

Systemes d'informations auto-organisés ou auto-adaptatifs

Jean-Philippe Martin-Flatin

jp.martin-flatin@ieee.org

IMAG, Grenoble, France
25 avril 2006

Plan

- Qu'est-ce qu'un SI ?
- Introduction à la gestion intégrée
- Modélisation d'informations de gestion
- Systèmes de très grande taille
 - Problème de la gestion
 - Deux solutions : auto-adaptation ou auto-organisation
- BWSN-meteo :
 - Réseaux de capteurs sans fil pour la météo
 - Système d'informations environnementales

Qu'est-ce qu'un système d'informations ?

Réponses d'informaticiens (1/2)

- Un nouveau nom pour une BD relationnelle
- L'ensemble des BD relationnelles d'une organisation
- L'ensemble des entrepôts de données d'une organisation :
 - BD relationnelles
 - Bases de connaissances
 - BD orientées objet
 - Entrepôts XML
 - Registres LDAP
 - Registres WSDL
 - ...

Réponses d'informaticiens (2/2)

- L'ensemble des données et des infrastructures matérielles/logicielles permettant de les utiliser :
 - Entrepôts de données
 - Infrastructure logicielle :
 - Systèmes de gestion de BD
 - Intergiciels (*middleware*)
 - Applications
 - ...
 - Infrastructure matérielle :
 - Systèmes :
 - Serveurs, disques RAID, SAN...
 - Réseaux

Réponses d'*IT Evangelists*

- La richesse intellectuelle qui appartient à une entreprise :
 - Par opposition à ses employés, qui ne lui appartiennent pas
- Le fonds de commerce intellectuel d'une entreprise
- Entreprise = individus + SI + procédures
 - Variante: entreprise = individus + SI + culture
- *People come and go, information systems remain*

Réponse de SIGMA ?

- ???

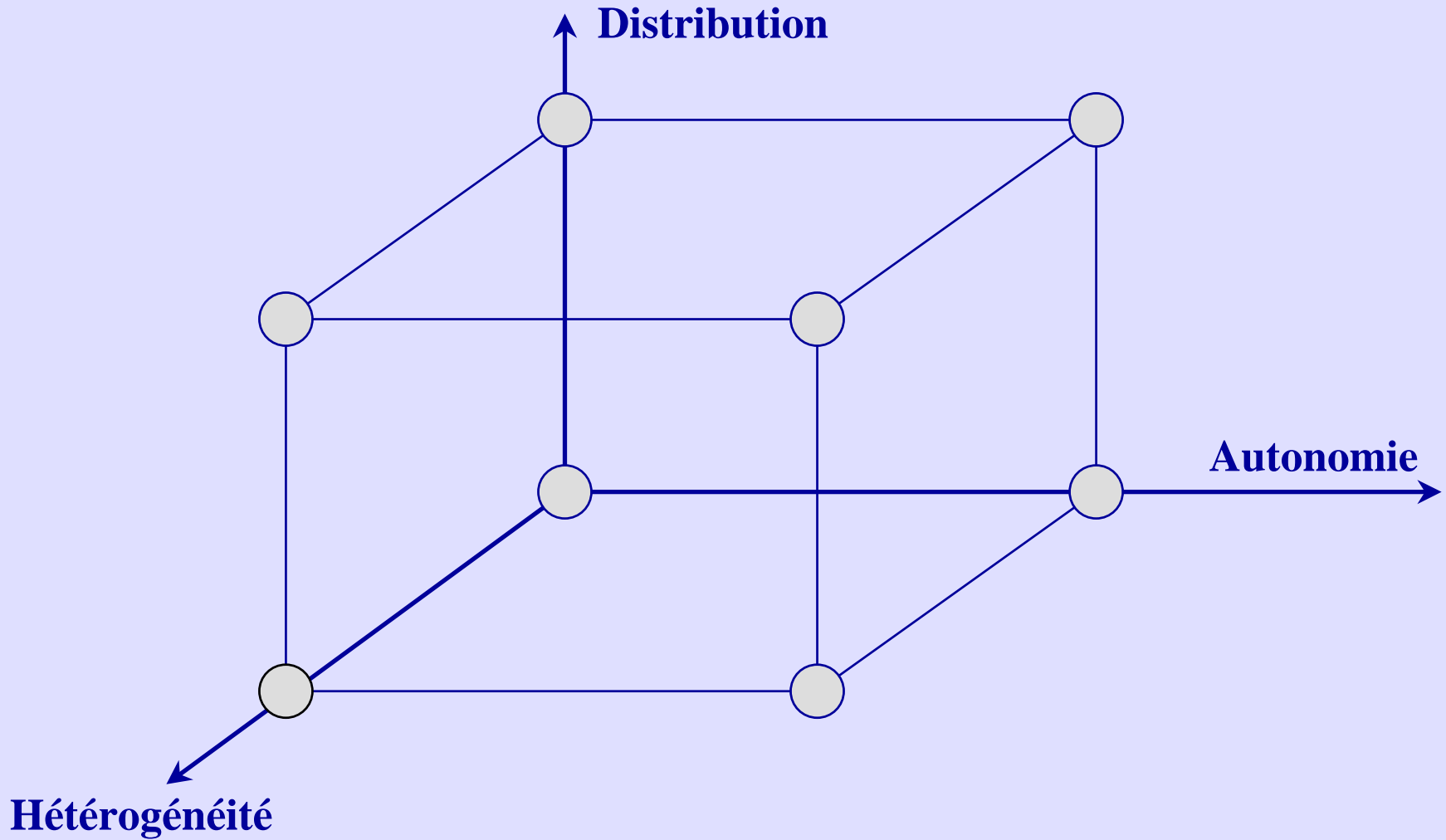
Pour ce séminaire...

- SI = {entrepôts de données, infrastructure}
- Un SI n'est pas conceptuel, c'est une instance...
- ...de même qu'un schéma est l'instance d'un modèle OO pour un type donné d'entrepôt de données

Quelques caractéristiques des SI

- Dans la vision SOC, on compose des services fournis par diverses entreprises :
 - service = interface applicative + contrat
- Chacune de ces entreprises maîtrise son propre SI et le gère indépendamment des autres
- Le problème majeur est alors l'intégration des SI :
 - D'où le succès des services Web (W3C, OASIS...)

Intégration des SI



Introduction à la gestion intégrée

Gestion intégrée

1. Choix d'une architecture de gestion
2. Modélisation des informations de gestion
3. Modélisation de la topologie et des composants
4. Monitoring
5. Analyse de données en pseudo temps réel
6. Fouille de données (*data mining*) en temps différé

1. 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

2. Modélisation des informations de gestion

- 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

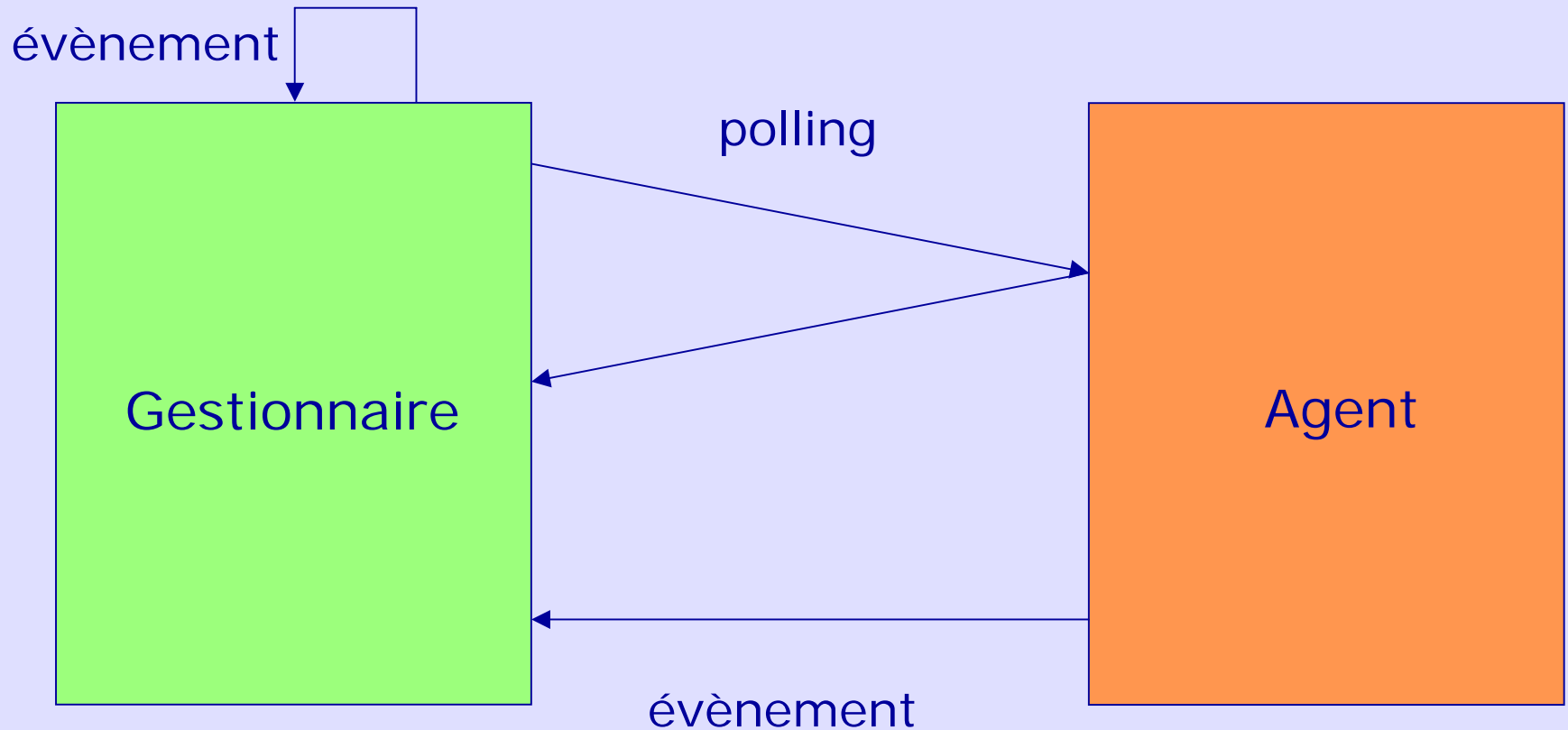
3. Modélisation de la topologie et des composants

- 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 *subnet* donné
- Mise en forme manuelle de la topologie du réseau :
 - Découpage en couches, en vues
- Les équipementiers fournissent des modèles de composants
- Les plateformes de gestion intègrent ces modèles

4. 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



5. 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...

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
- ...

6. 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 problèmes de sécurité
- ...

Modélisation d'informations de gestion

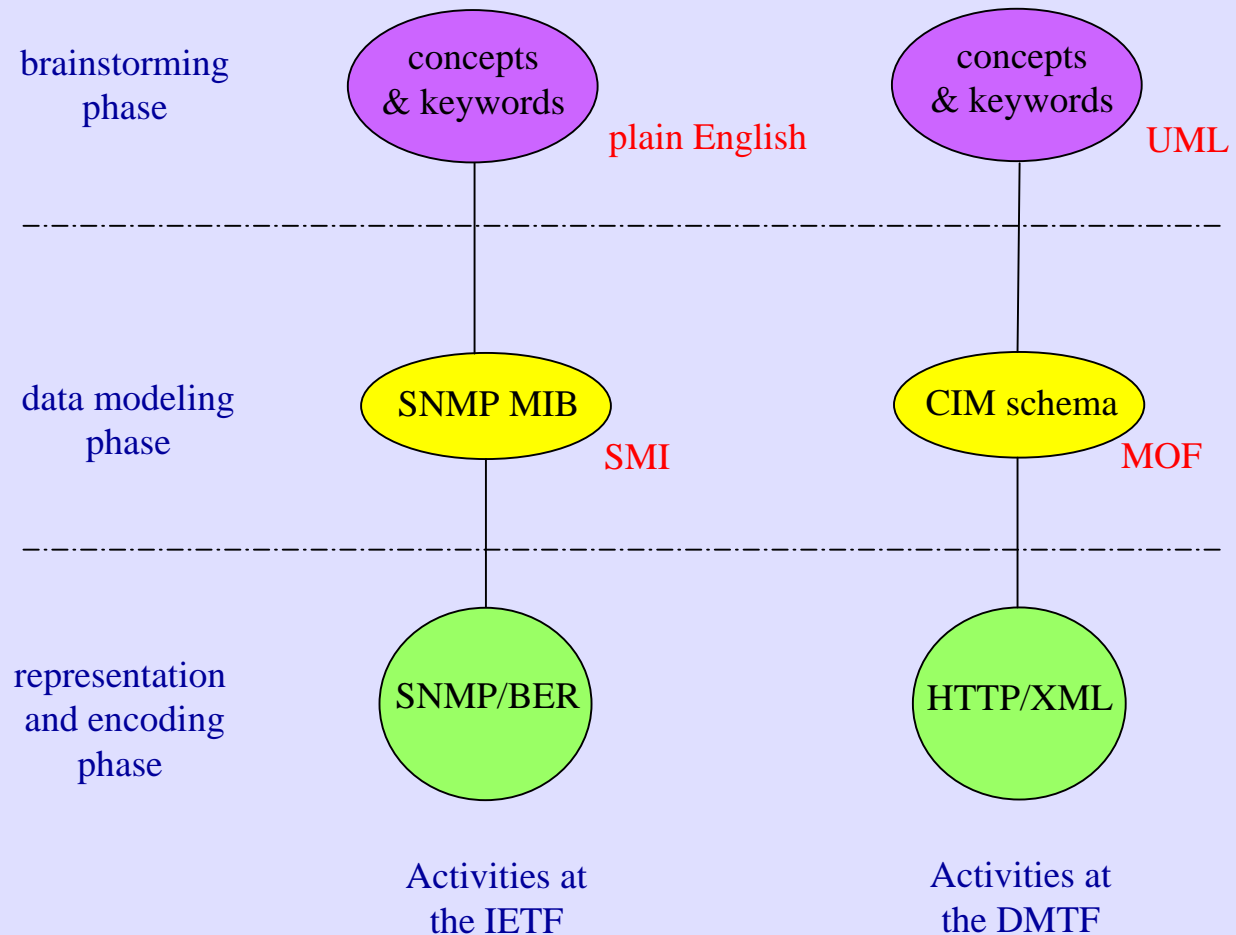
Mgmt Info Modeling in the IP World

- Technology-independent standardization activities
- Per-technology standardization activities

Technology-Independent Standardization Activities

- Metamodel:
 - DMTF: variant of UML metamodel
 - class, object, association, etc.
 - IETF: implicit metamodel
 - everything in a MIB is an OID
- Language:
 - SNMP MIBs: SMI
 - SNMP PIBs (policies): e.g., SPPI
 - CIM Schemas: MOF
- Representation and encoding of mgmt data:
 - IETF: BER
 - DMTF: XML, CIM Operations over HTTP

Per-Technology Standardization Activities



Quatre problèmes

1. Certains modèles ne sont pas assez bons
2. L'antipattern « on réinvente la roue »
3. Trouver le bon niveau d'abstraction
4. L'apprentissage est trop difficile

1. Some Models Are Not Good Enough (1/2)

■ Problem:

- Some models contain errors:
 - e.g., RFC 1156 immediately replaced with RFC 1213
- Some models miss important features:
 - e.g., no per-interface ACLs in RFC 1213
 - must use `telnet`

1. Some Models Are Not Good Enough (2/2)

■ Causes:

- WGs are mostly driven by vendors:
 - poor trade-off between quality and timeliness
 - fast design is not beautiful...
- Management standardization efforts often fail to attract the best technology experts and the best information modelers of the world
- Fuzzy requirements:
 - e.g., what dials and knobs do we need to manage MPLS-based VPNs?

2. The *Reinvent the Wheel* Antipattern

- Many standards bodies in the management arena: IETF, DMTF, OMG, TMF, ISO, ITU-T, Open Group, etc.
- Little cross-pollination between them:
 - *not invented here* syndrome
 - no time to read the literature -> start from scratch
- Consequences:
 - Terminology keeps changing:
 - e.g., DMTF: event, notification, indication
 - customers are confused
 - Standards bodies waste precious time

3. Finding the Right Level of Abstraction Between Two Extremes

- Overly abstract models:
 - OMG's four-tier metamodel architecture
 - devised by theoreticians
 - over-engineering antipattern
- Overly detailed models:
 - e.g., SNMP MIBs
 - bottom line blurred by details
 - devised by management application developers
 - under-engineering antipattern

4. The Learning Curve Is Too Steep

- Newcomers are swamped by the details:
 - must read SMI fluently to understand SNMP MIBs
 - must read MOF fluently to understand CIM schemas
- Newcomers need a better way to understand first the bottom line, and then the details

Analyse

- Réponses offertes par le génie logiciel
- Contraintes pratiques

Software Engineering Answers (1/2)

- With one-tier MIMs, we try to do too many things at a time, and require too many skills from the same people:
 - Split between conceptual, specification, and implementation models (analysis, design, and implementation phases).
- Going from one mgmt architecture to another does not make the mgmt issues any different for a given technology:
 - Isolate the architecture-independent core from the rest:
 - facilitate reuse
 - render the design cleaner
 - decrease the risks of terminological changes

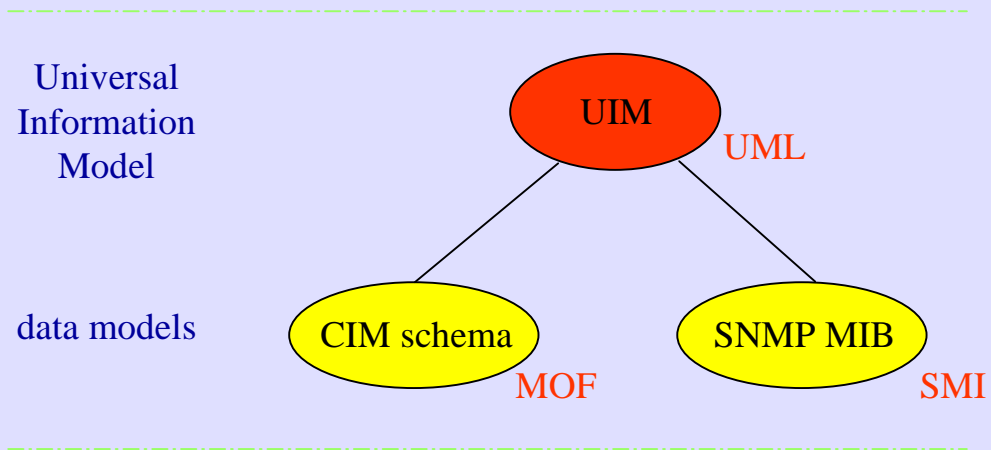
Software Engineering Answers (2/2)

- Software quality is best assured by attracting the best people to fulfill each task throughout the software development process:
 - We need to attract the best technology experts and information modelers in standards bodies
- The waterfall process works only in simple cases:
 - As management issues become more complex, we need to migrate to an iterative and incremental modeling process.

Constraints from Real Life

- In the IP world, mgmt systems are much more expensive today than in the mid-1990s. So, many customers now demand standards (“insurance policy”).
- Any new modeling process must allow vendors to release new technologies fast. Their market is very competitive.
- Redeploying a MIM is extremely expensive to customers and vendors. Every effort should be made to devise good models in the first place.
 - Addresses poor models, not changing requirements
- Many customers demand high-quality management applications as soon as they buy a new equipment. Large NOCs cannot afford to deploy now and manage later.

Two-Tier Model



One UIM per Technology (1/2)

- UIM = object-oriented abstract model
- Independent of management architecture:
 - indep. of data repository
 - indep. of communication protocol
 - communication and information models are independent
- Durable:
 - stable terminology
 - no need to retrain people

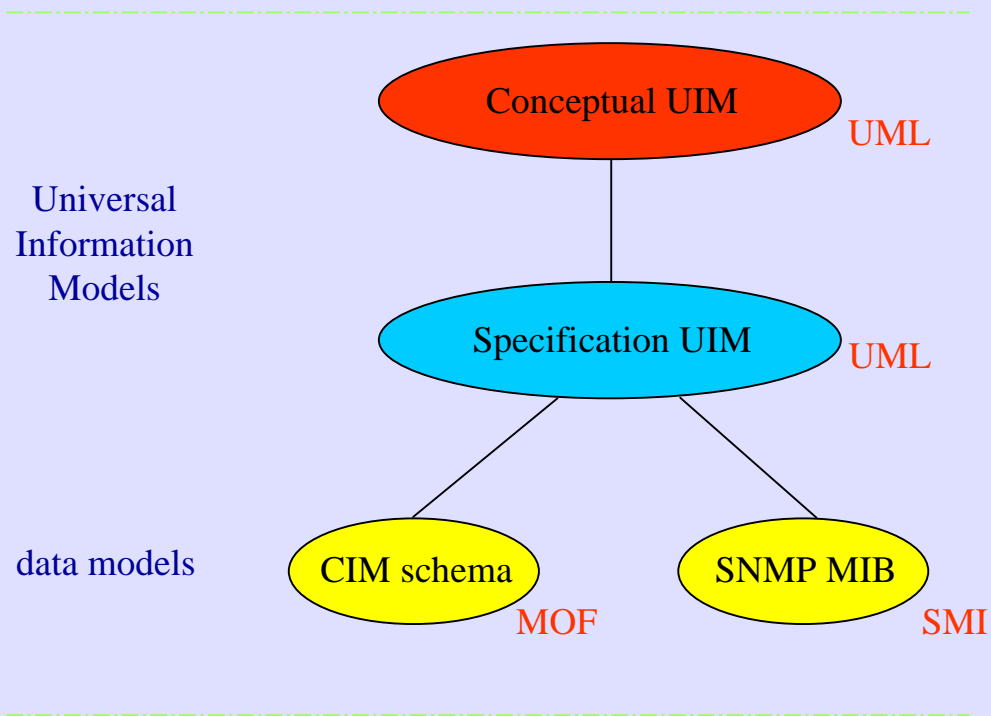
One UIM per Technology (2/2)

- Reusable:
 - shared by IETF, DMTF, etc.
- Expressed in UML + whitepapers
- Goal: convey the big picture to humans, not machines or compilers. Ignore details.
- Uses OMG's UML metamodel
- Devised by joint IETF/DMTF WGs:
 - researchers, independent consultants, end users
 - best technology experts, best mgmt info. modelers

Multiple Data Models per Technology

- Several data models derived from a single UIM:
 - SNMP MIB
 - CIM schema
 - LDAP directory schema
- Not necessarily object oriented
- Language for devising data model: not prescribed
- Devised by separate WGs:
 - vendors developing mgmt applications

More than Two Tiers



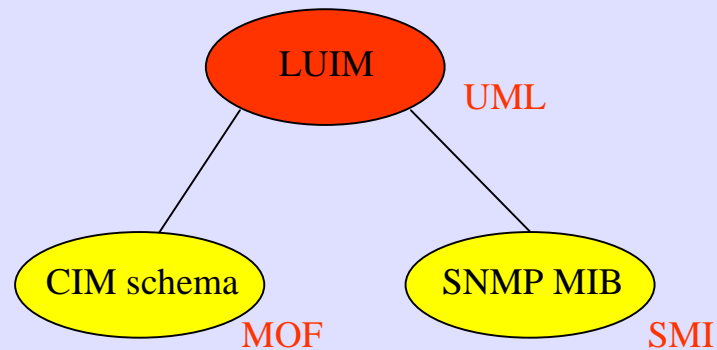
Iterative Process

- N-tier models + 1 iteration = long standardization time
 - delays time-to-market for new technologies
 - vendors = no-no
- Whatever the experience of model designers, they will always get it wrong the first time they model a complex technology
- Requirements may change over time

Iteration 1: Prototyping

Lightweight
Universal
Information
Model

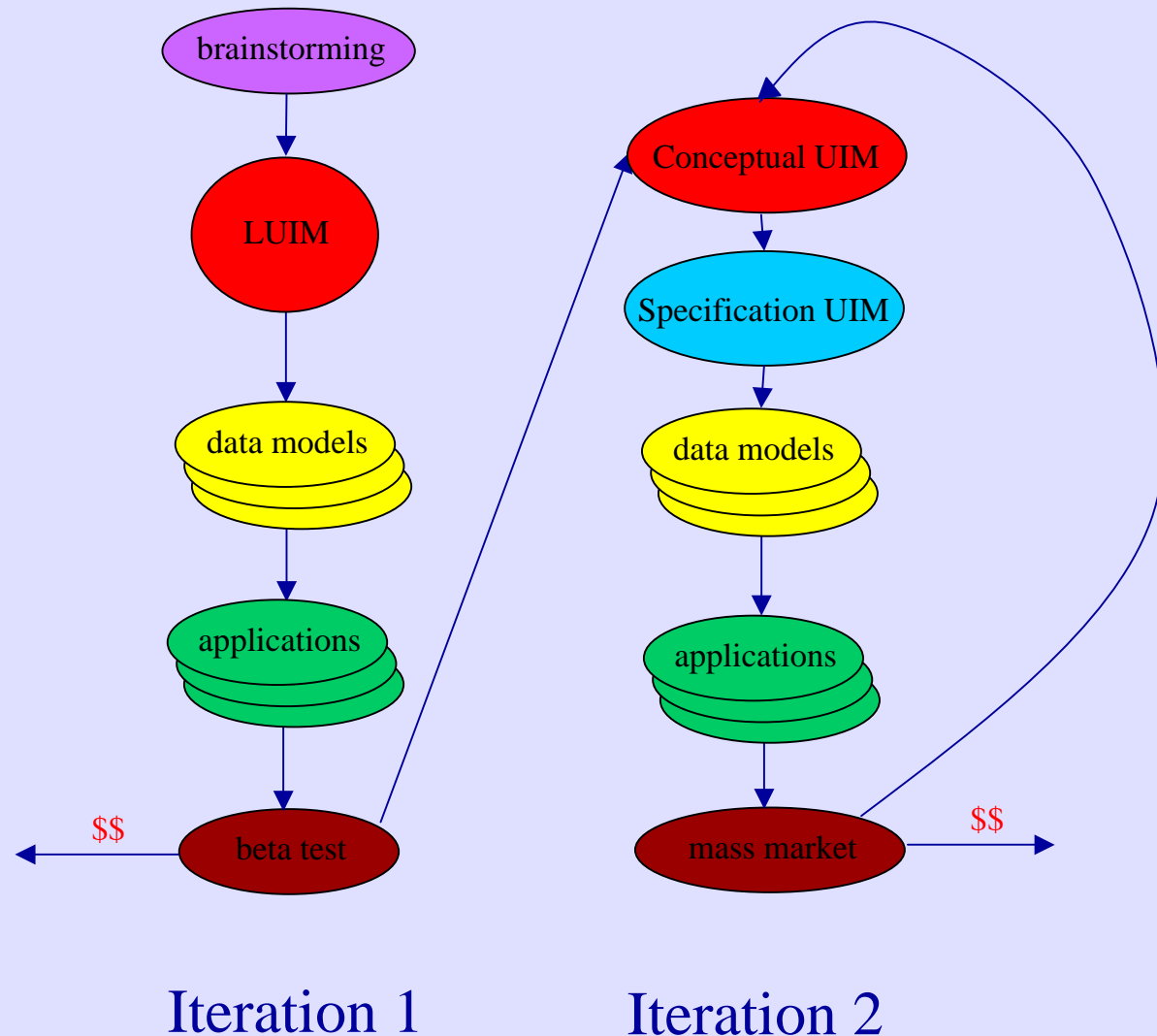
data model



Iteration 2: Refinement

- Formalize the UIM:
 - UML class diagrams, sequence diagrams, etc.
 - whitepaper
- Improve the UIM:
 - ready for mass-market
- Make the UIM robust and durable
- Learn from the mistakes made in iteration 1:
 - feedback from beta-testers
- Formalize the lessons learned in writing:
 - e.g., annotations to the whitepaper
 - goal: the same problems will not resurface in the future

Iterative and Incremental Process



Further Iterations

- Maintenance:
 - mgmt issues changed over time
- Refinement:
 - a flaw was discovered in the info. model

Managing Time: A Condition for Success

- Must manage time strictly
- How?
 - set deadlines for each step of the standardization process
 - chairperson of each WG must enforce deadlines
- Why would people bother to meet these deadlines?
 - competition between standards bodies
 - competition between top-notch model designers
 - recognition by the peers

Les quatre problèmes sont résolus

- ✓ Certains modèles ne sont pas assez bons
- ✓ L'antipattern « on réinvente la roue »
- ✓ Trouver le bon niveau d'abstraction
- ✓ L'apprentissage est trop difficile

Some Models Are Not Good Enough: Solved

- We devise multi-tier MIMs, step by step, instead of jumping directly to data models
- With the prototyping phase, we learn from experience gathered in the field
- With UIMs, standardization efforts are a lot more attractive to the best worldwide technology experts and info. modelers

The *Reinvent the Wheel* Antipattern: Solved

- For a given technology, all data models are derived from a single UIM
- Build on past experience:
 - reuse
- Stable terminology

Finding the Right Level of Abstraction Between Two Extremes: Solved

- With multi-tier models, we allow info. modelers to capture different things:
 - UIM: big picture
 - data models: details
- When the mgmt issues for a given technology are complex, we can have as many tiers as necessary

The Learning Curve Is Too Steep: Solved

- Conceptual models make it easier for newcomers to get started with the mgmt of a given technology
- Conceptual models expressed in UML (*lingua franca*) can be readily understood by people who do not know the idiosyncrasies of SNMP or WBEM

More Advantages

- If the technology changes during prototyping, once the LUIM is devised, we still have a chance to update the UIM in iteration 2 (i.e., before large-scale deployment)
- Having UIMs shared by the IETF and DMTF helps vendors cut their mgmt software development cost when they support both SNMP MIBs and CIM schemas
- By imposing strict time mgmt, we put an upper bound on the time-to-market for the first iteration. This is important for marketing people.

Dealing with Multiple Competing UIMs

- Occurs when:
 - different people in a WG have conflicting views on the way a technology should be managed
 - different WGs come up with different UIMs, which are both consistent and smart
- Problems:
 - causes terminological confusion
 - segments the market
- Solution:
 - IETF's way: let the market decide
 - customers can compare UIMs: all expressed in the same *lingua franca* (UML)

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
- Très nombreux composants :
 - Aujourd'hui : 10^3 à 10^9
 - Demain : encore plus

Problème : 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...) ?

Solution : 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
- Architecture de gestion repensée :
 - Pas de connaissance complète du système géré
 - STGT vu comme un système complexe
 - Deux solutions :
 - 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 repenser
- Comment contrôler des phénomènes émergents ?
- Comment favoriser l'émergence d'une propriété donnée ?
 - Par essais successifs ? (*trial and error*)
 - Par design ?

■ Analogies :

- Biologie
- Physique des matériaux
- Robotique
- 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
 - Distribution de la gestion sur plusieurs gestionnaires
 - ...

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, SI
 - Génie logiciel
 - IA distribuée (systèmes multi-agents)
 - Robotique
 - ...

Cas pratique

BWSN-meteo

- Gestion d'un système d'informations environnementales :
 - Exemple de système de très grande taille
- Réseau de capteurs sans fil pour la météorologie
- Je présente ici plusieurs volets du projet, et pas seulement l'aspect gestion de SI

Observations météo actuelles

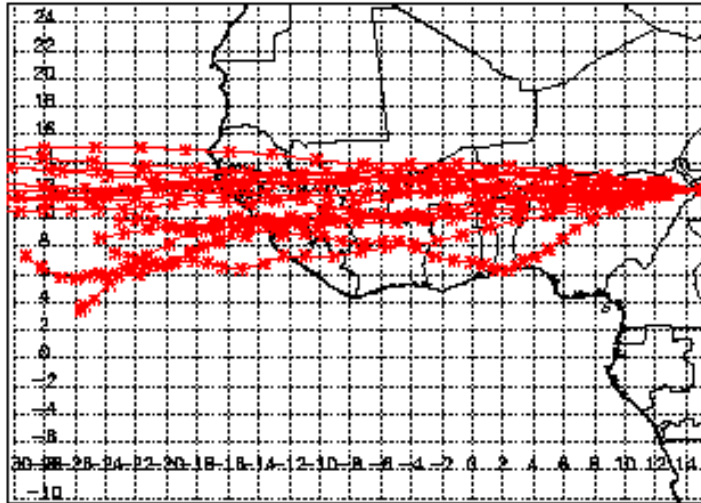
- Observations *in situ* :
 - Stations terrestres fixes :
 - Automatisées pour la plupart
 - Stations maritimes :
 - Bouées fixes ou dérivantes
 - Stations mobiles embarquées dans des bateaux
 - Stations aériennes :
 - Stations mobiles embarquées dans des avions :
 - Au gré de leurs trajets
 - Mini-stations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

Radio-sonde

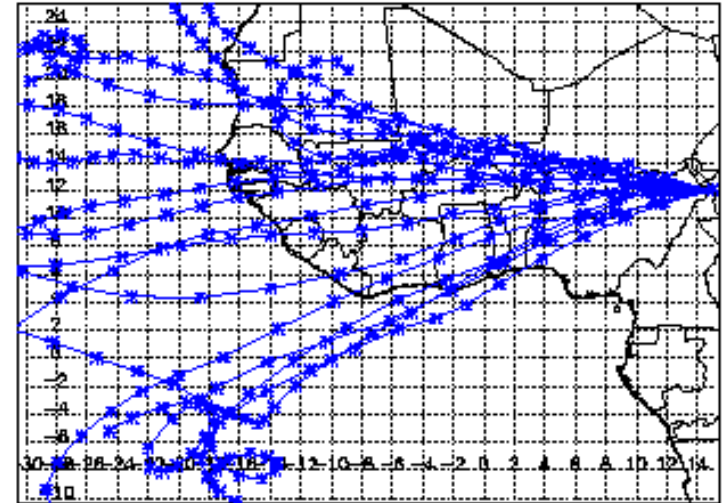


Source : Météo France

Drift-sondes



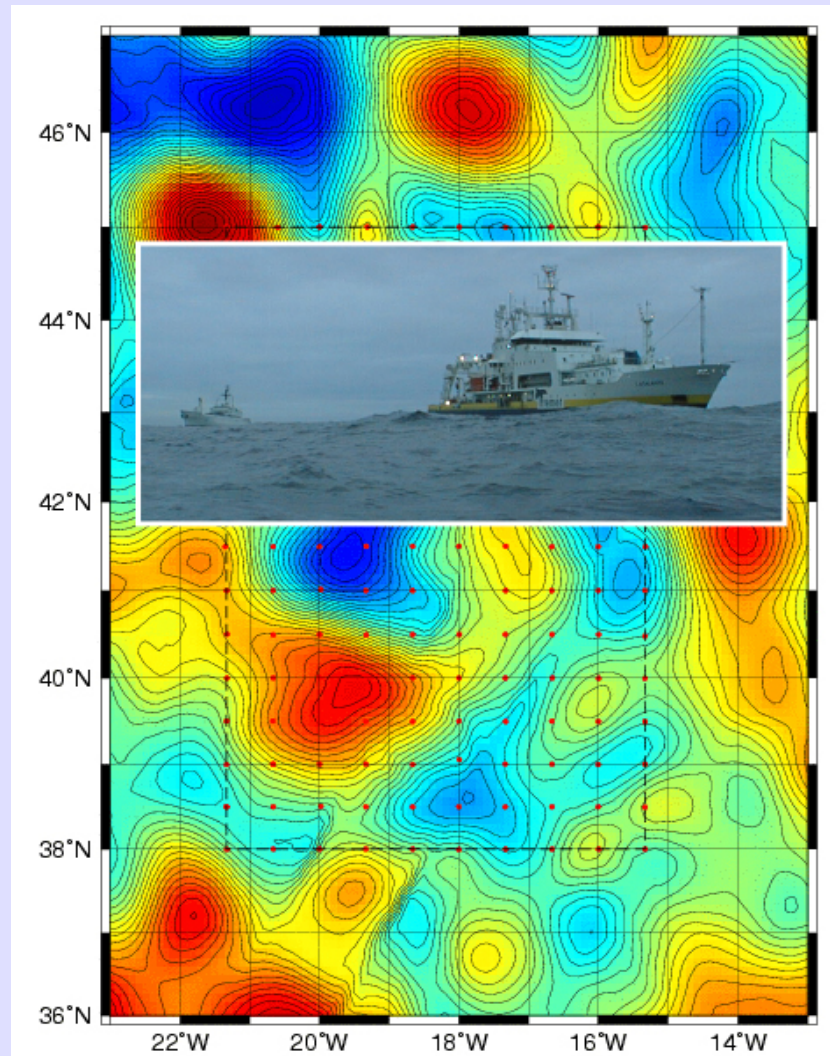
(a)



(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.

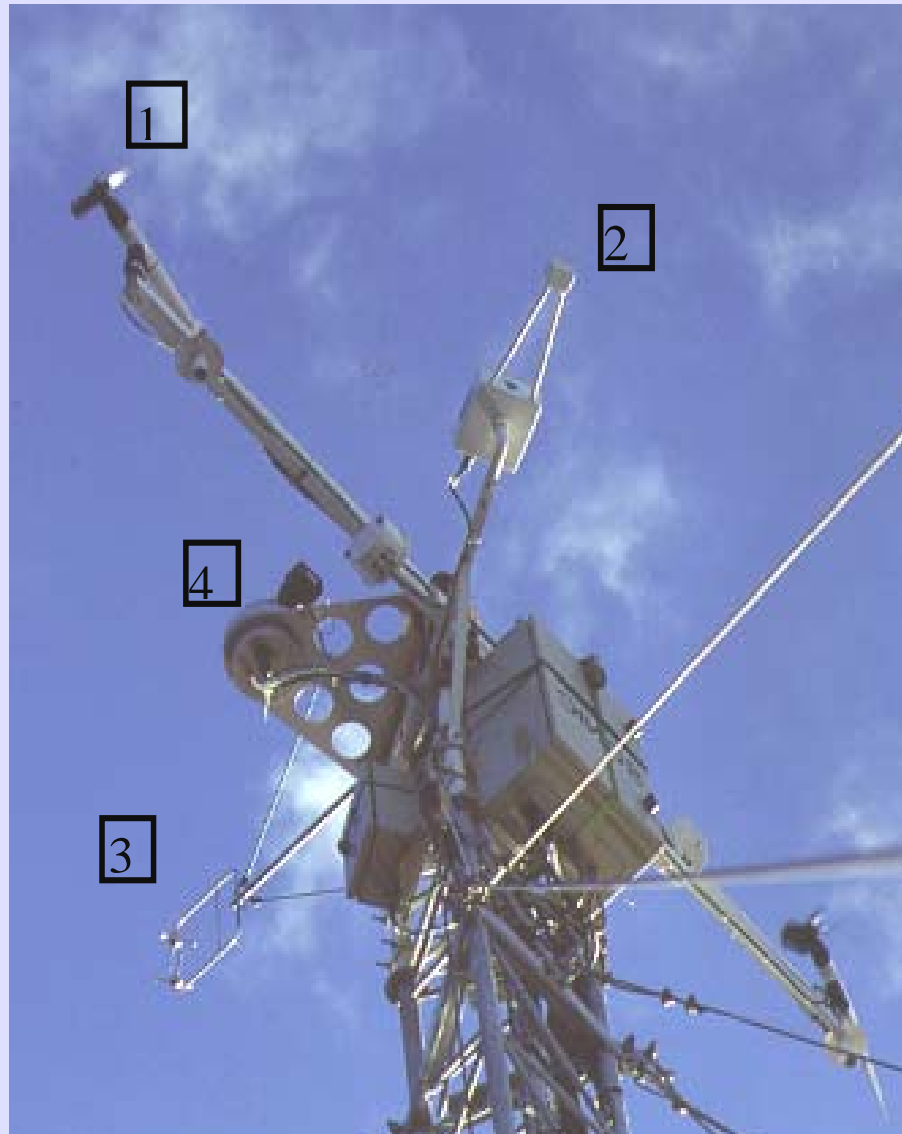
Campagnes de mesures en mer



Source : CETP-CNRS-IPSL

Mesures en mer : instruments de surface

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

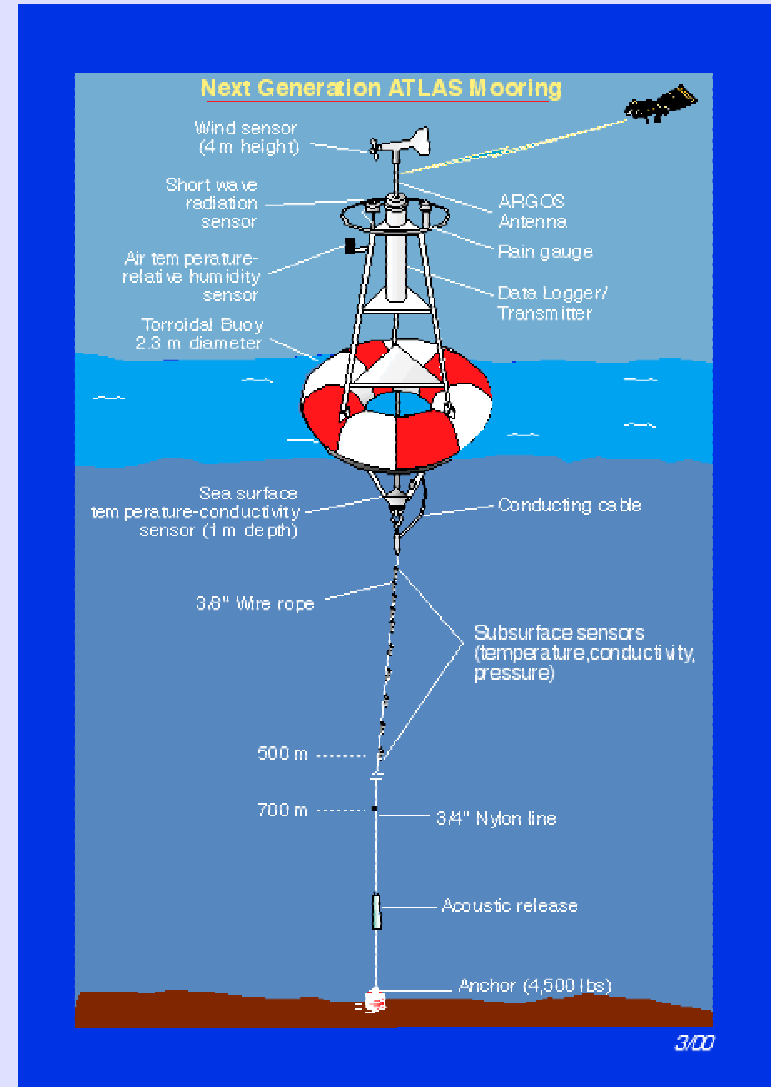


Source : CETP-CNRS-IPSL

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

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 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 éclair

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 de différentes spécialités :
 - Météorologistes
 - Océanographes
 - Spécialistes d'instrumentation
- Prochaines campagnes : au-dessus de la mer Méditerranée, en Afrique subtropicale.

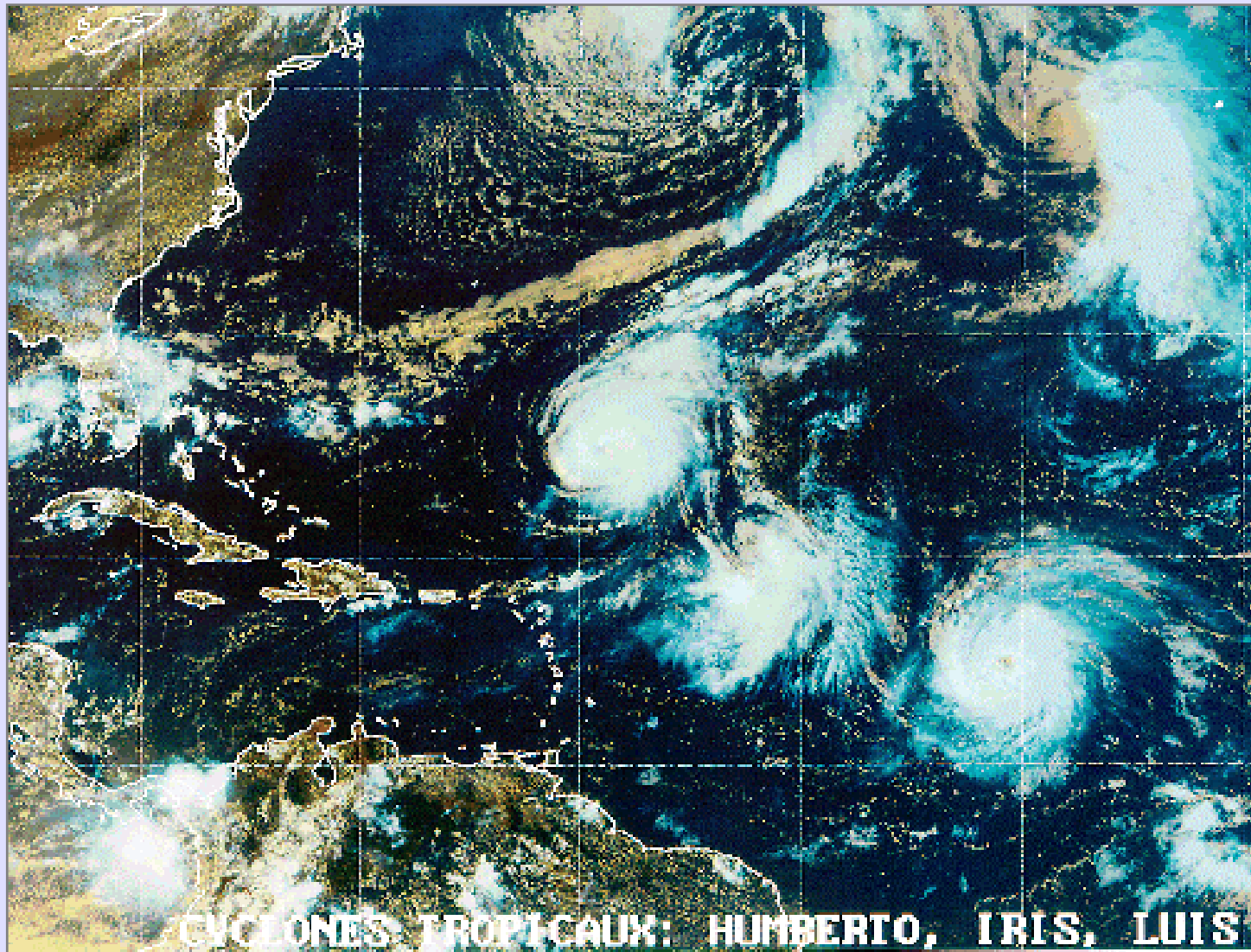
Scénario 1 : comment ? (1/2)

- 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

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

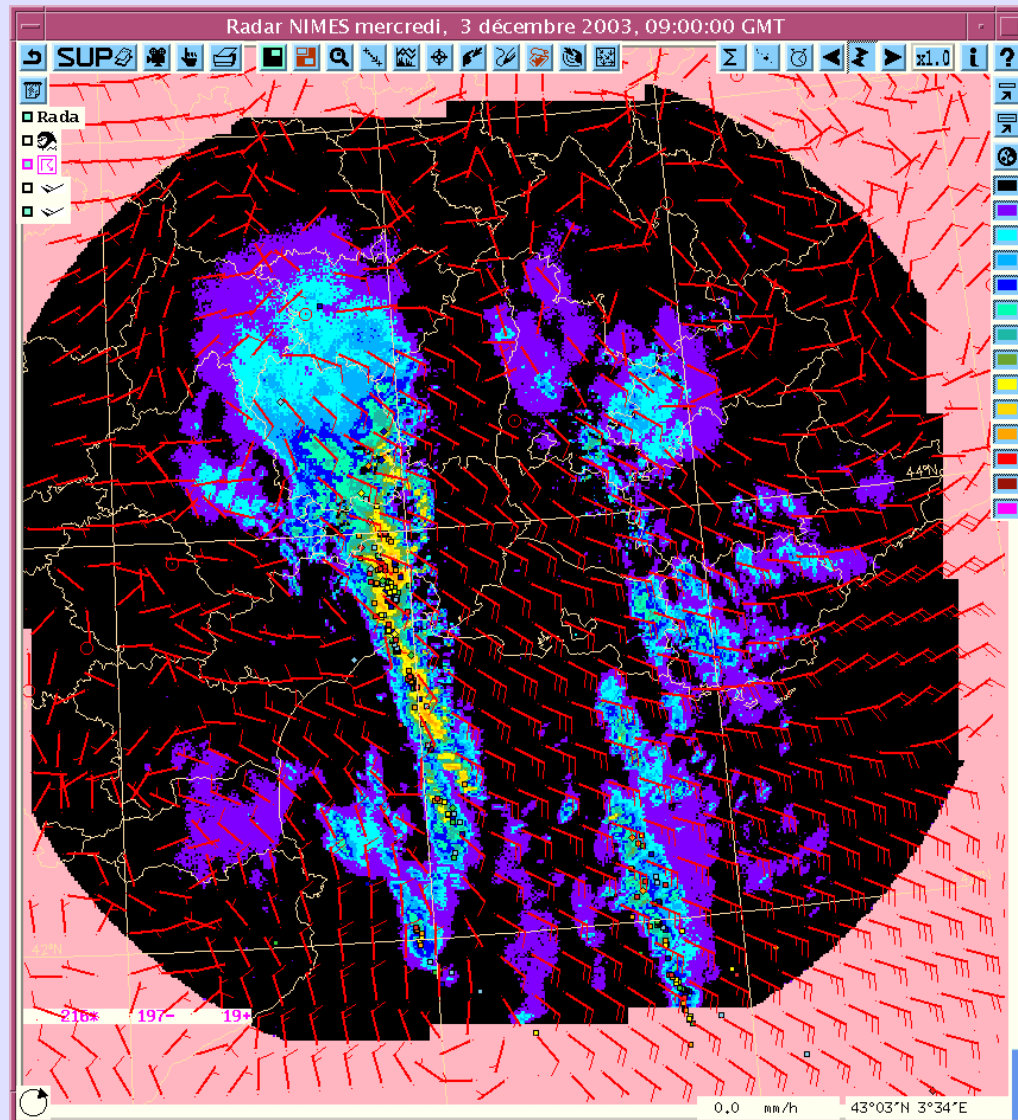


Source : Météo France

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

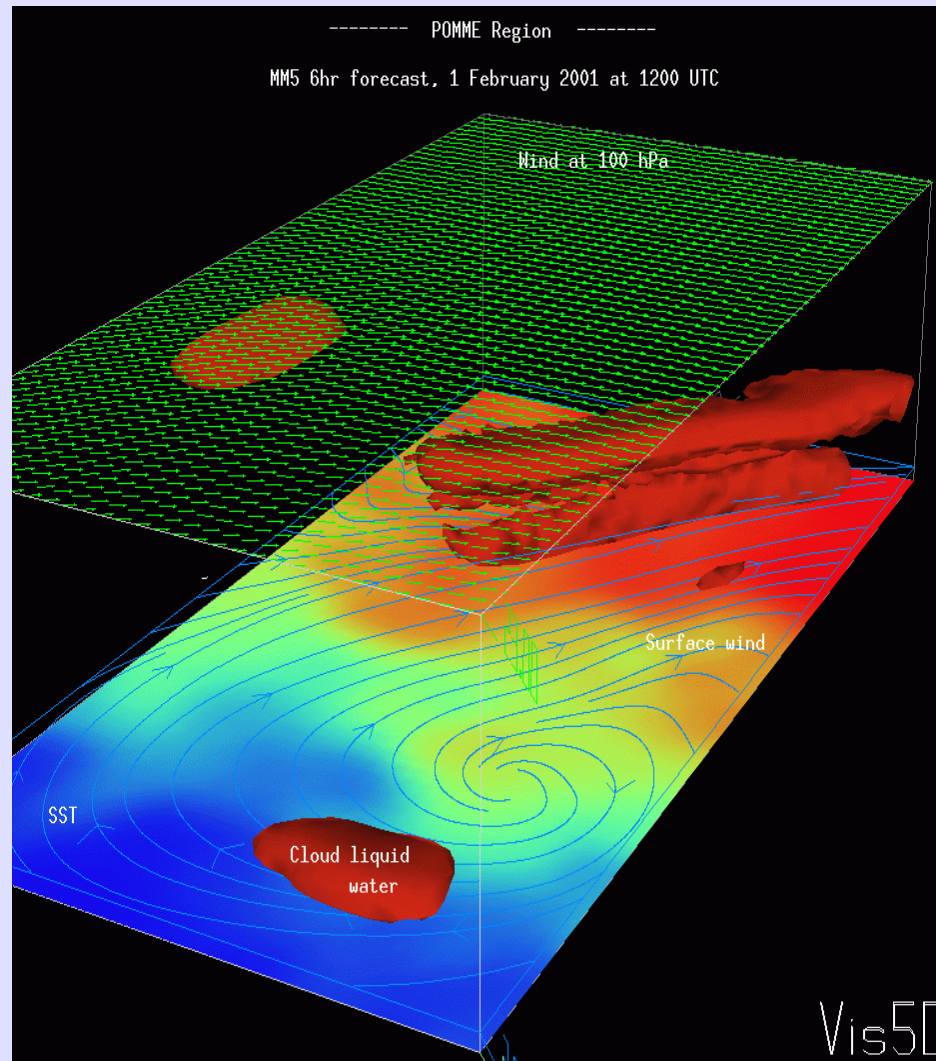


Source : Météo France

Scénario 3 : comment ?

- Variante 1 = non auto-organisée :
 - Capteurs-taupes installés au sol, longtemps à l'avance
 - Pas nécessairement μ -capteurs
 - La sécurité civile, sur la base d'images radar, décide quand il faut télé-activer les capteurs-taupes d'une région donnée
- Variante 2 = auto-organisée :
 - Les capteurs mesurent régulièrement leur environnement et décident d'eux-mêmes quand alerter la sécurité civile et lui envoyer leurs mesures
- Il ne faut pas seulement mesurer la chute de gouttes d'eau sur les capteurs, mais aussi :
 - Engorgement en eau des sols
 - Eau de ruissellement
 - Recouper des données de météorologie et d'hydrologie

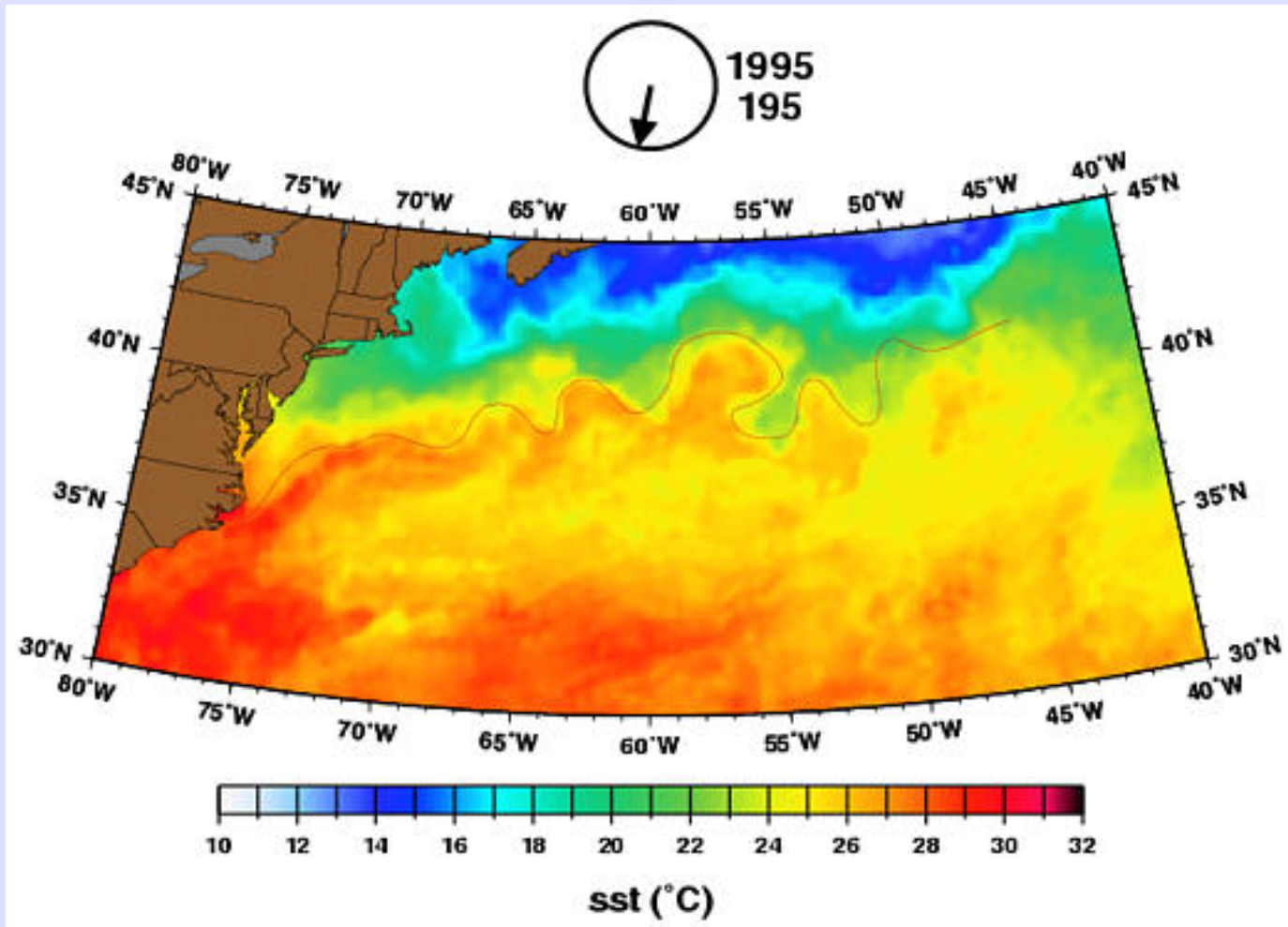
Scénario 4 : couplage air-océan



Source : CETP-CNRS-IPSL

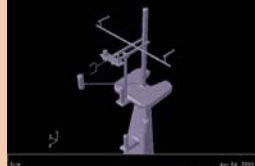
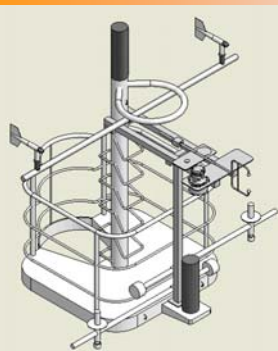
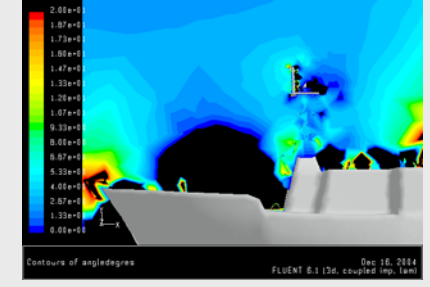
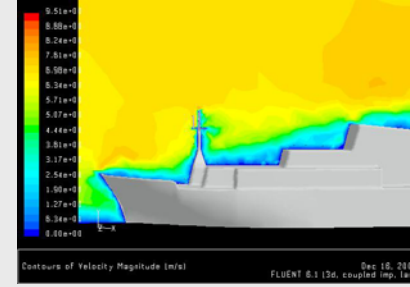
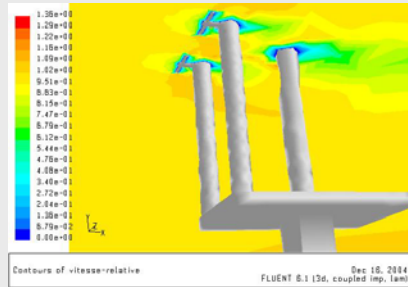
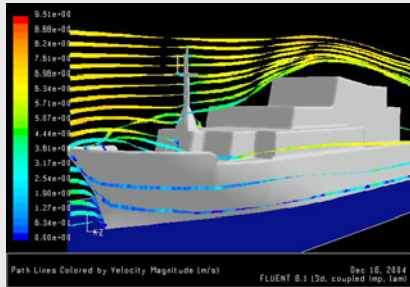
Gulf Stream : vents locaux et gradients de SST

Sea
Surface
Temperature

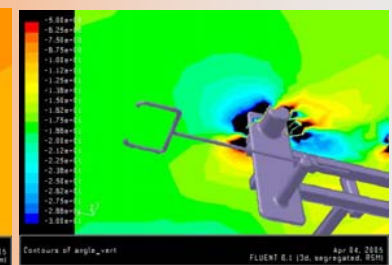
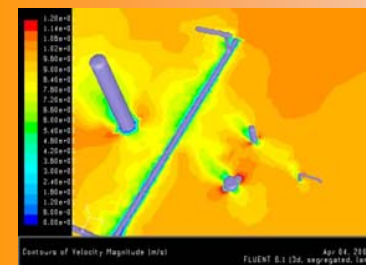
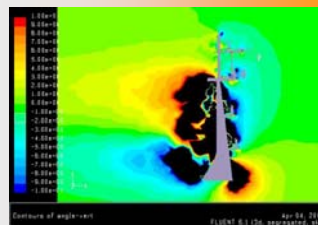
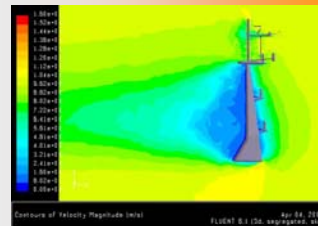


Source : http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/gulf-stream_2.html

Mesures dans la couche limite : méthodes conventionnelles



Results



Source : CETP-CNRS-IPSL

Scénario 4 : comment ?

- Capteurs largués par bateau ou par avion
- Nécessite des capteurs qui résistent à l'eau
- Les capteurs peuvent soit flotter, soit rester entre deux eaux
- Ciblage des mesures identique, mais instruments de mesure beaucoup moins intrusifs
- 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)

- Modélisation des informations échangées :
 - UML, PSM, PIM
- 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 :
 - Si on veut changer la fréquence des mesures
 - Si on veut réinitialiser (*reset*) un μ -capteur
 - Si un μ -capteur peut effectuer différents types de mesure et qu'on veut lui spécifier laquelle mettre en œuvre
 - 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 :
 - Si mesures erronées, mécanisme d'apoptose pour économiser les μ -batteries des μ -capteurs du réseau de transmission
 - 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
 - SI
- 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

Conclusion

Résumé

- SI vus comme des STGT
- STGT vus comme des systèmes complexes :
 - Auto-adaptatifs ou auto-organisés
- Nouveau paradigme :
 - Gestion après coup → gestion par design
 - SI conçus pour s'autogérer
- BWSN-meteo :
 - Défis intéressants pour la communauté SI
 - Projet interdisciplinaire
 - Principale inconnue : biomatériaux

Q/R