HAL
open science

Sauvegarde du patrimoine en cas de sinistre - Conception d'une solution de localisation et de surveillance à base de RFIDs actifs, défis et perspectives

Francoise Sailhan, Isabelle Astic, Frédéric Michel, Christophe Pitrey, Marc Uy, Eric Gressier-Soudan, Pascal Gerbaud, Hubert Feorgeot

To cite this version:

Francoise Sailhan, Isabelle Astic, Frédéric Michel, Christophe Pitrey, Marc Uy, et al.. Sauvegarde du patrimoine en cas de sinistre - Conception d'une solution de localisation et de surveillance à base de RFIDs actifs, défis et perspectives. GEDSIP Workshop, Sep 2009, Tou, France. hal-03031082

HAL Id: hal-03031082

https://hal.science/hal-03031082v1

Submitted on 30 Nov 2020

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.

Sauvegarde du patrimoine en cas de sinistre

Conception d'une solution de localisation et de surveillance à base de RFIDs actifs, défis et perspectives.

Françoise Sailhan* — Isabelle Astic — Frédéric Michel*** — Christophe Pitrey* — Marc Uy* — Eric Gressier-Soudan*— Pascal Gerbaud** — Hubert Forgeot******

* Laboratoire Cédric, conservatoire national des arts et métiers (Cnam),
292 rue Saint Martin, 75141, Paris cedex 03, France.
{prénom.nom}@cnam.fr ou {prénom. nom}@auditeur.cnam.fr

*** Musée des arts et métiers (Mam),*
292 rue Saint Martin, 75141, Paris cedex 03, France.

{prénom.nom}@cnam.fr

**** MAINtag ACTIVline*
Parc Club du Millénaire – Bâtiment 2,
1025 rue Henri Becquerel, 34000 Montpellier, France.
{prénom.nom}@maintag.fr

***** Aérodrones, technolopole izarbel,*
F-6410 Bidart, 26 rue des rigoles, 75020, Paris, France
hfo@aerodrones.com

RÉSUMÉ. *La protection contre les incendies constitue l'une des pierres angulaires de la politique de sauvegarde du patrimoine menée par les musées et monuments historiques. Face à ce besoin, nous établissons les défis à relever, nos perspectives de recherche et les prémisses d'un système de surveillance d'une intervention suite à un incendie dans un musée. En munissant les oeuvres d'art d'étiquettes RFID et les combattants du feu de lecteurs RFID, notre objectif est de localiser dynamiquement les œuvres devant être mises à l'abri*

ABSTRACT. *Fire as a main vector of collection destruction, remains a major concern in museums. In this paper we present an RFID-assisted localisation system which is intended for providing reliable tracking of both art-craft and fire fighters in a museum. Our project lies in embedding critical art craft information in specific on-site RFID tags so as to facilitate the localisation of that art craft, while minimizing dependence on the command center. As a first step upon that goal, we present the challenges, the research perspectives and the design (as a work in progress) of such a system.*

MOTS-CLÉS : *RFIDs actives, géo localisation, supervision de réseau, situation de catastrophe.*

KEYWORDS: *Active RFIDs, localisation, network monitoring, fire fighters, pervasive computing.*

1. Introduction

L'utilisation d'une appellation comme « Internet des choses » ou encore le recours fréquent à des qualificatifs comme « pervasif» et « ubiquitaire » pour caractériser des réseaux, des services ou des données présupposent l'avènement d'un système dans lequel des « choses », c'est-à-dire des objets, échangeraient des informations, offriraient des services ou mettraient à disposition des données les concernant, eux –c'est-à-dire ces « choses »-, leur voisins proches, ou encore nous même. Il s'agit alors de fournir un accès immédiat à des informations concernant le monde physique formé d'objets ou de personnes. Ce qui nous mène indubitablement au développement de nouveaux services et à une efficacité accrue. Le prochain saut dans le futur concernera donc l'intégration transparente de ces choses physiques dans les systèmes d'information et sera rendu possible par le développement de nouvelles technologies. Les technologies d'identification notamment connues sous le nom de RFID ou *Radio frequency identification* permettent à chaque objet de communiquer à distance son identifiant. Elles joueront donc un rôle majeur en permettant d'identifier, de localiser et de traquer en temps réel et de façon automatique des « choses ». Les capteurs quant à eux permettent aux objets de fournir des informations concernant leur environnement et leur contexte. En effectuant par exemple des prélèvements de températures, l'environnement devient actif et en ce sens pervasif. Recouvrant alors des aspects, matériels, logiciels, services, données, réseaux, ces nouvelles technologies embarquées créent progressivement une infrastructure de service et de communication ubiquitaire au service des nouveaux besoins et donc de services inédits. Bien sur, l'innovation se retrouve au niveau du développement de ces nouvelles technologies, mais aussi et surtout au niveau de la conception et du développement de services innovateurs.

Dans cette droite lignée, nous présentons une nouvelle application à ces technologies émergeantes. En quelques mots, notre projet vise à sauvegarder les œuvres d'art et à garantir la sécurité des pompiers lors d'un sinistre dans un musée. Ce projet, à l'heure actuelle en cours d'étude consiste à équiper les oeuvres d'art d'étiquettes RFID et les combattants du feu de lecteurs RFID de façon à pouvoir définir précisément la position de chaque équipe de pompiers en intervention et de localiser facilement les objets du musée. Ce service, au premier abord assez simple, sous-tend des dispositifs sans fil (étiquettes, lecteurs, capteurs) intelligents capables d'identifier, de capturer des informations environnementales, de les traiter et de les partager. Ce sont des composants invisibles et la façon avec laquelle ils communiquent, répartissent, maintiennent à jour les informations et assurent leur bon fonctionnement, soulève un ensemble de défis desquelles découlent notre travail et nos perspectives de recherche. En particulier, les RFID (lecteurs, étiquettes) ont des capacités limitées, ce qui les rend incapable de stocker, de traiter un volume important d'informations, ou encore d'effectuer des activités supplémentaires telles que de la géo localisation. De plus, comme n'importe quelle dispositif matériel, les RFIDs sont sujets aux pannes et ont une durée de vie limitée qui dépend de la quantité d'énergie stockée dans leurs batteries. Il est donc crucial de développer de

nouvelles solutions conçues pour limiter l'énergie utilisée et les traitements nécessaires. Nous présentons ici un projet de géo localisation et de guidage des pompiers répondant à l'ensemble de ces exigences (§ **2**). Cette solution triangule dynamiquement la position des pompiers en se servant des caractéristiques du signal émis par les étiquettes RFIDs, ce qui ne nécessite donc d'effectuer aucun traitement supplémentaire au niveau des RFIDs. Notons que pour augmenter la précision de nos mesures, les étiquettes RFIDs que nous avons développé ont été précisément calibrées (§ **3**). Ces informations sont ensuite distribuées à l'ensemble des pompiers en intervention afin que chacun puisse suivre en direct la progression des équipes (§ **4**). Enfin, afin de garantir leur bon fonctionnement lors d'un sinistre, notre solution intègre un système de surveillance qui contrôle l'état des étiquettes et signal tout dysfonctionnement (§ **5**).

2. Sauvegarde des œuvres d'art dans un contexte muséal

Des évènements tragiques tel l'incendie du parlement de Rennes en 1994, les études liées aux risques de crues centenaires en 2002, ont fait prendre conscience aux établissements patrimoniaux, et au public, de leur faible préparation devant ce type de danger. Depuis l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif à la protection contre les risques incendies et de panique dans les établissements recevant du public), les Plans d'Urgence (PU) se multiplient dans les musées. Dans le cadre d'un musée, ils définissent, entre autres, les moyens mis en œuvre pour sauvegarder le patrimoine culturel, une fois que le public des établissements est hors de danger, listent les objets devant être prioritairement protégés, les mesures de sauvegarde à mettre en œuvre (évacuation, protection). Ce document papier est emprunté par les pompiers au PC sécurité de l'établissement lors de leur arrivée sur les lieux. Il leur permet d'organiser les parcours des différentes équipes, en fonction des degrés de priorité des objets à protéger, de leur emplacement et de l'état du bâtiment au début de l'intervention (départs de feu, salles sinistrées). Dans les salles, les objets à protéger sont signalés aux pompiers. Actuellement, la signalétique la plus efficace est une étiquette fluorescente, proposée par l'association des Boucliers Bleus, qui augmente leur visibilité dans la pénombre. Cependant, ces étiquettes ne sont pas entièrement satisfaisantes car en cas de très faible visibilité (fumées, poussières), ces étiquettes ne sont pas suffisantes pour guider le pompier, ce qui ralenti leur progression.

Face aux limites des PU actuels, nous proposons une nouvelle solution de sauvegarde des œuvres patrimoniales (œuvres d'art, livres, objets scientifiques et techniques, collection d'histoire naturelle, etc…) en cas d'incendie. Les RFIDs se trouvent au coeur de notre projet : les étiquettes RFID sont développées afin d'assurer deux fonctionnalités clés, celle d'identification des objets et celle de balise de référence à partir de laquelle est établie la position des pompiers en intervention. Plus précisément, l'identification des objets est effectuée en attribuant à chacun un identifiant unique stocké dans une étiquette RFID marquant l'œuvre. A cet identifiant s'ajoute une description des manipulations devant être effectuées lors

d'un sinistre pour protéger l'œuvre ou l'évacuer sans l'endommager. Ainsi, un pompier muni d'un lecteur RFID peut détecter la présence d'un objet devant être mise à l'abri tout en apprenant de quelle façon il doit la manipuler. Par ailleurs, si en raison des fumées l'œuvre n'est pas facilement repérable, le pompier peut activer un *buzzer* (ou son) disponible au niveau de l'étiquette RFID (comme défini dans la section ci-dessous) et ainsi se guider au son vers ladite œuvre. A ces étiquettes d'identification et de repérage s'ajoutent des étiquettes ayant pour but d'assurer la localisation des pompiers. Il s'agit ici d'étiquettes déployées sur les murs de façon à servir de points de références à partir desquelles la position des pompiers peut être triangulée en appliquant des méthodes de multi-latération. Durant la phase de déploiement, la position des étiquettes est enregistrée dans une base de données. Concrètement, lorsqu'une étiquette est placée, ses coordonnées (abscisse et ordonnée) et son identifiant[1] y sont enregistrés. Une fois cette phase de déploiement accomplie, les étiquettes peuvent être utilisées pour localiser les équipes.

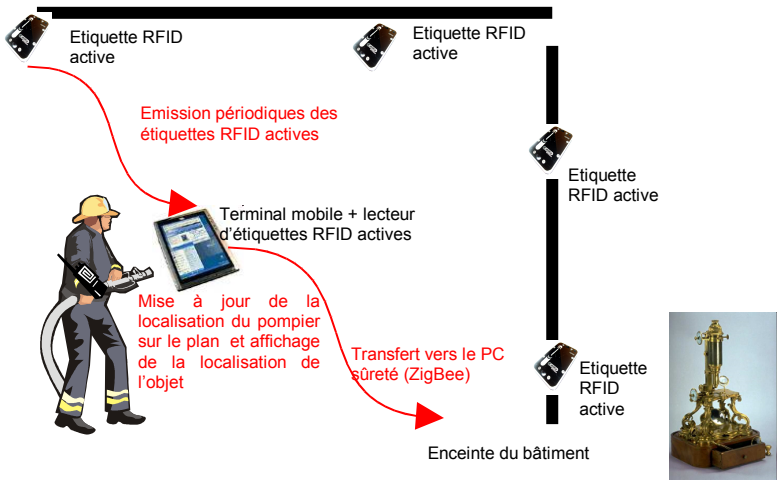


Figure 1. *Interaction tablet PC-lecteur/étiquette RFID active sur l'objet et géolocalisation du pompier.*

Un tel contexte d'application nécessite aussi de fournir un système de surveillance permettant de contrôler l'état des étiquettes RFIDs et du réseau, et de garantir leur bon fonctionnement lors d'un sinistre. Le système collecte donc les informations relatives aux éléments clés du réseau et des équipements le constituant (comme par exemple l'état de la batterie, la topologie du réseau local, l'état du/des lien(s) radio, la couverture et l'exposition du nœud) afin de prévenir, détecter et signaler tout dysfonctionnement du réseau en amont. Ce système de supervision permet aussi de surveiller l'évolution du sinistre. Il évalue en temps réel l'état des RFIDs dans des conditions extrêmes, avec des équipements détruits ou ayant un

[1] Rappelons que chaque tag est identifié par un numéro unique.

fonctionnement fortement perturbé. Il permet ainsi de détecter une zone sinistrée dans laquelle un pompier ne doit pas s'aventurer.

3. RFID

La technologie RFID (*Radio Frequency Identification*) correspond à un moyen efficace d'identifier un objet ou une personne. Cette technologie se base sur des radiations électromagnétiques échangées entre deux composants :

- un marqueur, appelé étiquette (ou encore *tag*, puce, *transpondeur*) qui se trouve apposé sur l'objet à identifier,

- un lecteur qui communique avec une (ou plusieurs) étiquettes. Notons que malgré l'utilisation du qualificatif de « lecteur », l'activité de ce terminal ne se cantonne pas à la lecture de l'étiquette. Elle inclut aussi des opérations d'écriture (d'informations) sur celle-ci. Intégrant souvent un module de communication, le lecteur transfère les données d'identification qu'il a collectée vers un ordinateur en vue d'un stockage pérenne ou d'un traitement plus poussé.

Le transfert de données entre les étiquettes et le lecteur s'effectue sans contact grâce à un champ électromagnétique. Il est donc possible d'échanger des données sans visibilité au travers de substances ou de matériaux opaques à la lumière.

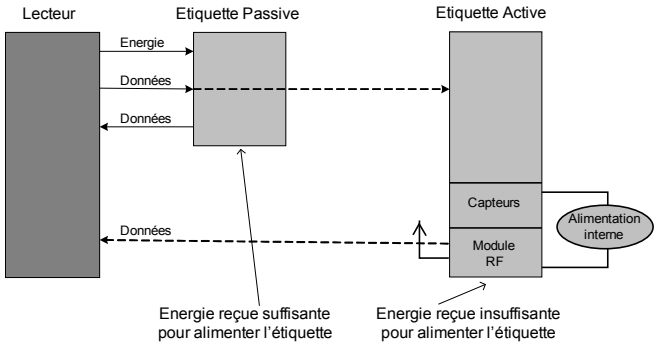


Figure 2. *Interaction entre lecteur et étiquettes passives/actives.*

On distingue deux principaux types de technologie RFID que l'on peut catégoriser selon leur source d'énergie (figure 2) :

- Une étiquette passive n'embarque pas d'énergie. Elle est alimentée en énergie par un couplage inductif à basse ou moyenne fréquence qui permet de convertir en énergie le champ magnétique émis par un lecteur. Chaque étiquette dans

le champ du lecteur échange des données en créant une modulation de phase ou d'amplitude sur la fréquence porteuse. L'étiquette se compose d'une antenne bobinée ou imprimée lui permettant de capter l'énergie transmise par le lecteur. Elle intègre aussi une puce électronique de l'ordre de 0.25mm^2 et un numéro d'identification unique de type EPC (*Electronic Product Code*).

- Une étiquette active embarque une alimentation (de type pile lithium de 3V par exemple) qui lui permet de réagir sans sollicitation du lecteur. Elle peut à son initiative communiquer avec les constituants de son architecture applicative (lecteur, étiquettes) grâce à un protocole de communication radio ou s'adapter à son environnement aux grés de sollicitations prédéterminées pour lesquelles elle aurait été programmée. Outre l'alimentation, l'étiquette est principalement constituée d'une antenne, d'un émetteur/récepteur (*transceiver*) et d'un microcontrôleur.

La technologie RFID passive ne permet que des lectures de courtes distances : cette distance de lecture est[2] de l'ordre de quelques centimètres en basses fréquences (100 à 500 kHz), entre 50 à 80 cm pour des hautes fréquences (10 à 15 MHz) et d'un à quelques mètres en ce qui concerne des très hautes fréquences (de 850 - 950 MHz). En raison de leur portée de communication limitée, cette technologie passive est inadaptée pour assurer la localisation des pompiers ou des œuvres d'art. En effet, elle induirait un coût financier qui s'avérerait prohibitif en raison du déploiement massif d'étiquettes passives nécessaire pour couvrir l'ensemble du bâtiment. Au contraire, les fréquences les plus utilisées pour la technologie active s'étalent sur la bande de fréquence ISM (*Industrial Scientific and Medical*) de 433Mhz à 2.5Ghz avec une puissance d'émission généralement de l'ordre de quelques milliwatts (1mW à 10mW), ce qui permet d'obtenir des portées de communication allant[3] de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres en champ libre. Cette longue portée désigne la RFID active comme technologie de choix pour assurer la couverture de zones géographiques importantes. C'est donc naturellement la technologie des RFID actives qui fut choisie en tant qu'infrastructure matérielle sous-jacente.

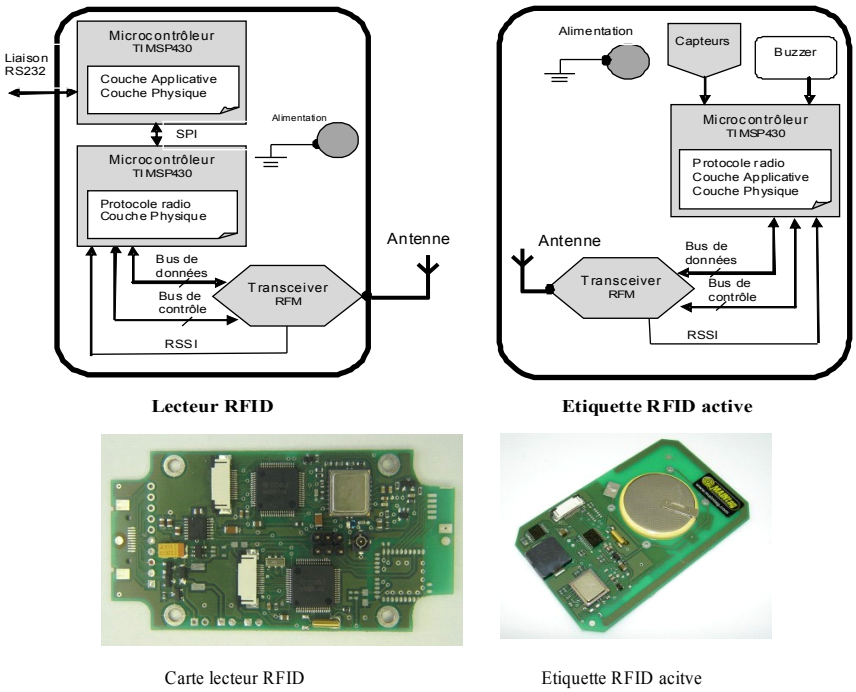
3.1 Développement de RFID actif

L'équipement RFID développé se compose d'un lecteur dont serait muni un pompier en intervention sur un sinistre et d'étiquettes actives. Comme défini dans la figure 3 et détaillé ci-après, cet équipement se compose de 3 éléments centraux, le micro-contrôleur, une alimentation, un *transceiver*, que nous retrouvons aussi bien au niveau du lecteur que de celui des étiquettes RFID.

---

[2] Ses valeurs sont obtenues en champs libres. Du fait de la directivité des antennes, ses valeurs peuvent varier suivant l'angle d'inclinaison du lecteur.

[3] Hormis la puissance d'émissions et la sensibilité de réception, la conception de l'antenne (omnidirectionnelle, directionnelle) influence fortement sur les portées et les zones de communications.



Carte lecteur RFID

Etiquette RFID acitve

Figure 3. *Lecteur et étiquette RFID active.*

Le microcontrôleur Texas Instrument MSP430F fonctionnant à 4.9 Mhz sur le lecteur et 2 Mhz sur l'étiquette, a été sélectionné en tant que contrôleur de la plateforme pour sa consommation énergétique particulièrement faible qui permet aux étiquettes actives d'atteindre une durée de vie allant jusqu'à 3 ans. Il assure la gestion et la communication entre tous les composants présents sur la carte ; cette communication étant réalisée grâce aux bus de type I2C (*Inter Integrated Circuit Bus*) ou SPI (*Serial Peripheral Interface bus*). Il gère aussi le protocole de communication radio entre le lecteur et les étiquettes. De plus, il offre des capacités de stockages nécessaires à notre application, soit 2 Ko de RAM (*Random Access Memory*) et 64Ko de mémoire flash pour le lecteur et 256 Ko de RAM et 8Ko de mémoire flash pour l'étiquette. Ce contrôleur et l'ensemble des circuits sont alimentés par une pile lithium de 3V pour l'étiquette et par une batterie lithium de 3.6V rechargeable sur le lecteur assurant une alimentation continue de l'ensemble des circuits et cela même si un lecteur ne se trouve pas à portée de transmission. Afin de pouvoir contrôler l'état de la pile, une fonction mesurant l'énergie disponible a été développée. Ainsi, une alerte peut être générée de façon à ce qu'une opération de maintenance soit déclenchée avant qu'un lecteur ou qu'une étiquette ne devienne inopérationnel. Cette alerte sur l'étiquette est émise par radiofréquence un mois environ avant la mise hors service de celle-ci du fait du manque d'énergie. Pour le

module radio il s'agit d'un *transceiver* de type RFM, 115 Kbps, émettant en 433 Mhz et implémentant une communication bidirectionnelle (émetteur/récepteur) entre un lecteur et une étiquette active. Il est couplé, dans le cas d'une étiquette active, avec une antenne gravée directement sur le circuit imprimé. Pour le lecteur, le couplage est réalisé par une antenne additionnelle extérieure, ayant un gain et une sensibilité plus importante. Ces antennes sont omnidirectionnelles, ce qui permet une couverture homogène de la zone. Les modules de base que nous venons de présenter sont développés au niveau du lecteur et des étiquettes RFID. En plus de ces composants, une étiquette active est couplée avec un capteur de température qui permet de tracer l'évolution du sinistre dans le musée. Un pompier en intervention peut ainsi connaître sa situation dans son entourage proche (température). Ces informations lues par le lecteur lui sont fournies par un module de communication sans fil Bluetooth sur le *tablet PC* dont est muni le pompier en intervention pour une lecture aisée sur un périphérique adapté à cet usage.

Dans le contexte d'application particulier qui est celui d'un sinistre, une des problématiques particulière qu'il faudra régler est celle de protéger les RFIDs contre les températures élevées subies par les étiquettes lors du sinistre. Cela nécessitera une plasturgie adéquate. Actuelle, ces étiquettes actives supportent une température de l'ordre de 60° Celsius grâce à une plasturgie à base de PVC protégeant l'ensemble de l'étiquette RFID (antenne incluse). La pile constitue l'élément le plus sensible à la chaleur. L'étude d'une plasturgie des étiquettes plus adaptée fait donc partie intégrante de nos perspectives de travail. Il est intéressant de noter que la destruction des étiquettes en elle-même est source d'information. Elle permet de déterminer l'avancée du feu et de définir quelle zone est en cours de destruction. Toutefois, ces données ne peuvent être collectées que si un pompier se trouve à portée de communication des étiquettes. Pour obtenir de telles informations sans qu'un pompier n'ait à se trouver dans la zone, nous sommes actuellement en train d'étudier la possibilité d'implémenter un protocole de routage au niveau des étiquettes. Ces informations seront alors acheminées vers le PC sécurité et les autres pompiers en intervention. De part sa consommation énergétique réduite et son habilité à effectuer un acheminement multi sauts, le protocole normalisé IEEE 802.15.4 (ZigBee) est un candidat de choix pour un couplage avec des RFIDs actives. Ce couplage permettrait non seulement d'identifier et de localiser les œuvres d'art et les pompiers (comme défini dans la section qui suit) mais aussi de faciliter le processus de maintenance avec une collecte centralisée des informations portant sur l'état des batteries et une simplification du processus. Une fois cette phase de développement terminée, les étiquettes RFIDs peuvent être utilisées pour localiser les équipes d'intervention. Nous présentons dans la section suivante le développement de cette technologie.

4. Localisation des équipes d'intervention et œuvres d'art

La localisation d'une équipe d'intervention consiste à trianguler sa position en se basant sur le signal émis par les étiquettes de référence environnantes installées dans le musée. Le système de localisation que nous proposons se base sur les étiquettes RFID actives qui ont été déployées dans le bâtiment afin de servir de point de référence. Pour positionner une équipe dans une zone géographique, il est nécessaire de calculer sa distance par rapport aux points de références présents, et ensuite d'en déduire la position par une méthode dite de multi-latération. Nous évaluons la distance séparant une étiquette du lecteur RFID en mesurant la puissance du signal reçu par le lecteur. Cette mesure de la puissance est implémentée (de manière matérielle) dans les étiquettes actives. Elle est rendue accessible au niveau de l'indicateur RSSI (*Received Signal Strength Indicator*). En pratique, l'indicateur RSSI correspond au niveau de puissance reçue P_r, exprimé en dBm (équation 1). Cette métrique (dBm) correspond au ratio en décibels (dB) de la puissance mesurée en milliwatt (mW) ; le choix de cette métrique s'explique par sa faculté à exprimer dans un format de petite taille une puissance absolue pouvant aller d'une très faible à une très grande valeur.

$$P_r\ (dBm) = 10\ log_{10}\ P_r\ mesurée\ (mW) \qquad [1]$$

Cette puissance reçue qui est mesurée par l'indicateur RSSI, correspond à la puissance émise (P_e) affaiblie par le transfert du signal dans le milieu ambiant. En notant P_a cette perte de puissance, on obtient donc,

$$P_r\ (dBm) = P_e\ (dBm) - P_a\ (dBm) \qquad [2]$$

L'affaiblissement P_a de la puissance du signal dépend de la distance *d* parcourue par le signal et varie selon les caractéristiques du milieu dans lequel l'onde radio est propagée. Ce facteur ambiant fluctue suivant l'environnement car il est dépendant de la structure du bâtiment et des diélectriques des matériaux traversés. Il est représenté au niveau du coefficient de propagation du signal noté *n*. A partir de la valeur, notée *X*, d'une mesure du signal reçu à un mètre dans des conditions idéales (notamment sans obstacles entre le lecteur et une étiquette de référence et dans des conditions normales), l'affaiblissement du signal est donnée par :

$$P_a\ (dBm) = 10\ n\ log_{10}\ d + X \qquad [3]$$

Sachant que l'indicateur RSSI donnée par *Pr* est décroissant quand la distance augmente, selon une courbe logarithmique (équation [1]) , on en déduit donc à partir des équations [2] et [3] que la puissance reçue est donnée par :

$$P_r\ (dBm) = P_e\ (dBm) - P_a\ (dBm) = 10\ log_{10}\ P_e - 10\ n\ log_{10}\ d + X \qquad [4]$$

On utilise alors une table de conversion, pour transformer la valeur du RSSI qui varie de manière logarithmique suivant la distance *d* séparant un lecteur d'une étiquette. Toutefois, en pratique, des facteurs propres à l'environnement (présence d'obstacles, de surfaces réfléchissantes ou de bruits perturbant le signal radio) font varier la puissance *Pr* mesurée et fournie par l'indicateur RSSI du lecteur. Ces facteurs sont ainsi source d'erreurs lors de l'estimation de la distance séparant l'étiquette du lecteur. Afin de réduire l'impacte des obstacles sur la mesure, les étiquettes RFID sont placées à mi-hauteur. De plus, une phase d'apprentissage consistant à prélever des mesures de puissance dans l'ensemble du musée, permet d'identifier les sources de perturbation. Cette phase connue sous le nom de *fingerprinting* consiste à quadriller l'ensemble du musée et créer un *n-uplet* des puissances reçues (RSSI) pour chaque position. Ces données une fois recueillies sont mémorisées sur l'ensemble des *tablets PC* utilisés lors du sinistre de façon à disposer d'une table de conversion à partir de laquelle la position peut être estimée précisément, et cela, malgré les perturbations environnementales. Nous utilisons le *fingerprinting* seulement pour les zones fortement perturbées, où la mesure directe du RSSI n'est pas fiable. En pratique, afin d'obtenir ces valeurs de RSSI, le lecteur effectue une séquence de diffusion, à la suite de laquelle chaque étiquette présent dans son champ de couverture lui répond. A partir du signal reçu, une mesure du RSSI est effectuée par le lecteur. La valeur est ensuite renvoyée au *tablet PC* qui effectue les calculs nécessaires pour en déduire la distance séparant le lecteur de l'étiquette concernée. Si plusieurs étiquettes se trouvent à porté de transmission, il est alors possible d'utiliser une méthode de multi-latération pour estimer la position du lecteur et donc du pompier. Précisément, si *n* étiquettes, notées $T_1, T_2, \ldots, T_n$ (avec $n \geq 1$), sont captées par le lecteur, alors la distance *di* entre le lecteur et chacune de ces étiquette *Ti* ($1<i\leq n$) est déterminée par une demande de RSSI. Comme illustré dans la figure 4, nous obtenons ainsi *n* cercles de rayon $R_1, R_2, \ldots, R_n$ qui correspondent à la distance *di* et ayant comme centre l'étiquette T_i dont les coordonnées sont (*Xi*, *Yi*). Dans un plan orthonormé, on en déduit que la position du pompier *Xp* et *Yp* est donnée par l'équation linéaire ci-dessous.

$$(X_p - X_1)^2 + (Y_p - Y_1)^2 = R_1^2$$

$$(X_p - X_2)^2 + (Y_p - Y_2)^2 = R_2^2$$

$$\ldots$$

$$(X_p - X_n)^2 + (Y_p - Y_n)^2 = R_n^2 \quad [5]$$

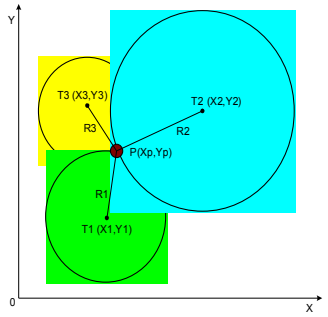


Figure 4. ***Principe de multi-latération.***

A partir de ces n équations, il est possible de déduire la position (*Xp, Yp*) du pompier. Si une seule étiquette *T1* est captée, le pompier se trouve alors sur le rayon *R1* d'un cercle centré autours de *T1*. Si deux étiquettes sont présentes, le pompier se

trouve alors dans la zone dont le rayon est le plus faible. Enfin, à partir de trois tags, la position du pompier est affichée par un point plus précis. Si plus de trois étiquettes sont présentes, alors, seules les trois mesures de puissance les plus fortes sont sélectionnées de façon à effectuer une multi-latération du signal. Ce choix s'explique par le fait que plus une étiquette est éloignée et plus la probabilité de voir le signal altéré s'accroît. Il est donc préférable de ne pas prendre en compte les mesures de puissance les plus faibles pour estimer la position du lecteur car ces dernières altèrent le résultat. Une fois la position d'une équipe intervenant calculée, cette information est partagée avec l'ensemble des intervenants de façon à ce que chacun puisse connaître la position des équipes.

Il nous restera ensuite à partager ces informations de localisation entre l'ensemble des intervenants de façon à ce que chacun puisse connaître et visualiser la position des équipes d'intervention et suivre en direct la progression de ces équipes. Le partage et la mise à jour continuelle des informations de localisation devront être gérés par un système de partage d'information à partir duquel chaque intervenant pourra suivre en direct la progression de ces équipes. Ce système devra répondre à une exigence clé, celle d'assurer la disponibilité des informations de localisation, à tout moment, et, n'importe où. Une localisation dans lequel serait collectée et centralisée l'ensemble des informations sur un PC sécurité unique n'est pas viable, principalement pour deux raisons. Premièrement, le manque de connectivité peut mener à une isolation temporaire du PC sécurité et donc à une indisponibilité du système de localisation. Deuxièmement, l'ensemble des intervenants est amené à utiliser les informations de positionnement ; donc, collecter ces informations au niveau du PC sécurité, puis, de les réexpédiées à l'ensemble des équipes causerait un trafic supplémentaire et un délai d'attente accru. Nous proposons en conséquence une approche entièrement distribuée dans laquelle les informations de localisation sont diffusées directement à l'ensemble des intervenants. Pour cela, nous nous baserons sur le model de mémoire partagé introduit par Gelernter (Gelernter, 1985) afin d'offrir un accès simultané et concurrent aux informations de localisation à tous les intervenants. En tant que langage de coordination, Linda nous permettra aussi de coordonner les échanges entre les équipes de manière asynchrone. Notre choix se porte sur la plateforme LIME – pour *Linda In a Mobile Environment*[4] , (Murphy et al., 2006) qui nous offre les éléments de base nécessaires pour s'adapter à la mobilité des intervenants et à une communication sans fil.

5. Surveillance des équipements

Dans notre contexte d'application (celui d'un sinistre), la surveillance des équipements joue un rôle crucial pour deux raisons :

1. Il est vital de garantir (et donc de surveiller) que les équipements sont fonctionnels lors du sinistre.

[4] http://lime.sourceforge.net/index.html

2. Quand on considère le cycle de vie d'un équipement RFID, contrairement à ce que l'on pourrait penser, on s'aperçoit que la majorité de son temps est dévolue à des opérations de surveillance liées à la maintenance et non pas aux tâches d'identification ou de localisation pour lesquelles ces équipements ont été conçus. Cela provient du fait que les RFID ne sont utilisés que lors de sinistres ou d'essais.

On ne peut donc pas utiliser seulement une approche de *surveillance passive* dans laquelle on tire profit du trafic échangé par l'application pour en déduire l'état d'un équipement à superviser. Cette technique a l'avantage d'observer le réseau sans le perturber. Toutefois, elle ne permet pas de diagnostiquer précisément l'état de l'équipement (mais seulement de déduire que ce dernier est capable d'assurer la fonction applicative en cours). L'approche que nous proposons consiste à effectuer une surveillance active des équipements. Cette surveillance consiste à récolter les indicateurs de l'état des équipements de façon à permettre l'analyse des dysfonctionnements. Cette approche génère un trafic supplémentaire lié à la collecte des indicateurs. Pour remédier à cet état de fait, nous proposons de coupler cette approche avec le système de surveillance passive avec lequel les informations de surveillance sont collectées. Ainsi, nous recueillons des informations pertinentes en perturbant le moins possible le trafic. Les applications telles que TinyLime[5] (Curino et al., 2005) correspondant à une implémentation de Lime pour des systèmes embarqués de très faible capacité, ou TinyDB (Madden et al.,2005) permettent de collecter efficacement les données sur les dispositifs du réseau et de les acheminer à un poste de surveillance.

L'exigence clé pour notre système de surveillance est de garantir l'interopérabilité avec les systèmes de surveillance existants. Cela permet tout d'abord une prise en main facile par les équipes de gestion de réseau spécialisées. De plus, cela permet de pouvoir exploiter les outils de supervision et notamment de visualisation existants. En matière de gestion et de surveillance de dispositifs sans fil, le protocole SNMP *(Simple Network Management Protocol)* (Case et al., 1990) en tant que standard universel de supervision, apparaît comme le choix idéal pour notre application. Brièvement, le protocole SNMP définie deux entités :

- un *agent* installé sur un dispositif sans fil à surveiller,
- un *gestionnaire*, plateforme d'administration vers laquelle les informations de supervision sont rapatriées.

[5] http://lime.sourceforge.net/tinyLime/index.html

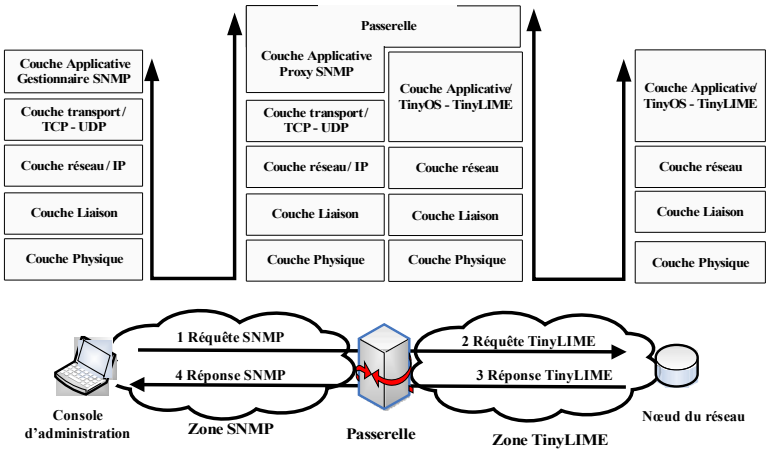


Figure 5. *Pile protocolaire de communication inter réseau*

Le protocole *SNMP* implémente une communication asynchrone de type requête/réponse entre ces entités. Précisément, un gestionnaire envoie une requête à l'agent qui lui répond en fournissant l'information demandée. Ce protocole présuppose une architecture de type *IP*, ce qui le rend inopérant dans notre réseau qui inclut des étiquettes et lecteurs RFIDs. Nous proposons donc de faire évoluer ce protocole pour répondre aux différentes exigences des dispositifs sans fils ubiquitaires. En pratique, nous nous appuyons sur la plateforme TinyLime pour la collecte d'informations provenant des étiquettes RFID actives. Ces informations sont ensuite traduites par une passerelle *SNMP* qui les achemine vers le destinataire final, à savoir le poste de surveillance géré par PC de sécurité du musée. Ainsi, ces informations peuvent être visualisées au travers d'un outil de visualisation adapté de *Nagios*[6] par exemple. Notre architecture de surveillance (figure 6) s'organise donc autours d'une passerelle SNMP faisant le pont entre le système de surveillance et le réseau à surveiller. Plus précisément, le *proxy* SNMP fournit une information contenue dans une base appelée MIB *(Management Information Base)* (McCloghrie et al., 1990), et TinyLime quant à lui, alimente sa base de données dans un *tuple*. Notons que TinyLime permet d'alerter la console d'administration par un événement (primitive *reaction*), puis elle stocke l'information de cet évènement dans sa base de données. L'ensemble de ces informations collectées au niveau de la passerelle pourra être ensuite utilisé pour effectuer des analyses et diagnostics plus poussés ou encore pour être visualisé à l'aide de navigateurs adaptés.

[6] http://www.nagios.org/

6. Conclusion

Plus nous nous rapprochons de l'Internet des choses et plus nous verrons apparaître des dispositifs sans fil intégrés dans le monde physique, échangeant des informations, offrant des fonctionnalités nouvelles et mettant à disposition des données contextuelles. Toutefois, avant que cette vision ne devienne réalité, un long chemin reste à parcourir avec le développement de nouvelles technologies matérielles, logicielles, réseau. Or, malgré des avancées récentes en matière de RFID, un nombre important de problématiques reste toujours ouvert. Par exemple :

- De quelle façon garantir la cohérence des informations lorsque ces dernières se trouvent réparties dans un environnement fortement distribué, en constante évolution, sujet à des déconnexions ?
- Comment effectuer une surveillance distribuée de dispositifs sans fil de capacité limitée (RFIDs, capteurs) ? Quelle modélisation des équipements appliquer ? Sur quel standard se baser pour assurer la surveillance du réseau de façon à garantir une interopérabilité avec les standards existants ?

Cet article s'est concentré sur ces questions en présentant les prémisses d'une solution de sauvegarde des œuvres d'art intégrant un système de surveillance. Les directions de recherche que nous explorons se basent sur le standard SNMP à partir duquel des dysfonctionnements peuvent être diagnostiqués. A cela s'ajoute une étude suivie de la proposition d'une technique de multi-latération qui localise la position des pompiers. Cette technique nécessitera notamment de localiser des tests

Au cœur de notre solution se trouvent des RFIDs actives développées et exploitables. Actuellement, leur portée de communication limitée ne permet de collecter les informations qu'elles fournissent que si un pompier se trouve à portée de communication. Pour obtenir ces informations sans qu'une personne n'ait à se trouver dans la zone, nous étudions la possibilité d'implémenter un protocole de routage au niveau des étiquettes. Ces informations seront alors acheminées vers le PC sécurité et les autres pompiers en intervention. Ce couplage permettrait (i) d'identifier, (ii) de localiser les œuvres d'art et les pompiers, et enfin (iii) de faciliter le processus de surveillance avec une collecte à distance des informations de surveillance.

7. Bibliographie

Case J., Fedor M., Schoffstall M., Schoffstall M., Davin J., « *Simple Network Management Protocol (SNMP)* », RFC 1157, SNMP Research, Performance Systems International, Performance Systems International, MIT Laboratory for Computer Science, May 1990.

Curino C., Giani M., Giorgetta M., Giusti A., Murphy A-L. and Picco G-P. « *TinyLIME: Bridging Mobile and Sensor Networks through Middleware* ».In Proceedings of the 3rd

IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005), Kauai Island (Hawaii), March 8-12, 2005, pp. 61-72, IEEE Computer Society Press.

Gay D., Hill J., Welsh M., Brewer E., Culler D., *« TinyOS: An Operating System for Sensor Networks»*. Ambient Intelligence, Springer, 2005.

Gelernter D., *« Generative communication in Linda »* ACM Computing Surveys vol. 7, n° 1, 1985, p80–112.

Madden S., Michael J. Franklin, Joseph, M. Hellerstein and Wei Hong. *« TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks. »*, ACM transactions on database systems (TODS), vol. 30, n° 1, 2005, p122-173.

Maillard S., *« Compte-rendu de la 4ème journée d'étude du Comité Français des Boucliers Bleus »*, http://www.bouclier-bleu.fr, 2008.

McCloghrie K., Rose M., *« Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets »*, RFC 1156, Hughes LAN Systems, Performance Systems International, May 1990.

Murphy A. L., Picco G.P., Roman G.-C., *« Lime: A Coordination Middleware Supporting Mobility of Hosts and Agents »*. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), vol. 15, n° 3, 2006, pp. 279-328.

Rose M., McCloghrie K., *« Concise MIB definitions »*, RFC 1212, Performance Systems International, Hughes LAN Systems, March 1991.

Rose M., McCloghrie K., *« Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based Internets »*, RFC 1155, Performance Systems International and Hughes LAN Systems, May 1990.

Yao Y., Gehrke J. E., « *The Cougar Approach to In-Network Query Processing in Sensor Networks»*. Sigmod Record, vol. 31, n° 3, 2002.