensité sur le réseau.

Ces deux modes ont été comparés aux résultats produits par *AntCO*². On constate que ce dernier opère un bon compromis entre charge réseau et charge machine. En ce qui concerne le critère de qualité r_1 , les communications, les résultats sont meilleurs que les deux autres approches. Pour r_2 , il donne des résultats similaires voir meilleurs que le maillage. Il est par contre bien entendu, impossible de dépasser le mode aléatoire sur le critère r_2 , le nombre de Boids étant invariant, et l'allocation parfaite dès le début.

Les figures 4.20 et 4.21 montrent l'évolution des critères r_1 et r_2 respectivement sur un test avec 200 boids répartis dans 4 espèces durant 5000 étapes de temps. Les figures comparent les trois stratégies évoquées : aléatoire, par maillage et *AntCO*². Pour r_2 , l'allocation aléatoire est toujours idéale n'est pas montrée.

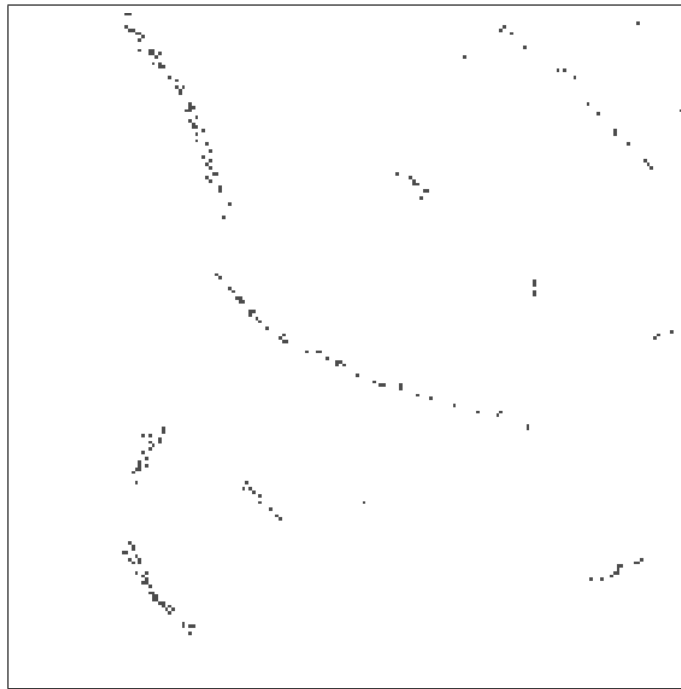


(a) Simulation

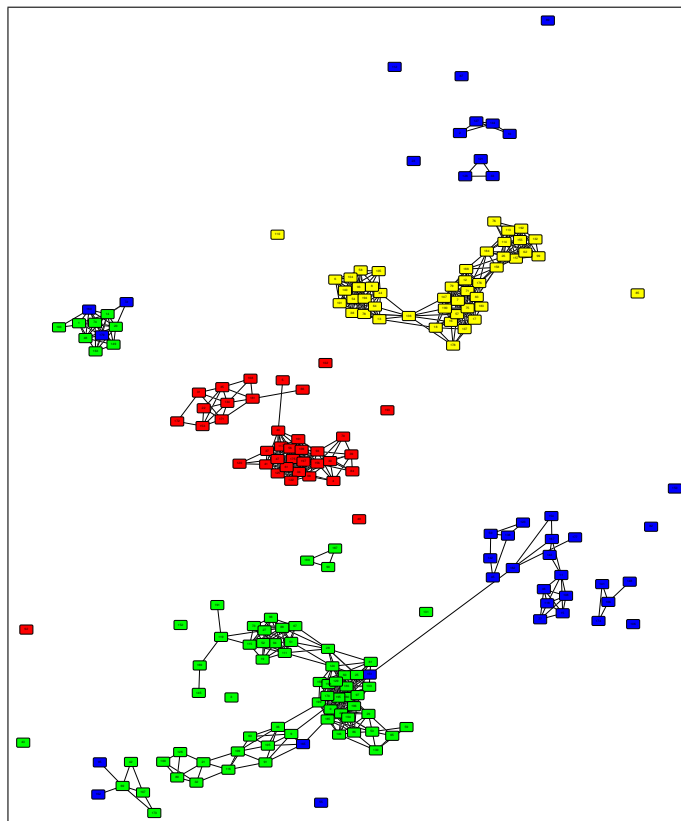


(b) Graphe dynamique coloré représentant les entités, les interactions et les organisations.

FIG. 4.18 – Début de la simulation lorsque les organisations n'ont pas émergé. 131



(a) Simulation



(b) Graphe dynamique coloré représentant les entités, les interactions et les organisations.

FIG. 4.19 – Des organisations ont émergé.

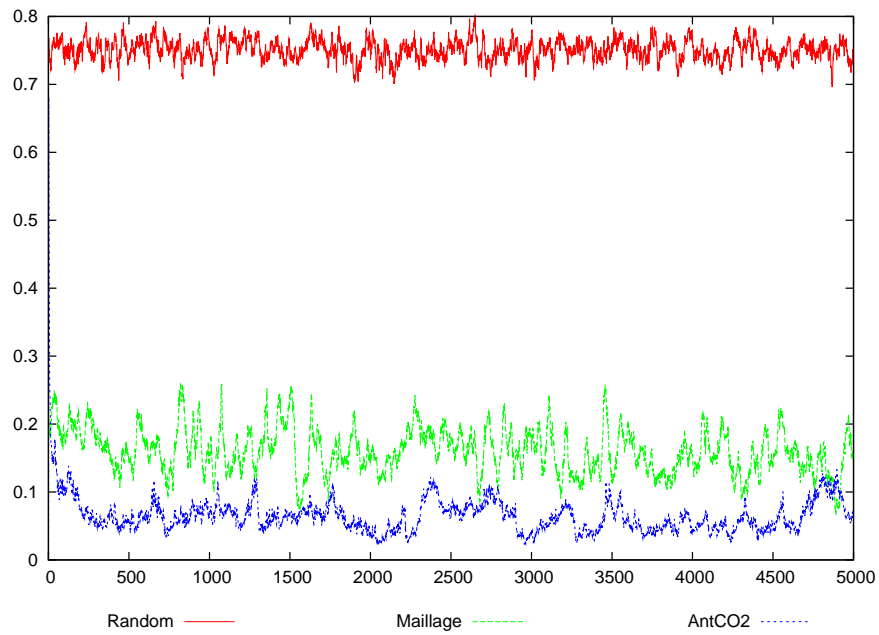


FIG. 4.20 – Comparaison sur le critère r_1 entre les stratégies «aléatoire», «maillage» et «*AntCO*²» avec 200 boids.

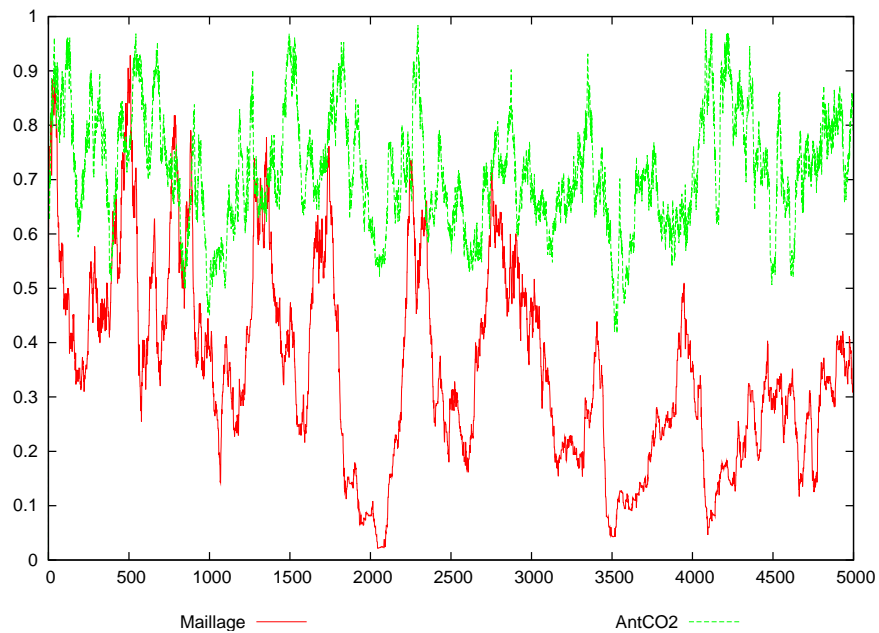


FIG. 4.21 – Comparaison sur le critère r_2 entre les stratégies «maillage» et «*AntCO*²» avec 200 boids.

4.4 Modification du modèle

AntC02 a été modifié et adapté pour traiter des problèmes voisins comme la recherche de lieu de contamination dans un milieu hospitalier [41] ou encore la reconstruction de séquence (cf. § 5.2), [17, 19]. Nous l'avons également adapté dans le cadre d'un système d'aide à la décision pour le trafic routier [24, 23, 25].

On peut distinguer deux objectifs pour la gestion du trafic routier :

- permettre à des utilisateurs du réseau routier de choisir le chemin le plus court vers une destination arbitraire à partir de n'importe quelle position ;
- réguler le trafic afin d'éviter les embouteillages.

Ces deux objectifs sont en relation l'un avec l'autre, l'amélioration du second pouvant améliorer le premier, et l'utilisation du premier pouvant améliorer le second ...

Le modèle présenté dans [24] utilise plusieurs éléments afin de réguler le trafic :

- un système de collecte d'informations sur le trafic utilisées à l'étape de recherche des meilleurs chemins ;
- un graphe dynamique pondéré et orienté représentant le réseau routier et les informations sur le trafic ;
- un système de régulation s'appuyant sur ce graphe et gérant le système de contrôle ;
- un système d'aide à la décision, utilisant le graphe dynamique et le système de contrôle. Une interface multimodale informe et aide les utilisateurs en fonction de leur profil.

La figure 4.22 synthétise l'architecture globale du modèle présenté. On y voit les deux parties principales interagissant entre-elles : le système de contrôle et le système d'aide à la décision. Les informations circulent entre les deux, allant du premier au second, puis du second au premier en une boucle de rétroaction typique des systèmes complexes.

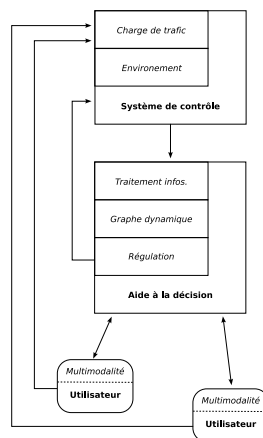


FIG. 4.22 – Architecture globale pour la gestion de trafic routier.

Le système d'aide à la décision basé sur un algorithme fourni est une variante d'*AntCO*². Le système de régulation utilise un algorithme de perceptron multicouche avec rétro-propagation qui est décrit en détail dans [24].

4.5 Conclusion

Nous avons donc proposé une approche basée sur un mécanisme d'intelligence collective permettant de détecter des organisations et éventuellement de les regrouper afin par exemple de pouvoir les distribuer durant l'exécution d'une application dans laquelle elles auraient pu émerger. L'algorithme général repose sur un graphe dynamique et utilise deux propriétés :

1. Le feedback positif qui maintient les chemins dans le graphe entre les nœuds fortement connectés ;
2. Le feedback négatif qui isole les communautés. Cet isolement créant une membrane au sens où on l'a déjà exposé avec un «dedans» et un «dehors». Tout comme dans le cas des tourbillons, l'organisation est close opérationnellement mais ouverte aux flux d'informations/d'énergie.

Le premier point est contrôlé par les fourmis numériques par l'intermédiaire du dépôt de phéromone, alors que le second est complètement contrôlé par l'environnement (évaporation, suppression d'arcs, poids ...). Le feedback négatif permet également, entre autre, que l'algorithme soit adaptatif face à la dynamique du graphe, en «oubliant» les organisations devenues caduques à cause des évolutions. Les organisations détectées émergent du comportement des fourmis, cette émergence n'est pas explicitement implémentée. Ces organisations font la solution.

Jetons maintenant un regard croisé entre les écosystèmes naturels et ce que nous venons d'aborder. Pour cela je vous propose de considérer les deux définitions suivantes :

Écosystème :

Ensemble structuré comprenant un substrat et la biocénose qui y vit. Cet ensemble est caractérisé par des échanges de matière et d'énergie dus aux interactions entre les organismes vivants et le substrat.

Et maintenant la définition que nous pourrions avoir d'une simulation telle que nous les avons considérées jusqu'à présent :

Simulation :

Ensemble structuré comprenant un environnement d'exécution en éventuelle évolution, et les composants logiciels qui s'y exécutent. Cet ensemble est caractérisé par des échanges d'information dus aux interactions entre les composants du système.

Les applications que nous avons décrites présentent de grandes similitudes avec la vue que l'on a d'un écosystème. Ainsi, quelles sont les propriétés d'un écosystème ?

- Il y a auto-organisation de ses constituants et rétroaction du système sur lui-même ;
- L'écosystème et ses sous-parties passent par des phases juvéniles, adultes et sénescences ;
- L'écosystème est un système complexe, dans le sens où le tout est plus que la somme de ses parties. En d'autres termes, décrire les composants à part n'est pas suffisant.

- Les interactions en grand nombre au sein du système sont primordiales.
- Le système est adaptatif dans son ensemble. Cependant sa capacité d'adaptation est limitée, si on perturbe trop son état, ce dernier s'effondre (on peut citer par exemple les phénomènes d'eutrophisation comme la nitrification).
- Le système possède une frontière perméable, et des flots de matière, d'énergie et d'information le traversent et le structurent.

Les parallèles avec un système informatique sont nombreux :

- Dans une simulation faite d'un nombre important d'entités en interaction, il y a des mécanismes d'auto-organisation.
- Des organisations émergent, à divers niveaux d'échelle, et ces dernières passent par les phases juvéniles, adultes, et sénescentes.
- Les interactions en grand nombre au sein du système sont primordiales.
- La simulation utilisant ces mécanismes est plus que la somme de ses parties. Les composants ne sont pas explicitement programmés pour produire le résultat global. Ceci est vrai aussi pour *AntCO2*.
- Le système s'adapte à ses entrées dans son ensemble, même s'il est constitué de parties réactives. Cependant, sa capacité d'adaptation est limitée, trop de changements le font s'effondrer.
- Le système possède une frontière perméable, et des flots de matière, d'énergie et d'information le traversent et le structurent.

Pour désigner un tel système on peut utiliser le terme *écosystème computationnel* proposé par [Huberman and Hogg, 1988], cependant avec une acception différente.

Un tel écosystème computationnel, tout comme sa contrepartie naturelle possède plusieurs niveaux d'échelle. Considérons une simulation couplée à *AntCO2*. L'ensemble des deux dans l'environnement d'exécution forme l'écosystème computationnel complet. Chacun est un sous-système avec ses entrées et sorties bouclées l'une sur l'autre. Ces deux systèmes rétroagissent mutuellement en s'observant. Au sein de chacun, de nombreuses entités en interactions forment des organisations (entités de l'application, fourmis), elles mêmes délimitées par une frontière, . . . jusqu'au niveau des entités elles-mêmes.

De même, on peut prendre l'exemple d'un écosystème estuarien, formant un tout, composé de sous systèmes (populations diverses, faune, flore, ou a divers niveaux dans la chaîne alimentaire, poissons, plancton). Au sein de ces sous-systèmes on trouve des organisations, en fonction des espèces, et des modes d'interaction, ceci jusqu'aux individus eux-mêmes.