

Projet D'ingénierie : Etude de faisabilité

Hexanome 4111 :

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

Janvier 2012

Destinataire	Version	Etat	Dernière révision	Equipe
Client	1	Validé	17 février 2012	H4111

Table des matières

1	Introduction	3
2	Rappel du problème	3
2.1	Le contexte	3
2.2	Les objectifs	3
3	Les contraintes générales	3
4	Analyse de l'existant	4
4.1	Solution existante interne à COPEVUE	4
4.2	Solution existante concurrente	4
4.2.1	One Touch Automation	4
4.2.2	MeerCam	4
4.2.3	ELOcom	4
5	Etude de faisabilité	4
5.1	Problèmes spécifiques au climat et solutions	5
5.1.1	Problèmes rencontrés à cause du froid	5
5.1.2	Solutions envisageables	5
5.2	Système embarqué	5
5.2.1	Système d'exploitation	5
5.2.2	Matériel	6
5.3	Production d'énergie	6
5.3.1	Batteries longue durée	6
5.3.2	Énergie solaire	7
5.3.3	Énergie éolienne	7
5.3.4	Pile à combustible	7
5.4	Communication	8
5.4.1	Communication entre la station et le site central	8
5.4.2	Communication entre les capteurs et la station	8
5.4.3	Communication entre les équipes d'entretien et les stations	9
5.5	Localisation	9
5.6	Capteurs de niveau	9
5.6.1	Capteurs de niveau pour liquides	9

5.6.2	Capteurs de niveau pour solides	10
5.6.3	Capteurs hybrides (liquides & solides)	10
6	Conclusion	10
7	Annexes	10

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 sites isolés, 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 avec une population peu dense voir inexistante. 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 du 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 en forêt.

2.2 Les objectifs

Il s'agit 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 sites. 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 coût 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'évolution 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 du bassin méditerranéen, les durées d'ensoleillement sont de l'ordre de 7h par jour.

Les températures oscillent entre -55 et 20°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 une 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 grand froid, 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 tomber hors-service à cause de composant corrodé ou de court-circuits. Dans ce cas, on doit réparer ou remplacer l'appareil.

Air froid La plupart des batteries ne sont pas capables de fournir autant d'énergie lorsque la température est tombée en dessous d'un certain seuil. La puissance des batteries diminue également avec le froid.

De plus, certaines ondes hertziennes traversent différemment l'air froid que l'air chaud ¹.

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 envisageables

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 hermétiques, et d'une bonne qualité de fabrication, on peut grandement limiter la condensation, ainsi que l'humidité et l'accrétion de 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 empêchent l'humidité de s'infiltrer dans les prises.

5.2 Système embarqué

5.2.1 Système d'exploitation

Nous avons constaté dans les différents systèmes embarqués utilisés dans des situations similaires une utilisation indifférenciée de Linux, Solaris et Windows². 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.

Le système Linux aura une empreinte mémoire avoisinant cinq méga-octets sur la mémoire flash³. Nous demanderons donc 32 méga-octets de DSRAM, et 32 méga-octets de NAND flash, ce qui est parfaitement

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

2. Entreprises étudiées : ENI, Asentria et GuardMagic.

acceptable à un prix raisonnable, comme nous le verrons dans la partie "Matériel". Le système se lance depuis la flash, pour permettre une re-programmation.

L'API utilisée demeure entièrement POSIX⁴. Toutes les fonctions IPC, etc. définies dans le standard peuvent être utilisées⁵.

Dans la mesure où les données peuvent être stockées sur le système, il est recommandé d'utiliser un système de fichier UBIFS⁶, particulièrement adapté pour la mémoire flash, et qui optimise l'usage de l'espace mémoire.

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 les véhicules de leurs clients tournaient sous Linux. Cet entretien appuie un peu plus notre volonté d'utiliser Linux en tant que système d'exploitation.

5.2.2 Matériel

Des fabricants tels qu'Armadeus⁷ proposent des cartes de systèmes embarqués bien adaptées à notre problématique. Equipées de processeurs adaptés à la faible consommation énergétique requise, elles permettent l'exécution de systèmes d'exploitation modernes. Elles présentent par ailleurs l'avantage d'être compactes, abordables⁸ (prix généralement inférieur à 300€), et proposent toutes les interfaces dont nous pourrions avoir besoin pour les faire correspondre avec les périphériques utilisés (i.e. USB, série, ethernet, etc.).

Le processeur pourrait être un MIPS⁹, son architecture est plus stable et plus ancienne, mais il s'agit davantage d'un "one size fits all", de plus en plus orienté vers la haute performance nécessaire pour les tablettes graphiques¹⁰. ARM, en revanche, offre un processeur vraiment tourné vers une faible consommation énergétique, le Cortex M0¹¹ (78 μ W/MHz), avec des performances toujours acceptables pour nos besoins à 0.9 DMIPS/MHz en 32 bit. En outre, la technologie ARM est très reconnue, et l'implémentation de son mode de repos est bien intégré avec Linux (sans doute grâce à son utilisation extensive dans le domaine des smartphones). C'est ce processeur que nous choisirons.

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 consommation comme les capteurs qui nous intéressent ici, d'obtenir de très grandes durée de fonctionnement en autonomie, pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines d'année¹². C'est donc la solution que nous allons privilégier pour l'alimentation des capteurs qui ne seront pas situés proche de la station.

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

3. Article technique sur la taille d'un OS embarqué Linux [EN] - <http://j.mp/taille-linux>

5. Note de L. Torvald sur la compatibilité POSIX de Linux [EN] - <http://j.mp/linux-compatibilite-posix>

5. Ebook gratuit, spécification complète d'UNIX [EN] - <http://j.mp/specification-unix-ebook>

6. Informations sur système de fichier UBIFS [EN] - <http://j.mp/ubifs>

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

8. Exemple de carte Technologic Systems [EN] - <http://j.mp/technologic-systems>

11. Site officiel Linux MIPS [EN] - <http://j.mp/mips-linux>

11. Description de l'architecture MIPS32 [EN] - <http://j.mp/architecture-mips32>

11. Fiche produit du ARM Cortex-M0 [EN] - <http://j.mp/arm-cortex-m0>

12. Site internet PowerCast [EN] - <http://j.mp/powercast>

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 méditerranéen).
- La contrainte du stockage de l'énergie puisque sa production non 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 (ré-hydratation 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'ensoleillement est faible sur toute l'année, avec une nuit pouvant durer près de 6 mois près du cercle polaire. De plus, le jour, à cause de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à son axe de révolution, les rayons lumineux arrivent avec un angle d'incidence très faible, il faut donc que les panneaux solaires soient sur un dispositif permettant de régler leur caractère perpendiculaire grâce aux rayons.

Une solution envisagée serait d'utiliser l'énergie solaire en combinaison avec une pile à combustible afin de stocker l'énergie produite sur une 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'éclairage trop importantes et une activité venteuse suffisante et continu. 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).

Un autre avantage de cette technologie est qu'il est facile de supposer le niveau de carburant restant en utilisant une heuristique se basant sur l'activité énergétique des composants alimentés. Ceci permet, sans capteur, de savoir quand il est nécessaire de venir réapprovisionner une batterie.

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 que nous avons préférés ne pas nous attarder sur cette solution, par manque de généralité par rapport à nos besoins.

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 préférée à la 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 mètres, mais peut être augmentée jusqu'à 4km grâce à un amplificateur si nous sommes prêts à consommer plus. Le prix d'une puce ZigBee est très faible : environ 2 US \$. Les modules ZigBee seront ainsi peu chers.

Il est possible de connecter plus de 65 000 appareils sur un même réseau.

Consommation du ZigBee :

	Modem simple	Modem + amplificateur
Mode somnolence	40 μ A	50 μ 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 équipés 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 ci-dessous 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 Le flotteur 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 cette solution est très abordable, avec des prix commençant à 25€¹³.

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, ce qui ne correspond pas à notre milieu extrême.

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 continue. De plus, la tige de mesure étant en contact avec le liquide, il y a des risques de

13. Prix de base d'un capteur de niveau à flotteur - <http://j.mp/capteur-niveau-flotteur>

corrosion ou de dépôts et cette mesure est sensible aux variations électriques de l'environnement (orage) ainsi qu'à la température, qui peut varier de plus de 70°C dans notre site isolé type. cette solution ne semble pas adéquate.

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 réfléchie 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 10¹⁴, 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.

7 Annexes

Flotteur :

- http://tiny.cc/flotteur_doc
- https://portal.endress.com/wa001/dla/50000003183/000/01/KA00180FA3_1311.pdf

Plongeur :

- http://tiny.cc/plongeur_doc

Pression :

- http://tiny.cc/pression_doc

Lame vibrante :

- http://tiny.cc/lamevibrante_doc

Ultrasonic Level Transmitters for solid and liquid :

- http://tiny.cc/ultrason_doc

14. Prix de base d'un capteur de niveau radar [EN] - <http://j.mp/capteur-niveau-radar>

Radar Level Transmitters for solid and liquid :

– [http ://tiny.cc/radar_doc](http://tiny.cc/radar_doc)

Sonde capacitive :

– [http ://tiny.cc/capacitif_doc](http://tiny.cc/capacitif_doc)