



# SMART DUST : La nouvelle technologie

Moussa Barakat

► **To cite this version:**

Moussa Barakat. SMART DUST : La nouvelle technologie. 8èmes Journées Nationales du Réseau Doctoral de Microélectronique, May 2005, Paris, France. 2005. <hal-00193710>

**HAL Id: hal-00193710**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00193710>**

Submitted on 4 Dec 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# SMART DUST : La nouvelle technologie

Moussa Barakat  
CEA/LETI/DCIS  
17 rue des martyrs  
F 38054 GRENOBLE Cedex 9

IMEP –ENSERG INPG  
23 rue des Martyrs,  
BP 257, F -38016  
GRENOBLE CEDEX 1

Email : [Moussa.Barakat@cea.fr](mailto:Moussa.Barakat@cea.fr)

## Résumé

*De nouveaux systèmes adaptés aux besoins de communication sans fils d'un réseau de micro capteurs intelligents sont présentés. Le projet SMART DUST comportant l'architecture et le fonctionnement de capteurs abandonnés et les réalisations micro-technologiques est analysé. Les performances de tels systèmes sont illustrées ensuite par le projet COTS dust de BSAC. Enfin les perspectives des futurs systèmes sont abordées.*

## 1. Introduction

La réalisation d'objets intelligents de la taille du millimètre capables d'être sensibles à leur environnement, de réaliser des calculs pour traiter les données et de communiquer de façon autonome constitue une opportunité unique pour repenser l'interaction entre l'homme et son milieu environnant, qu'il soit naturel ou artificiel. Les systèmes émergents de « Smart dust » sont réalisés en associant massivement en réseaux distribués des centaines d'objets miniatures intelligents intégrant un système d'alimentation autonome, un ou plusieurs capteurs (lumière, température, vibration, acoustique, pression, champ magnétique, ...), des circuits analogiques et numériques pour réaliser des traitements de données et un système pour recevoir et transmettre des données.

L'intégration des ces fonctionnalités sur un objet de taille réduite constitue un sérieux challenge et les récents progrès en matière de micro-technologie et de circuits faible consommation permettent d'envisager très rapidement la réalisation de tels dispositifs. Toutefois, le système de communication entre capteurs ou avec une station de base centrale reste problématique et présente un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du système. Différentes approches sont possibles pour réaliser des communications sans fil bien adaptés à la collecte de données issues de nombreux capteurs. Parmi celles-ci, les recherches sont principalement orientées vers les dispositifs optiques et les systèmes radiofréquences. Les systèmes optiques peu consommateurs d'énergie et de très petite taille sont les plus étudiés. Ils présentent toutefois certains inconvénients très pénalisant comme par exemple la nécessité de visibilité directe et leur grande directivité qui requiert un pointage précis.

## 2. Architecture du système

D'un point de vue système, l'architecture d'un nœud d'un réseau de capteurs abandonnés (Smart Dust) peut être décrite comme sur la figure suivante :

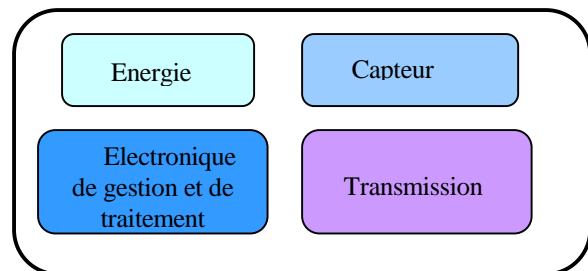


Figure 1: Architecture d'un nœud ou capteur abandonné

Cette structure regroupe différents sous-ensembles, respectivement un bloc énergie (piles, batteries, récupération), mesure (température, champ magnétique, accélération, etc...), électronique (gestion du cycle d'utilisation, traitement des données capteurs, protocole et algorithme pour l'interface avec le milieu extérieur et les autres nœuds du réseau) et transmission (RF, UWB, optique, etc...). En fonction des applications, les configurations peuvent être multiples.

## 3. Smart Dust

Le concept initial de la poussière communicante électronique « Smart Dust » est crédité aux chercheurs à l'université de la Californie Berkeley. Leur but est de réaliser un système d'un millimètre cube (taille d'un grain de sable) capable d'être déployé en réseau (millier de nœuds) et contenant les parties capteurs, communication bidirectionnelle, électronique et traitement ainsi que la récupération et le stockage de l'énergie. Le tout devant être réalisé par le biais des micros technologies. Chaque grain doit pouvoir assurer le "monitoring" d'une zone de 30 m<sup>2</sup>. Leur déploiement doit être assuré depuis des drones. Une des applications visées est la surveillance de zone (détection d'intrusion, suivi de cible, ...).

## 2.1 Architecture d'un Smart Dust

Le dispositif comprend :

- Une batterie film mince.
- Une cellule solaire capable de pourvoir à une consommation de  $17\mu\text{W}$ .
- Une capacité tampon pour aider au fonctionnement hors période de récupération d'énergie.
- Une électronique de gestion comprenant notamment un DSP et des entrées/ sorties analogiques pour les capteurs.
- Un bloc de capteurs aux capacités multiples (le système doit pouvoir être modulable) : capteurs chimiques, de lumière, de température, de pression, de vibration, de champ magnétique et de vent.
- Un bloc de communication, dont les configurations peuvent varier, mais la voie optique est privilégiée par rapport à la RF pour des raisons de consommation. Il intègre une partie détection de transmission puis des parties passives (communication par déviation d'un faisceau émis par un autre module, consommation de  $1\text{nJ/bit}$ ) ou active (communication par diode laser orientable : un scanner laser de  $8\text{mm}^3$  a déjà été réalisé, il comprend un laser à semi-conducteur, une lentille sphérique et un scanner biaxe).

La figure suivante illustre l'architecture définitive du système

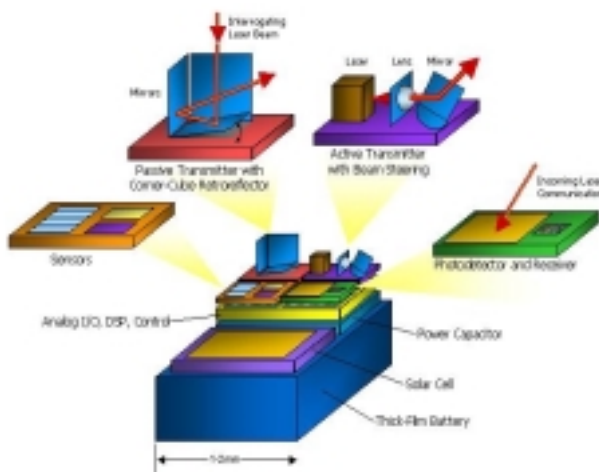


Figure 2: Architecture d'un nœud Smart Dust <sup>1</sup>

## 2.2 Fonctionnement

La principale contrainte pour la réalisation de ces « grains de sable » est le volume, qui influence directement l'énergie embarquable et récupérable puisque peu de place peut être allouée à la cellule solaire et à la batterie. Ainsi, les grains doivent fonctionner efficacement et conserver l'énergie autant que possible. La plupart du temps, la majorité des circuits du grain est mise hors tension à part une horloge et quelques temporisations. Les temporisations commandent aussi les capteurs qui mesurent un certain

nombre de stimulus physiques ou chimiques telles que la température, la lumière ambiante, les vibrations, les accélérations, ou la pression atmosphérique. Quand une de ces temporisations expire, elle met le capteur correspondant sous tension. La mesure est ensuite convertie en données numériques et si ces données sont intéressantes, elles peuvent être stockées directement dans la SRAM ou alors le microcontrôleur peut être activé pour effectuer des opérations plus complexes sur celles-ci. Quand cette tâche est accomplie, tout est de nouveau mis hors tension et la temporisation commence à compter de nouveau.

Une autre temporisation commande le bloc de réception optique. Quand elle expire, le récepteur se met sous tension et recherche un ordre entrant. S'il n'en reçoit pas un après une certaine durée, il est mis à nouveau hors tension. Le grain peut recevoir plusieurs types de données, y compris du nouveau code de programme qui est alors stocké dans la mémoire de programme. Ceci permet à l'utilisateur de changer le comportement du grain à distance. Les données reçues peuvent également inclure des messages de la station de base ou d'autres grains. Quand un message est reçu, le microcontrôleur est réveillé pour interpréter son contenu. Celui-ci peut indiquer au grain une tâche particulière à réaliser, ou juste demander un transfert d'information entre grains suivant un chemin particulier. En réponse à un message ou à une autre temporisation qui expire, le microcontrôleur assemble un paquet contenant les données des capteurs ou un message et le transmet à l'aide du retro-rélecteur ou de la diode de laser situé au coin du cube, selon sa configuration.

## 2.3 Réalisations micro-technologiques

Pour ce projet, Berkeley Sensor & Actuation Center (BSAC) de l'université de Californie a réalisé plusieurs générations de prototypes dont les caractéristiques sont reprises ci-dessous :

### ▪ Golem Dust<sup>1</sup>

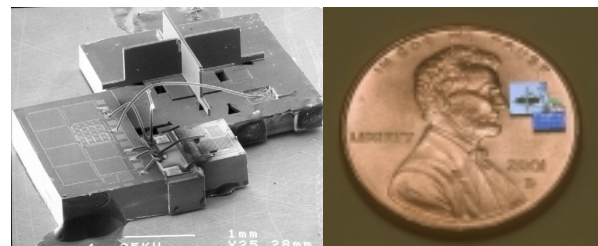


Figure 3 : Golem Dust<sup>1</sup>

**Alimentation :** cellule photo-voltaïque (basée sur une consommation de  $17\mu\text{W}$ )

**Capteurs :** lumière + accélération

**Communication :** optique bidirectionnelle

**Encombrement :**  $4.8\text{mm}^3$  déplacé (sphère de  $11.7\text{mm}^3$  volume)

### ▪ Daft Dust<sup>1</sup>

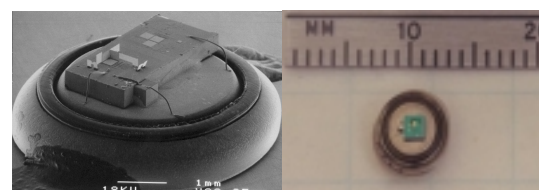


Figure 4 : Daft Dust

<sup>1</sup> <http://www-bsac.eecs.berkeley.edu/archive/users/warneke-brett/SmartDust/>

**Alimentation:** pile bouton

**Communication:** optique bidirectionnelle

**Encombrement:** 63mm<sup>3</sup>

### 3. COTS Dust

Puisque la durée de développement d'un système fonctionnel de type Smart Dust est de plusieurs années, il faut des moyens alternatifs pour examiner le comportement de base d'une façon opportune. À cet effet, COTS Dust a été créé. Les prototypes rapidement développés utilisent les composants de type COTS (Commercial-off-the-shelf). Le Projet COTS Dust a eu toute la fonctionnalité de base de smart dust, mais les dispositifs ont été réalisés dans un dixième du temps. Et au lieu d'une taille d'un millimètre cube, ces dispositifs avaient la taille d'un pouce (inch) cubique (2.5\*2.5\*2.5 cm<sup>3</sup>). COTS Dust peut servir de plateforme pour simuler une variété d'algorithmes pour examiner les divers comportements que Smart Dust montrerait.

Le sous-projet COTS Dust est focalisé sur la réalisation de dispositifs à une échelle plus grande (macroscopique) en utilisant des composants disponibles dans le commerce, pour pouvoir rapidement tester les principes de communication (notamment la communication optique), les protocoles, les scénarios d'utilisation ainsi que les capacités de mesure sur le terrain. Ces dispositifs incluent les parties communications, traitement, capteurs et batteries dans un volume d'un cube d'un pouce de côté (soit 16 cm<sup>3</sup>).



Nom	Image	Caractéristiques	Commentaires
RF Mote		RF 916.5 MHz OOK 5kbps 20 m de portée Capteurs: magnétomètres biaxes, accéléromètres biaxes, lumière, température, pression	Utilisé pour les tests de protocole entre différents nœuds
Laser Mote		Module Laser: 3 mW, transmission optique de 150mW. Portée de la dizaine de Km Capteurs: température, lumière, pression, humidité	Utilisé pour démontrer la grande portée de communication dans un petit volume (21 Km testés entre San Francisco et Berkeley).

Table 1: Réalisation macroscopiques <sup>2</sup>

Dans la table 1, nous présentons 2 des réalisations macroscopique de projet Cots dust de BSAC, on peut voir que la portée d'un Mote de Laser (un mote est une dénomination de Smart dust) est d'une dizaine de Km tandis que la portée d'un Mote RF est d'une vingtaine de mètres. Mais le problème d'un dispositif optique reste toujours le manque de visibilité, d'où la proposition d'utiliser des dispositifs RF.

### 4. Communications

Les technologies en cours de développement dans ce domaine d'application sont essentiellement les technologies RF.

Cela permet de développer des systèmes radiofréquences exploitables sans contraintes météorologiques. Le projet Picoradio de BSAC a pour but de réaliser des dispositifs de faible taille et bas coût pour permettre une communication à faible consommation (<5nJ/bit) avec une source d'énergie inférieure à 100µW. La bande libre de 60 GHz encourage les chercheurs à développer des modèles RF adaptés à cette bande, le problème sera le comportement de l'environnement à ces fréquences (l'oxygène absorbe 98% d'énergie à des fréquence 60 GHz [3]) ; par ailleurs cet effet peut être utile en terme de réutilisation de fréquences (frequency Reuse) comme dans les réseaux de téléphonie cellulaire.

### 5. Perspectives

La conception des systèmes RF pour la bande de 60 GHz est notre souci principal. Mon futur travail est de développer l'architecture des Motes RF afin de valider les spécifications fixées pour un micro système autonome communicant (Faible consommation et petit volume ...) Notamment, l'intégration de l'antenne avec les composants actifs et passifs associés aux fonctions radio constitue un axe de développement privilégié que j'essaie de réaliser. L'aspect simulation des structures et dispositifs sera notamment à considérer avec attention puisque les simulateurs existants ne sont pas tous validés dans cette gamme de fréquence pour prendre en compte certains phénomènes physiques qui ne sont plus négligeables tels que les pertes métalliques et diélectriques pour les antennes et guides par exemple.

### 6. Conclusion

La notion de Smart dust a été présentée dans l'application d'un réseau de capteurs abandonnés. Le projet COTS dust de BSAC a permis d'illustrer les performances de ce type de système et finalement les nouvelles perspectives pour les systèmes RF de réseau de capteurs millimétriques ont été abordées.

### Références

- [1] le site de BSAC <http://www-bsac.eecs.berkeley.edu/>
- [2] Seth Edward Austin Hollar, COTS Dust mémoire d'un master université de Californie Berkeley 2000
- [3] " Performance Characteristics of 60-GHz Communication Systems » Document Number: 045-1038-0000 Copyright © 2002 Terabeam Corporation. October 2002
- [4] <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
- [5] "A 1.9GHz RF Transmit Beacon using environmentally Scavenged Energy", S. Roundy, B. Otis, Y.H. Chee, J. Rabaey, P. Wright, Dig. IEEE Int. Symposium on Low Power Elec. and Devices, Seoul, Korea, 2003.

<sup>2</sup><http://wwwbsac.eecs.berkeley.edu/archive/user/s/hollar-seth/publications/cotsdust.pdf>