

Systemes autogérés : auto-organisés ou auto-adaptatifs ?

Jean-Philippe Martin-Flatin

jp.martin-flatin@ieee.org

Université Louis Pasteur, Strasbourg, France
26 avril 2006

Plan

- Systèmes de très grande taille :
 - Exemples
 - Problème : gestion
- Deux solutions :
 - Auto-adaptation
 - Auto-organisation
- Avant-projet BWSN-meteo :
 - Réseaux de capteurs sans fil biodégradables pour la météorologie
- Corrélation d'évènements auto-adaptative

Les systèmes de très grande taille (STGT)

Exemples de STGT (1/2)

- Web :
 - > 100 000 000 entités
 - non géré comme tel
- Infrastructures logicielles et matérielles des multinationales :
 - > 100 000 entités à gérer
 - > 10 000 000 évènements (au sens gestion) par jour
- Grands réseaux d'opérateurs télécoms :
 - Réseaux IP, téléphonie fixe, téléphonie mobile
 - > 10 000 entités à gérer
 - > 1 000 000 évènements par jour
- Grilles de calcul, grilles de données :
 - > 1000 entités à gérer
 - > 10 000 évènements par jour

Exemples de STGT (2/2)

- ISP, ASP, hébergement (*hosting*) :
 - > 1000 entités à gérer
 - > 100 000 composants
 - > 10 000 évènements par jour
- Systèmes d'informations, infrastructures d'*e-business* de type Akamai :
 - > 100 entités à gérer
 - > 100 000 composants
 - > 10 000 évènements par jour
- Grands réseaux de capteurs sans fil :
 - WSN, MANET...
 - > 1000 entités à gérer
 - > 10 000 évènements par jour

Caractérisation des STGT

- Un système de très grande taille (STGT) peut être composé de :
 - Éléments de réseau
 - Réseaux de bout en bout (QoS)
 - Machines (*hosts*)
 - Intergiciels (*middleware*)
 - Applications locales (*standalone*)
 - Applications distribuées
 - Services (service = interface app. + contrat)
- Très nombreux composants :
 - Aujourd'hui : 10^3 à 10^9
 - Demain : encore plus

Gestion des STGT

- Problème de passage à l'échelle
- Exemples :
 - AT&T 2001 (IP business) : Comment gère-t-on 10^7 évènements par jour dans un corrélateur d'évènements ?
 - CERN 2004 (LHC) : Comment gère-t-on des clusters de 100-1000 PC répartis dans des dizaines de sites à travers le monde ?
 - Toutes les multinationales : comment capturer les dépendances dynamiques quand on gère un parc de plus de 100 000 machines (serveurs, PC fixes, PC portables, éléments de réseaux...) ?

Changement de paradigme

- Infrastructures logicielles et matérielles conçues pour être gérées :
 - Syndrome de la gestion après coup = fini
 - Évolution comparable au marché de l'automobile :
 - Ferrari → Toyota
 - Dernier cri de la technologie → fiable et pas cher
 - GENI: vers une nouvelle architecture de l'Internet
- Architecture de gestion repensée :
 - Pas de connaissance complète du système géré
 - STGT vu comme un système complexe
 - Deux possibilités :
 - Auto-organisation : phénomènes émergents contrôlés
 - Auto-adaptation : découverte dynamique et distribuée

Auto-organisation, auto-adaptation

Auto-organisation (1/2)

■ Idée :

- Stabilité, robustesse, performance = propriétés émergentes d'un système complexe

■ Caractéristiques :

- Pas de représentation interne du système global
- Pas de représentation interne de l'état des autres composants :
 - Sauf peut-être de ceux dans les environs immédiats
- Propriétés émergentes = résultat d'interactions locales simples :
 - Pas d'échange de données « intelligentes »

Auto-organisation (2/2)

■ Difficultés :

- Approche révolutionnaire : il faut tout remettre à plat
- Comment contrôler des phénomènes émergents ?
- Comment favoriser l'émergence d'une propriété donnée ?
 - Par essais successifs ? (*trial and error*)
 - On évalue ce qui apparaît spontanément et on sélectionne ce qui nous convient
 - Par design ?
 - On modélise le système sous forme de système complexe, et on le construit de façon à ce qu'émerge une propriété donnée

■ Analogies :

- Biologie
- Robotique distribuée
- Physique des matériaux
- Thermodynamique
- ...

Auto-adaptation (1/2)

- Idée :
 - Découverte dynamique et distribuée des informations de gestion dont on a besoin
- Caractéristiques :
 - Monitoring partiel
 - Connaissance partielle des composants de l'environnement :
 - Graphe topologique incomplet
 - Conn. partielle de l'état de l'environnement :
 - Machines à états finis pas toutes à jour
 - Conn. partielle de la dynamique de l'environnement :
 - Graphe de dépendances incomplet
 - Séries temporelles partielles pour suivre l'évolution de l'état de chaque composant

Auto-adaptation (2/2)

- Approche non révolutionnaire
- Généralisation de ce que l'on fait en général aujourd'hui :
 - Auto-configuration
 - Auto-découverte des services offerts par des tierce-parties
 - Gestion faiblement distribuée → gestion fortement distribuée :
 - [JNSM 1999]
 - [Wiley 2003]

SASO 2007

- First IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems
- Fusion de ESOA, SelfMan, Self-* et IWSAS
- Boston (Mass., USA), 9-11 juillet 2007
- Interdisciplinaire = plusieurs communautés :
 - Réseaux
 - Systèmes distribués
 - Génie logiciel
 - IA distribuée (systèmes multi-agents)
 - Robotique distribuée
 - ...

Avant-projet BWSN-Meteo

Observations météo actuelles

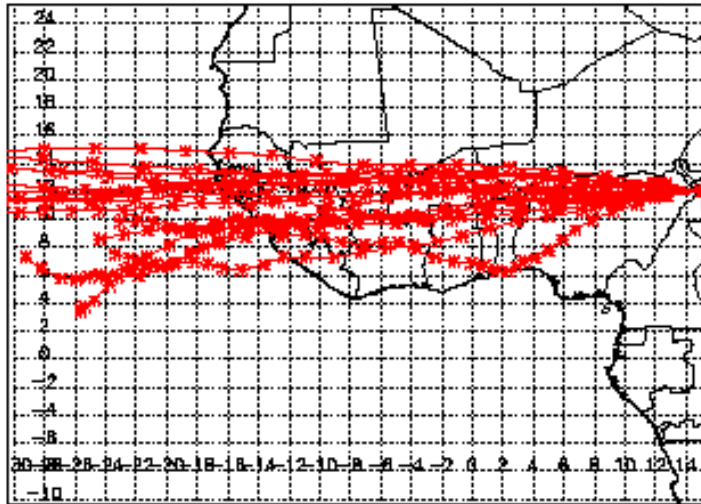
- Observations *in situ* :
 - Stations terrestres fixes :
 - Automatisées pour la plupart
 - Stations maritimes :
 - Bouées fixes ou dérivantes
 - Stations mobiles embarquées dans des bateaux
 - Stations aériennes :
 - Stations mobiles embarquées dans des avions :
 - Au gré de leurs trajets
 - Mini-stations aériennes mobiles :
 - Radio-sondes, *drift-sondes*, *drop-sondes*
- Observations satellitaires :
 - Satellites géostationnaires
 - Satellites non-géostationnaires

Radio-sonde

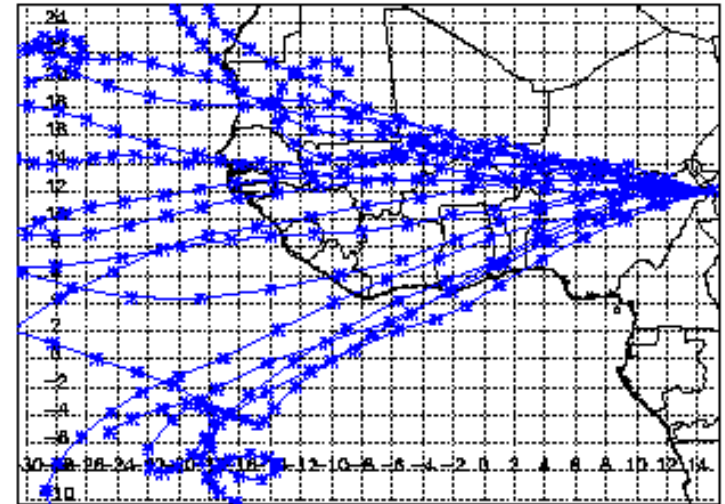


Source : Météo France

Drift-sondes



(a)



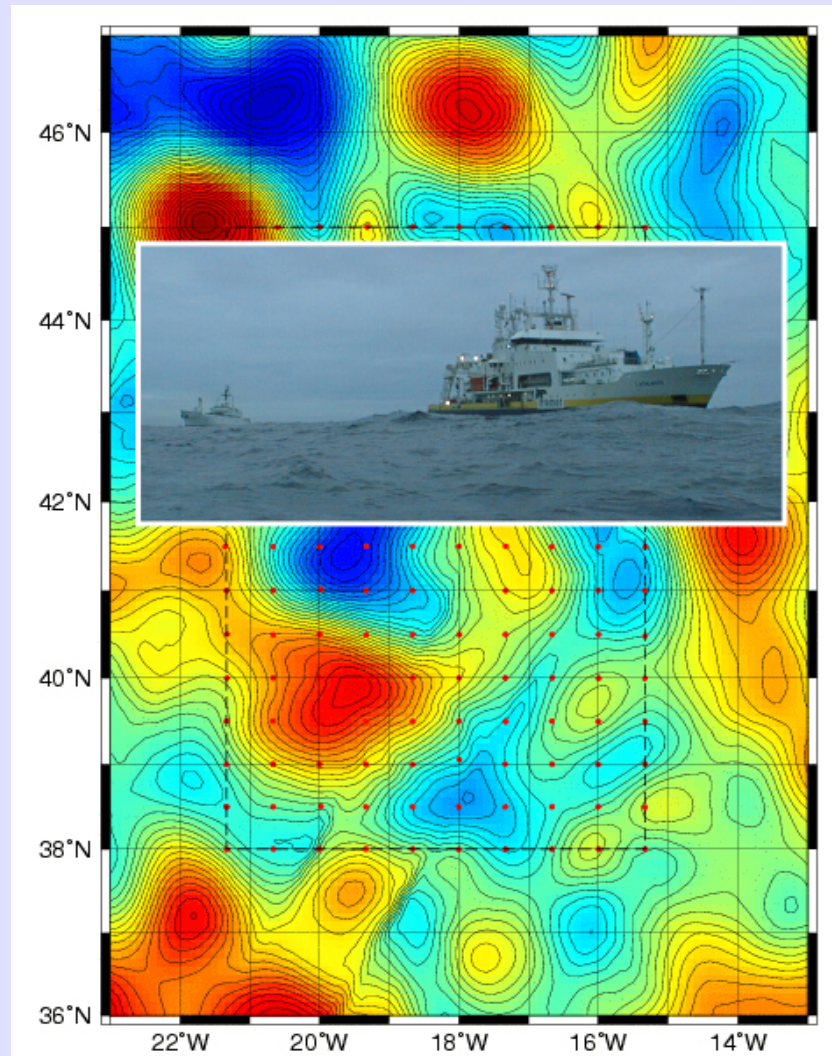
(b)

Figure 2 : Trajectoires isobares HYSPLIT correspondant à des driftsondes lâchées à l'altitude de 50 hPa (a) et 100 hPa (b) depuis N'Djamena entre le 15 juillet - 31 juillet 2000.

sondes dérivantes

Source : Météo France

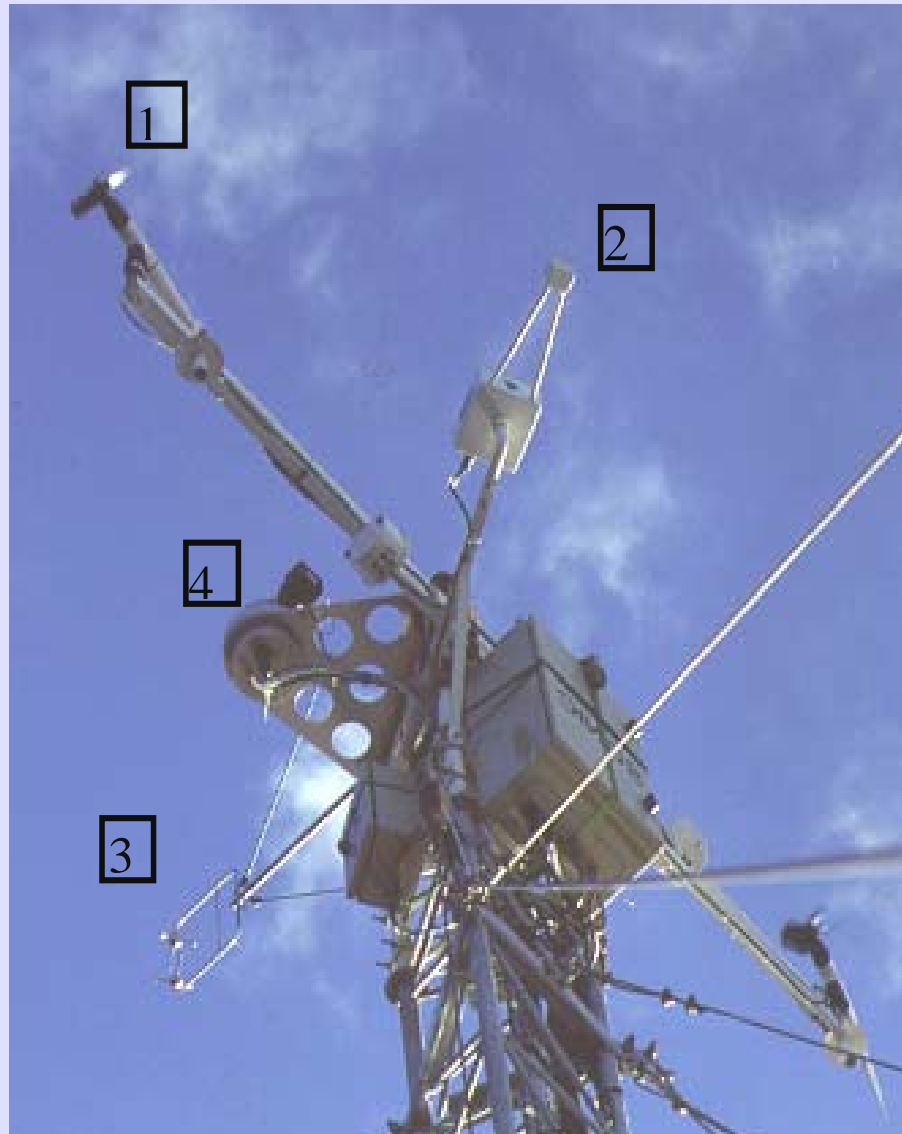
Campagnes de mesures en mer



Source : CETP-CNRS-IPSL

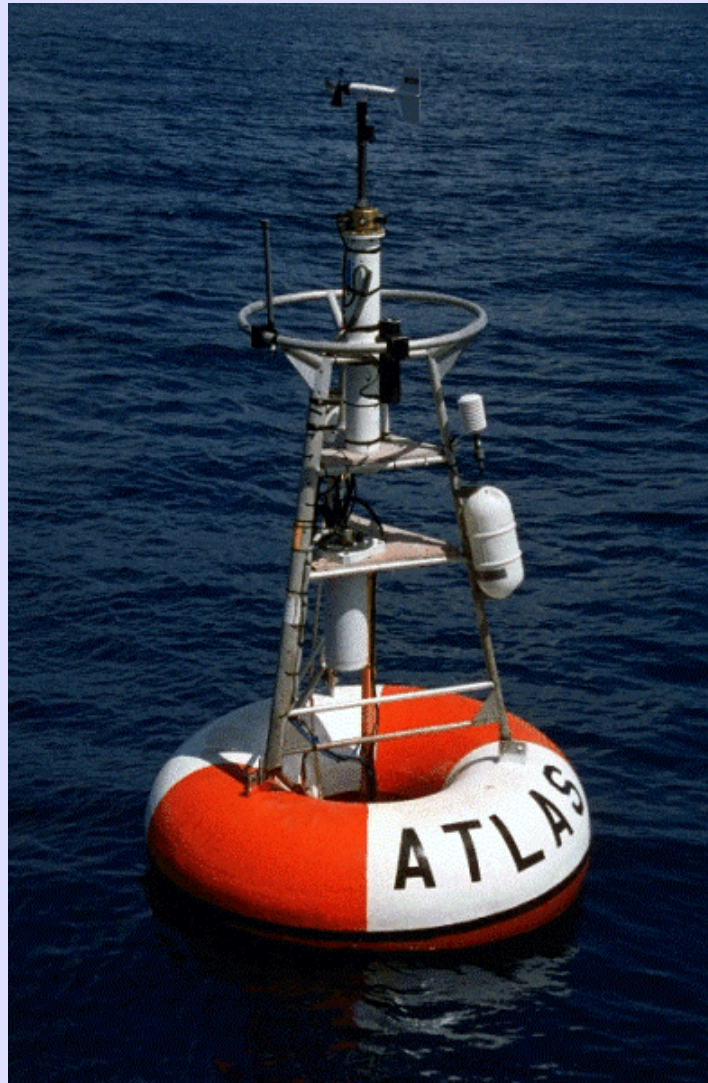
Mesures en mer : instruments de surface

- 1 - anémomètre
- 2 - pluviomètre
- 3 - anémomètre
sonique
- 4 - réfractomètre

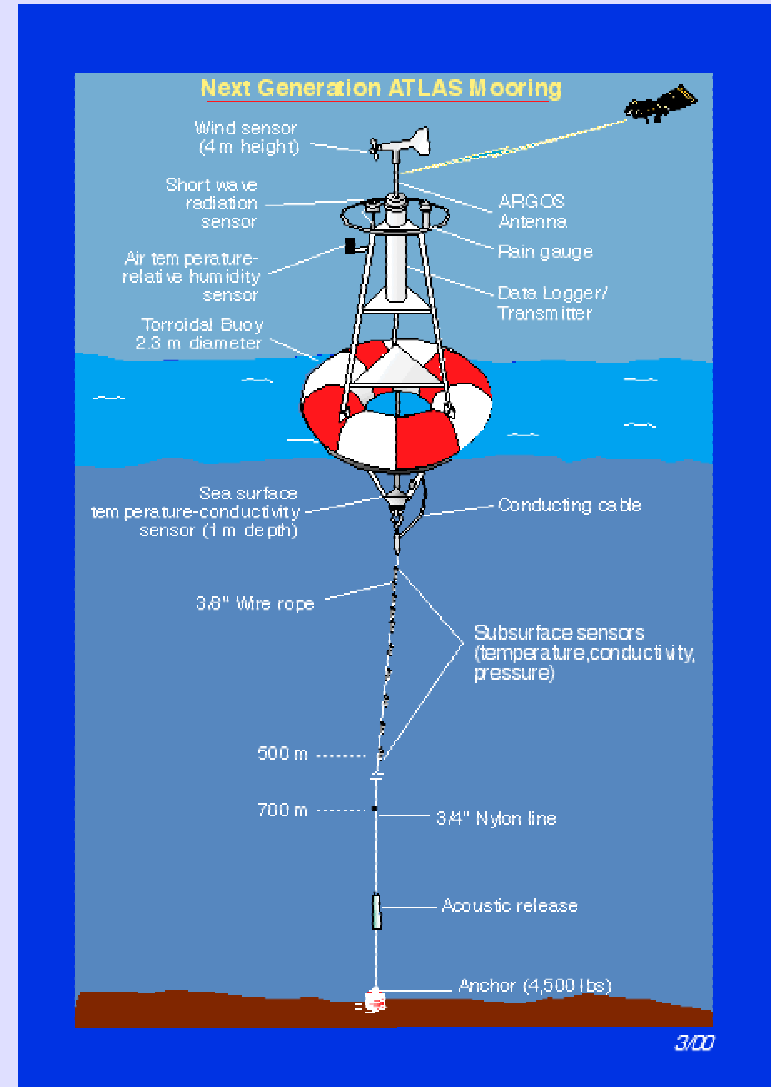


Source : CETP-CNRS-IPSL

Mesures en mer : instruments sous-marins



Source : CETP-CNRS-IPSL



Source : NOAA

Qualité des prévisions météo

- Qualité des observations :
 - Précision des mesures (barre d'erreur)
 - Nombre de mesures suffisant
 - Choix judicieux de ce que l'on mesure :
 - Ciblage spatiotemporel
- Qualité des modèles de prévision :
 - Est-ce qu'on comprend bien la physique des différents phénomènes météo ?
 - Est-ce qu'on la modélise bien numériquement ?

BWSN-meteo : idée générale (1/2)

- Saupoudrer plein de μ -capteurs (à la SmartDust), $\Phi < 10$ mm, pour mesurer :
 - température, pression, humidité, vitesse du vent
- Bien cibler les mesures, à la demande
- Acquérir plus de mesures, là où l'on en a besoin
 - Réduire ainsi la barre d'erreur sur les mesures

BWSN-meteo : idée générale (2/2)

- Capteurs fabriqués en biomatériaux :
 - Doivent être éco-compatibles (*bio-friendly*)
 - Les capteurs peuvent être mangés par des animaux (oiseaux, grenouilles, poissons...)
 - Biodégradables
 - Apoptose (mort programmée des capteurs) :
 - Permet de se protéger contre des mesures erronées lorsque le μ -capteur débute son processus de biodégradation
 - Permet de limiter la pollution de l'environnement à une durée donnée (ex. : 10 jours)

Plus de mesures \Rightarrow meilleures prévisions météo ?

- Pas forcément
- Problème de convergence numérique du modèle de prévision :
 - Δt et Δx sont liés :
 - Le pas de temps du modèle est lié à la taille de la maille
 - Modèle global : on ne descend pas en dessous de $\Delta x = 100\text{km}$
 - μ -capteurs appropriés pour modèles de sous-maille
- Si pas de modèle de sous-maille, il vaut mieux agréger les mesures et ainsi réduire la barre d'erreur

Scénarios d'utilisation (1/2)

- Modèles atmosphériques :
 - Aider à mieux comprendre la physique de certains phénomènes encore mal maîtrisés :
 - Ex. : campagnes de recherche météo
 - Aider à affiner les prévisions météo très localisées en cas d'épisodes graves :
 - Ex. : cyclones, crues éclairs

Scénarios d'utilisation (2/2)

- Modèles de couplage air-océan :
 - Mieux comprendre ce qui se passe à l'interface air-océan et dans la couche limite
 - Mieux comprendre le couplage entre tourbillons marins et tourbillons atmosphériques :
 - Taille des tourbillons : entre quelques centaines de km et quelques centaines de mètres

Scénario 1 : campagnes de recherche météo

- Une campagne dure quelques semaines ou quelques mois :
 - Possible de tester de nombreuses hypothèses sur la physique d'un phénomène météo donné
- Chaque campagne réunit quelques dizaines (voire une centaine) de chercheurs, ingénieurs et techniciens :
 - Météorologistes
 - Océanographes
 - Spécialistes d'instrumentation
- Prochaines campagnes :
 - Mer Méditerranée
 - Afrique subtropicale

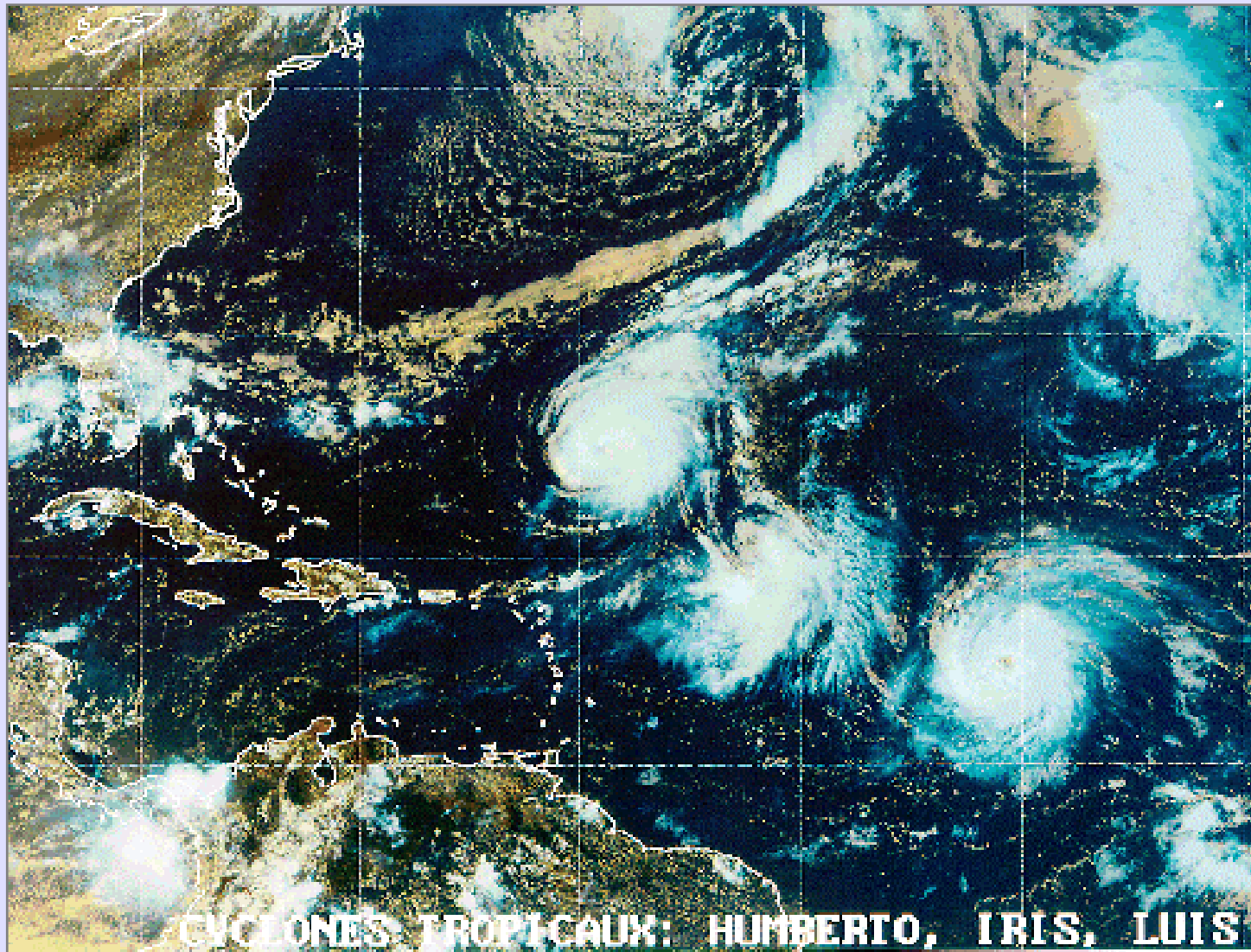
Scénario 1 : comment ? (1/2)

- Une pluie de μ -capteurs biodégradables est déversée par avion, selon une trajectoire choisie à l'avance
- Les μ -capteurs tombent par gravité, montent par effet cheminée ou dérivent avec le vent tout en fournissant régulièrement des mesures
- Agrégation auto-organisée des mesures :
 - Réduction de la barre d'erreur
- On collecte ainsi un grand nombre de mesures bien ciblées

Scénario 1 : comment ? (2/2)

- On analyse ces mesures :
 - Ex. : on les injecte dans un modèle de prévision
- On configure les capteurs différemment :
 - Ex. : on change la fréquence de mesure
- On déverse les capteurs différemment :
 - Trajectoire différente
 - Densité volumétrique différente
- On refait une nouvelle série de mesures, etc.
- Possibilité d'ajuster automatiquement, en local, la fréquence de mesure des μ -capteurs :
 - De façon auto-organisée ou auto-adaptative ?

Scénario 2 : cyclone

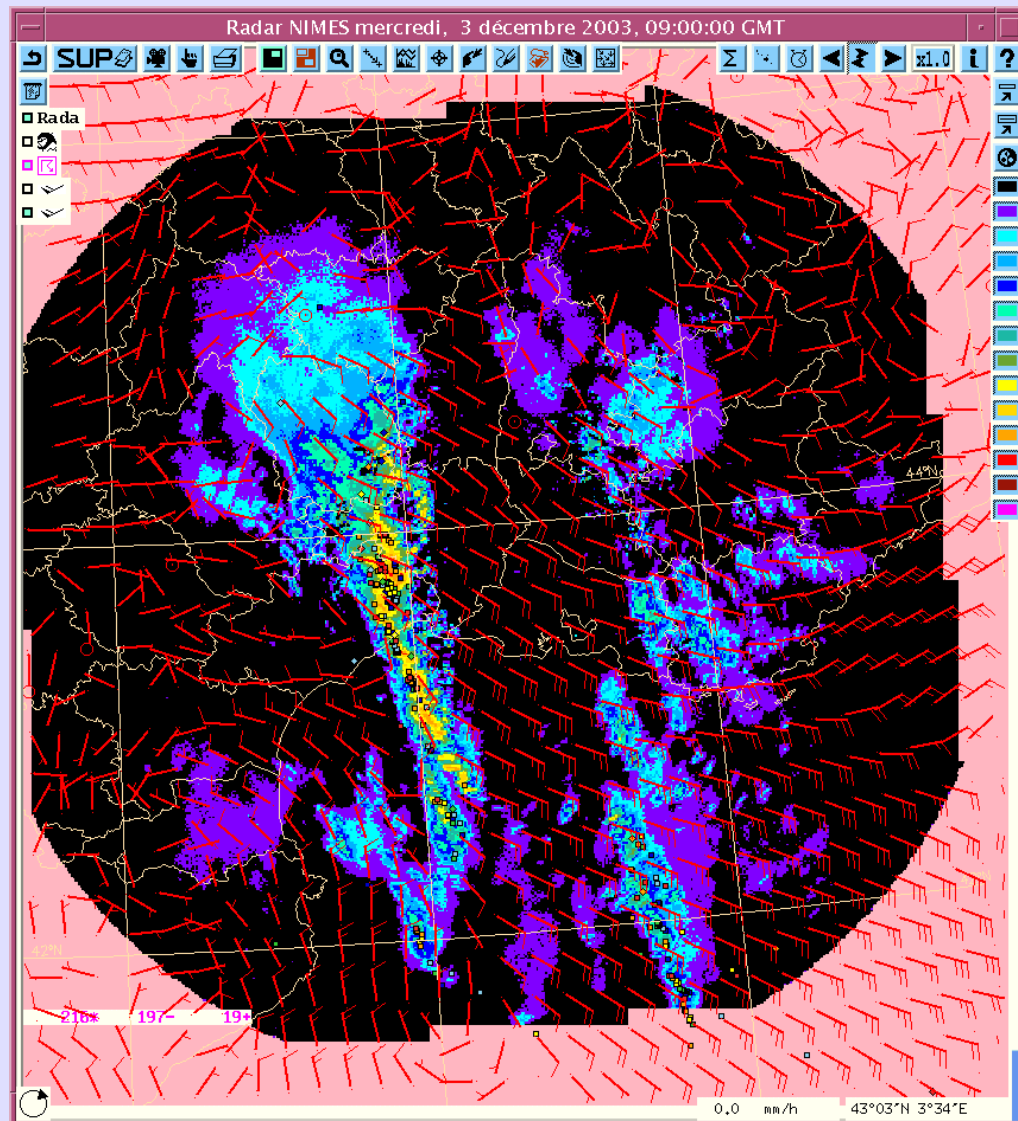


Source : Météo France

Scénario 2 : comment ?

- Une pluie de μ -capteurs biodégradables est déversée par avion à l'avance :
 - On connaît en gros la trajectoire du cyclone grâce aux observations satellitaires
 - Difficulté : même μ -capteur sur terre et sur mer ?
- Quand le cyclone arrive, les μ -capteurs sont happés dans les airs et aspirés vers le haut (effet de cheminée)
- Les mesures sont véhiculées de proche en proche jusqu'au réseau de collecte météo existant :
 - Capteurs de mesure (mono ou multi-fonctionnalité)
 - Capteurs de transmission (réseau *overlay*)
 - Capteurs hybrides

Scénario 3 : phénomène cévenol



Source : Météo France

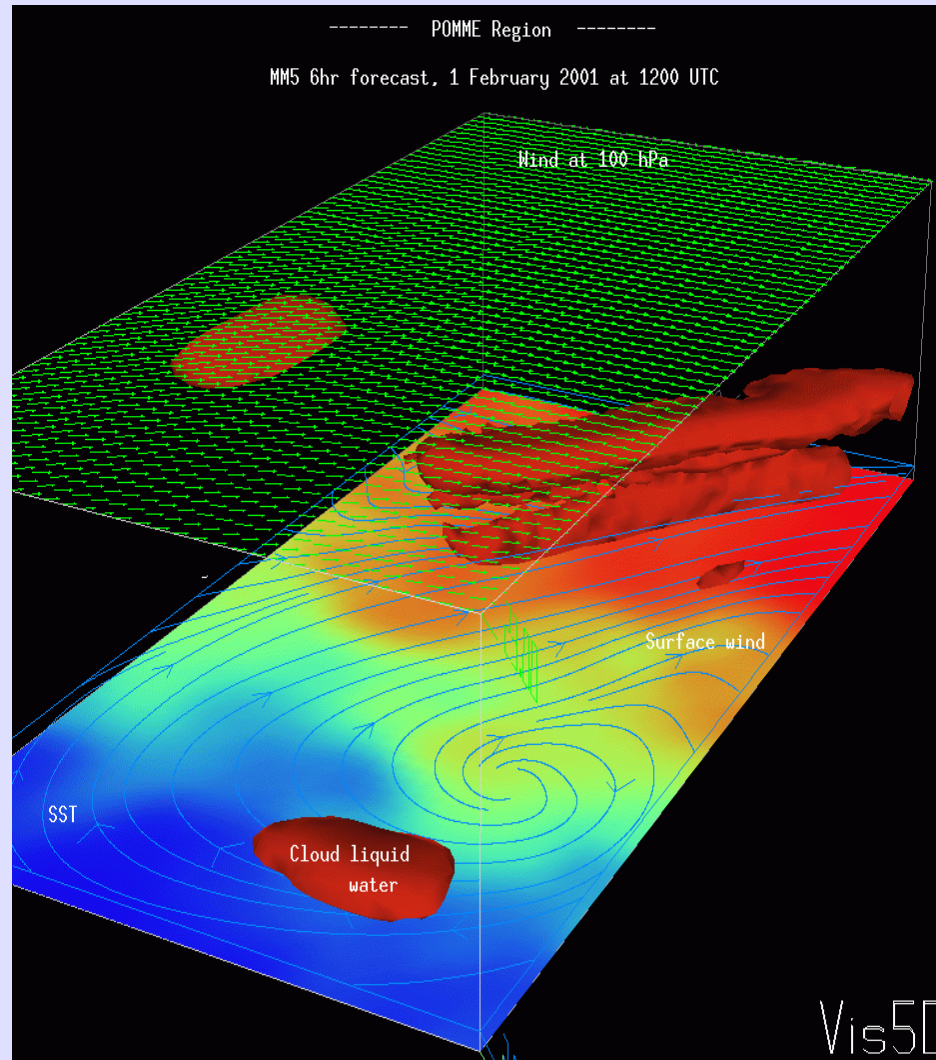
Scénario 3 : comment ? (1/2)

- Variante 1 = non auto-organisée :
 - Capteurs-taupes installés au sol, longtemps à l'avance, dans les régions à risque :
 - Pas nécessairement μ -capteurs
 - La sécurité civile, sur la base d'images radar, décide quand il faut réveiller (télé-activer) les capteurs-taupes d'une région donnée
- Variante 2 = auto-organisée :
 - Les capteurs mesurent régulièrement leur environnement
 - Ils décident d'eux-mêmes quand alerter la sécurité civile et lui envoyer leurs mesures

Scénario 3 : comment ? (2/2)

- On a besoin de recouper des données de météorologie et d'hydrologie :
 - Précipitations
 - Engorgement en eau des sols
 - Eau de ruissellement

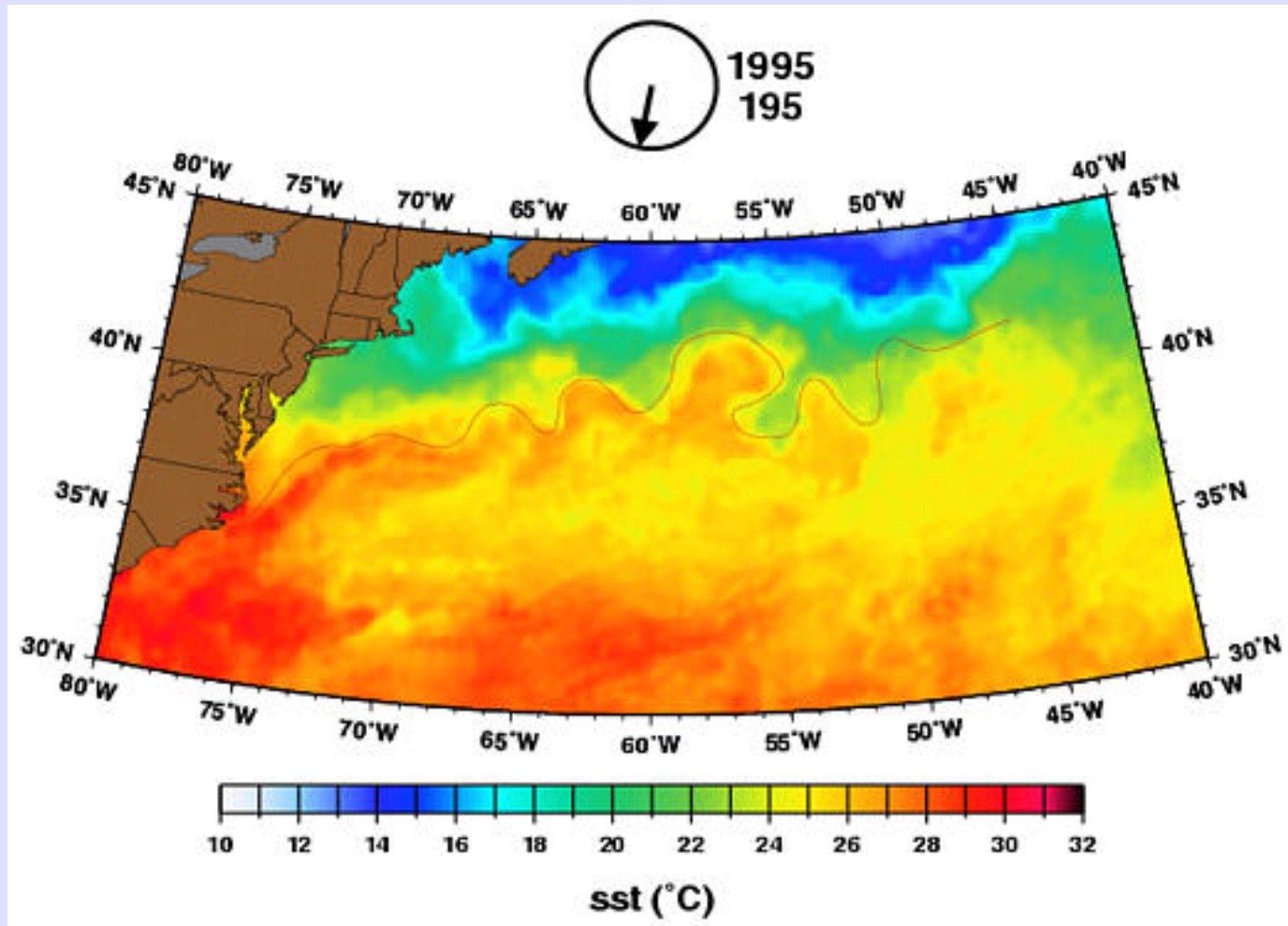
Scénario 4 : couplage air-océan



Source : CETP-CNRS-IPSL

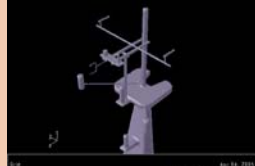
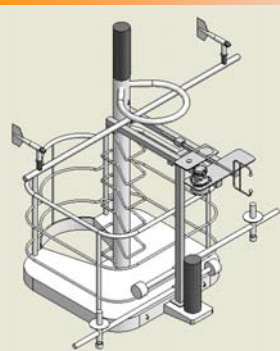
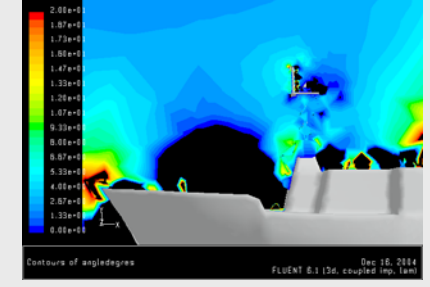
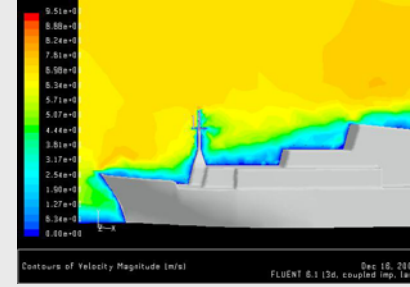
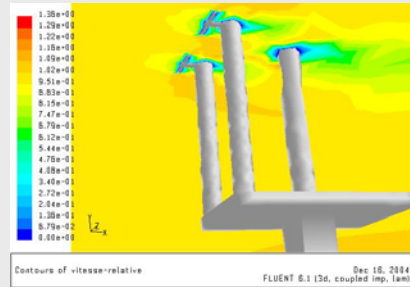
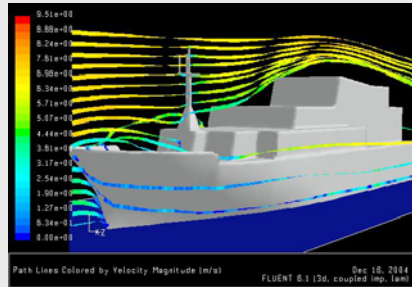
Gulf Stream : vents locaux et gradients de SST

Sea
Surface
Temperature

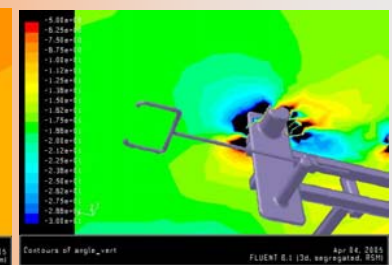
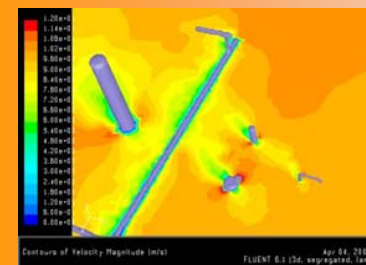
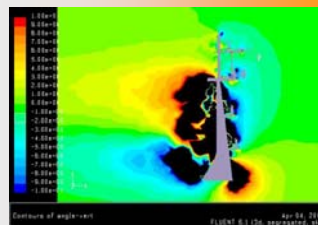
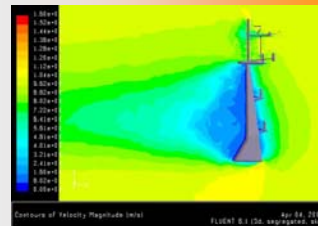


Source : http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/gulf-stream_2.html

Mesures dans la couche limite : méthodes conventionnelles



Results



Source : CETP-CNRS-IPSL

Scénario 4 : comment ? (1/2)

- Une pluie de μ -capteurs biodégradables est déversée par :
 - Bateau
 - Avion volant à basse altitude
- Nécessite des capteurs qui résistent à l'eau
- Avant de se biodégrader, les capteurs peuvent :
 - Flotter
 - Rester entre deux eaux
- Ciblage des mesures identique aux moyens conventionnels, mais :
 - Instruments de mesure beaucoup moins intrusifs
 - Mesures pendant beaucoup plus longtemps

Scénario 4 : comment ? (2/2)

- Communication inter-capteurs :
 - Ondes électromagnétiques (en surface)
 - Ondes sonores (sous l'eau ou en surface)
- Collecte des données :
 - Bateau
 - Bouée fixe
 - Bouée dérivante

BWSN-meteo : défis (1/3)

- Algorithme de routage auto-organisé :
 - Comment router de proche en proche dans une soupe de μ -capteurs en mouvement quasi brownien ?
 - Vitesse du vent dans un cyclone : entre 300 km/h et 500 km/h
 - Convergence de l'algorithme quand beaucoup de μ -capteurs peuvent être perdus par unité de temps ?
 - Chocs entre μ -capteurs
- Amélioration de la qualité des mesures par réduction de la barre d'erreur :
 - Moyennes calculées localement, au fil de l'eau, de façon auto-organisée

BWSN-meteo : défis (2/3)

- Configuration des μ -capteurs :
 - Pourquoi ?
 - Changer la fréquence des mesures
 - Réinitialiser (*reset*) un μ -capteur
 - Si un μ -capteur peut effectuer différents types de mesure, on veut pouvoir lui spécifier laquelle mettre en œuvre
 - Comment ?
 - Télé-configuration sécurisée
 - Configuration auto-organisée :
 - Ex. : si la barre d'erreur est déjà minime
- Activation des μ -capteurs :
 - Auto-activation en cas de mouvement :
 - Ex. : cyclone
 - Activation de groupe auto-organisée :
 - Ex. : capteurs-taupes pour détecter les crues éclair
 - Télé-activation sécurisée

BWSN-meteo : défis (3/3)

- Désactivation des μ -capteurs :
 - Pourquoi ?
 - Si mesures erronées, mécanisme d'apoptose pour économiser les μ -batteries des μ -capteurs du réseau de transmission
 - Comment ?
 - Corrélation des données auto-organisée et désactivation décidée par les autres membres du groupe
 - Télé-désactivation sécurisée
- Communication intermittente :
 - Scénario 4 : communication inter-capteurs gênée par les vagues
- Transfert sécurisé des mesures des μ -capteurs

BWSN-meteo : plusieurs lignes de recherche

- Aspects applicatifs :
 - Météorologie
 - Couplage avec océanographie, hydrologie
- Aspects capteurs :
 - Biomatériaux
 - μ -systèmes embarqués :
 - Système d'exploitation
 - Implémentation efficace des algorithmes
 - μ -batteries...
- Aspects réseaux :
 - Algorithmes : gestion, contrôle, sécurité

BWSN-meteo : quel type de projet ? (1/2)

- Projet de recherche pluridisciplinaire
- Multiples financements pour faciliter l'évaluation scientifique
- Plusieurs phases :
 - Simulations
 - Prototypes en labo
 - Déploiement en grandeur réelle
 - Transfert de technologie → industrie
- Les exigences technologiques pour les μ -capteurs biodégradables sont très fortes :
 - Il faudra peut-être longtemps pour mettre cette technologie au point

BWSN-meteo : quel type de projet ? (2/2)

- Il est donc nécessaire de découpler les activités matérielles et algorithmiques :
 - Prévoir des points de synchronisation entre des activités de recherche distinctes
 - Mettre les algorithmes au point avant le matériel, sur la base soit de simulations, soit de μ -capteurs électroniques déployés de façon contrôlée
 - Puisque les contraintes matérielles ne sont pas a priori connues, prévoir différents algorithmes optimisés pour :
 - la puissance de traitement
 - l'occupation mémoire
 - la bande passante réseau

Ne met-on pas la barre un peu haut ?

- Peut-on avoir des capteurs à la fois :
 - Fortement miniaturisés ($\Phi < 10$ mm)
 - Peu coûteux à fabriquer en quantité
 - Biodégradables
 - Communiquant à distance sur 1 à 25 mètres :
 - Ex. : par ondes électromagnétiques ou sonores
 - Ingérables par la faune
- *Feedback* de la communauté biomatériaux ?
- La meilleure façon de savoir, c'est d'essayer de façon contrôlée

Corrélation d'évènements auto-adaptative

Comment gère-t-on les STGT aujourd'hui ?

- Choix d'une architecture de gestion
- Modélisation de la topologie et des composants
- Monitoring
- Analyse de données en pseudo temps réel
- Fouille de données (*data mining*) en temps différé

Choix d'une architecture de gestion

- Standards + *customization* :
 - Gestion de réseaux IP : SNMP
 - Gestion de réseaux de téléphonie fixe ou mobile : OSI/TMN + SNMP
 - Gestion de serveurs, de SAN... : WBEM/CIM
 - etc.
- Une architecture = quatre modèles :
 - Modèle organisationnel
 - Modèle informationnel
 - Modèle communicationnel
 - Modèle fonctionnel

Modèle informationnel

- SNMP MIB : structure arborescente faiblement typée
- Schémas CIM : modèles OO en UML + MOF
- Processus itératif de modélisation multicouche :
 - [DBTel 2001]
 - [NOMS 2002]
 - [IEEE Commag 2003]
- MDA : PIM, PSM

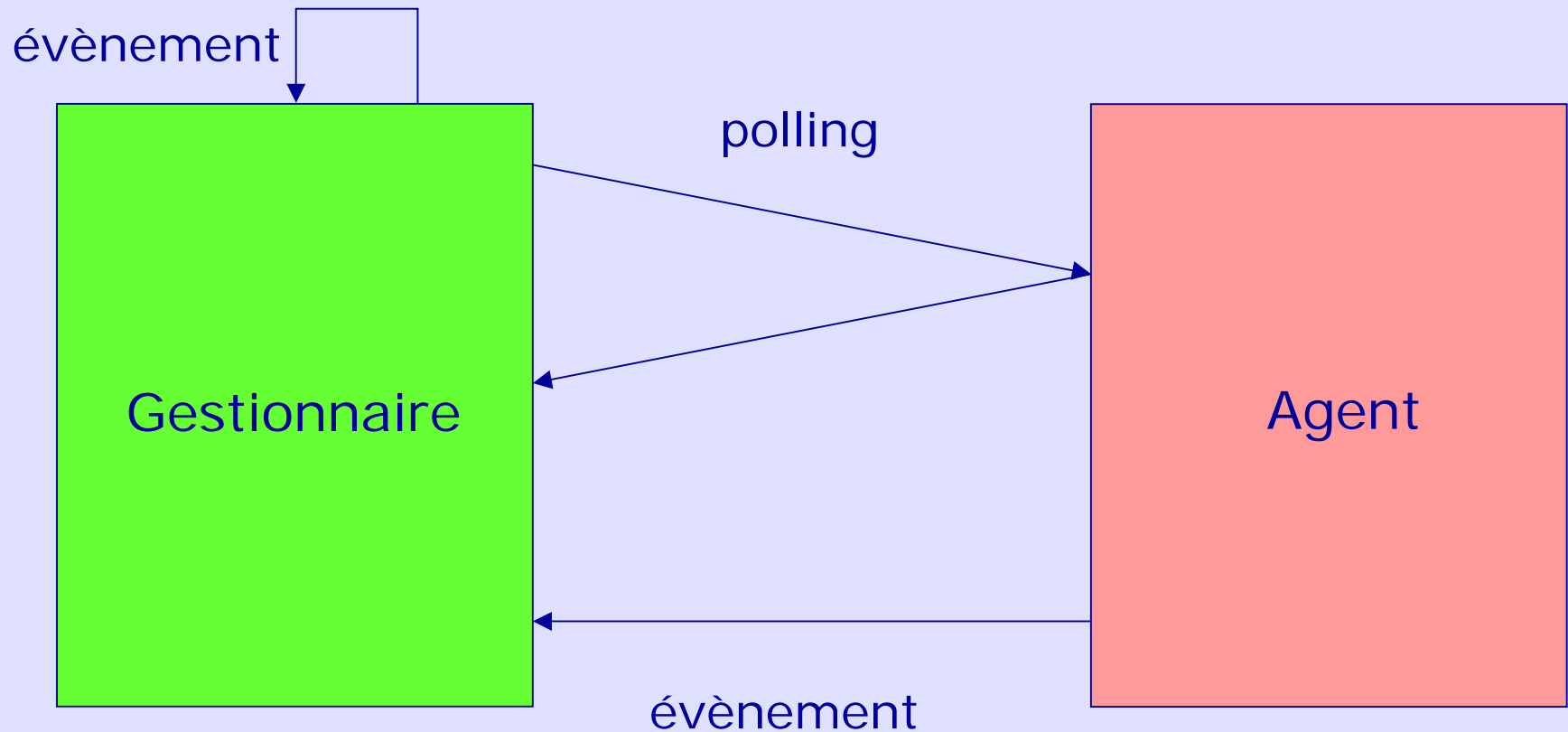
Modélisation de la topologie et des composants

- Découverte automatisée des nœuds du réseau :
 - Éléments de réseau, serveurs, clients...
 - En récoltant et en analysant les tables de routage, les tables ARP, etc.
 - En faisant du *multicast* ou du *broadcast*
 - Par recherche exhaustive : on teste toutes les adresses IP d'un réseau de classe A/B/C ou d'un *subnet* donné
- Mise en forme manuelle du GUI représentant la topologie du réseau :
 - Découpage en couches, en vues
 - Pas seulement graphique mais aussi logique
- Les équipementiers fournissent des modèles de composants
- Les plateformes de gestion intègrent ces modèles

Monitoring

- Collecte de données de gestion :
 - Polling
 - Publish/subscribe + push
 - [IM 1999]
 - [DSOM 1999]
 - [GRES 1999]
- Génération d'évènements :
 - Évènement = alarme logicielle
 - Ex. : franchissement de seuil

Paradigme agent-gestionnaire



Analyse de données en pseudo temps réel

- FCAPS :
 - Détection + correction des pannes
 - Détection + correction des problèmes de performance, de configuration ou de sécurité
 - Comptabilité
- Comment ?
 - Corrélateur d'évènements
- Pour le traitement en pseudo temps réel, les données sont en général stockées en mémoire
- Puis on agrège ces données et on les stocke pour utilisation en temps différé :
 - BD relationnelles, entrepôts XML...

Fouille de données en temps différé

- Analyse de tendances
- ERP (*Enterprise Resource Planning*) :
 - Principal outil de gestion préventive
 - Objectifs :
 - Anticiper la saturation prochaine d'une ressource
 - Déclencher l'*upgrade* avant que les utilisateurs ou les clients ne se plaignent
- Détection a posteriori de certains problèmes de sécurité :
 - Ex. : analyse d'attaques DDoS
- ...

Corrélateur d'évènements

- Partie « intelligente » d'une application de gestion
- Objectifs :
 - Symptômes → problèmes → causes
 - Pour chaque problème :
 - Si possible, le résoudre automatiquement :
 - Ex. : déclencher l'exécution d'un script
 - Sinon le rapporter :
 - Ex. : biper l'administrateur
 - Ex. : écrire un log dans une BD
 - Résoudre en premier les problèmes les plus graves

Corrélation d'évènements intégrée

- Le même corrélateur traite des évènements de type :
 - Réseau
 - Système (machines, applications, BD...)
 - Service
- Ce corrélateur est normalement lié au :
 - Système de suivi des problèmes (*trouble-ticket system*)
 - *Helpdesk* (gens ou application Web qui recueille les plaintes des utilisateurs)

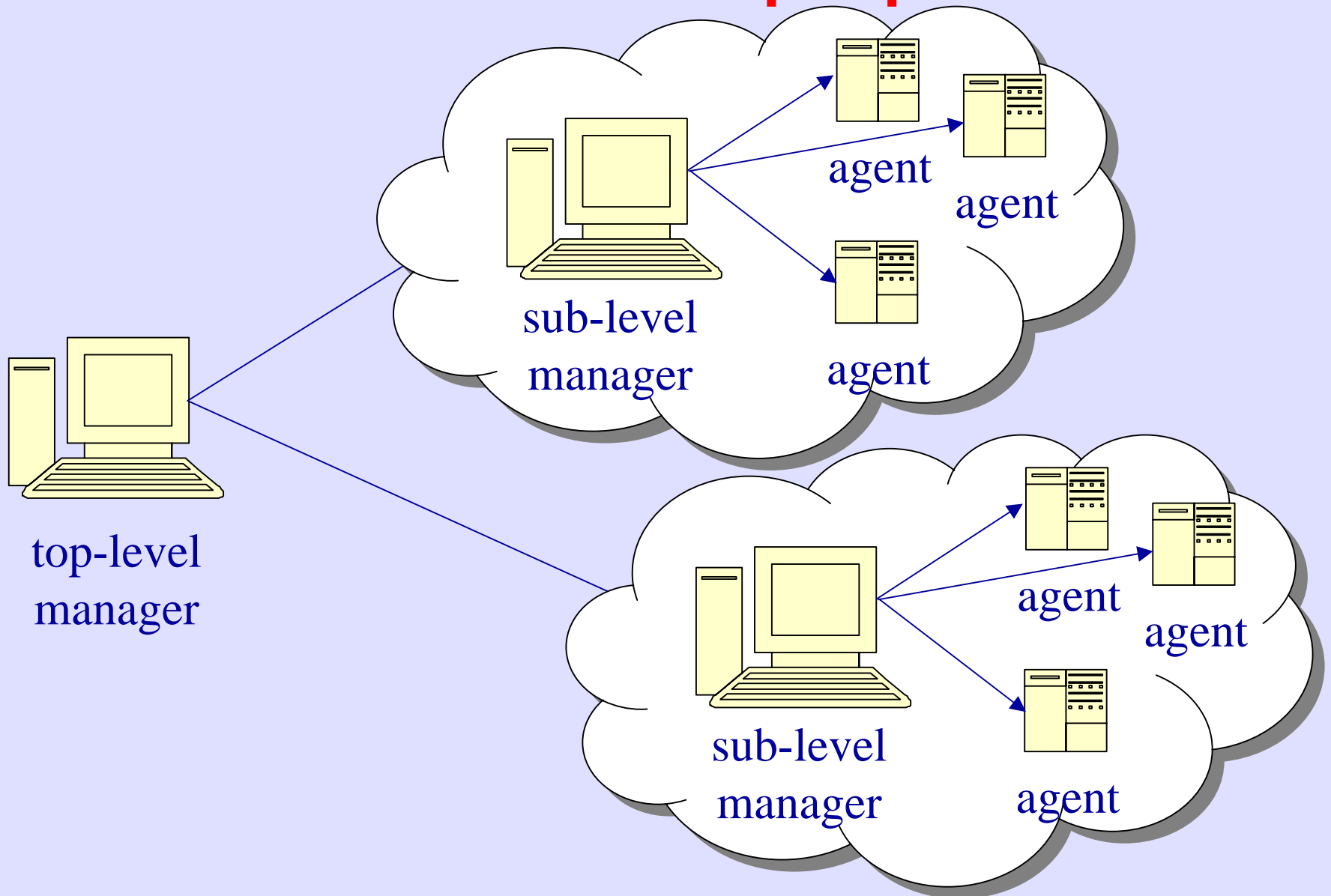
Techniques utilisées

- Raisonnement à base de :
 - Règles (RBR) ← le plus courant
 - Moteur de règles
 - BD active
 - En général, règles ECA (*Event, Condition, Action*)
 - Cas (CBR)
 - Modèles (MBR)
- Codage binaire :
 - Ex. : *codebooks*
- Graphes de dépendances probabilistes :
 - Réseaux bayésiens
 - Réseaux de croyances (*belief networks*)
- Réseaux de neurones
- ...

Où placer ces corrélateurs d'évènements ?

- Corrélation d'évènements centralisée :
 - un corrélateur pour toute l'organisation
- Corrélation d'évènements distribuée :
 - un corrélateur par domaine
 - Découpage géographique, par centre de profit...

Distribution hiérarchique par domaine



Représentation interne du domaine dans le corrélateur

- Graphe topologique :
 - Sommet = élément de réseau ou système
- Graphes stockant la carte du réseau :
 - Vues hiérarchiques (hiérarchie de contenance)
 - Granularité = propre à chaque organisation :
 - Macro-composants virtuels :
 - Ex. : réseau, serveur virtuel de type Akamai
 - Composants physiques :
 - Ex. : nœud, interface réseau
 - La couleur d'une icône représente l'état du composant
- Machines à états finis :
 - En général 4 états : *Up*, *Down*, *Transient*, *Unknown*
 - Une FSM par composant (virtuel ou physique)
- Un ou plusieurs graphes de dépendances

Graphe de dépendances

- Ce graphe capture les dépendances entre :
 - Sous-systèmes (= ensembles de composants)
 - Composants
- Les composants peuvent être matériels ou logiciels, et de granularité variable
- Certaines dépendances sont statiques (valables pendant très longtemps) :
 - Ex. : un programme en langage C compilé pour un processeur donné ne peut tourner que sur ce processeur
- D'autres sont dynamiques (courte durée de vie) :
 - Ex. : dans un réseau où l'on utilise un protocole de routage dynamique et de l'équilibrage de charge entre plusieurs chemins, la route entre deux machines varie ; les dépendances entre les plans service et réseau varient aussi

Corrélation d'évènements : 4 phases

- Masquage topologique
- Analyse des causes principales
- Sélection des actions correctives
- Exécution des actions correctives

Définition du problème

- La corrélation d'évènements centralisée ou faiblement distribuée pose deux problèmes de passage à l'échelle pour les STGT :
 - Débit d'évènements trop élevé pour la puissance de traitement du corrélateur :
 - Temps moyen de traitement d'un événement $>$ temps moyen entre l'arrivée de deux événements successifs
 - Le corrélateur n'arrive plus à garder à jour sa représentation interne du domaine :
 - Trop de composants, trop de changements d'états, trop de changements de dépendances
- Il faut faire autrement...

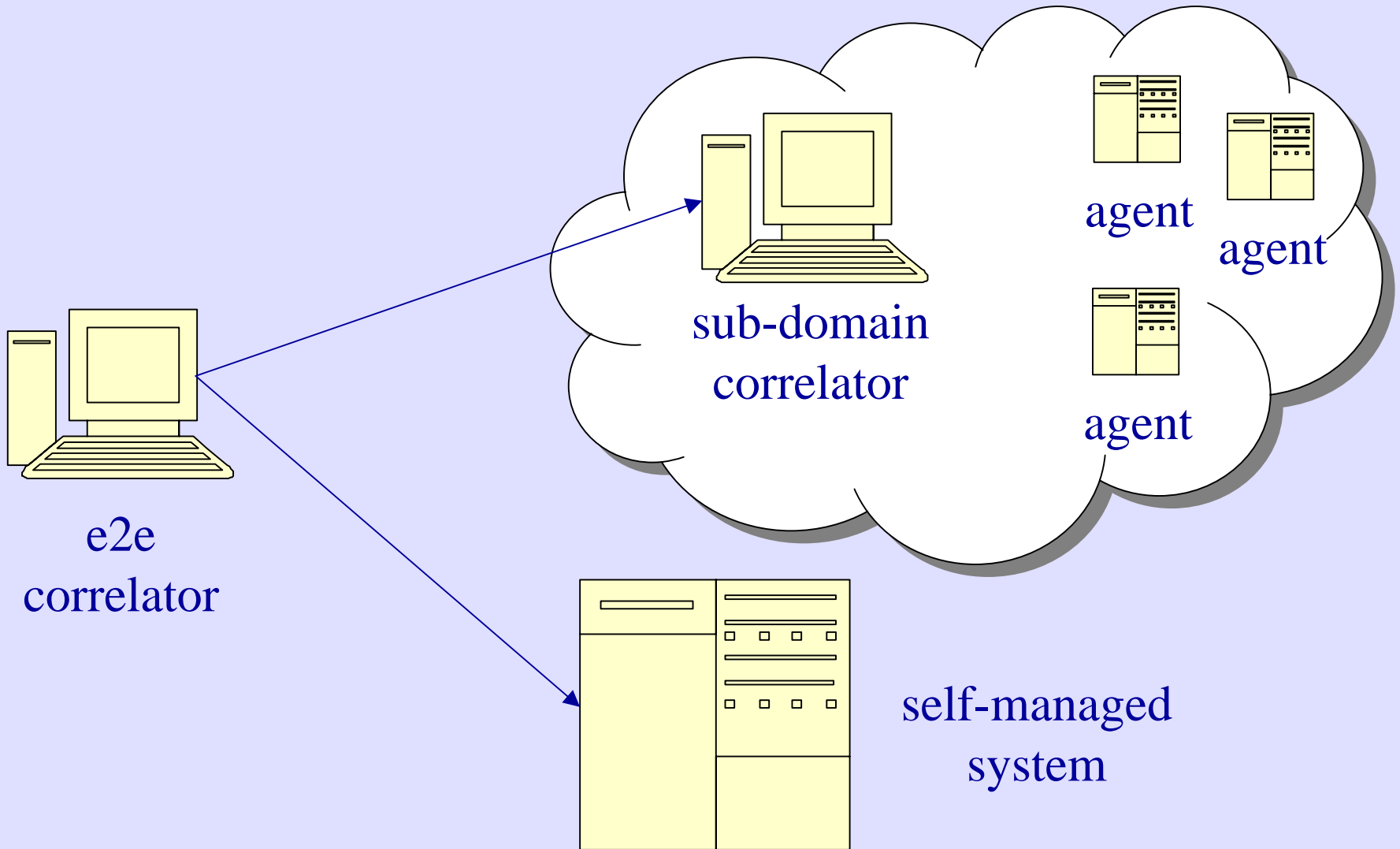
Solution proposée (1/2)

- Corrélation d'évènements auto-adaptative
- Répartie entre trois types d'acteurs :
 - Corrélateurs de bout en bout (e2e)
 - Corrélateurs de sous-domaine
 - Systèmes autogérés
- On part en général d'un problème de type service, puis on découvre dynamiquement la cause du problème :
 - Plan service → plan réseau, plan système

Solution proposée (2/2)

- Raffinement dynamique du graphe topologique et du graphe de dépendances du corrélateur $e2e$
- La granularité du raffinement est laissée à la libre appréciation des corrélateurs de sous-domaine ou des systèmes autogérés :
 - Ce n'est pas le corrélateur $e2e$ qui décide

Différents types d'acteurs



Corrélateur e2e

- Il a une connaissance sommaire de son domaine
- Il a une vision globale, de bout en bout
- Représentation interne du domaine :
 - Graphe topologique réduit
 - Graphe de dépendances réduit
 - Le corrélateur e2e sait qui contacter pour en savoir plus
- Il déclenche le monitoring multi-échelle :
 - Raffinement des graphes
 - Zooms successifs vers la source du problème
- Dans un domaine de gestion donné, le nombre de corrélateurs e2e dépend de la charge de travail :
 - Ce nombre peut être ajusté dynamiquement

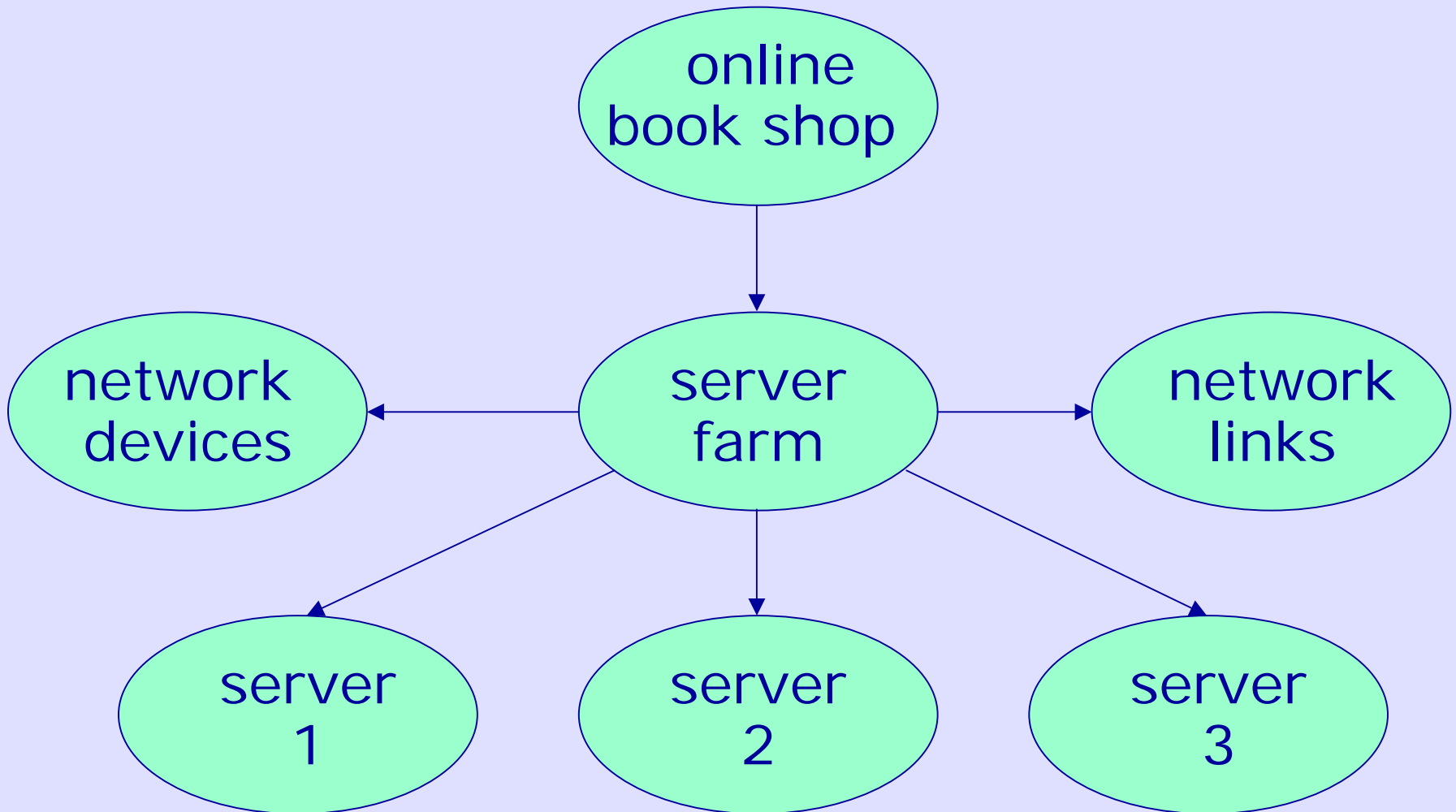
Corrélateur de sous-domaine (1/2)

- Il connaît son sous-domaine en détail
- Il ignore tout des autres sous-domaines
- Il n'a pas de vision de bout en bout
- Dans un domaine de gestion donné, on a généralement plusieurs corrélateurs de sous-domaine
- Deux modes :
 - Autonome :
 - Problèmes locaux
 - Délégation :
 - Pour le compte d'un corrélateur e2e (hiérarchique)
 - Pour le compte d'un corrélateur de sous-domaine (P2P)

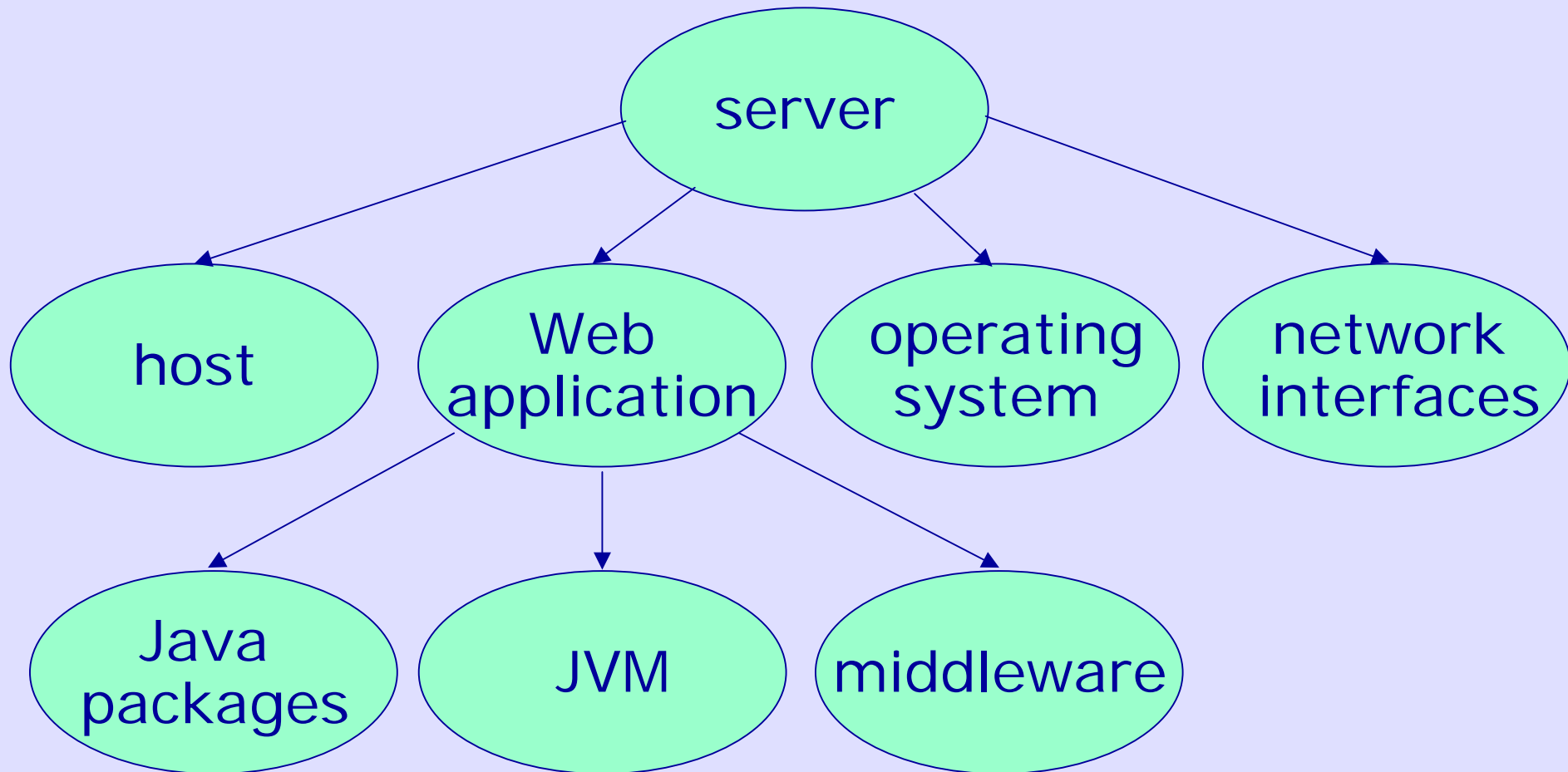
Corrélateur de sous-domaine (2/2)

- Raffinement dynamique du graphe de dépendances :
 - Degré de raffinement = décision locale
 - Le corrélateur e2e dit seulement : "Je veux en savoir plus sur telle partie de mon graphe de dépendances"

Ex. de raffinement dynamique du graphe de dépendances (1/2)



Ex. de raffinement dynamique du graphe de dépendances (2/2)



Avantages du raffinement dynamique du graphe de dépendances (1/2)

- Pas besoin de garder constamment à jour un modèle du monde complet :
 - Machine à états finis pour chaque composant
 - Graphe topologique
 - Graphes de dépendances
- Les corrélateurs de sous-domaine ou les systèmes autogérés peuvent décider à tout moment de raffiner leur modèle du monde :
 - Polling de leurs composants
 - Recherche des sous-composants de leurs composants

Avantages du raffinement dynamique du graphe de dépendances (2/2)

- Ils peuvent rechercher des dépendances dynamiques
- Ils peuvent temporairement placer un composant en mode débogage de façon à obtenir des informations très détaillées :
 - Nécessite que les composants matériels et logiciels soient déjà instrumentés pour pouvoir fournir ces informations à la demande
 - C'est rarement le cas aujourd'hui...

Inconvénients du raffinement dynamique du graphe de dépendances

- Certaines dépendances sont très difficiles à trouver :
 - On a parfois meilleur compte de les configurer, par ex. sur la base de résultats obtenus lors d'une fouille de données
- A quelle profondeur du graphe doit-on arrêter le raffinement ?
 - Et notamment quand doit-on jeter l'éponge ?
- Que doit-on toujours monitorer ?
- Que doit-on monitorer seulement à la demande?

Monitoring fractal

- Conjecture : le monitoring multi-échelle suit une loi fractale :
 - La quantité de données à monitorer croît de façon auto-similaire quand on passe d'une échelle macro à une échelle micro
 - Constaté dans plusieurs cas réels
- Ceci permet de :
 - Prédire quelle quantité de monitoring est nécessaire à une échelle donnée
 - Découvrir dynamiquement à quelle échelle un problème donné peut être résolu

Conclusion

Résumé

- Nouveau paradigme :
 - Gestion après coup → gestion par design
 - STGT conçus pour s'autogérer :
 - Plans réseau, système et service
- BWSN-meteo :
 - Défis intéressants, interdisciplinaire
 - Principale inconnue : biomatériaux
- Corrélation d'évènements auto-adaptative :
 - Conjecture : c'est comme ça que l'on gèrera de nombreux STGT à l'avenir

Q/R