

# MANALA: MAte Network Architecture LAYer

Un environnement hybride réseau de capteurs - grille informatique.

Antoine Gallais  
LSIIT - UMR 7005 – Université de Strasbourg  
Pôle API, Bd Sébastien Brant  
BP 10413 67412 Illkirch CEDEX  
gallais@unistra.fr

Julien Gossa  
LSIIT - UMR 7005 – Université de Strasbourg  
Pôle API, Bd Sébastien Brant  
BP 10413 67412 Illkirch CEDEX  
gossa@unistra.fr

## ABSTRACT

Cet article de position propose l'exploration d'une solution innovante de plateformes hybrides fusionnant réseaux de capteurs et grilles de calcul. Alors que les fusions classiques sont basées sur une unification logicielle, notre approche consiste à considérer que l'unités atomiques de la plateforme est un couple capteur/nœud de grille. L'objectif est de faire en sorte que le capteur soit considéré comme une extension sur le terrain du nœud de grille, alors que ce dernier soit considéré comme une ressource de puissance de calcul et de stockage pour le capteur. Le défi essentiel d'une telle plateforme consiste à rendre cette complémentarité totalement transparente. Les plateformes expérimentales Grid5000 et SensLab seront exploitées pour tester l'approche proposée.<sup>1</sup>

## ABSTRACT

This position paper proposes the exploration of an innovative solution of hybrid platform merging sensors network and computers grid. Instead of a software unification, our approach is to consider that the atomic entity of the platform is one couple of sensor/grid-node. Within this entity, the sensor is considered by the grid-node as a extension on the field, while the grid-node is considered by the sensor as a computing and storage resource extension. The main challenge is to ensure the best transparency of this complementarity. Experimental platforms Grid5000 and SensLab will be exploited to experiment the proposal.

## Categories and Subject Descriptors

C.2.4 [Computer-Communication Network]: Distributed Systems—*Network operating systems*; D.4 [Operating systems]: Communications Management

## Keywords

Wireless sensor networks, grid computing, hybrid platform

<sup>1</sup>Ce travail fait l'objet d'une candidature à l'appel à projet exploratoire PEPS INS2I du CNRS

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Contexte

Depuis plusieurs années, on constate un développement parallèle des réseaux de capteurs et des grilles informatiques.

D'une part, les capteurs, sont des systèmes embarqués homogènes disposant de capacités de communication sans-fil et d'observation (température, humidité, luminosité, etc.), afin de fournir une vue directe de leur environnement de déploiement. Leurs dimensions en font des matériels extrêmement contraints, en terme de puissance de calcul, mémoire et autonomie énergétique.

D'autre part, les grilles informatiques sont composées d'hôtes hétérogènes, reliés par l'Internet ou des réseaux dédiés très hautes performances. Caractérisées par une très grande capacité de calcul et de stockage, elles souffrent d'un manque d'adaptativité, de réactivité et d'une absence totale de mobilité. Ainsi, les données de terrain doivent leur être fournies avant exécution et non en temps réel, réduisant drastiquement leur réactivité et leur champ d'application.

### 1.2 Applications hybrides actuelles

Ces deux environnements sont impliqués dans des cas d'utilisations ambitieux. Les applications impliquant à la fois un grand volume d'information de terrain et des analyses complexes, telles que la surveillance de la tectonique ou du climat, en sont un parfait exemple. Un autre cas d'usage concerne les informations de terrains devant être traitées dans des délais contraints, par exemple pour assurer une surveillance médicale à distance telle que décrite par Oh et Lee dans [9] ou pour organiser les interventions lors d'incendies ou de marées noires comme présenté par Hart et Martinez dans [5]. Ni les réseaux de capteurs, ni les infrastructures hautes-performances ne sont capables de traiter indépendamment ces problèmes. C'est pourquoi Lim *et al.* affirment dans [8] qu'allier de ces deux environnements représente un défi majeur.

### 1.3 Motivations

Par exemple, l'identification par la grille d'un macro-phénomène intéressant mais indétectable par les capteurs doit pouvoir susciter une augmentation de la fréquence des relevés de terrain pour approfondir l'analyse, dépassant ainsi les limites de la grille (i.e. manque de données de terrain). Inversement, des capteurs atteignant certaines limites (i.e. consommation accrue liée au routage ou à l'accès au médium) doivent pouvoir exploiter les capacités de la grille qui, en

considérant les conditions réelles (interférences radio, bruit, etc.), sera chargée d'exécuter des algorithmes d'optimisation complexes afin d'en exporter les solutions sur les capteurs.

La collaboration entre ces deux environnements permet alors d'associer légèreté et performance, en exploitant l'adaptativité et les capacités d'observation de l'un, ainsi que la robustesse et les capacités de stockage et de traitement de l'autre. Ceci représente un avantage indéniable au niveau des utilisations, mais pose un problème critique quant à la nature et aux contraintes radicalement différentes des deux environnements. En conséquence, sont radicalement différentes et difficilement portables d'un environnement à l'autre, non seulement les solutions développées, mais également les expertises scientifiques engagées. Le développement d'une plateforme hybride présente donc le risque de d'exacerber les désavantages de chacun des environnements, sans pour autant parvenir à exploiter leurs avantages respectifs.

#### 1.4 Difficultés et contraintes

Alors que les applications de grille utilisent des jeux de données fournis en amont, une première difficulté est de pouvoir considérer des données consommées en temps réel par les noeuds de calcul, au fur et à mesure de leur production au sein du réseau de capteurs. Ces derniers bénéficieraient ainsi d'une puissance de calcul et de stockage démultipliées, laissant entrevoir une délégation des algorithmes liées à l'application d'observation ou de surveillance. Jusqu'à présent, ce type de détection n'est envisagé qu'au sein du réseau, par exemple *via* des capteurs décelant une hausse soudaine de température ou une accélération anormale, par exemple dans le cadre d'une surveillance de forêt ou de structure. Or, les caractéristiques très contraintes des capteurs limitent le niveau d'interprétation dont ils sont capables. Cette limite présente, par exemple, le risque de générer de nombreux faux-positifs. Ce type de risque est bien moins important sur la grille, qui dispose de ressources beaucoup plus importantes afin d'exécuter des algorithmes plus complexes et d'exploiter des données plus volumineuses, telles que des historiques étendus des échantillonnages.

De plus, qu'il s'agisse de la grille de calcul ou du réseau de capteurs, la rigidité est de mise quant aux données consommées par le premier et le mode de fonctionnement du second, qui doit impérativement être fixé avant le déploiement [7]. Dans les deux cas, les adaptations en cours d'exécution sont aujourd'hui limitées et nécessitent des reconfigurations lourdes et coûteuses.

Enfin, Coulson *et al.* exposent dans [4] que le paradigme de communication communément admis dans les réseaux de capteurs (i.e. le puits de données, ou *tous vers un*) est une contrainte majeure qui doit impérativement être prise en compte lors du développement de solutions de plateformes hybrides. Il est en effet impossible de considérer simplement les communications entre équipements de la grille et capteurs, sans prendre en compte les contraintes dues au routage multi-sauts et à la mobilité : consommation énergétique, performances, robustesse. . .

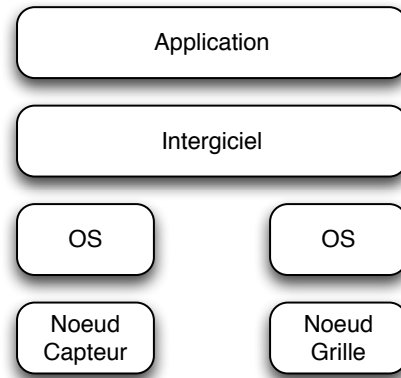


Figure 1: Piles logicielles classiques des plateformes hybrides existantes

## 2. TRAVAUX CONNEXES

À l'heure actuelle, deux types de fusions ont été proposées : au niveau intergiciel et au niveau applicatif. Ces fusions sont illustrées Fig 1.

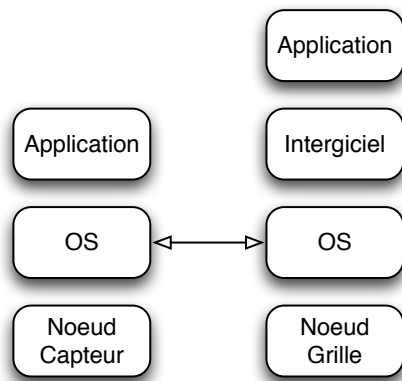
Au niveau intergiciel, les approches proposent une unification permettant l'intégration des équipements mobiles au cœur même de la grille. Par exemple dans [10], Pierson propose de porter l'intergiciel de grille sur les équipements mobiles, limitant ces derniers aux plus performants (smartphones, PDA). De fait, cette approche exclut les équipements les plus légers, tels que les capteurs, incapables de supporter un tel logiciel. Pour pallier à ce problème, Coulson *et al.* dans [3] et Hinge *et al.* dans [6] décrivent des intergiciels minimalistes capable de fonctionner sur les deux plateformes. Cette approche a pour conséquences non seulement de sous-exploiter les capacités de la grille à cause d'un intergiciel sous-dimensionné, mais également de modifier son modèle de programmation en se basant sur des modèles plus souples et portables tels que ceux à composants.

Au niveau applicatif, les approches se basent sur une extension des services de la grille afin de prendre en compte les contraintes des réseaux ambiants. Ainsi, Ciampi *et al.* proposent dans [1] une solution pour unifier leur mode de communication, alors que Coronato *et al.* proposent dans [2] une méthode pour prendre en compte leur mobilité.

Aucune de ces approches ne permet de réelles collaborations entre réseaux de capteurs et grilles informatiques, tout au plus elles permettent des interactions dont l'exploitation reste à la charge du programmeur et de l'administrateur du fait de leur manque de transparence.

## 3. PROPOSITION

Plutôt que de proposer une fusion des plateformes de capteurs et de grilles au niveau intergiciel ou au niveau applicatif, notre proposition possède deux caractéristiques : une collaboration au niveau des systèmes d'exploitation et aucune unification logicielle, tel qu'illustré Fig. 2. Ceci est réalisé en considérant que l'unité atomique de l'environnement est un binôme hybride capteur/noeud de la grille, respective-



**Figure 2: Piles logicielles indépendantes de notre proposition**

ment appelés “*grid-mate*” et “*sensor-mate*”. Ainsi, chaque entité possède dans l’autre environnement un interlocuteur unique chargé de palier ses lacunes.

Le principal avantage de notre approche est de réduire la complexité de l’environnement hybride. En effet, les interactions étant limitées à l’échelle d’un binôme hybride, chacun des environnements ne perçoit l’autre qu’au travers de ses propres entités. Ainsi, nous pouvons permettre une collaboration étroite, sans remettre en cause les modèles respectifs de programmation et d’administration. Par exemple, les problèmes internes à la grille, tels que le besoin d’informations plus fréquentes, peuvent être résolus au sein même de la grille, chaque nœud étant ensuite chargé de répercuter la solution sur leur capteur associé, de façon ainsi totalement transparente pour la grille dans son ensemble. De plus, ainsi organisé, chaque environnement devient un miroir de l’autre, permettant de choisir lequel est le plus adapté à la résolution d’un problème donné. Par exemple, les protocoles de routage les plus performants sont typiquement trop lourds pour fonctionner sur des capteurs. L’exécution de tels algorithmes est en revanche envisageable sur la grille, exploitant sa similarité avec le réseau de capteurs pour lui fournir une solution de routage optimale.

### 3.1 Problématiques associées

Notre approche soulève deux niveaux de problématiques, techniques et scientifiques, chacune possédant plusieurs approches pertinentes devant être explorées.

#### 3.1.1 Problématiques techniques

Deux problématiques techniques doivent être étudiées :

1. Tout d’abord la granularité du *sensor-mate* dans la grille, qui peut être un nœud physique, un processus, ou encore un émulateur complet du capteur dont les entrées correspondent aux données réellement captées.
2. Ensuite le moyen de collaboration entre mates, qui peut être une API en RPC, ou bien le développement d’un pilote logiciel permettant de considérer l’alter-ego comme un simple périphérique.

#### 3.1.2 Problématiques scientifiques

Trois problématiques scientifiques doivent être étudiées :

1. D’abord, la résolution des problèmes du réseau de capteurs dans la grille implique la reproduction dans cette dernière des conditions rencontrées par les capteurs sur le terrain (graphe des interférences radio, collisions des communications sans fil, etc.). Une première approche consiste à ajouter aux métriques de surveillance réelles entre deux nœuds de la grille, des métriques décrivant les relations entre leur mates respectifs.
2. Ensuite, il faut être capable de décider lequel des environnements est le plus pertinent pour la résolution d’un problème donné, en fonction de ses caractéristiques et contraintes. Par exemple, l’algorithme de routage devra être exécuté par les capteurs en cas de forte mobilité et/ou sous de faibles contraintes d’optimisation. *A contrario*, cet algorithme devra être exécuté par la grille en cas de relative stabilité et/ou de besoins importants de performances. Cette décision doit prendre en compte de nombreux critères (consommation énergétique ; complexité des algorithmes ; volume, dynamique et localisation des informations ; besoins qualitatifs de la solution), et le défi principal consiste à la rendre à la fois transparente pour l’utilisateur et générique pour le développeur.
3. Enfin, une telle fusion soulève d’importants problèmes en ce qui concerne l’adaptativité de chacune des plateformes.

En effet, l’intégration de capteurs implique une dynamique importante des flux de données : pour économiser leur batterie, ces derniers doivent adapter la fréquence de leur échantillonnages en fonction de la vitesse de changement des conditions sur le terrain (par exemple, l’échantillonnage de l’humidité se fera à faible fréquence en cas de temps sec, mais à haute fréquence en cas d’intempérie). Or, les solutions de grilles manquent de la réactivité nécessaire pour s’adapter automatiquement, à la volée et au plus juste à des besoins dynamiques. Notre piste principale consiste à exploiter les techniques de virtualisation, qui permettent d’obtenir la souplesse nécessaire en terme d’exploitation des ressources matérielles. Il reste à concevoir les méthodes de réservations/déploiement/migration des machines virtuelles en fonction des besoins, en étant capable de prendre en compte d’éventuelles prévisions (disponibles, par exemple, dans les applications climatiques), mais également un ajustement juste à temps aux besoins effectifs.

De plus, la grille doit être capable d’exprimer ses besoins en terme de captation des données : en fonction des résultats calculés, il peut être intéressant d’obtenir des données plus précises en certains points du terrain, par exemple en augmentant la fréquence d’échantillonnage de certains capteurs bien identifiés. Or, cette adaptativité implique une hétérogénéité au niveau du comportement et de la pile de communication des capteurs : actuellement, les réseaux de capteurs fonctionnent de façon uniforme, avec une unique pile de communication mise en place au déploiement et un com-

portement prédéfini. De nouvelles méthodes d'adaptation et de mises à jour sur le terrain doivent être explorées, en se basant sur une compilation, à la volée et au sein de la grille, de l'équipement logiciel des capteurs.

### 3.2 Réalisations

Notre approche sera développée et testée sur les plateformes expérimentales Grid5000<sup>1</sup> et SensLab<sup>2</sup>. Ces deux plateformes permettent de réserver et d'exploiter, respectivement, des nœuds de grille et des capteurs. Elles sont conçues selon des paradigmes très similaires : elles permettent de réserver des machines physiques complètes afin de développer et déployer des images systèmes entièrement personnalisées. De plus, elles utilisent les mêmes solutions applicatives, en particulier OAR<sup>3</sup> pour la gestion de ressources.

Une surcouche à ces outils doit être développée pour permettre la réservation et l'exploitation conjointe de machines dans les deux plateformes. Cette surcouche peut prendre dans un premier temps la forme d'une batterie de scripts automatisant les opérations conjointes, couplée ensuite à une interface web regroupant les informations de surveillance des deux plateformes.

Dans un second temps, un prototype d'interaction entre mates sera développé en fonction de l'évolution de la réflexion scientifique. Ce prototype sera embarqué dans un couple d'images, une pour chaque plateforme, qui permettra de conduire les expérimentations.

### 4. DISCUSSION

D'un côté, notre approche se base sur une absence d'unification logicielle car capteurs et machines de grille sont des équipements trop différents en terme de capacités, fonctions et modèles de programmation. Le désavantage principal de cette approche est de rendre obligatoire le développement des applications hybrides conjointement sur les deux plateformes.

D'un autre côté, notre proposition se base sur des communications transparentes au niveau des systèmes d'exploitation. Chaque équipement étant considéré comme un simple périphérique d'un équipement de l'autre plateforme, le développement sur chacune des plateformes peut exploiter l'autre plateforme de façon transparente et sans remettre en cause les modèles de programmation respectifs. Cette simplification du développement est l'avantage principal de notre solution.

En revanche, il existe un risque conséquent d'obtenir un système logiciel complexe au niveau des décisions et de l'adaptativité. Un tel système peut s'avérer sous-optimal comparé à un placement de l'expertise dans une passerelle-maître capable d'appréhender les problèmes du réseau de capteurs et de chercher de l'aide dans la grille pour les résoudre.

### 5. CONCLUSION

Nous avons exposé dans cet article une proposition novatrice de fusion entre réseaux de capteurs et grilles informatiques. Une telle fusion présente de très intéressantes perspectives applicatives grâce à la complémentarité de ces deux plateformes : légèreté, mobilité et capacité de captation pour l'une, puissance de calcul et de stockage pour l'autre. L'originalité de notre approche consiste à ne pas prévoir d'unification logicielle et à rendre transparentes les communications au niveau du système d'exploitation. Les modèles de programmation respectifs sont ainsi conservés, tout en exploitant les avantages des plateformes respectives. Notre solution sera développée et testée conjointement sur les plateformes expérimentales SensLab et Grid5000. Ainsi, nous espérons renforcer la complémentarité entre les communautés réseau et grille à l'aide de ce petit bonhomme de MANALA, le MAtE Network Architecture LAYer.

### 6. REFERENCES

- [1] M. Ciampi, A. Coronato, and G. D. Pietro. An asynchronous communication system for pervasive grids. *International Journal of Web and Grid Services (IJWGS, Inderscience)*, 4(2):211–221, 2008.
- [2] A. Coronato and G. D. Pietro. Mipeg : A middleware infrastructure for pervasive grids. *Future Generation Computer Systems (FGCS, Elsevier)*, 24(1):17–29, 2008.
- [3] G. Coulson, P. Grace, G. Blair, D. Duce, C. Cooper, and M. Sagar. A middleware approach for pervasive grid environments. In *Proceedings of UK-UbiNet/ UK e-Science Programme Workshop on Ubiquitous Computing and e-Research*, 2005.
- [4] G. Coulson, D. Kuo, and J. Brooke. Sensor networks + grid computing = a new challenge for the grid? *IEEE Distributed Systems Online*, 7(12), 2006.
- [5] J. K. Hart and K. Martinez. Environmental sensor networks: A revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews (Elsevier)*, 78:177–191, 2006.
- [6] V. Hingne, A. Joshi, T. Finin, H. Kargupta, and E. Houstis. Towards a pervasive grid. In *Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing (IPDPS)*, Washington, DC, USA, 2003.
- [7] R. Kuntz, A. Gallais, and T. Noël. Medium access control facing the reality of WSN deployments. *Computer Communication Review (CCR, ACM SIGCOMM)*, 39(3):22–27, April 2009.
- [8] H. B. Lim, Y. M. Teo, P. Mukherjee, V. T. Lam, W. F. Wong, and S. See. Sensor grid: Integration of wireless sensor networks and the grid. In *Proceedings of IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)*, pages 91–99, Los Alamitos, CA, USA, 2005.
- [9] S.-J. Oh and C.-W. Lee. U-healthcare sensorgrid gateway for connecting wireless sensor network and grid network,. In *Proceedings of 10th IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pages 827–831, Gangwon-Do, Korea, 2008.
- [10] J.-M. Pierson. *Une Grille Pervasive, vue du côté des données*. PhD thesis, LIRIS, INSA de Lyon, Novembre 2005. MAtE Network Architecture LAYer d'Habilitation À Diriger des Recherches.

<sup>1</sup>[www.grid5000.fr](http://www.grid5000.fr)

<sup>2</sup>[www.senslab.info](http://www.senslab.info)

<sup>3</sup><http://oar.imag.fr>