

**Contribution à la  
modélisation et à la prise en  
compte informatique de  
niveaux de descriptions  
multiples.**

**Application aux écosystèmes  
aquatiques**

# De quoi allons-nous parler ?

- Au commencement fut le verbe : ABIS, un système d'aide à la communication
- De la sculpture à l'abstraction : élaboration des modèles en science
- Une application de ces principes : simulation d'écosystèmes à plusieurs niveaux

# Comment la machine peut-elle aider l'homme à communiquer ?

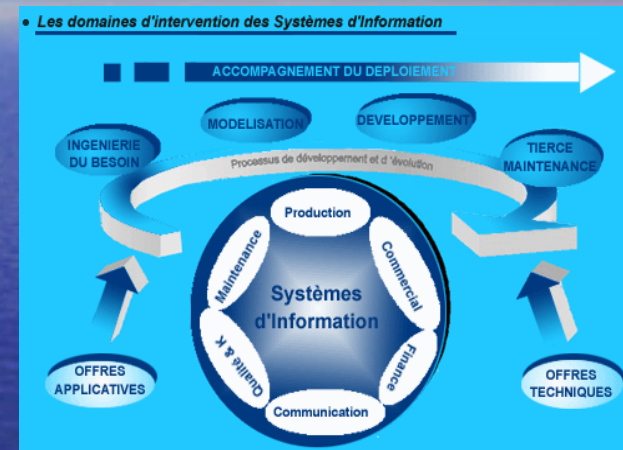
- Systèmes d'Information et de Communications
- Communiquer dans l'urgence
- Difficultés de la sémantique
- Décrire la dynamique émergente d'un discours
- Mêler les niveaux de description sémantique et dynamique

# Genèse d'ABIS

- Projet mené par Alain Cardon
- Stéphane Durand
- Franck Lesage
- Pierrick Tranouez
- Hadhoum Boukachour

# Systemes d'Information et de Communication

- En général : systèmes abstraits et concrets dédiés à la cinématique de connaissances au sein d'organisations humaines.  
Ex : Cril Technology ci-contre
- En l'occurrence : système utilisé par différents services d'urgence (Samu, Pompiers, Préfecture) pour représenter une situation d'urgence en cours et communiquer à son propos



# Aider à la communication

- Le projet n'a pas été de construire un SIC en entier
- On s'est intéressé à la couche de communication
- Plus particulièrement, à aider les utilisateurs à avoir une perspective plus globale sur les différentes communications

# Communiquer

- Processus complexe (cf. De Saussure puis Searle)
- Processus actif chez l'émetteur comme chez le récepteur
- Difficulté supplémentaire : communiquer dans l'urgence

# Aide artificielle à la Communication

- Ni syntaxique, ni sémantique, par agents
- Affranchissement de la syntaxe : utilisation d'un langage artificiel (vs. naturel) et d'une interface spécialisée
- Contrôle de la sémantique par l'introduction de ce langage artificiel



# Du script aux agents

- Les différentes communications échangées via ces scripts donnent naissance à des agents
- Ces agents *aspectuels* correspondent à différents éléments de ce qui a été dit, mais également à des éléments connexes à ces premiers

# Agents aspectuels (Durand 99)

- La population de ces agents représente les discours qui ont été tenus jusqu'à présent
- Les AA luttent entre eux, suivant le sens qu'ils incarnent.
  - Un AA de certitude sur un certain sujet luttera avec celui ou ceux de doute sur ce même sujet
  - Un AA sera renforcé par de nouveaux messages parlant de sujets proches de ceux qu'il incarne
  - Un AA sera aidé par d'autres AA représentant des sens proches du sien

# Population des Agents Aspectuels

- Au bout de quelques messages la population est grande
- On augmente en effet les messages pour aider à représenter les connaissances usuelles qu'ont les locuteurs
- On va ensuite réduire cette population mouvante
- On en cherche les formes principales et leurs articulations, sa morphologie
- On crée pour cela une autre organisation d'agents, dite de morphologie

# Agents de morphologie (Lesage 00)

- On s'intéresse à la population aspectuelle sous l'angle de sa dynamique
  - Permet de comprendre le présent
  - Permet de spéculer sur l'avenir proche
- On utilise trois catégories d'agents de morphologie s'intéressant à trois caractéristique du développement d'un AA :
  - Suprématie relative d'un agent aspectuel
  - Vitesse d'acquisition ou de perte de cette suprématie
  - Facilité à l'atteindre (accélération)
- Les AM regroupent les AA suivant ces différentes valeurs

# Troisième niveau de description : les chréodes

- Entités qui réassocient les deux précédents niveaux
- Propose une lecture plus synthétique de ce qui a été jusqu'à présent échangé

# Comment la machine peut-elle aider l'homme à communiquer ?

- Systèmes d'Information et de Communications
- Communiquer dans l'urgence
- Difficultés de la sémantique
- Décrire la dynamique émergente d'un discours
- Mêler les niveaux de description sémantique et dynamique

# Bilan temporaire

- On a aidé à la communication en attaquant celle-ci sous différents angles
- Bien que ce n'était pas le but initial, on a commencé à travailler à plusieurs échelles
- Allons à présent de cette illustration particulière au plus général

# Rappel de la cinématique de la présentation

- Au commencement fut le verbe : ABIS, un système d'aide à la communication
- **De la sculpture à l'abstraction : élaboration des modèles en science**
- Une application de ces principes : simulation d'écosystèmes à plusieurs niveaux



# Épistémologie 101

- Des modèles aux modèles
- Lois et Règles
- Systèmes
- Niveaux de description

# Des modèles aux modèles

- Premier sens : maquette, prototype à échelle réduite, en matériau bon marché, préalable à la vraie sculpture - « Modèles réduits »
- De l'art à la science : on peut faire des expériences sur ces modèles plus facilement parfois que sur l'original
- On doit savoir passer du petit au grand (ex: nombre de Reynolds)

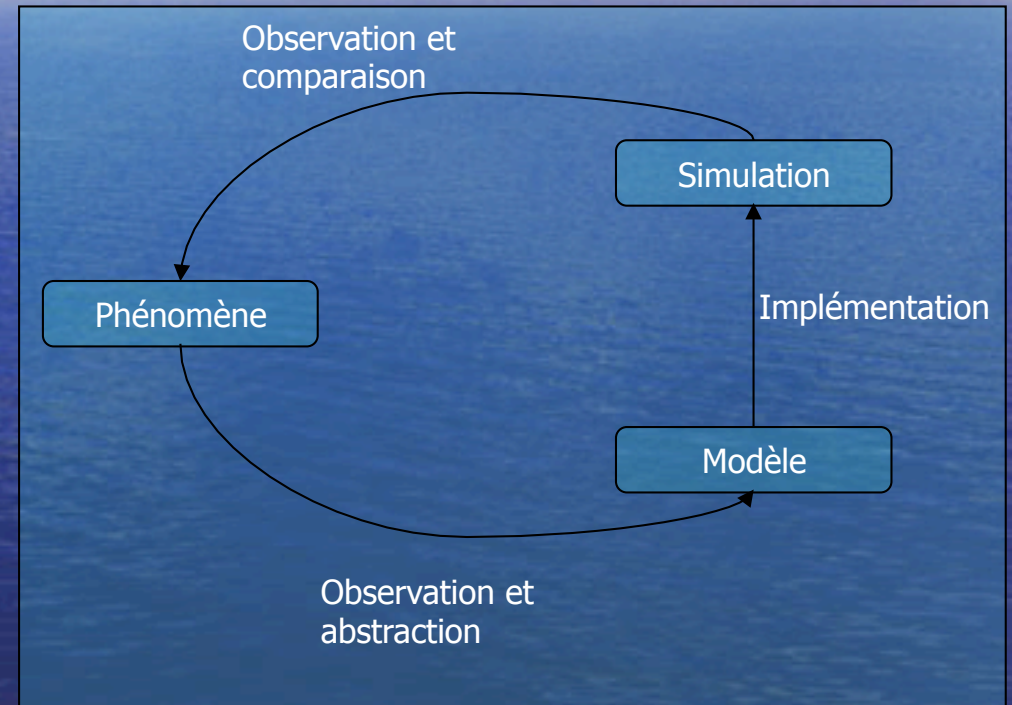
# Abstrayez abstrayez il en restera toujours quelque chose

- On peut par analogie utiliser un autre matériau pour le modèle (ex: électricité pour l'hydrologie)
- On nomme alors ce qu'on a induit (comme pour les nombres)
- Acception abstraite qui nous intéresse : « représentation construite comme une simplification d'une partie de la réalité à laquelle le modélisateur s'intéresse. Il est construit en choisissant certaines données dans celle-ci et en faisant certaines hypothèses. »

# Décrire le fonctionnement d'un modèle

- Modèles thématiques, qualitatifs
- Vers du quantitatif, plus prédictif, modèles opérationnels
- *On ne construit pas un modèle quand on a compris un système, on construit un modèle pour comprendre le système*

Herbert Simon



# Deux grandes catégories

- Une grande famille, modèles à base de lois
  - On s'intéresse à un ensemble de grandeurs quantifiables
  - On décrit les relations qu'entretiennent ces grandeurs (équations fonctionnelles, EDO, EDP ...)
- Une seconde, modèles à base de règles
  - On décrit l'état du modèle à « un moment »
  - On donne un ensemble de règles pour passer d'un état donné à l'état suivant
- On peut bien sûr combiner les deux

# Systemes

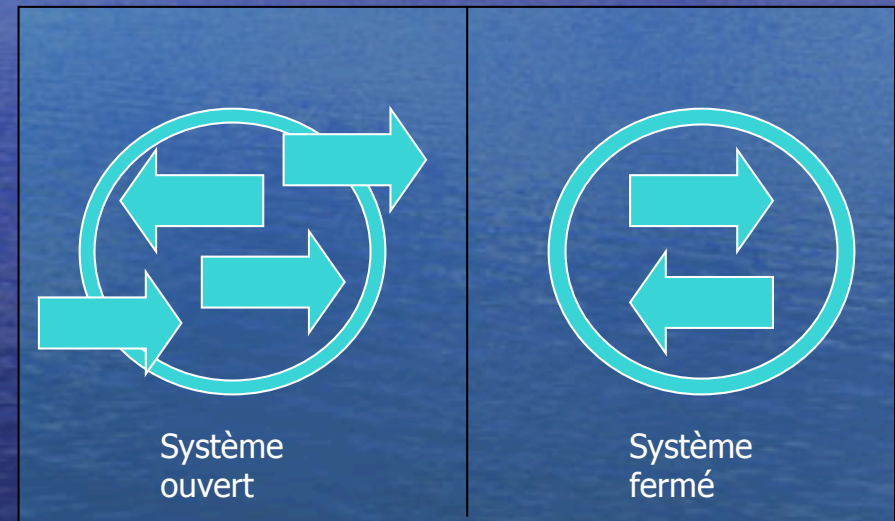
- « *Si quelqu'un devait analyser les idées du moment et les slogans à la mode, il trouverait « systèmes » au sommet de la liste* »

*Ludwig Von Bertalanffy, 1967*

- Mot utilisé dans différents domaines scientifiques, avec différentes acceptions
- Deux nous intéressent plus particulièrement
  - Thermodynamique
  - Systémique

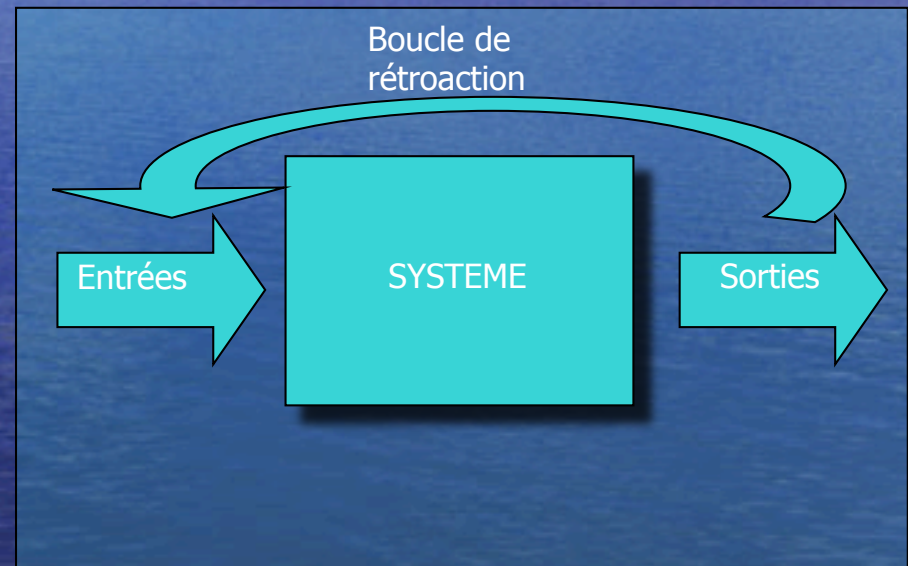
# Systeme thermodynamique

- Partie de matiere delimitée par rapport au milieu extérieur
- Le milieu extérieur est le reste de l'espace entourant le systeme
- Échanges de matiere et d'énergie



# Systeme cybernétique

- Cybernétique : Wiener, Mac Culloch et Forrester : interdisciplinarité
- De l'organique vers la construction de machine (homéostasie/de Cannon aux canons)
- Un système cybernétique peut être défini comme un ensemble d'éléments en interaction, les interactions entre les éléments peuvent consister en des échanges de matière, d'énergie, ou d'information.
- Interactions distinguées : les boucles de rétroaction
  - Positive : amplification
  - Négative : stabilisation





# Systeme systemique

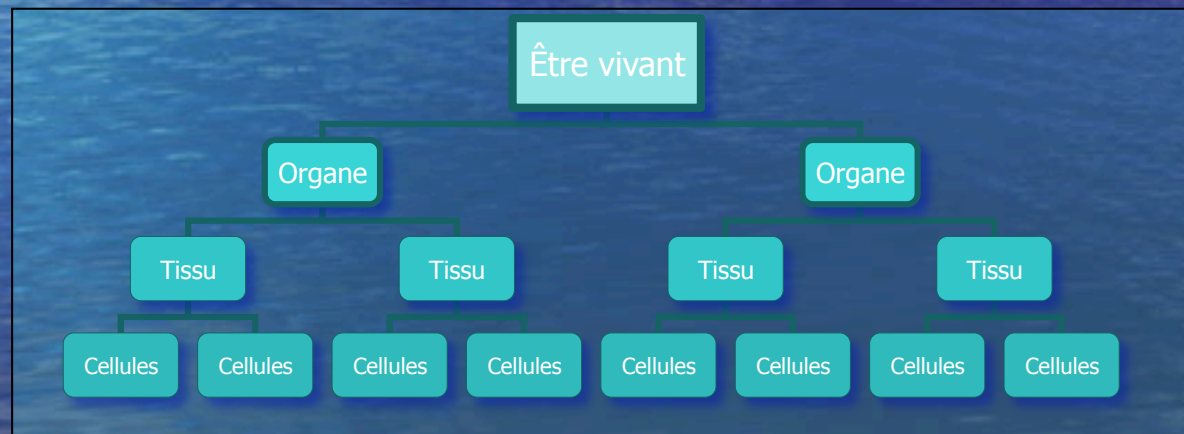
- Issu de la GST (Von Bertalanffy, Koestler, Ashby)
- Principe de dépendance interactive : Les structures et les dynamiques des éléments du système dépendent les uns des autres. Par conséquent, 1/ si on isole un élément on le modifie et 2/ si on agit sur certains cela a des conséquences sur d'autres.
- Principe d'émergence d'une entité globale interagissant avec son environnement : De l'ensemble des unités fonctionnelles et de l'ensemble de leurs interactions émerge une entité nouvelle montrant une structure, des propriétés et une dynamique nouvelles par rapport à celles de ses composantes.
- Principe d'un effet de retour de cette entité sur ses composants : l'ensemble agit sur les parties le constituant en ce sens qu'un élément ne montrera pas le même comportement, la même dynamique ni la même évolution s'il est isolé ou s'il est intégré dans un système.

# Les systèmes se gâtent pour mourir

- Un système de la GST peut être représenté par presque n'importe quel graphe
- Les systèmes remarquables possèdent une organisation
- Les systèmes trop connexes, trop touffus, s'uniformisent et meurent
- Cette organisation a souvent des caractéristiques spatio-temporelles : notion d'échelles
- Forme d'organisation retenue : holarchie

# Systemes holarchiques

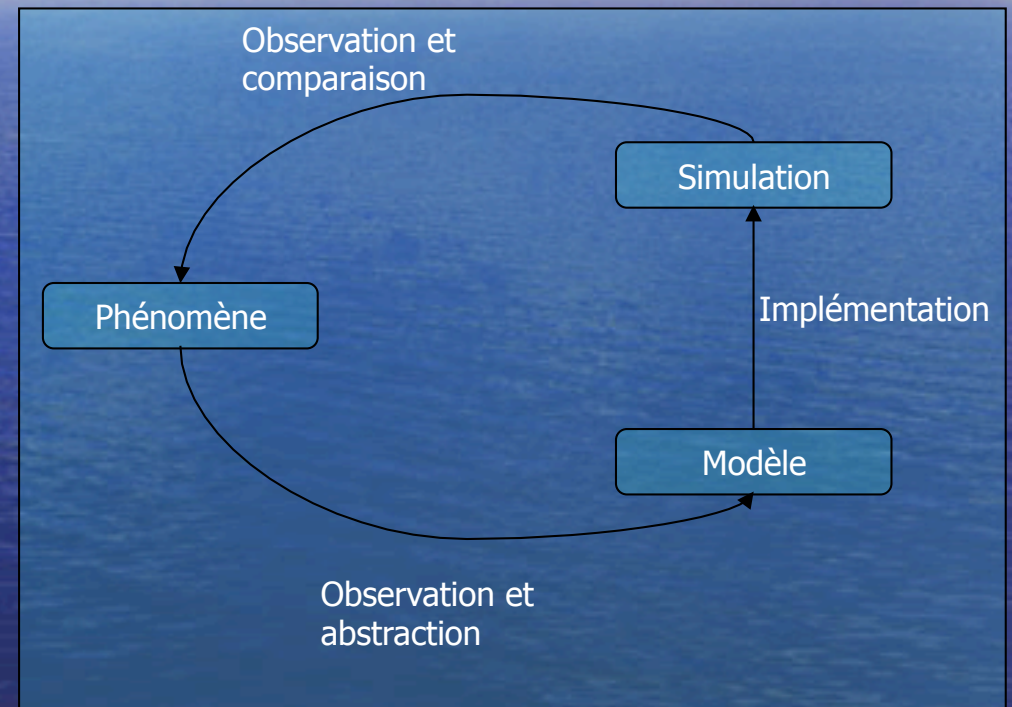
- Koestler baptise ainsi ces relations hiérarchiques mais bidirectionnelles.
- Les entités d'un niveau holarchique interagissent
  - entre elles,
  - en groupe avec celles d'un niveau supérieur,
  - Avec des groupes d'entités holarchiquement plus bas



Thèse de doctorat - Pierrick  
Tranouez

# Construction d'un modèle qui prend en compte ces échelles multiples ?

- On veut un modèle opérationnel, computable : simulable
- *A priori*, dans « l'observation et l'abstraction »,
- *A posteriori*, dans « l'observation et la comparaison », analyse de la trace de la simulation
- Une approche plus informatique : *In Medias Res*. Plus petite boucle, **dans** la simulation



# Résumons nos outils conceptuels

- Modèles thématiques et opérationnels
- Règles et lois
- Systèmes
  - Ouverts et fermés
  - Rétroactions
  - Holarchies
- Simulation multiéchelles
  - A priori,
  - A posteriori,
  - In medias res

# Écosystèmes et hydrodynamique

- De la description à la modélisation en écologie
- Des écosystèmes au SOHO
- Structuration par les flux
- Écosystèmes aquatiques
- Modèles hydrodynamiques

# Une brève histoire de l'écologie

- Géographie botanique XVIII<sup>ème</sup>
- Écosystèmes 2<sup>ème</sup> moitié 20<sup>ème</sup>
- Acquisition de connaissances →  
Organisation de celles-ci
- Approches de plus en plus systémiques  
(Frontier)

# SOHO Écosystèmes

- Self Organized Holarchic Open systems
  - « Self Organized » leur fonctionnement influe sur leur fonctionnement (rétroaction par ex.)
  - « Holarchic » les écosystèmes sont organisés spatiotemporellement en holarchies
    - Les écosystèmes sont composés d'écosystèmes et en composent d'autres
  - « Open » thermodynamiquement, les écosystèmes échangent de la matière et de l'énergie avec leur environnement
    - Seul le système Terre-Lune-Soleil peut être considéré comme un écosystème fermé, voire isolé
- D'après Koestler et Kay



# Énergie auxiliaire

- Les systèmes isolés ne peuvent voir leur entropie que croître.
  - Seconde loi de la thermodynamique
- Les systèmes vivants et les écosystèmes ne voient pas une telle augmentation de leur désordre
- Ils sont auto-organisés, et puisent l'énergie structurante dans leur environnement : ce sont des systèmes dissipatifs
- Dans le cadre des écosystèmes on parle d'*énergie auxiliaire* pour ces flux de matière et d'énergie

# Écosystèmes aquatiques

- Lacustres, maritimes ou fluviaux
- Énergie auxiliaire y est essentiellement celle de la dynamique des masses d'eau
- Importance de la turbulence

# Modéliser des flux de fluides

- Nous nous intéressons donc dans un premier temps à la modélisation de ces flux
- Nous voulons une modélisation multiéchelle,
  - pour aider à gérer la turbulence et
  - Pour insérer ensuite le travail dans une portion d'écosystème SOHO

# Modèles hydrodynamiques

- Il existe de très nombreux modèles
  - Hydrodynamiques en général
    - Maillages
    - Réseaux
    - Particulaire
  - De prise en compte de la turbulence en particulier
    - LES
    - K epsilon

# Maillages

- Méthode la plus répandue : maillages (meshes)
- On recouvre l'espace de simulation d'une grille, le maillage
- On calcule les caractéristiques cinématiques du fluide aux nœuds du maillage
- Inconvénient : diffusion numérique
  - Si une irrégularité se trouve au milieu d'une case, elle est « lissée » sur les coins de celle-ci
  - Ces irrégularités sont importantes

# Gaz sur réseaux

- On discrétise également l'espace sur une grille, implémentée par un automate cellulaire (1 case  $\leftrightarrow$  un nœud)
- Un ensemble de particules se déplace sur cette grille
- Les particules s'entrechoquent
- Les caractéristiques des particules et de leur collisions sont simples mais elles sont très nombreuses
- Inconvénient : la géométrie, même quand elle est sophistiquée (hypercube) est contrainte : il faut savoir a priori quelles sont les zones où on veut le plus de détails

# Simulation multiéchelle d'écoulement fluide

- Le modèle particulaire
- Les structures d'un écoulement : les tourbillons
- Détection
- Réification

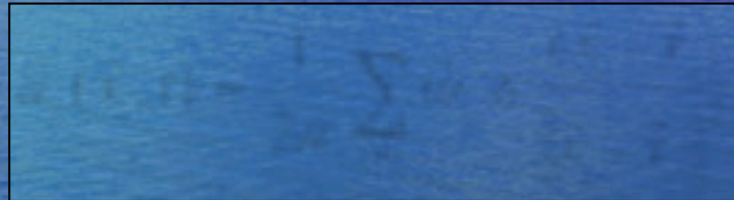
# Le modèle particulaire

- Les équations de Navier-Stokes sont reformulées en champ de vorticité (loi de Biot Savart)
- Le champ de vorticité du fluide est discrétisé en un ensemble de particules
- Ces particules ne sont pas matérielles



# Loi discrète de Biot-Savart

- L'évolution de la vitesse propre  $u_p$  d'une particule se calcule de la manière suivante :

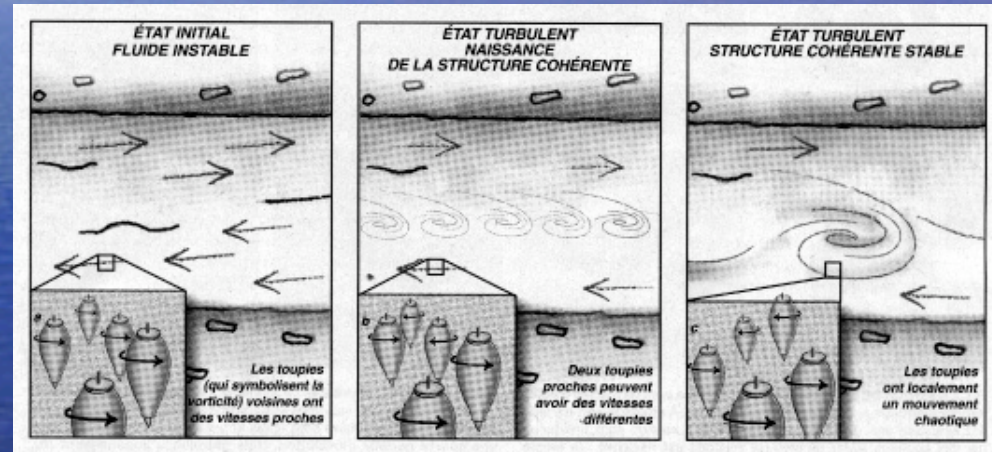


- La vitesse d'une particule est donc influencée par la vorticité des autres particules, d'une manière inversement proportionnelle au carré de la distance la séparant de celles-ci

# Intérêts de la méthode particulaire

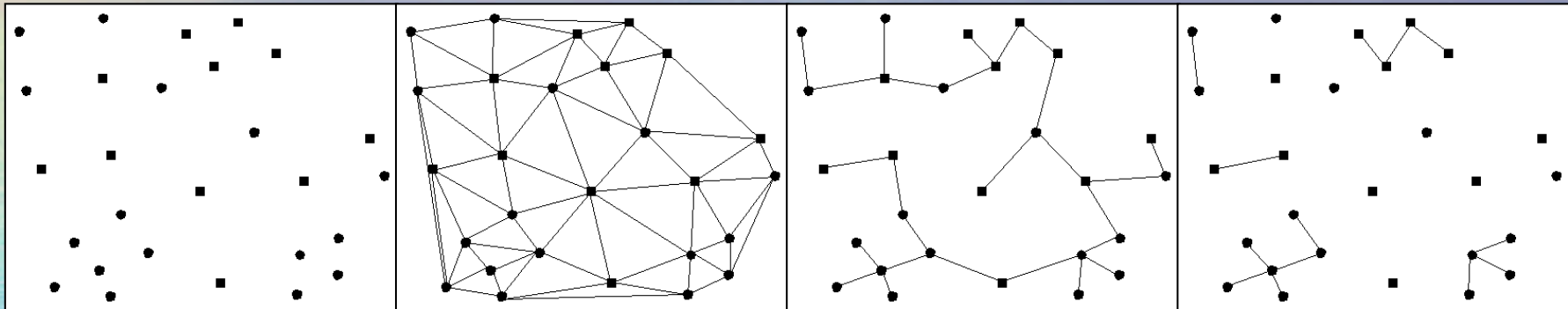
- Les particules sont des indicateurs locaux des caractéristiques cinématiques du fluide
  - Similaires aux nœuds du maillage
  - **Mais** elles sont également transportées par le fluide, et se retrouvent donc aux bons « endroits »
  - Elles génèrent le champ de vorticité

# Structures de l'écoulement fluide



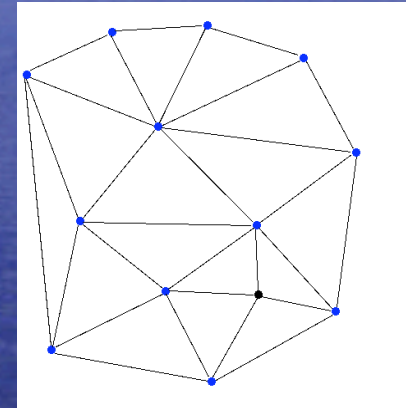
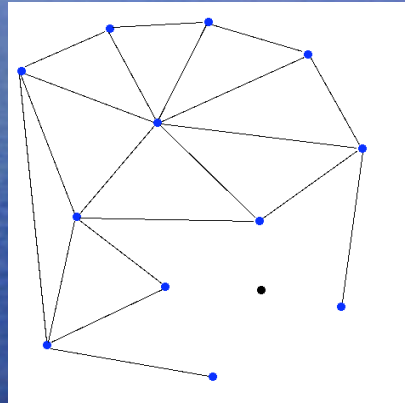
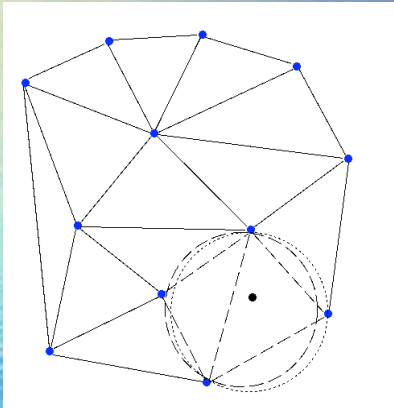
- Les tourbillons sont les structures les plus importantes du fluide
- Ce sont les briques de la turbulence
- Ce sont ces structures que nous allons essayer de gérer in medias res

# Détecter l'apparition d'une telle structure



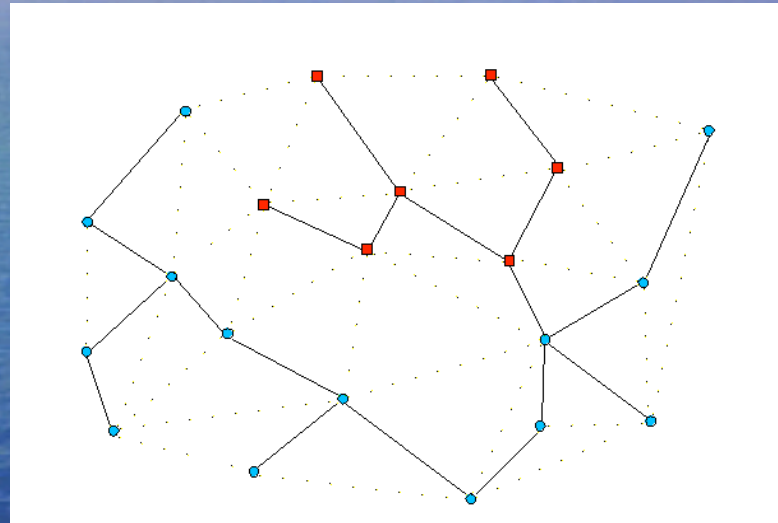
1. Ensemble initial de particules
2. Triangulation de Delaunay
3. Calcul de l'ARPM de la triangulation
4. Destruction de certains liens

# Triangulation de Delaunay



- Relie les particules entre elles
- Garantit que les particules soient reliées aux plus proches d'entre elles

# Arbre de Recouvrement de Poids Minimum



- On value les arcs du graphe précédemment trouvé par la distance séparant ses sommets
- On cherche alors l'ARPM du graphe par la méthode de Kruskal

# Finalisation ontologique

- On enlève les arcs reliant deux entités de sens de rotation opposé
- On détruit les arcs dépassant une longueur relative (afin de ne pas obtenir d'agrégats trop déformés)
- On obtient alors une forêt d'agrégats

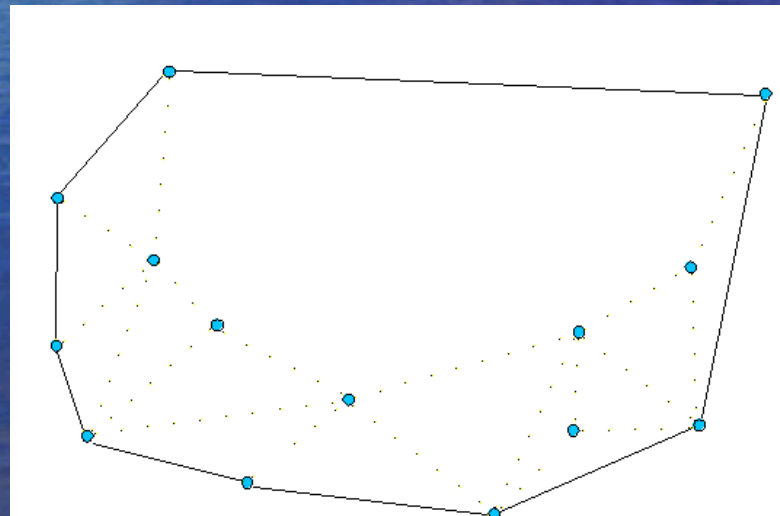
# Créer une entité correspondant

- Créer son corps
  - Enveloppe convexe
  - Ellipse
- Créer son comportement
  - Interactions avec les entités d'une même échelle
  - De plus grande échelle

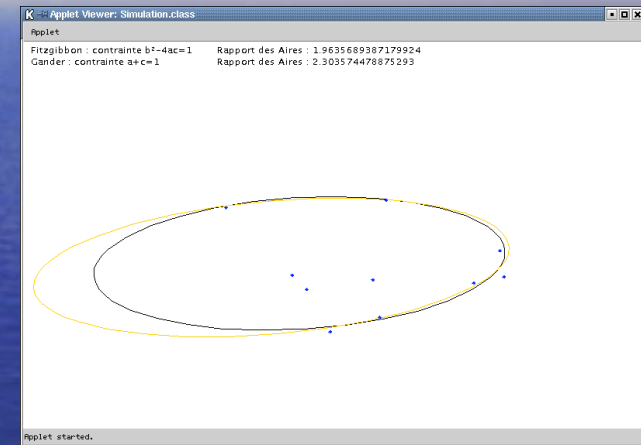
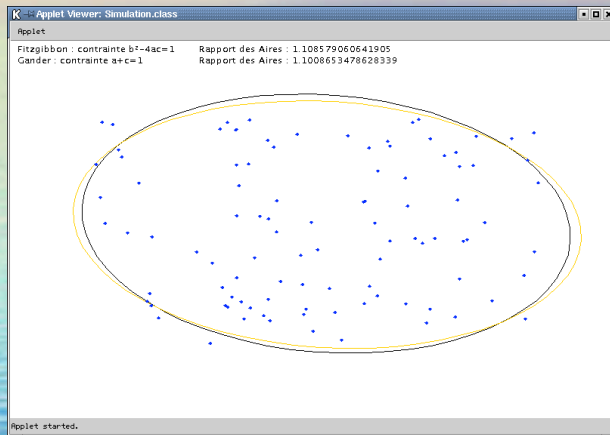


# Enveloppe convexe

- On commence par calculer l'enveloppe convexe des arbres de la forêt précédente
- Méthode de Graham



# Ellipses

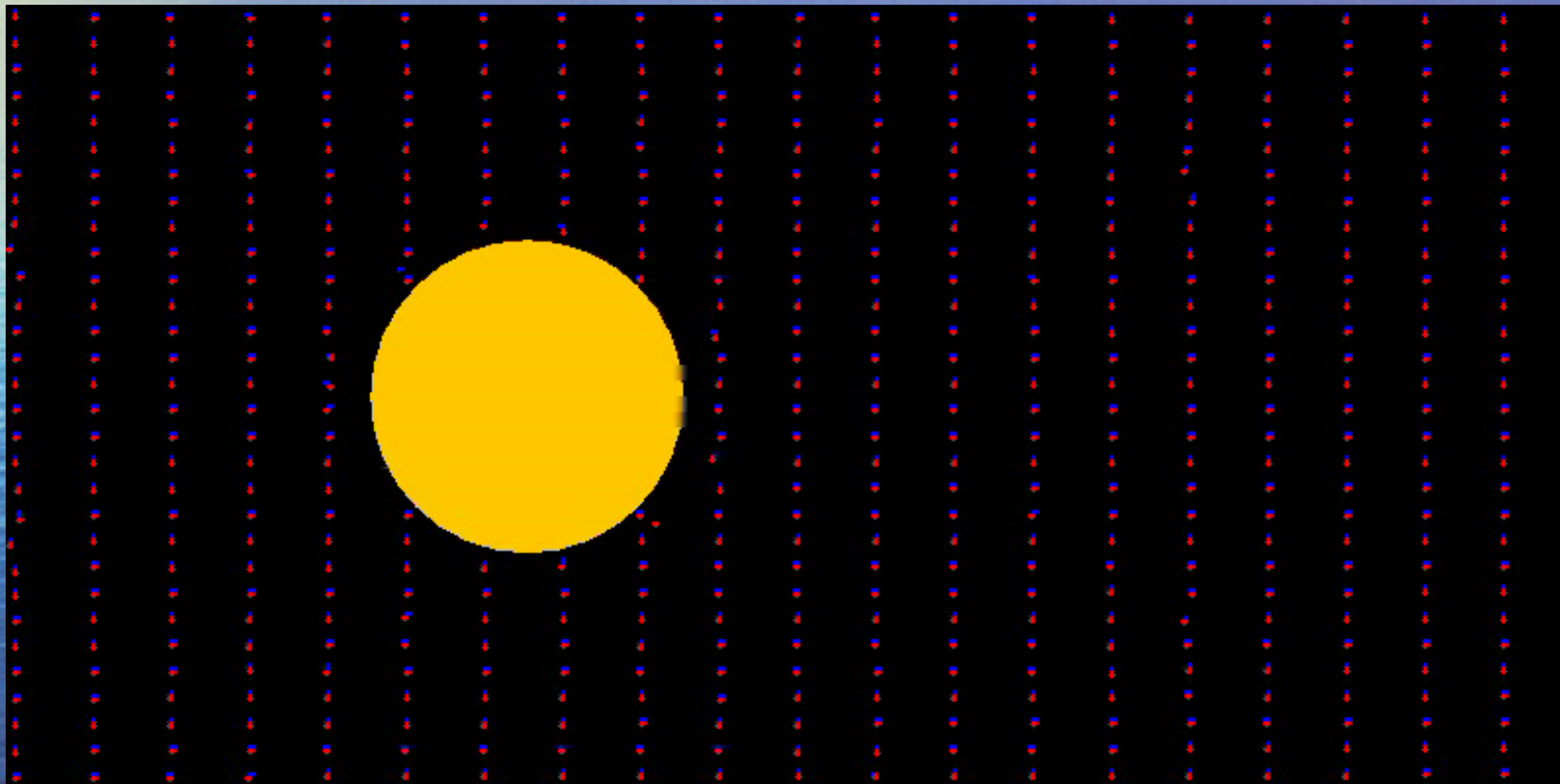


- Les tourbillons sont des structures elliptiques
- On cherche donc l'ellipse la plus proche de l'enveloppe convexe
- Méthode de Gander et Fitzgibbon

# Comportement des Tourbillons

- Relations sociales par un éco-agent
  - Agression de Tourbillons antagonistes proches
  - Satisfaction avec des Tourbillons de même sens de rotation
- L'éco-agent sert aussi à d'autres relations avec l'environnement
  - Agression par d'autres structures non Tourbillon (ex. obstacles ou bords)
  - Satisfaction avec des particules

# Un premier aperçu global



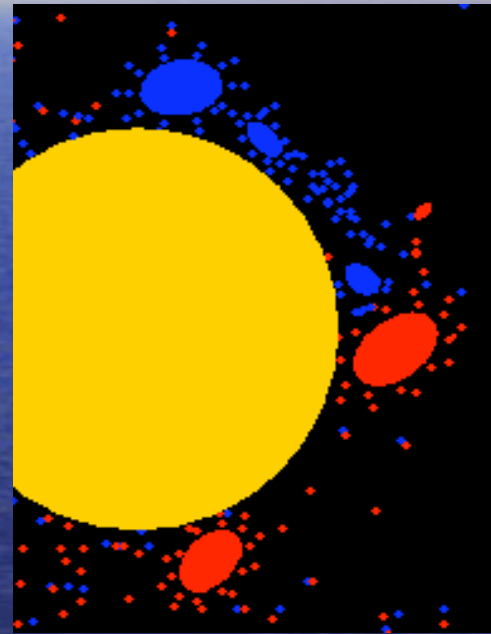
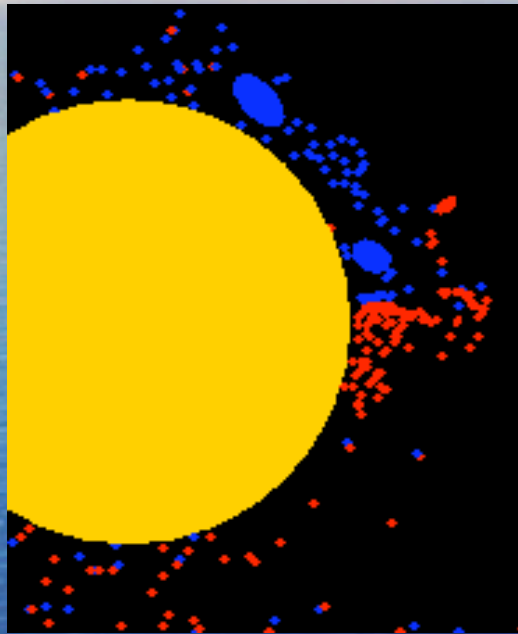
Thèse de doctorat - Pierrick  
Tranouez

# Naissance et premiers pas d'une structure



- La structure se crée
- Elle commence sa vie
- Elle empiète sur l'obstacle
- Celui-ci l'agresse
- Elle « fuit » (rétrécit)

# Photos de groupe

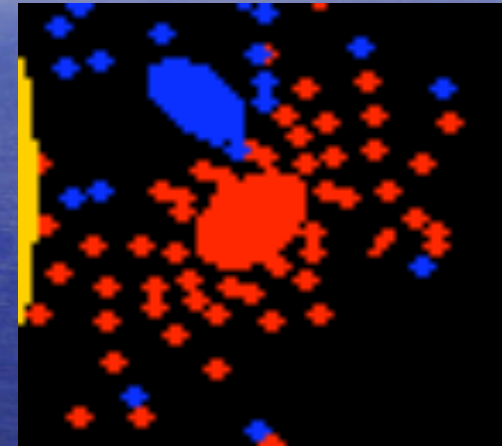
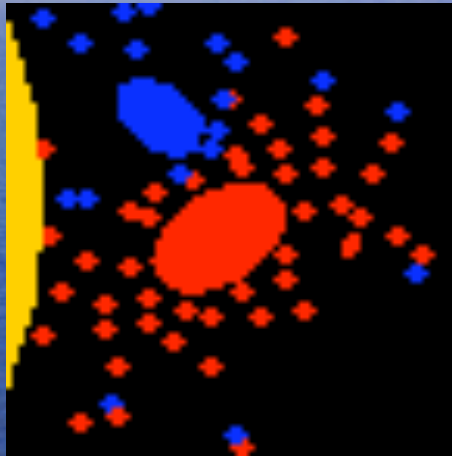
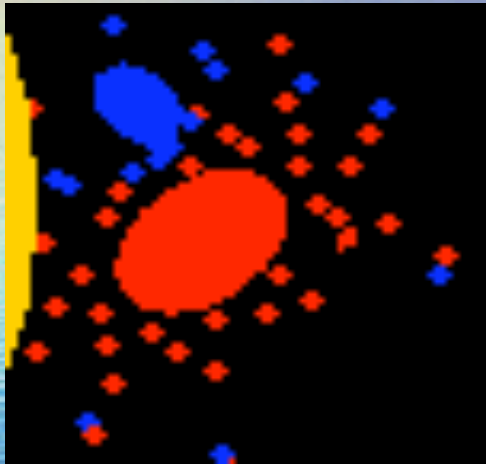


- Différentes structures apparaissent et disparaissent

# Fonctionnement des Tourbillons

- Déplacements Biot Savart
- Stabilité éco-agent
  - Implémenté par un transducteur
    - Alphabet d'entrée des perceptions de l'agent
    - Alphabet de sortie des actions de l'agent
  - Vie d'agression et de tentative de satisfaction
  - Chaque agent avance d'un état dans son automate jusqu'à être dans l'état « satisfait »

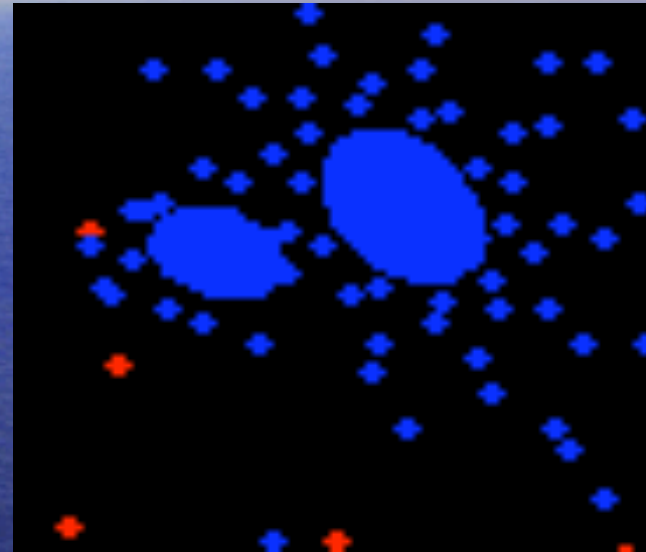
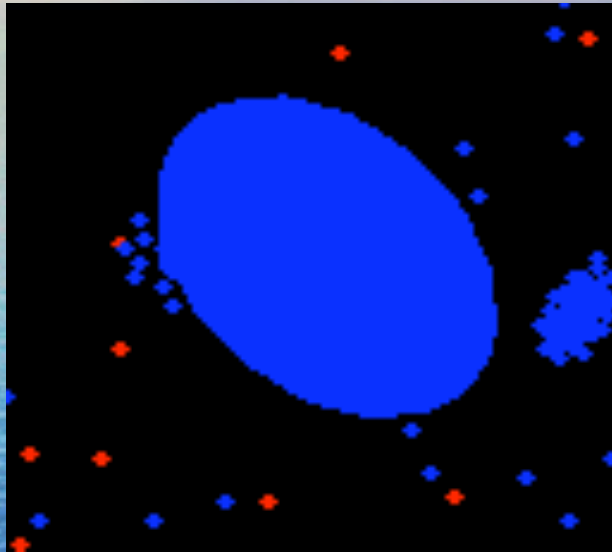
# Deux Tourbillons en conflit : agression et fuite



- La structure bleue agresse la structure rouge, qui fuit

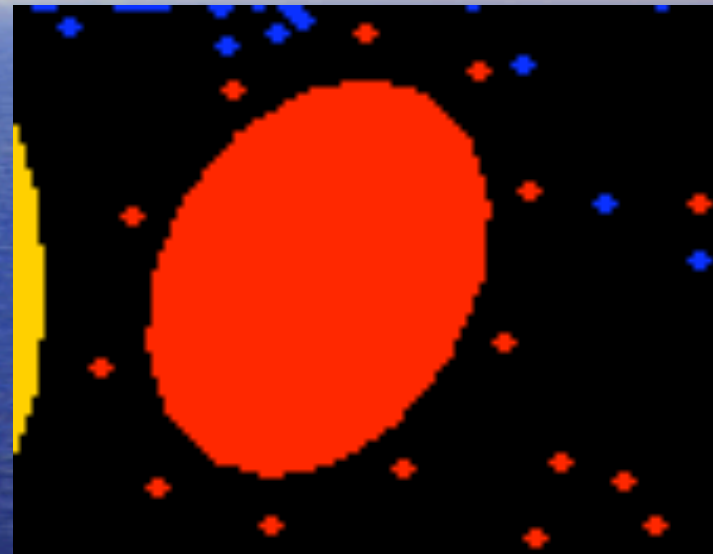
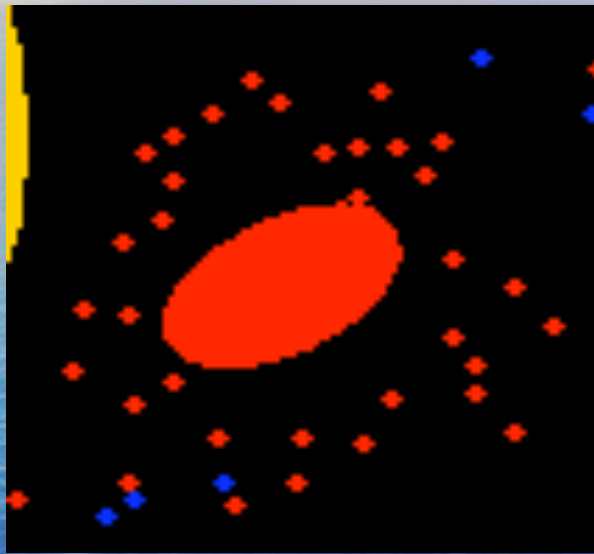


# Tourbillon fuyant en Sous-tourbillon



- Les Tourbillons se déstabilisent en plus petits porteurs de vorticité
  - Tourbillons si encore suffisamment grands
  - Particules sinon

# Tourbillon se satisfaisant avec des particules

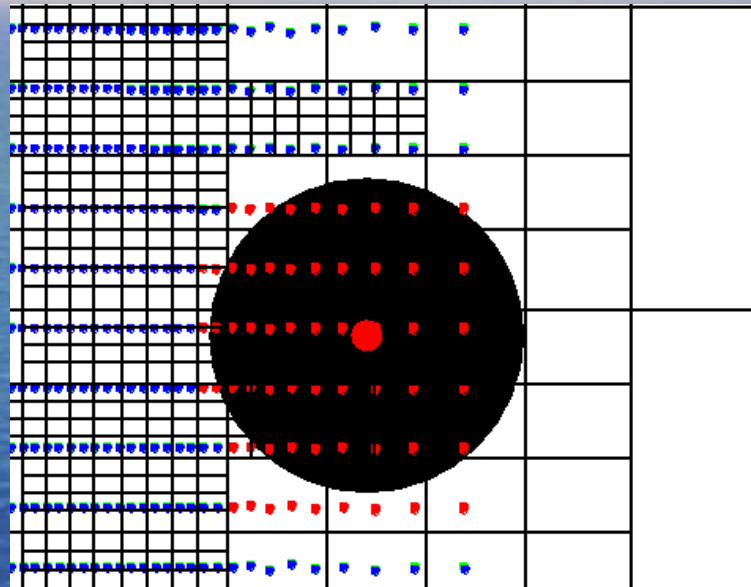


- La structure rouge, entourée de particules, les absorbe

# Les interactions nécessitent une perception

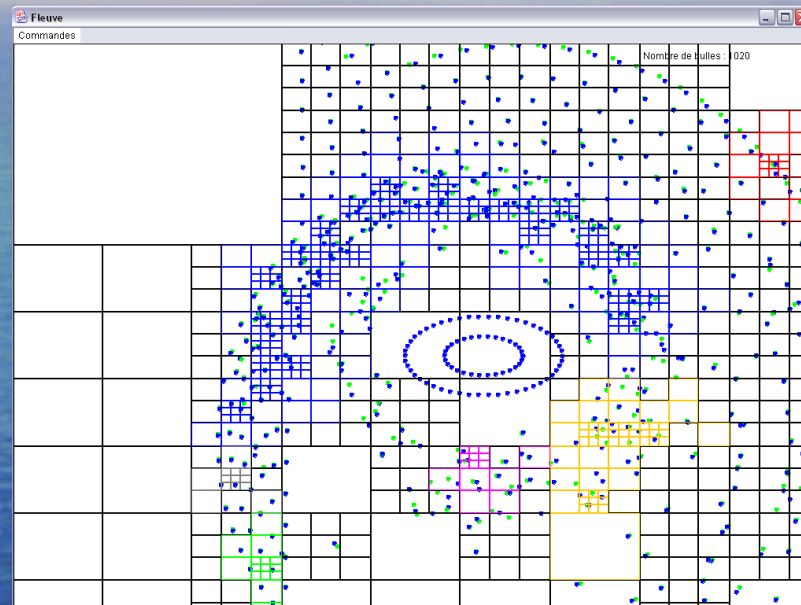
- Lente dans l'absolu (nombre d'entités)<sup>2</sup>
- Perception dans la métaphore individu centrée
- Champ environnemental qui répond à l'organe du sens
- On utilise un arbre divisant l'espace en case
  - Ces divisions sont plus nombreuses là où les entités le sont
    - Densité bornée
  - Ces cases répondent aux entités de simulation

# Ntrees pour une perception heuristique



- Évolution des quadrees
- Distance par case

# Ntrees pour une autre détection



- Détection d'un autre genre
  - Densité
  - Contiguïté

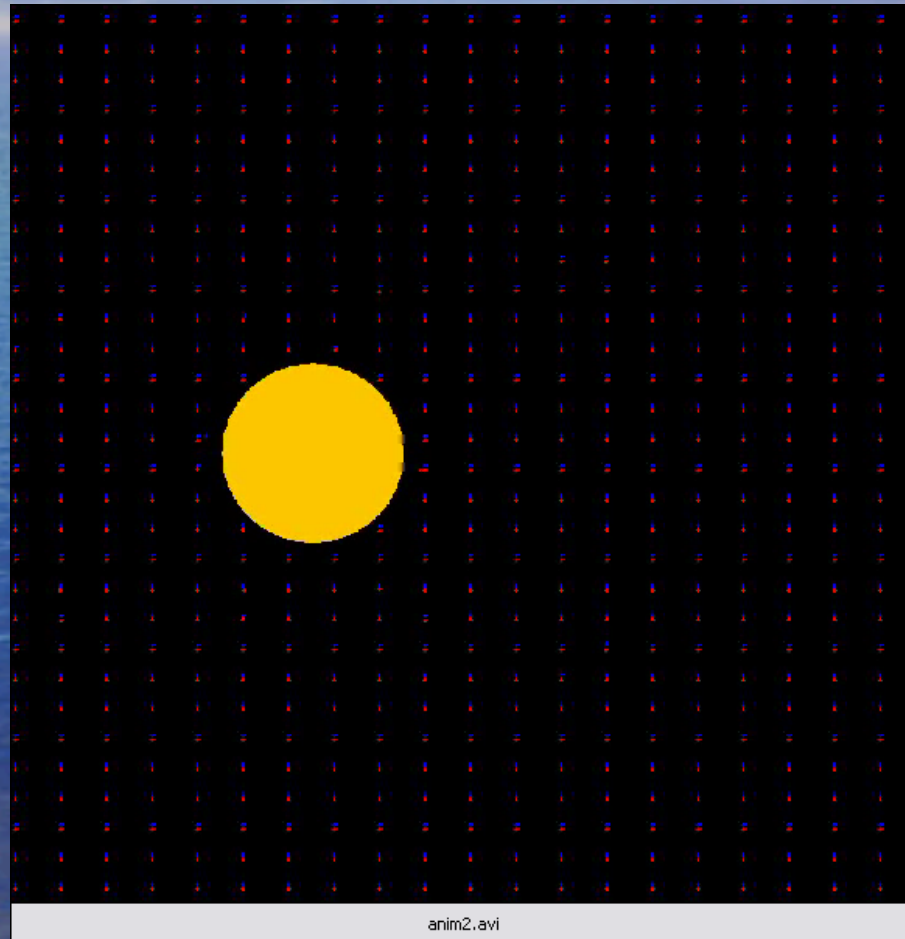
# Ntrees pour accélérer le calcul et distribuer

- Fast methods
- Pour distribuer il faut résumer
  - On le fait d'autant plus qu'on est loin

# Pourquoi plus de DSE dans cet exposé ?

- On ne peut pas tout développer
- DSE mène à un **remplacement**
- C'est de là que vient le « in medias res »
- Les Tourbillons n'agissent pas sur leurs éléments directement
  - pour éviter la redondance : s'ils agissent et que les entités qui les composent aussi, doublet.
- Mais interagissent avec les entités de différentes échelles
  - Notamment celles du même niveau que celles lui ayant donné naissance
- S'associent à d'autres pour donner des Tourbillons plus grands
- On a un cascade de tourbillons qui se transmettent de la vorticité
  - Ce n'est pas de la turbulence
    - On ne va pas au moléculaire
  - Mais ce n'est pas sans rapport

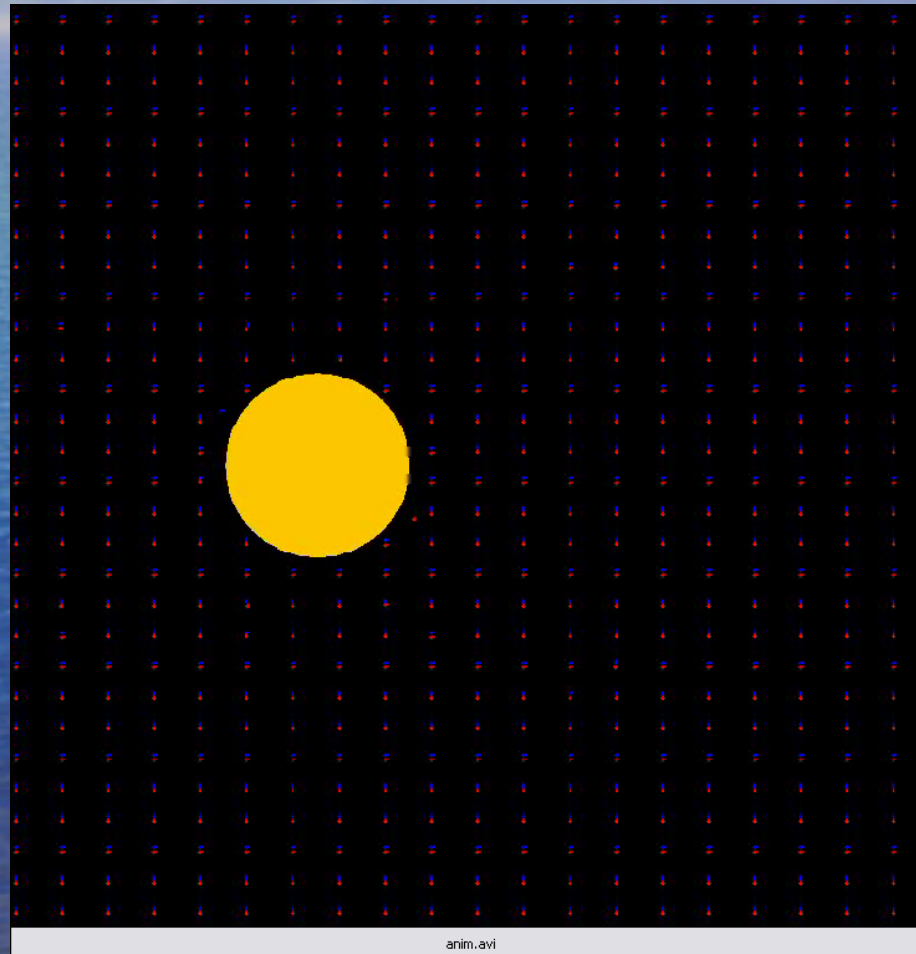
# Sans DSE



Thèse de doctorat - Pierrick  
Tranouez



# Avec DSE



Thèse de doctorat - Pierrick  
Tranouez

# Et maintenant, que va-t-on faire ?

- Distribution
  - Antoine Dutot
- SMA compartimental
  - À base de lois et de règles
  - Organisation trophiques
    - Gestion hydrodynamique
      - Pour une meilleure prise en compte des déplacements
      - Pour gérer le transport de matières solides
      - Différents fluides
  - Guillaume Prévost
- Nouvelles structures remplacées à comportement calculé de manière évolutionniste peut-être ?