

# Projet D'ingénierie : Etude de faisabilité

## **Hexanome 4111 :**

Quentin CALVEZ, Matthieu COQUET,  
Jan KEROMNES, Alexandre LEFOULON,  
Thaddée TYL, Xavier SAUVAGNAT,  
Tuuli TYRVÄINEN

Janvier 2012

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Rappel du problème</b>	<b>2</b>
2.1	Le contexte . . . . .	2
2.2	Les objectifs . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Les contraintes générales</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Analyse de l'existant</b>	<b>3</b>
4.1	Solution existante interne à COPEVUE . . . . .	3
4.2	Solution existante concurrente . . . . .	3
4.2.1	One Touch Automation . . . . .	3
4.2.2	MeerCam . . . . .	3
4.2.3	ELOcom . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Etude de faisabilité</b>	<b>3</b>
5.1	Problèmes spécifiques au climat et solutions . . . . .	4
5.1.1	Problèmes rencontrés à cause du froid . . . . .	4
5.1.2	Solutions envisagables . . . . .	4
5.2	Système embarqué . . . . .	4
5.2.1	Matériel . . . . .	4
5.2.2	Système d'exploitation . . . . .	5
5.3	Production d'énergie . . . . .	5
5.3.1	Batteries longue durée . . . . .	5
5.3.2	Énergie solaire . . . . .	5
5.3.3	Énergie éolienne . . . . .	5
5.3.4	Pile à combustible . . . . .	6
5.4	Communication . . . . .	6
5.4.1	Communication entre la station et le site central . . . . .	6
5.4.2	Communication entre les capteurs et la station . . . . .	6
5.4.3	Communication entre les équipes d'entretien et les stations . . . . .	7
5.5	Localisation . . . . .	7
5.6	Capteurs de niveau . . . . .	7
5.6.1	Capteurs de niveau pour liquides . . . . .	7

5.6.2	Capteurs de niveau pour solides . . . . .	8
5.6.3	Capteurs hybrides (liquides & solides) . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>8</b>

# 1 Introduction

Ce dossier présente les différentes technologies et solutions techniques qui sont susceptibles d'être utilisées dans notre solution. Nous expliquerons les problèmes généraux que l'on peut rencontrer en condition de site isolé, puis nous dresserons un état des solutions envisageables tout en gardant à l'esprit les problématiques spécifiques qui nous concernent.

## 2 Rappel du problème

Le COPEVUE a lancé un appel d'offre dans le cadre de la réalisation d'un système de monitoring de sites isolés. Il s'agit donc de concevoir en premier lieu une solution technique permettant de répondre au mieux aux exigences fonctionnelles et non fonctionnelles que le COPEVUE formule. De façon synthétique notre équipe va proposer une solution permettant de surveiller des sites naturels difficiles d'accès (souvent à cause des conditions environnementales) et peu peuplés. Dans ces sites isolés sont souvent regroupés des postes de travail et ces zones doivent pouvoir être surveillées en dépit de la distance qui les sépare du bureau de contrôle.

### 2.1 Le contexte

Notre cas d'étude se limite pour l'instant à considérer une situation simple : comment pouvoir maintenir de manière rentable des réserves de tel ou tel composé à un niveau correct bien que le site de stockage soit situé dans des zones difficiles d'accès ? L'idéal serait donc de pouvoir suivre à distance l'évolution d'un niveau d'un composé en fonction du temps. Le ravitaillement serait ainsi plus raisonnable car on saurait alors la quantité de composant à acheminer sur place. Trouver une solution fonctionnelle à cette problématique permettrait ainsi d'économiser en frais de maintenance mais aussi et surtout d'éviter certaines catastrophes écologiques comme par exemple un manque d'eau dans un réservoir lors d'un feu de forêt ou encore une fuite de carburant d'un réservoir de forêt.

### 2.2 Les objectifs

Il s'agit donc d'étudier et de concevoir un système autonome qui pourra être adapté à de nombreux sites autour du monde (autant dans les zones chaudes que dans les zones froides) de mesure et de monitoring à distance de zones de travail isolées. Il devra être également possible d'effectuer des actions de pilotage, de configuration et de maintenance des zones. Il est intéressant de rester assez général dans les différentes actions qu'il sera possible de mener à distance afin d'avoir une solution évolutive qui saura s'adapter à d'autres cas de figure. Voici quelques éléments permettant d'esquisser un système qui pourrait convenir :

- Choisir une batterie de capteurs adaptés aux différents sites à couvrir.
- Concevoir l'architecture d'un système collectant les données.
- Stocker les données récupérées dans toutes les zones sur un serveur distant.
- Traiter ces données pour les restituer à un utilisateur.
- Permettre d'agir sur le système par des fonctions simples (ordre de ravitaillement, de nettoyage ...)
- Pouvoir faire évoluer le système vers des surveillances de zones plus complexes.

## 3 Les contraintes générales

Dans ce projet, il sera important de bien calculer les surcoûts éventuels liés au développement du système. Nous veillerons à garder notre solution compétitive vis à vis des autres solutions disponibles sur le marché. Il faudra de même prendre en compte le coût de maintenance et d'exploitation d'un tel système.

## 4 Analyse de l'existant

### 4.1 Solution existante interne à COPEVUE

Il n'existe actuellement aucun système de monitoring de sites isolés au sein du COPEVUE. A ce jour, les sites isolés ne sont pas automatisés et sont surveillés manuellement. Il n'existe aucune communication entre les sites et une quelconque centrale, ce qui nécessite des interventions régulières de relèvement et maintenance des installations, entraînant par là-même un coup important.

### 4.2 Solution existante concurrente

Il n'existe actuellement aucune entreprise proposant de solution clé-en-main permettant de répondre à l'ensemble des exigences de notre cahier des charges. Cependant, certaines solutions concurrentes peuvent se rapprocher de ce que l'on cherche à atteindre, voici une liste succincte des plus convaincantes que nous avons trouvées :

#### 4.2.1 One Touch Automation

C'est l'entreprise proposant une solution qui se rapproche le plus de notre futur système. Elle propose un système de monitoring abouti et réputé à très basse consommation. Ils surveillent des sites isolés grâce à des caméras de surveillance CCTV alimentées par un système hybride solaire/éolien. Le système est disponible en version portable, ou fixe.

#### 4.2.2 MeerCam

Système de surveillance automatisée de bâtiments grâce à des caméras basse-consommation. Ces caméras sont équipées de trois batteries qui assurent une durée de vie de quatre ans en fonctionnement, ce qui permet de limiter les opérations de remplacement.

#### 4.2.3 ELOcom

Les boîtiers ELOcom équipent un réseau de camions. Ils permettent la localisation de ceux-ci et la télécommunication avec un serveur central (liaison CANbus entre l'antenne GSM et le GPS).

## 5 Etude de faisabilité

Les conditions climatiques extrêmes sont à prendre en compte dans cette étude. Bien que nous nous intéressions principalement aux pays nordiques, nous serons attentifs à l'évolutivité du système pour qu'il puisse être installé dans d'autres types de climats, comme ceux des pays méditerranéens. Dans les pays nordiques, on rencontre des problèmes de froid intense en hiver (avec pour conséquence des chutes de neige et la formation de glace), et de pollen au printemps. Au delà du cercle polaire, le soleil est totalement absent durant l'hiver. En dessous, les durées d'ensoleillement sont très courtes (moins de 2h par jour). Sur le pourtour méditerranéen, les durées d'ensoleillement sont de l'ordre de 7h par jour. Les températures oscillent entre -55 et 40°C, et dans le cas des pays méditerranéens, de -5 à 50°C. Le vent est également un paramètre très important, dans les pays du nord, les vents sont plutôt violents, avec un recrudescence du nombre de tempêtes.

Voici quelques contraintes liées au climat :

## 5.1 Problèmes spécifiques au climat et solutions

### 5.1.1 Problèmes rencontrés à cause du froid

**Condensation & Gel** Par grands froids, les écrans peuvent devenir illisibles et les capteurs inutilisables. Dans notre cas, seul les capteurs posent réellement problème, les écrans n'étant utilisés que lors de la maintenance. On veillera donc aux plages de températures d'utilisation des capteurs. Comme l'appareil est hermétiquement fermé, il est difficile de procéder à un nettoyage rapide. L'appareil peut devenir hors-service à cause de composant corrodé, de court-circuits. On doit réparer ou remplacer l'appareil.

**Air froid** La plupart des batteries ne sont pas capables d'émettre autant d'énergie lorsque la température a décliné en dessous d'un certain seuil. La puissance de la batterie diminuent également avec le froid. De plus, certaines ondes hertziennes traversent différemment l'air froid que l'air chaud<sup>1</sup>.

Nous allons insister dans cette partie sur l'adaptabilité de nos solutions à ces différentes conditions.

**Utilisation** La station doit pouvoir être utilisée avec des gants, il faudra donc apporter une attention particulière à son ergonomie.

### 5.1.2 Solutions envisagables

**Radiateurs** L'usage de radiateurs peut prévenir la condensation et le gel. Cependant, ceux-ci consomment énormément et ne peuvent donc pas être envisagés ici.

**Encapsulation** A l'aide de joints, et d'une bonne qualité de fabrication, on peut grandement limiter la condensation, ainsi que l'humidité et la saleté.

**Revêtement** L'utilisation de revêtements protecteurs sur les composants électroniques peut prévenir la condensation et diminuer ainsi les risques de court-circuits. Cela peut permettre de facilement augmenter la durée de vie du système.

**Connecteurs** Les connecteurs (e.g. connexion de la base à sa source d'énergie) doivent avoir des contacts solides qui empêche l'humidité dans les prises.

## 5.2 Système embarqué

### 5.2.1 Matériel

Des fabricants tels qu'Armadeus<sup>2</sup> proposent des cartes de systèmes embarqués bien adaptées à notre problématique. Equipées de processeurs x86 (Intel) ou Arm (on préférera le second pour des raisons de consommation d'économie d'énergie), elles permettent l'exécution de systèmes d'exploitation modernes. Elles présentent par ailleurs l'avantage d'être compactes, abordables<sup>3</sup> (prix généralement inférieur à 300€), et proposent toutes les interfaces dont nous pourrions avoir besoin pour les interfacer avec les périphériques utilisés (i.e. USB, série, ethernet, etc.).

---

1. Source : Document de LXE sur l'informatique mobile et les basses températures - <http://j.mp/cold-storage-computers>

3. Site internet Armadeus - <http://j.mp/armadeus>

3. Exemple de carte Technologic Systems - <http://j.mp/technologic-systems>

### 5.2.2 Système d'exploitation

Nous avons constaté dans les différents systèmes embarqués de solutions similaires une utilisation indifférenciée de Linux, Solaris et Windows <sup>4</sup>. Le monitoring s'effectuant en deux étapes distinctes (la collecte de données auprès des capteurs, puis leur transmission périodique à la centrale), un système temps réel ne nous semble pas présenter d'avantages significatifs dans ce cadre d'utilisation. L'usage de Linux semble particulièrement probant, du fait de sa simplicité mais aussi de son utilisation abondante dans le domaine de l'embarqué.

Nous avons eu l'occasion de discuter avec un chef de projet de Orange Business Service, section Fleet Performance, qui nous a assuré que les boîtiers d'acquisition de données installés sur leurs véhicules tournaient sous Linux. Cet entretien appuie un peu plus notre volonté d'utiliser Linux en tant que système d'exploitation.

## 5.3 Production d'énergie

La continuité de fonctionnement de capteurs autonomes sur des sites isolés est évidemment soumise à la condition de pouvoir les alimenter électriquement, et ce en permanence. Nous avons ici regroupé les différentes solutions envisageables qui s'offrent à nous pour assurer ce rôle dans le cadre de notre problématique :

### 5.3.1 Batteries longue durée

Les récentes avancées en matière de technologies de batterie permettent, sur des systèmes à très basses consommations comme les capteurs qui nous intéressent ici, d'obtenir de très grandes durées de fonctionnement en autonomie, pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines d'années <sup>5</sup>.

Cette solution est très dépendante du type de capteur choisi (la consommation de ceux-ci pouvant grandement varier selon leur procédé de fonctionnement), mais permet dans certains cas d'assurer un fonctionnement autonome sans aucun entretien sur de très longues périodes.

### 5.3.2 Énergie solaire

Bien que théoriquement très adaptée à notre problème (de par sa capacité à fonctionner sur une gamme de températures très larges), les principaux inconvénients de l'utilisation de l'énergie solaire vont être : Une nécessité d'entretien régulier dans certaines conditions climatiques (e.g. neige ou pollen empêchant les rayons lumineux d'atteindre les panneaux, par extension le sable dans les pays méditerranéens). La contrainte du stockage de l'énergie puisque sa production n'est pas continue requiert l'utilisation d'accumulateurs pour permettre aux appareils de fonctionner en permanence (la nuit par exemple). Selon le type de batteries utilisées, cela peut poser des problèmes d'entretien (réhydratation des batteries) et de durée de vie (certaines batteries ne supportant qu'un certain nombre de cycles).

Un problème supplémentaire se pose dans le cas de notre site isolé type, puisque se situant dans un pays du cercle polaire, l'éclairement est faible sur l'année, avec une nuit pouvant durer près de 6 mois. De plus, le jour, du fait de la proximité avec le cercle polaire, les rayons lumineux arrivent avec un angle d'incidence très faible, il faut que les panneaux solaires soient sur un dispositif permettant de régler la perpendicularité avec les rayons.

Une solution envisagée serait d'utiliser l'énergie solaire en combinaison avec une pile à combustible afin de stocker l'énergie produite sur de longue période. En combinaison avec une source d'eau, les panneaux solaires serviraient à produire de l'hydrogène qui pourrait alors être stocké indéfiniment avant de servir à alimenter les différents appareils (cf. le paragraphe "pile à combustible").

### 5.3.3 Énergie éolienne

Très similaire à la solution précédente de par ses contraintes (principalement la nécessité d'accumulateurs), cette solution pourrait être utilisée sur les sites présentant des irrégularités d'éclairement trop importantes et

---

4. Entreprises étudiées : ENI, Asentria et GuardMagic.

5. Site internet PowerCast - <http://j.mp/powercast>

une activité venteuse suffisante. De plus, les éoliennes demandent moins d'entretien que les panneaux solaires, et peuvent aussi fonctionner en conditions extrêmes (ce sont les basses températures qui nous intéressent principalement ici).

#### 5.3.4 Pile à combustible

Une autre solution qu'il nous serait possible d'utiliser est la production d'électricité à partir d'un combustible, et plus précisément à partir d'hydrogène. Cette méthode présente l'avantage de fournir une puissance constante, de pouvoir fonctionner dans des conditions extrêmes et de demander très peu d'entretien. Il suffit de prévoir une quantité suffisante de combustible au départ pour que le système puisse fonctionner sur une période donnée, puis de venir réapprovisionner le site une fois celui-ci consommé. Il est intéressant de noter que comme nous sommes en présence d'appareils électriques à très basse consommation, il serait possible de laisser des sites en autonomie totale pendant plusieurs années (en effet, contrairement aux batteries, les réserves d'hydrogènes ne se vident pas avec le temps si elles ne sont pas consommées).

Il est aussi envisageable d'utiliser cette technique en combinaison avec une autre source d'énergie qui elle servirait à produire le combustible (à partir d'eau dans le cas de l'hydrogène). Cela permettrait aux sites de rester autonomes encore plus longtemps. Il est dans ce cas important d'en évaluer le coût pour voir s'il est intéressant de mettre en place une solution de ce type plutôt que de simplement venir assurer l'entretien du site plus souvent.

Nous avons brièvement étudié la possibilité d'utiliser de l'énergie hydraulique, mais la faisabilité d'un tel système dépendant tellement des spécificités du site, nous avons préférés ne pas nous attarder sur cette solution, pas assez générique à notre goût.

### 5.4 Communication

#### 5.4.1 Communication entre la station et le site central

Un aspect critique de notre système est sa capacité à communiquer les données relevées au centre de pilotage. Là encore plusieurs solutions s'offrent à nous :

**Réseau GSM/CDMA** Si le site concerné dispose d'une couverture de réseau téléphonique terrestre (antennes réseau à moins d'1km en moyenne), cette solution nous permet d'envoyer et de recevoir des données pour un prix très abordables et à des débits élevés (supérieurs à 128kbps).

**Réseau satellite** Dans le cas où la première solution n'est pas envisageable, il nous reste la possibilité de transmettre nos données par satellite sur un des deux réseaux internationaux que sont Iridium et GlobalStar. C'est évidemment à envisager en dernier recours car le coût des équipements et des communications sont beaucoup plus élevés. Bien que moins performants (débit réduit, latence élevés), ces réseaux seraient suffisants pour l'usage que nous voulons en faire.

Bien que d'autres technologies de communication longue portée existent (e.g le Wimax), leur faible niveau de déploiement à l'heure actuel nous ont fait préférer des solutions peut-être moins performantes, mais universellement présentes.

#### 5.4.2 Communication entre les capteurs et la station

**Solution filaire** Une solution filaire serait pratique si les capteurs ne sont pas éloignés de la station (moins de 10 mètres). Elle reste simple si peu de capteurs sont connectés. Au delà de cinq capteurs, une solution sans fil sera plus pratique.



**ZigBee** Dans la plupart des cas, une technologie sans fil sera préféré au solution filaire. Nous avons sélectionné la technologie ZigBee, qui a l'avantage d'avoir une consommation très faible. Couplé à une batterie, l'autonomie est de minimum un an. La portée de ce système est de 100 metres, mais peut être augmenter jusqu'à 4km grâce à un amplificateur si nous sommes près à consommer plus. Le prix d'une puce ZigBee est très faible : environ 2 US \$. Les modules ZigBee seront ainsi peu cher. Il est possible de connecter plus de 65 000 appareil sur un même réseau.

Consommation du ZigBee :

	Modem simple	Modem + amplificateur
Mode somnolence	40 $\mu$ A	50 $\mu$ A
Mode émission	32 mA	92 mA
Mode réception	37 mA	50 mA

**Capteur avec communication intégrée** Dans le cas où les capteurs utilisés sont équipé en natif d'une technologie de communication sans-fil (radio fréquence ou autre), nous utiliserons cette technologie en priorité. Dans les autres cas, nous ajouterons un module ZigBee au capteur. Notre station devra s'adapter à ces capteurs pour recevoir les informations utiles.

#### 5.4.3 Communication entre les équipes d'entretien et les stations

Pour garantir la fiabilité de cette communication quelque soit la situation, nous jugeons plus prudent de faire appel à une connexion cablée USB, permettant ainsi à un technicien d'avoir accès à l'ensemble des informations de la station, mais aussi de pouvoir la configurer (configuration initiale, ou simple maintenance) à partir de n'importe quel ordinateur.

Cette solution a par ailleurs l'avantage de ne présenter aucun surcoût, un port USB faisant partie des composants les plus courants présents sur les cartes de systèmes embarqués.

### 5.5 Localisation

La localisation des sites par puce GPS ne sera nécessaire que dans le cas où la station risquerait de ce déplacer (e.g. banquise). Dans la plupart des cas, les coordonnées GPS notées lors de l'installation du système seront utilisées pour guider les opérations de maintenance.

Les camions de maintenance n'ont pas de besoin particulier d'être connectés en permanence au serveur central.

### 5.6 Capteurs de niveau

Suivant qu'il s'agisse du niveau de remplissage d'un réservoir contenant un liquide (eau, hydrocarbure, etc.) ou d'un container contenant des déchets solides, un grand nombre de technologies différentes de capteurs existent, certaines étant soumises à des contraintes de fonctionnement pour pouvoir opérer correctement. Les capteurs présentés ne représentent pas toutes les technologies existantes mais les principales. Certaines ont des domaines d'applications très différentes de la notre.

#### 5.6.1 Capteurs de niveau pour liquides

**Le flotteur** Il se maintient à la surface du liquide, il est attaché à un interrupteur qui sera en position fermé ou ouverte suivant la hauteur de liquide, le fonctionnement mécanique en fait une méthode de mesure robuste et simple. Mais cela ne permet que de savoir si le niveau est inférieur ou supérieur à un seuil donné par la position physique de l'interrupteur dans la cuve. Il faut multiplier les flotteurs pour avoir une approximation

plus précise. Cette technologie peut convenir, dans la mesure où une connaissance exacte du niveau n'est pas cruciale et c'est une solution très abordable, avec des prix commençant à 25€<sup>6</sup>.

**Le plongeur** Les mouvements du niveau de liquide modifient la force de flottabilité (poussée d'Archimède) qui s'exerce sur un plongeur suspendu à un ressort de mesure. Le ressort se détend ou se contracte sous l'action de la force qu'exerce le liquide et entraîne ainsi le manchon magnétique dans ou hors du champ d'attraction de l'aimant permettant d'actionner le détecteur. Cette technologie s'apparente à celle du flotteur, avec uniquement une mesure par seuil. Il est possible d'avoir différents seuils en ayant plus qu'un plongeur sur la tige.

**Le capteur de pression** La mesure de niveau est réalisée par mesure de pression différentielle entre la surface du liquide et la position du transmetteur immergé. La pression est convertie en signal électrique par technologie piézo résistive. Cela permet d'avoir la hauteur de liquide à tout instant, malheureusement, les modèles trouvés ne conviennent pas à notre domaine d'application, les capteurs ne supportant que des températures de 2°C à 50°C.

**Sonde capacitive** La capacité électrique d'un liquide change avec son volume, la sonde donne un signal de sortie proportionnel au niveau mesuré, mais si la cuve est profonde, il faut une sonde de la bonne longueur sinon la mesure ne sera pas continu.

### 5.6.2 Capteurs de niveau pour solides

**Détecteur à lames vibrantes** Lorsque le solide est en contact avec les pales, la fréquence de vibration est modifiée permettant de savoir ainsi le niveau des solides, mais cette solution ne convient que pour des solides de faible granulométrie, ce qui peut s'avérer problématique pour des déchets, du fait de leur hétérogénéité. On ne retiendra pas cette solution.

### 5.6.3 Capteurs hybrides (liquides & solides)

- Détecteur à rayons infrarouges
- Détecteur à ultrasons
- Détecteur à micro-onde

Ces trois technologies utilisent le même principe qui permet de mesurer le niveau en mesurant la distance par rapport au capteur grâce à la durée mise par l'onde réfléchi pour revenir au capteur. Ces méthodes de mesure sans contact conviennent pour notre problème. Au vu de la différence d'ordre de grandeur des prix entre les capteurs de niveau utilisant un flotteur ou un plongeur et les capteurs utilisant des rayonnements, de l'ordre de 5 à 10<sup>7</sup>, il peut être pertinent d'envisager de bien faire la différence entre les réservoirs de liquides et les containers de solides. Il faut également prendre en considération si une connaissance exacte du niveau à tout instant est nécessaire ou pas. Car la mise en oeuvre de certaines technologies ne permet que de savoir si un seuil a été atteint ou non.

## 6 Conclusion

Ce dossier reprend les technologies envisageables pour notre système. Nous avons détaillé toutes les solutions et montrons les problèmes envisageables, en fonction des caractéristiques du lieu. Certaines technologies sont plus avantageuses que d'autres et nous nous concentrerons sur celles-ci.

---

6. Prix de base d'un détecteur de niveau à flotteur - <http://tiny.cc/flotteur>

7. Prix de base d'un détecteur radar - [http://tiny.cc/radar\\_prix](http://tiny.cc/radar_prix)