VERSeau

Creufop

SYSTEMIES DE TÉLÉMIESURE EN CONTROLE ET GESTION DE L'ENVIRONNEMIENT

C. JOSEPH C. RODIER Ingénieur de recherche CNRS

Ingénieur d'étude CNRS

avec la collaboration de :

F. BLATEYRON In

Ingénieur EUROP-TELECOM

J.M. CLERC A. GIODA Conseiller technologique VERSeau Chercheur en hydrologie - ORSTOM

C. TORTOSA

Ingénieur REDON-INDUSTRIE

DE PESCARA

Ingénieur CAMPTORT TECHNOLOGIE

CNRS L.H.M.

SOMMAIRE

Préambule	
I. La télémesure pourquoi? évolution et tendance	p.5
II. Qu'est-ce qu'une chaîne de télémesure ?	p.7
III. Les capteurs	p.11
3.1. Généralités	
3.2. Quelques capteurs types	
3.3 Constitution technologique des capteurs	
IV. Les transmetteurs	p.27
- rôle du transmetteur	
- alimentation	
- transmetteur 2 fils - transmetteur 4 fils	
- courant de sortie	
- les problèmes des courants parasites	
- contraintes liées à l'environnement et à la mise en service du transmetteu	ır
V. Les automates de terrains	p.33
5.1 Définition	
5.2 Fonctions de bases	
5.3 Fonctions complémentaires	
5.4 La communication vers l'extérieur	
5.5 Un cas particulier, sortie RS 232	
VI Transmission et traitement de l'information	p.37
6.1 Supports physiques de la transmission	
6.2 Les codes logiques de transmission	
6.3 Traitement de l'information à la réception	• •

VII. Problématique du site de mesure

p.47

VIII. Ce qu'il faut savoir en plus

p.51

- 8.1 La protection anti-foudre
- 8.2 L'étalonnage
- 8.3 La dégradation des capteurs dans le milieu de mesure
- 8.4 Coût investissement/fonctionnement

Liste non exhaustive des constructeurs dont les notices ont été consultées pour établir ce document

- Capteurs

というとうなかのとかはなるとなるないないなっているとうないというと

- Centrales d'acquisition de données
- Balises hertziennes
- Balises satellitaires
- Balises Meteor Burst
- Panneaux solaires

Préambule

Une réalisation intégrée complète d'un système de télémesure demande l'intervention de spécialistes parfois différents. Pour dialoguer efficacement avec eux dans le cadre de la définition d'un projet, il est nécessaire de disposer d'une vue générale de la situation.

Le propos ici est d'arriver à donner à des non-spécialistes (responsables administratifs, de collectivités publiques, de bureaux d'étude) une vue générale de l'intérêt de cette approche pour l'étude de l'environnement ainsi qu'un minimum de connaissances techniques et de vocabulaire.

Ce document constitue aussi une mise à disposition de l'expérience des différentes équipes associées à Verseau et utilisant la télémesure. Il aborde donc de front les principales contraintes et les nombreux écueils jalonnant les réalisations. Parfois il s'agit de détails apparemment insignifiants, mais qui peuvent mettre en cause le bon fonctionnement du matériel installé.

Ce document ne constitue pas un cours de télémesure. Il n'a aucune prétention à donner un savoir technique exhaustif dans un domaine où la production et les solutions technologiques sont très diversifiées.

I. La télémesure pourquoi? évolution et tendance

La télémesure est de plus en plus présente dans le travail quotidien des ingénieurs et des chercheurs dont les objets d'études sont la surveillance, l'observation ou le contrôle de la qualité de notre environnement. Son champ d'application est vaste depuis le milieu aérien (atmosphère, eau) jusqu'au milieu souterrain. Les évolutions technologiques actuelles tendent à en faire un des outils banals du monde de demain, au même titre que les micro-ordinateurs.

La télémesure n'est pas une invention nouvelle, le chasseur évaluant la trajectoire de sa proie avant de lâcher une flèche réalisait déjà une opération complexe de télémesure. Après une grande première moderne avec l'apparition du radar pendant les années 42-45, les grands développements qui ont suivi sont restés l'apanage des applications militaires puis jusque vers les années 80, des grands services de gestion privés ou étatiques, en France EDF par exemple.

Durant la dernière décennie, il y a eu une évolution considérable dans les méthodologies d'observation du milieu environnant. L'impact de plus en plus fort de certaines nuisances sur la pollution de l'air et de l'eau a fini par susciter un intérêt général pour les problématiques de protection de l'environnement. Cette prise de conscience a rendu évident que la connaissance exacte d'un milieu était le support de toute action de prévision fine. De même il est clair à présent pour tout le monde que chaque risque potentiel de nuisance doit être assorti d'un ensemble d'observations et de contrôles.

L'observation de l'environnement est devenue très contraignante, et doit s'intéresser simultanément aux variations dans l'espace et dans le temps. Quelques observations annuelles ne peuvent plus suffire pour décrire ou estimer la pollution réelle d'une rivière ; une analyse annuelle ne peut plus servir pour juger de l'efficacité d'un dispositif d'assainissement. De plus en plus, les observations dans l'environnement doivent être restituées dans leur contexte climatique local.

Satisfaire cette nouvelle demande était à peu près impossible. L'installation de gros systèmes de télémesure (type E.D.F.) est bien trop onéreuse à l'échelle d'entreprises moyennes ou de petites collectivités locales. Les moyens classiques de mesure par déplacement d'équipes sur le terrain sont également très onéreux et ils ne présentent qu'une faible probabilité de mesurer les phénomènes exceptionnels ou accidentels. Dans ce dernier cas, disposer de mesures en temps réel constitue un atout majeur de toute lutte antipollution.

7

Depuis 1980, simultanément à l'évolution de la demande, sous l'impulsion de l'évolution technologique vers une plus grande intégration des composants diminuant les coûts en main d'œuvre des petites fabrications, est apparu sur le marché un grand nombre de micro-centrales d'acquisition de données.

Des prix attractifs pour les modules de base (souvent inférieurs à 10.000 F) et une vocation régionale ont donné à ces produits un droit de cité et une image de marque. Toutefois l'absence de normes et d'offres de service (intégrant l'alimentation en énergie, l'installation, les capteurs, la compatibilité de connexion) a souvent laissé les utilisateurs devant des difficultés d'assemblage totalement incontournables.

Actuellement, il y a plus de cent constructeurs présents en France, auxquels il convient d'ajouter les systèmes d'acquisition sur micro-ordinateurs PC et Mac Intosh. Les domaines couverts sont ceux de l'industrie, des laboratoires et de l'environnement (eau, air).

Les prix s'échelonnent de 10.000 F à plusieurs millions de Francs, le haut de gamme étant occupé par le matériel océanographique.

Les systèmes d'acquisition de données présents sur le marché remplissent quatre fonctions :

- Télémesure
- Téléalarme
- Télécommande
- Asservissement

qui sont le plus souvent satisfaites par un même appareillage présentant une plurifonctionnnalité.

II. Qu'est-ce qu'une chaîne de télémesure?

Une chaîne de télémesure résulte de la mise bout à bout d'un certain nombre de savoirs et de techniques ne se recouvrant pas. Les Figures 1 et 2 donnent le schéma et la structure d'une chaîne de télémesure.

Au départ se trouve le capteur chargé d'effectuer la mesure ; son choix pour être adapté à une mesure représentant le phénomène à observer n'est pas toujours évident. Il existe souvent pour un même paramètre plusieurs technologies de mesure, et les notices des différentes marques présentes sur le marché ne sont pas toujours explicites sur le sujet.

Le capteur émet un signal de faible énergie et sensible aux parasites. Sauf dans les cas où le capteur lui-même est associé à un préamplificateur, le signal émis par le capteur doit subir un premier traitement avec amplification dans les premières dizaines de mètres après son émission. Ce rôle est dévolu au transmetteur, premier relais sur la chaîne de télémesure. Certains transmetteurs peuvent être posés tels quels sur le terrain, la plupart d'entre eux nécessitent un regard ou coffret de protection pour leur mise en place.

En sortie du transmetteur le signal portant la mesure peut être transféré sur plusieurs kilomètres, jusqu'au coffret ou à l'abri dans lequel se trouve l'automate de gestion ou Centrale d'Acquisition Déportée à Faible Consommation. Cette centrale gère les capteurs, la prise des mesures et leur stockage temporaire en attendant leur transfert vers le site central. Dans le même abri se trouvent généralement les moyens en énergie (électricité, batterie ou panneaux solaires) et les moyens de transmission et de liaison.

La liaison proprement dite peut être assurée par le réseau PTT autocommuté, par voie hertzienne.

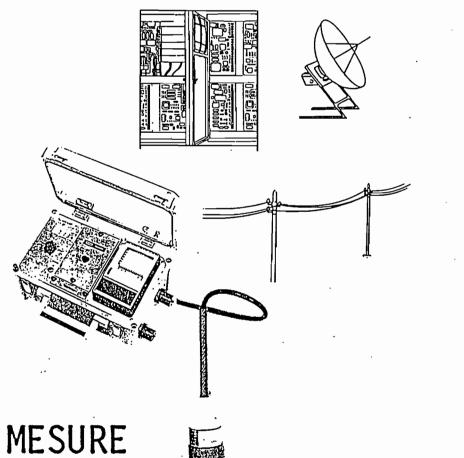
La réception des données s'effectue sur Minitel ou un ordinateur compatible PC. Un traitement minimal des données est généralement opéré : correction des données brutes à partir des contrôles de terrain (variations d'étalonnage, incidents de fonctionnement, observations sur le contexte environnant), des dérives expérimentales préalablement observées.

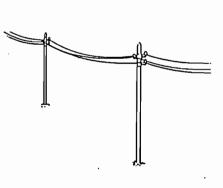
Pour mettre en place une chaîne de télémesure, il faut en outre disposer d'un site de mesures, dont le choix est sous la dépendance de diverses contraintes. Certaines sont d'ordre purement techniques (alimentation en énergie par exemple), d'autres liées à l'accès ou à l'entretien (risques d'être emporté par une crue) et parfois simplement psychologiques (ça se voit trop ou ça ne se voit pas assez), d'autres liées à la représentativité du site par rapport au phénomène étudié.

TRANSMISSION

TRAITEMENT ET STOCKAGE LOCAL









RECEPTION

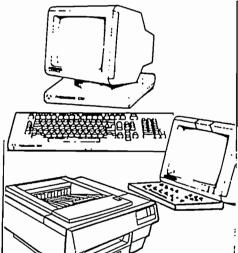
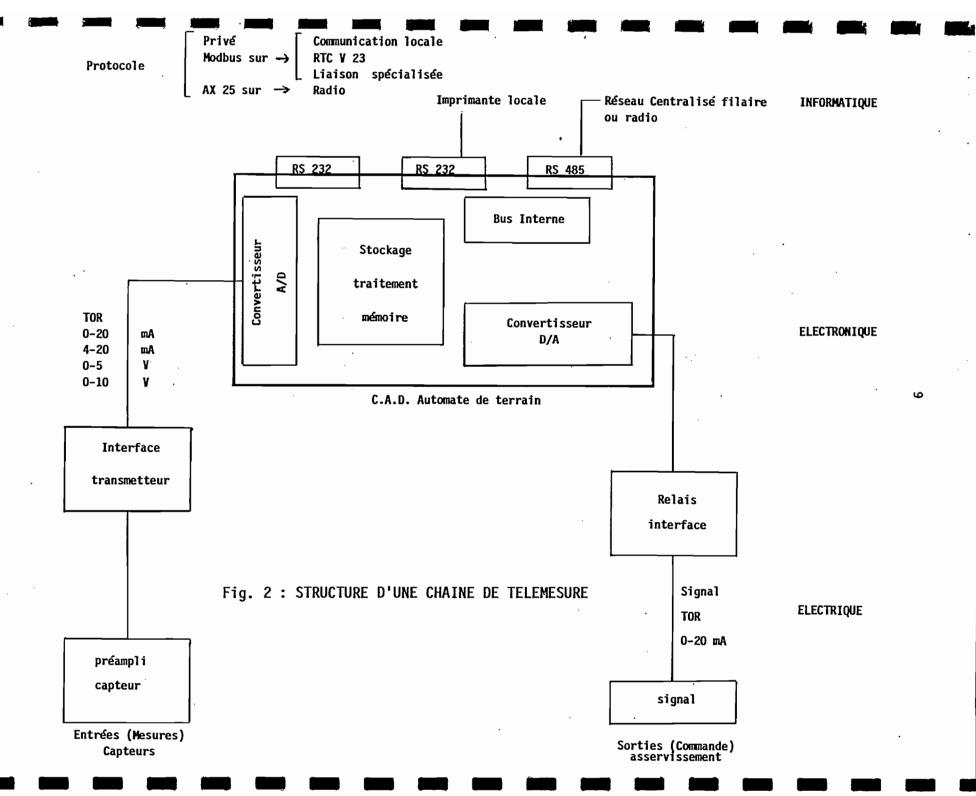
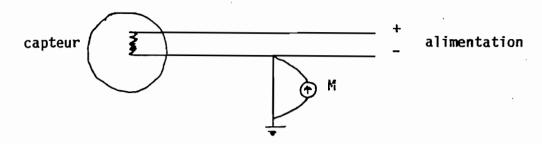




Fig.1: CONSTITUTION D'UNE CHAINE DE TELEMESURE.

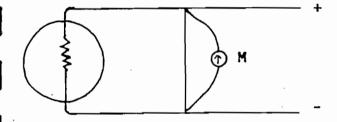


a) Capteur à référence (Sortie signal : mV à volts)



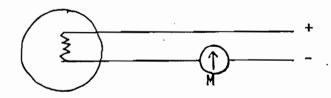
La mesure est la différence de potentiel (la ddp) existant entre la boucle de courant passant par le capteur et une référence (courant connu, terre). Quand ce type de capteur n'a pas de référence, il faut en créer une par isolation galvanique.

b) <u>Capteur différentiel</u> (Sortie signal : millivolts)



On mesure la ddp existante entre les deux branches de la boucle de courant. Ces capteurs sont très précis, mais sensibles aux parasites en raison de la faible valeur des courants mesurés.

c) <u>Capteur sur boucle de courant</u> (Sortie signal : milliampère)



La mesure est la mesure de l'intensité passant dans la boucle. Ces capteurs sont très précis, insensibles aux parasites, leur signal est transférable sur de longues distances, et ils consomment peu d'énergie.

Fig. 3: PRINCIPES DE MESURES: CAPTEUR 2 FILS

III. Les Capteurs

3.1. Généralités

3.1.1. Principes de fonctionnement

Les capteurs transforment un paramètre physique, comme la température, ou un paramètre chimique, en un signal électrique ou électromagnétique transmissible et mesurable.

Un capteur dans son principe est une boucle de courant dont les variations d'intensité ou de voltage sont en relation avec un phénomène physico-chimique que l'on veut mesurer. Dans certains cas, c'est le phénomène lui-même qui produit le courant de mesure, il y a proportionnalité directe (Capteur ampérométrique pour la mesure de l'oxygène dissous), dans d'autres cas, il y a modification par la variation du phénomène des valeurs de courant circulant dans la boucle (Capteur piézorésistif pour les mesures de pression). Le fonctionnement électrique des capteurs est trop complexe pour être exposé ici, nous en donnons simplement une classification fondée sur la façon de mesurer le courant circulant dans les boucles et présentant un intérêt à l'utilisateur pour effectuer ses choix de matériel.

a. Capteurs mesurant par rapport à une référence (Fig. 3a)

La mesure du voltage circulant dans la boucle s'effectue à partir d'une référence qui est, pour des raisons de stabilité, une tension de valeur fixe générée par le capteur lui-même et qui sert de valeur de référence à l'ensemble des mesures.

Certains capteurs, en général des bas de gamme, n'ont pas leur propre référence interne, mais font appel à une référence externe située dans le transmetteur. Dans ce cas, le regroupement sur un même appareillage de plusieurs capteurs sans référence nécessite la création d'une isolation galvanique, afin de créer une référence commune à tous les capteurs. Cette opération est analogue à une mise à la masse commune; sans cette référence commune, les capteurs s'influencent l'un l'autre.

b. Capteurs mesurant par rapport à une différence (Fig. 3b)

La mesure de courant est prise entre les fils de la boucle, le signal de mesure est dit "flottant". La mesure est beaucoup plus sensible et plus précise et elle demande un traitement électronique du signal beaucoup plus performant. On trouve des montages à 3 fils et à 4 fils avec fils d'alimentation et de retour. Ces montages sont destinés à éliminer les

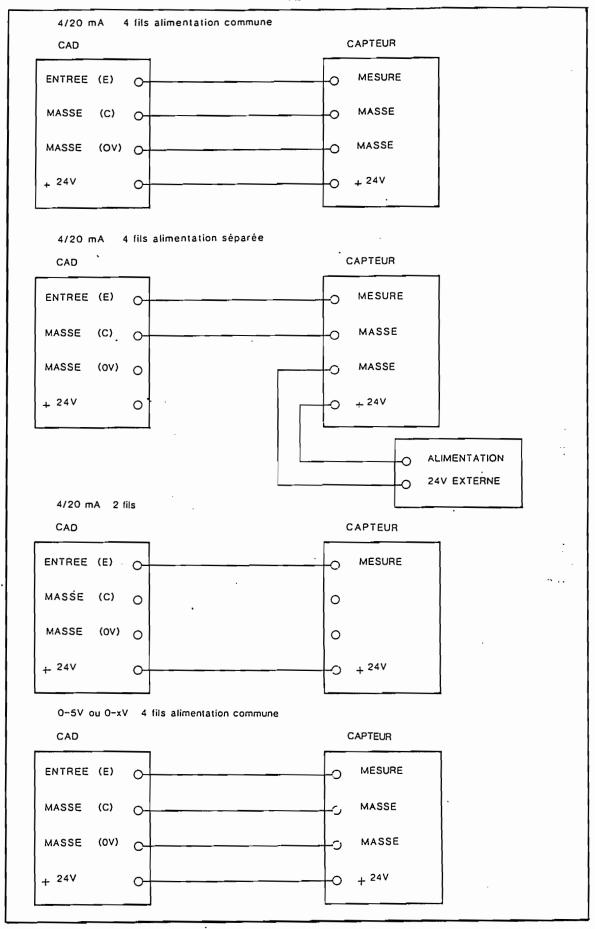


Fig. 4 : SCHEMA DE RACCORDEMENT DE CAPTEUR

parasites et à rendre l'analyse indépendante de la longueur du câble de raccordement du capteur.

c. Capteurs dits à boucle de courant (fig 3c)

Dans ce type de capteur, le courant d'alimentation du circuit électrique passant par le capteur et le transmetteur (Voir § IV) sert aussi de courant de mesure. La mesure correspond à la valeur de l'intensité du courant circulant dans la boucle, en général des milliampères. Le signal de mesure ne peut donc être parasité ; il est transmissible sur de longues distances sans amplification et la consommation correspond à la valeur de la mesure, quelques dizaines de mA tout au plus.

Ces capteurs haut de gamme sont à retenir en cas d'impératif de faible consommation d'énergie.

Dans la pratique, les schémas de branchement des capteurs, s'ils ne sont pas explicités sur leur type (Fig. 4), donnent des indications très précises de raccordement.Il suffit de s'y conformer.

3.1.2. Quelques règles d'usage

La consommation énergétique des capteurs est liée à leur niveau technologique. Les dispositifs de mesure simples et robustes sont en général les plus grands consommateurs d'énergie.

Le signal de sortie de capteur est de faible puissance, de l'ordre de la dizaine de millivolts. Ce faible signal peut être facilement perturbé par des parasites et sa faible intensité interdit son transport au-delà de 15 à 20 m. Les signaux émis par les capteurs ne sont pas linéaires et ne correspondent pas à des normes établies. Sur une chaîne de télémesure, les capteurs seuls ne sont pas généralement substituables les uns aux autres : il faut que le signal ait été préalablement traité pour devenir linéaire dans une gamme de valeurs de courant. Deux types de mesure échappent à cet inconvénient, ce sont les capteurs de température et les capteurs de pH dont les signaux de sortie sont calibrés par rapport à une norme.

Dans certains cas, bordure d'une rivière à zone inondable par exemple, le traitement du signal ne peut être effectué à proximité du capteur, on lui adjoint alors un amplificateur qui, élevant le niveau de tension, rend le transfert possible sur de plus longues distances (2 à 3 km).

La plupart des mesures de paramètre physicochimique sont influencées par la température du milieu de mesure. Il faut donc apporter en fonction de la température une correction de température. Pour automatiser cette correction sans réglage instrumental sur le terrain, il faut que les capteurs correspondants soient complétés avec une sonde de mesure de température.

La protection des capteurs par rapport au milieu ambiant est très importante, il faut bien vérifier le fonctionnement des presse-étoupes assurant l'entrée et la sortie des fils des capteurs. Une étanchéité à l'eau ne correspond pas forcément à des possibilités d'immersion complète. La densité apparente du capteur peut être un problème : certains flottent quand on les voudrait au fond et réciproquement. Il faut donc examiner en détail les divers dispositifs de fixation vendus par les constructeurs.

3.2. Quelques capteurs types

contact sec

Il peut être assimilé à un interrupteur. Il sera alors "ouvert" ou "fermé", le courant passant ou ne passant pas. Il permettra par exemple la mise en route ou l'arrêt d'une pompe; le prototype en sera la poire d'un vide cave, qui, par la mesure d'un contact à un certain niveau, déclenche la mise en route ou l'arrêt d'une pompe.

• capteurs de mesure de température

Il existe deux types de capteurs température

- * les couples thermoélectriques
- * les résistances thermométriques

Le principe de mesure d'un couple thermoélectrique est basé sur la mesure d'une force électromotrice provoquée par l'échauffement de la jonction dite jonction de mesure de deux fils métalliques de nature différente, cette force électromotrice étant fonction de la différence de température entre la jonction de mesure et la jonction de référence (soudure froide).

Les résistances thermométriques mesurent la variation de résistivité en fonction de la température ; les métaux constituant ces résistances ont un coefficient de résistivité dont la variation en fonction de la température est monotone et reproductible (Ex. : Pt)

Dans le domaine des températures courantes de l'environnement, les résistances thermométriques sont les plus utilisées ; les couples thermoélectriques servent plutôt à mesurer les températures supérieures à 300°C. Ils ont toutefois une inertie plus faible que les résistances thermométriques.

La mesure de température est une mesure normée. Par exemple, les résistances thermométriques platine 100Ω à 0°C sont normalisées NF C 42-330.

Les déviations admissibles en température et en résistivité des résistances Pt sont également fixées (DIN 43760/751 CEI 1983). Deux classes A et B sont ainsi définies selon ces tolérances; les tolérances en °C s'appliquent pour toutes les résistances nominales alors que les tolérances en Ω s'appliquent seulement pour les $100~\Omega$.

Température	Déviations admissibles en			
en	Classe A		Classe B	
°C	Ω	°C	Ω	°C
0	±0,06	±0,15	±0,12	± 0,30
100	±0,13	± 0,35	± 0,30	± 0,8

psychromètre

Ce capteur permet de calculer la température du point de rosée de l'air (td) et l'humidité relative de l'air (H%). Le principe de la mesure repose sur le fait que si deux capteurs de température sont placés dans un courant d'air à la température ambiante ta et à une pression partielle de vapeur d'eau P, la température humide th prise par le capteur humide à l'abri du rayonnement est fonction des caractéristiques de l'air.

$$P = P (td) = P (th) - \gamma (ta - th) \frac{h}{1.013}$$

 γ = constante psychrométrique

h = pression atmosphérique

Le psychromètre est principalement constitué de deux thermomètres convenablement ventilés avec l'air dont on veut mesurer l'humidité.

• capteurs de mesure de niveau

Ils mesurent une hauteur d'eau par exemple dans un déversoir, un forage, un bassin... Divers types de capteurs se trouvent sur le marché, en fonction du principe de mesure qu'ils utilisent. Parmi eux nous citerons : le système bulle à bulle, les flotteurs, palpeurs ainsi que les capteurs piézorésistifs, capacitifs ou à ultra sons.

☐ les capteurs piézorésistifs

Le niveau d'eau est mesuré à partir de la pression hydrostatique qui, par l'intermédiaire d'un capteur semi-conducteur (capteur de pression piézorésistif) est transformée en signal électrique après traitement par un amplificateur incorporé. La plaque de céramique piézorésistive de ces capteurs est fragile vis-à-vis des surpressions et des chocs.

□ les capteurs capacitifs

Dans cette technique, la pression hydrostatique du produit mesuré est convertie par la membrane de mesure en un déplacement mécanique. Un axe transmet ce dernier à un condensateur dont la variation de capacité est proportionnelle au niveau de remplissage. Ces variations de capacité sont converties électroniquement en un signal électrique. Suivant le transmetteur utilisé, le signal électrique est converti soit en une indication proportionnelle à la hauteur 0-100 % soit en un signal de détection.

Les capteurs capacitifs ont une butée en fin de course et sont donc protégés contre les surpressions. Leur réponse linéaire les rend plus précis, mais ils sont plus chers.

L'évolution actuelle rapide des fabrications et le grand nombre de modèles existants sur le marché, ne rendent pas réalisable dans le cadre de ce rapport une comparaison détaillée des divers modèles.

☐ les capteurs Ultra Sons Niveau

Ils mesurent la distance qui les sépare de la surface à mesurer, c'est-à-dire une hauteur d'air. Le son émis voyage le long de l'axe d'émission jusqu'à rencontrer la surface du liquide; puis il est réfléchi depuis cette surface et une part de son énergie acoustique retourne sur le capteur; le temps pris par le transfert permet de déterminer la hauteur d'air, donc le niveau de liquide.

· capteurs de mesure de débit

La mesure de débit se fera en canaux ouverts ou en conduites.

- Dans un seuil de jaugeage, la mesure de débit sera ramenée à une mesure de niveau. Tous les capteurs de niveaux précédemment cités pourront être utilisés.
- En conduite, la mesure de débit nécessite la connaissance de la valeur d'écoulement.

Différents principes de mesure peuvent être mis en œuvre :

☐ capteur électromagnétique

Le principe de fonctionnement du capteur électromagnétique repose sur l'application de la loi d'induction de Faraday selon laquelle lorsqu'un conducteur électrique traverse perpendiculairement un champ magnétique, on obtient une tension induite. En débitmétrie électromagnétique, cette tension est proportionnelle à la vitesse de passage du liquide considéré et est indépendante des caractéristiques du liquide à mesurer telles que densité, viscosité, conductivité électrique, mais non des caractéristiques de sa charge particulaire.

☐ Ultra Sons Doppler

Le capteur fixé sur la paroi de la conduite émet un signal ultrasonique dans le flux du liquide. Lorsque ce signal est réfléchi par les particules solides ou les bulles d'air, sa fréquence se modifie et ce, proportionnellement à la vitesse du fluide. La différence de fréquence entre le signal d'émission et le signal de réception permet une mesure rapide de la vitesse ou du débit du fluide considéré.

☐ Ultra Sons Temps de transfert

La mesure est alors basée sur la vitesse de transfert en fonction du courant. Celle-ci est plus rapide dans le sens du courant que dans le sens de la remontée. La variation significative est la différence entre ces deux temps de transfert.

capteurs de mesure d'oxygène dissous

Sur le marché on trouve différentes cellules de mesures fonctionnant selon deux principes différents.

☐ Cellule de mesure à deux électrodes

Principe

La cellule de mesure est composée de deux électrodes :

- * une cathode (ex. : Pt) servant d'électrode de mesure
- * une anode (ex. : Ag) servant de contre-électrode et également d'électrode de référence

Les électrodes sont plongées dans un électrolyte (ex. : KCr, KBr, KOH). Une membrane sépare les électrodes et l'électrolyte du milieu afin d'éviter à la fois l'écoulement de l'électrolyte et la contamination due à la pénétration de corps étrangers. Une tension de polarisation entre 700 et 800 mV est appliquée entre anode et cathode.

Si le liquide dans lequel plonge la cellule de mesure contient de l'oxygène, celui-ci diffuse à travers la membrane.

Selon les types d'électrolytes et la nature des électrodes, on pourra par exemple avoir les réactions suivantes :

• ex.: anode Pb Electrolyte: KOH (1)

L'anode sera consommée avec formation d'oxyde :

$$2 \text{ Pb} + 2 \text{ H}_2\text{O}$$
 \rightarrow $2 \text{ PbO} + 4 \text{ H}^+ + 4 \text{ e}^-$

A la cathode il y aura consommation continue d'oxygène :

$$0_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2 H_2O$$

La réaction globale sera :

$$0_2 + 2 \text{ Pb}$$
 \rightarrow 2 PbO

• ex.: anode Ag Electrolyte: KCl (2)

Autour de la cathode chargée négativement, les molécules d'oxygène sont réduites en ions hydroxyles :

$$0_2 + 2 H^+ + 4 e^- \rightarrow 4 OH^-$$

A l'anode une quantité de chlorure d'argent est supprimée

$$4 \text{ Ag}^+ + 4 \text{ Cl}^- \rightarrow 4 \text{ AgCl} + 4 \text{ e}^-$$

Dans les deux cas, le courant de polarisation résultant de la libération à la cathode d'électrons et à l'anode de l'absorption de la même quantité d'électrons est proportionnel à la pression partielle de l'oxygène dans la solution.

Cette technique de mesure présente un certain nombre d'inconvénients :

- l'oxygène diffuse continuellement : la précision de la mesure risque d'être affectée par l'encrassement de la membrane.
- Il y a consommation d'oxygène aux abords de la cellule. Le courant de mesure dépend de la vitesse de passage de l'eau renouvelant le stock d'oxygène devant la membrane. Cette vitesse doit être en règle générale de 30 à 50 cm/seconde. Il faut alors souvent prévoir un dispositif d'agitation auxiliaire. La plupart des capteurs fonctionnant selon ce principe n' est pas sans courant pour le point zéro. Aussi, avant de procéder à l'étalonnage, il faudra régler le point zéro au moyen d'une solution exempte d'oxygène, procédure assez complexe.
- Dans le cas de cellules mettant en jeu le type de réaction de type (1), la formation d'oxyde impose régulièrement la régénération ou le remplacement de l'anode.
- Dans le cas de cellules fonctionnant avec les réactions de type (2), la diminution permanente de la concentration de l'électrolyte provoque une modification de potentiel de système électrode/anode donc un décalage du potentiel réducteur appliqué à la cathode, entraînant une modification de la valeur mesurée et une mauvaise reproductibilité de la mesure. Des étalonnages fréquents et le changement régulier de l'électrolyte sont impératifs.
 - ☐ Cellule à 3 électrodes, type Endress et Hauser

Dans cette cellule, l'anode est remplacée par deux électrodes individuelles :

- une contre-électrode soumise au courant (ex. : Ag)
- une électrode de référence non soumise au courant (ex. : Ag)

L'électrode de référence règle le potentiel de la cathode. L'électrode de référence n'étant pas soumise au courant, ce potentiel ne sera pas fonction du courant de signalisation. Celui-ci est capté par la contre-électrode dont le potentiel est réglé par le système de mesure potentiostatique de manière à ce que l'on ait seulement le courant engendré par la cathode.

Ce système étant sans courant au point zéro, l'étalonnage du zéro ne sera pas nécessaire. La transformation de l'oxygène au niveau de la cathode se faisant en parallèle à la consommation en halogène de l'électrolyte, il sera alors possible d'avoir une auto-surveillance de l'électrolyte.

☐ Cellule à 3 électrodes, type Leeds and Northrup

Deux électrodes actives sont recouvertes d'un électrolyte. La 3ème électrode, électrode de référence, est également en contact avec l'électrolyte afin d'obtenir un potentiel électrochimique. Autour des électrodes, l'électrolyte est maintenu grâce à une membrane. Quand la sonde est immergée dans la solution, l'oxygène diffuse à travers la membrane pour être réduit à la cathode. Simultanément une quantité équivalente d'oxygène est générée à l'anode :

A l'anode : $2 H_2O \rightarrow O_2 + 4 H^+ + 4 e^-$

A la cathode: $O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2 H_2O$

Il y a diffusion tant que la pression d'oxygène n'est pas équilibrée de chaque côté de la membrane. C'est le courant électrique nécessaire au maintien de cet équilibre qui est mesuré et converti en ppm d'oxygène.

La mesure se faisant à l'équilibre, elle sera indépendante de la propreté de la membrane. Il n'y a pas consommation d'oxygène au niveau de la cellule, la mesure ne nécessitera ni débit minimal, ni agitation. La concentration de l'électrolyte ne variant pas, son remplacement ne sera pas nécessaire.

- La diffusion à travers la membrane ainsi que la réduction à la cathode sont influencées par la température. Les capteurs devront donc être équipés d'une thermistance qui détecte la température ambiante en continu et compense la mesure à une température de référence.
- Dans les milieux à courant lent, il y aura intérêt à prendre des électrodes à grande surface d'échange pour assurer l'approvisionnement en oxygène de l'électrode, sinon la présence d'un dispositif d'agitation contribuant à assurer une vitesse minimum du liquide au niveau de la sonde sera indispensable, système à ne pas confondre avec le dispositif de nettoyage qui, dans les milieux chargés, contribuera à éliminer les saletés qui peuvent adhérer à la membrane.
- Le choix pourra également se porter sur les électrodes non consommatrices d'oxygène et dont les mesures sont indépendantes de l'état de propreté de la membrane.

- capteurs de mesure de pH

Le pH représente la valeur négative du logarithme décimal de l'activité des ions hydrogène de la solution.

En utilisant une électrode de verre, on mesure la valeur du pH par la méthode potentiométrique.

 $pH = pH_S - U - Us$ U_N

pH_S = valeur de pH de la solution tampon standard

U_S = potentiel lorsque l'électrode est immergée dans la solution tampon

standard

U = potentiel quand l'électrode est plongée dans une solution à mesurer

 U_N = la tension de Nernst fonction de la température absolue, de la

constante des gaz et de la constante de Faraday.

Une mesure de pH nécessite donc une électrode en verre, une électrode de référence qui peuvent être combinées et un transmetteur.

L'électrode de mesure possède une membrane en verre qui se polarise en fonction du pH. Elle est remplie d'une solution tampon, c'est-à-dire d'une solution contenant des ions H⁺ ayant un pH constant. Une électrode interne servant à la mesure de la tension est plongée dans la solution tampon interne. C'est sur la couche superficielle de la membrane de verre que s'établit un potentiel électrique répercutant l'image de la différence de la valeur de pH entre le tampon interne et la solution à mesurer.

L'électrode de référence fournit un potentiel de référence grâce à une bougie interne contenant un couple oxydo-réducteur bien défini. Elle est en contact électrique avec le milieu à mesurer par l'intermédiaire d'un électrolyte, en général KCl, séparé du milieu par le diaphragme. La référence peut être de type Ag/Cl, de type Calomel Hg/HgCl.

Pour éviter les problèmes de pollution du milieu à mesurer par les ions du KCl, on peut utiliser un double pont électrolytique permettant d'insérer un autre électrolyte entre KCl et le diaphragme. L'emploi des électrolytes gélifiés évite également les fuites vers le milieu à mesurer. Cependant, les électrolytes gélifiés ne sont pas rechargeables et leur durée de vie est plus courte que les électrodes à électrolytes liquides.

Les courants de sortie des électrodes pH sont normalisés et leurs performances équivalentes. Le choix dépend d'autres critères, en particulier des particularités des transmetteurs, du prix...

- capteurs de mesure de Eh

Si dans un milieu contenant en même temps des ions sous forme oxydée et sous forme réduite, on plonge une électrode inerte (électrode formée par un métal qui n'émet pas d'ions dans le milieu), il s'établit entre le milieu et l'électrode une différence de potentiel qui dépend du rapport entre les concentrations des deux formes oxydée et réductrice dans le milieu.

Le potentiel d'un système redox est évalué en mesurant la différence de potentiel existant entre une électrode plongée dans le système et une électrode de référence. Le potentiel est positif quand le rapport entre l'activité des ions oxydants et des ions réducteurs est supérieur à 1 lorsque le système est oxydé, négatif dans le cas contraire. Le potentiel d'oxydo-réduction donne une mesure des possibilités d'oxydation ou de réduction relative à une solution.

En général, le système de référence est constitué par une électrode Ag/AgCl. Pour les électrodes de mesure, dans le cas de solutions très oxydantes, on utilise de préférence l'or, alors que pour des solutions réductrices on utilise le platine.

Très peu d'indications sont données par les constructeurs pouvant justifier un choix par rapport à la technologie de la mesure.

-- capteurs de conductivité électrique

Lorsqu'un cylindre de liquide de longueur L et de section S présente une résistance de R ohms, sa résistivité est donnée par :

$$\rho = \frac{RS}{L}$$

La conductivité, valeur inverse de la résistivité est alors

$$\chi = \frac{1}{R} \frac{L}{S}$$

Si on introduit la conductance électrique $G = \frac{1}{R}$ on a

$$\chi = G \stackrel{\underline{L}}{S}$$

Pour le capteur, ou cellule de conductivité, mesurant la conductivité, \underline{L} sera toujours une constante géométrique.

Si on définit la constante de cellule
$$c = \frac{L}{S} [cm^{-1}]$$

la conductivité sera alors
$$\chi = G \cdot c \text{ [cm}^{-1]}$$

La conductivité électrique dépend du type de la substance dissoute et des propriétés de liaisons électrochimiques de la substance.

La mesure de la conductivité électrique a lieu au moyen d'un capteur de conductivité à constante de cellule connue. La mesure a lieu en courant alternatif pour éviter la polarisation. Les capteurs à deux électrodes sont les plus répandus. Les fréquences de mesure appropriées sont comprises entre 50 Hz et 50 kHz pour les mesures industrielles. Pour mesurer les faibles conductivités, on choisira une faible fréquence de mesure étant donné que dans ce cas pourront être négligés les effets parasites part rapport à la résistance ohmique élevée de l'électrolyte. Pour les conductivités élevées, la fréquence élevée réduit l'influence des erreurs de polarisation à la surface des électrodes.

Le choix du graphite comme matière constituant les électrodes de conductivité permet de minimiser les effets de polarisation.

Une autre technique de mesure de conductivité sans électrode permet de s'affranchir des effets de polarisation : c'est la mesure par induction électromagnétique, dans laquelle un bobinage torique est excité à fréquence fixe ; on récupère la réponse sur un deuxième bobinage accordé sur le premier. Ce couplage, fonction de la conductivité, se fait par l'intermédiaire de la solution conductrice. L'absence d'électrodes en contact avec le milieu à mesurer permet de faire abstraction des problèmes de salissures.

- capteurs de mesure de turbidité

La turbidité se définit comme "l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon", cette dispersion étant provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension dans l'échantillon.

En général, la turbidité est mesurée par néphélométrie, à l'aide d'un photodétecteur qui, placé à 90° par rapport à un faisceau lumineux incident, quantifie l'intensité de la lumière diffusée par les particules en suspension dans le fluide ; la valeur obtenue est proportionnelle à la turbidité.

La mesure de la turbidité peut être altérée par la coloration du fluide ; certains turbidimètres permettent de s'affranchir de cette interférence soit

- par la présence d'une cellule de compensation qui, placée à la source lumineuse, permet de réguler la puissance de la source lumineuse,
- en mesurant, en plus de la lumière dispersée à angle droit, la lumière transmise et la lumière vers l'avant. La lumière dispersée à 90° et la dispersion vers l'avant sont proportionnées à la lumière transmise de manière à annuler linéairement l'effet de couleurs dans une large gamme de turbidité.

L'encrassement des capteurs par les matières en suspension peut être à l'origine de mesures erronées et de problèmes de maintenance. Afin de réduire ces inconvénients certains fabricants ont associé un système de nettoyage automatique de la cuve de mesure. D'autres types de turbidimètres sont conçus pour éviter le contact entre l'échantillon et les composants optiques

- soit en éliminant la fente entre la source lumineuse et l'échantillon par envoi du rayon lumineux directement à travers la surface de l'échantillon obtenu par débordement,
- soit par la technique de mesure dite "de dispersion en surface" dans laquelle l'échantillon est amené au centre du corps du turbidimètre disposé en diagonale. Une fois, rempli celui-ci, il déborde dans un collecteur en formant une surface optiquement plane. Un faisceau lumineux est focalisé sur la surface du liquide sous un angle aigu. Les particules en suspension dispersent alors la lumière proportionnellement à la turbidité de l'échantillon. Cette lumière dispersée est détectée par une photocellule placée directement au-dessus de la surface du liquide. L'inclinaison du corps du turbidimètre sert à piéger la lumière réfractée et à collecter les matières décantables.

La mesure de la lumière diffusée ne permet que la prise en compte des particules et des colloïdes en suspension dans un fluide. Or dans un fluide peuvent exister également des matières colloïdes ou insolubles ne diffusant pas la lumière. Parallèlement à la mesure de la lumière diffusée à 90°, la mesure de la lumière transmise à 180° permet de les détecter, l'absorption de la lumière par ces particules se signalant par une diminution de la lumière transmise à 180°.

Les mesures de turbidité peuvent être gênées par les bulles d'air contenues dans le fluide et qui dispersent également la lumière. L'adjonction au circuit de mesure d'un piège à bulles, chambre d'expansion permettant aux bulles de monter en surface et d'être éliminées dans l'atmosphère, élimine cet inconvénient. Une autre technique permet également de réduire les quantités de bulles. Elle consiste à maintenir l'échantillon sous pression ce qui évite la formation de bulles à partir des gaz dissous.

Certains turbidimètres travaillent en infra-rouge pour s'affranchir de la lumière du jour et réduire les conséquences du développement algaire.

En ce qui concerne les unités, FTU (Formazine Turbidity Units) et NTU (Nephelometric Turbidity Units) sont numériquement identiques et approximativement égales à JTU (Jackson Turbidity Units).

3.3. Constitution technologique de ces capteurs

Un capteur constitue à lui tout seul une petite usine de haute technologie. C'est l'élément le plus fragilisable de la chaîne. Le choix entre les différents niveaux d'intégration offerts par les constructeurs est difficile. A partir d'un élément sensible de base, plusieurs capteurs de marques différentes peuvent être trouvés, ils se ressemblent et ils sont différents.

Prenons par exemple une mesure simple de niveau ou de pression. A partir du principe simple d'une mesure directe (flotteur ou réflexion d'ultrason) ou d'une mesure indirecte (capteur de pression) la réalisation d'un capteur se fait par la mise en œuvre d'une série de technologies s'emboîtant les unes dans les autres.

- 1. Fabrication d'un élément sensible
 - ex. : jauge de contrainte
- 2. Intégration de l'élément sensible sur un support
 - ex. : Sérigraphie, collage
- 3. Réalisation de systèmes de correction des interférences éventuelles (câbles de compensation, thermocouple, calibration du signal) analogique ou numérique dans les cas complexes.
- 4. Intégration de l'ensemble de mesure dans différentes exécutions (immergeable, atmosphère déflagrante ...)
- 5. Distribution, commercialisation, intégration dans des chaînes de métrologie.

Le nombre de fabricants est en raison inverse des difficultés technologiques de chaque étape.

- Au niveau 1, il y a peu de fabricants, les éléments sensibles des capteurs de pression proviennent seulement de deux grands fabricants.
- Au niveau 2, le nombre augmente.

- Au niveau 3, peu d'intervenants pour la correction beaucoup d'intervenants pour le calibrage.
- Au niveau 4, un grand nombre de produits est dirigé vers le marché.
- Au niveau 5, on retrouve les réseaux commerciaux des niveaux précédents, plus les intégrateurs et prestataires de services.

IV. Les transmetteurs

Le transmetteur est un élément essentiel de la chaîne de télémesure. Il se trouve entre le capteur et l'automate de terrain. Il reçoit le signal électrique en provenance du capteur et le restitue vers l'utilisateur toujours sous la forme d'un signal électrique, mais dont la valeur de la tension ou de l'intensité dans un intervalle de variation établi par le constructeur, correspond à une valeur du phénomène que l'on mesure.

- rôle du transmetteur

☐ fonctions principales

- alimentation des capteurs
- linéarisation des signaux émis par les capteurs en tenant compte éventuellement des corrections nécessaires (température, altitude...)
- assure ou non les fonctions de préamplification et/ou de transduction lorsque la longueur du câble nécessaire à la transmission de la mesure est supérieure aux limites définies par le constructeur du capteur,
- permet la fonction d'étalonnage : fixation du zéro, définition de l'échelle de mesure.
- lorsqu'il est équipé d'un afficheur à cadran ou numérique, il affiche les valeurs mesurées. Non nécessaire lors de la retransmission des données, cette lecture est indispensable pour la réalisation facile des étalonnages et pour les contrôles de bon fonctionnement et la comparaison avec d'autres appareils. Les transmetteurs sans indicateur de mesure sont dits "aveugles".

☐ fonctions secondaires

- correction des mesures à partir d'autres capteurs, les corrections de température et d'altitude sont les plus courantes.
- indication et transmission de signal de fermeture de relais pour diverses situations parfois appelées points de consignes :
 - * détection d'une déficience
 - * dépassement d'un ou plusieurs seuils

Les relais servent à commander des opérations d'ouverture ou de fermeture de vanne, de marche ou d'arrêt de pompe...

- alimentation

- soit par le secteur
- soit par batterie
- soit par panneau solaire

L'alimentation par batterie limite les câblages mais oblige à s'orienter vers des capteurs alimentables en 12 volts. L'alimentation 12 volts réduit les protections anti-foudre. Elle semble plus économique. L'alimentation par batterie facilitera le transport de l'ensemble de la chaîne de télémesure d'un site à un autre. Les panneaux solaires ne nécessitent pas les nombreux changements de recharge exigés pour les batteries.

La consommation en énergie est un des grands facteurs limitants de la télémesure en zone rurale, sauf à installer des jeux de batteries (types camions ou bateaux) toujours très lourdes à transporter et à chargement fréquent (15 jours). En 220 V il n'y a pas de problème, mais en 24 V on constate que la plupart des transmetteurs offerts en sortie courant (4-20 mA) n'est qu'une adaptation de transmetteurs à alimentation 220 V, grands consommateurs d'énergie.

Pour les faibles consommations de courant il faut choisir soit des transmetteurs donnant un signal de faible voltage (0-1 V) et dont l'alimentation interne est assurée par des batteries rechargeables que l'on peut toujours shunter pour réaliser une alimentation directe, soit des transmetteurs 2 fils. Les panneaux solaires sont la meilleure solution pour les alimentations à faible énergie.

- transmetteur 2 fils - transmetteur 4 fils

Il existe deux types de transmetteurs : 2 fils et 4 fils.

Les transmetteurs 2 fils fonctionnent sur le principe de la boucle de courant. Le même fil (aller et retour) assure l'alimentation en énergie du transmetteur et du capteur, la valeur du courant passant dans la boucle transmetteur-capteur correspond à la valeur de la mesure. Un transmetteur 2 fils 4-20 mA ne pourra par construction jamais consommer plus de 20 mA. Ces transmetteurs ont une technologie évoluée et appartiennent aux modèles haut de gamme.

Dans les transmetteurs 4 fils, deux fils servent à l'alimentation et deux fils à la mesure. Les transmetteurs 4 fils sont plus consommateurs d'énergie (0,2 A/h) que les transmetteurs 2 fils (20 mA/h), ces derniers seront donc préférés dans les sites équipés de batterie.

- courant de sortie

Les courants de sortie donnant la valeur de la mesure sont de différents types :

en variation d'intensité: 4-20 mA, 0-20 mA, 0-40 mA
 Le signal 4-20 mA est le plus courant, il permet de faire des identifications de panne sur la valeur zéro en courant, car la valeur zéro de la mesure correspond à 4 mA sortant du transmetteur.

Les signaux 0-20 mA et 0-40 mA permettent d'avoir une meilleure précision sur la mesure, l'intervalle de variations du signal étant plus grand.

• en variation de voltage

La gamme des voltages offerts est très variée : 0-100 mV, 0-15 V

Il en existe bien d'autres, chaque constructeur ayant ses spécificités.

Les signaux en voltages sont peu gourmands en énergie, mais ils sont sensibles aux parasites et à la résistance en ligne de la transmission. La montée en tension supplée à ces défauts mais consomme de l'énergie.

Beaucoup de constructeurs choisissent une solution moyenne de 0-1 V.

- les problèmes des courants parasites

Lorsque la protection galvanique des équipements est insuffisante le rapport signal/bruit peut devenir bas, d'où la nécessité d'une protection contre les phénomènes de courants parasites. Lorsque le trajet du câble est court, les risques de parasitage sont faibles.

Pour les longues distances, les équipements choisis sont conçus pour un transport du signal de haut niveau. Les risques sont alors minimaux.

Pour les distances intermédiaires, où toutes les précautions risquent de ne pas avoir été prises, les risques sont importants. Le document élaboré par un groupe de travail de la Commisssion Assainissement de l'AGHTM, répertorie les précautions indispensables à respecter dans ce cas :

- Il faut s'assurer que le signal est de niveau suffisant pour garantir un rapport signal/bruit élevé.
- Il est préférable de choisir un signal en courant indépendant de la résistance de ligne.
- Il faut s'assurer que la résistance de charge (résistance de ligne + résistance d'utilisation) est inférieure à la résistance maximale donnée par le constructeur.
- Il est indispensable quel que soit le niveau du signal, d'utiliser au moins des câbles avec écran métallique (reliés à la terre à une extrémité) pour éviter les phénomènes d'induction mortelle. Les câbles de série PTT sont bien adaptés.
- Il est indispensable de séparer les circuits de signaux des circuits de puissance, de masse et de terre.

- contraintes liées à l'environnement et à la mise en service du transmetteur

Les raccordements

Ils peuvent s'effectuer soit avec des fiches, soit sur des borniers.

Il existe de très nombreux modèles de fiches en fonction du diamètre du matériau, du nombre de plots (4, 6, 8, 12, ...), du degré d'étanchéité. Il importe avant tout de vérifier la compatibilité entre les divers branchements, les constructeurs faisant peu d'efforts à ce sujet. Quand il y a beaucoup de fiches sur un appareillage, il est nécessaire qu'elles soient munies de détrompeur afin d'éviter les erreurs de branchement. Les difficultés de raccordements sont une des principales causes de non-compatibilité entre les appareillages.

Sur les borniers, les fils sont branchés directement comme sur un tableau électrique. Les borniers, pourtant bien repérés avec des numéros, sont souvent sources d'erreurs lors des branchements effectués sur le terrain, alors que l'attention est sollicitée pour d'autres observations. Bon nombre de transmetteurs a des borniers de raccordements internes. Il faut alors ouvrir l'appareil, et mettre à l'air libre son électronique pour en assurer le branchement. Par temps de pluie ou de vent soulevant des poussières du sol, l'opération s'avère désastreuse. A noter aussi pour certains types de transmetteurs, l'obligation d'ouvrir le boîtier pour sélectionner tel ou tel type d'échelle (Ex : % ou ppm en O2 dissous).

Fixation du matériel

Le plus souvent, la fixation sur un support s'effectue par un vissage ou boulonnage depuis l'intérieur du boitier supportant l'électronique. Peu de marques offrent une fixation strictement externe.

Protection contre les agressions de l'environnement

Une norme NF C 20-10 et DIN 40050 définit les degrés de protection pour les enveloppes de matériels électriques basse et moyenne tension (Figure 5).

Il faudra s'assurer que les caractéristiques du matériel utilisé correspondent bien aux contraintes qui lui seront imposées. Un certain nombre de facteurs devra être pris en compte :

- le degré de protection de l'enveloppe du transmetteur,
- la qualité des cartes électroniques (tropicalisation),
- les risques de foudre : la protection anti-foudre ou éclateur à gaz est absolument indispensable à la sauvegarde de tout le matériel.
- les baisses de température, dans certains cas. Certains transmetteurs peuvent être livrés dans des armoires chauffées par une résistance.

Toutefois il faut savoir lire les notices, certains constructeurs jouant sur l'ambiguité des mots. Plongé dans l'eau ne veut pas dire forcément immersion, étanche à la pluie pour un matériel à montage mural ne veut pas dire qu'il sera étanche en position horizontale, même si la notice le présente accroché au pilier d'un pont sous la pluie.

Les presse-étoupes sont en général de mauvaise qualité, à changer ou à mastiquer au silicone.

La programmation

Certains transmetteurs, en particulier les débitmètres, sont programmables; il ne faudrait jamais acheter sans avoir réalisé une programmation soi-même. C'est en effet une opération que l'on ne renouvelle pas souvent et dont les séquences ne sont pas présentes en mémoire; elle s'effectue en lisant la notice et en faisant de nombreuses erreurs. Il faut vérifier son niveau d'ésotérisme et sa mise en mémoire. Dans de nombreux systèmes, on ne peut corriger les erreurs (mémoires mortes) et toute erreur entraîne comme sanction la reprise totale de la séquence de programmation de la courbe de tarage.

définition des degrés de protection

- les degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques basse et moyenne tension (jusqu'à 1000 V ~ et 1500 V==) sont définis par la norme française NFC 20-010 et DIN 40050
- pour symboliser les degrés de protection, il est fait usage des lettres IP suivies de 3 chiffres caractéristiques

	premier chiffre protection contre les corps solides		deuxième chiffre		troisième chiffre	
P	tests	IP		tests	IP	tests
0	Pas de protection	0	\$	Pas de protection	0	Pas de protection
Ţ	Protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm (ex.: contacts involontaires de la main)	q.		Protégé contre les chutes verticales de goutles d'eau (condensation)	15 cm	Énergie de choc : 0.225 joule
2	Protège contre les corps solides supérieurs à 12 mm (ex.: doigt de la main)	2		Protégé contre les chutes de goutles d'eau jusqu'à 15° de la verticale	15 cm	Énergie de choc : 0,375 joule
3	Protègé contre les corps solides supérieurs à 2.5 mm (outils, fis)	3 [:]		Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale	20 cm	Énergie de choc : Q.500 joule
4	Protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm (outils fins, petits fits)	4		Protégé contre les projections d'eau de loutes directions	∀ 40 cm	5000
5	Protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible)	5		A A Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance	5	Energie de choc : 2,00 joules
6	Totalement protégé contre les poussières	6		Protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer	40 cm _	,
		7		4 4 Protégé contre les effets de l'immersion	40 cm	5 kg
	√ah	8		4 4 m Protégé contre les effets prolongés de l'immersion sous pression	9	Energie de choc : 20,00 joules

V. Les automates de terrain

5.1. Définition

Ce vocable recouvre de nombreuses fonctions et d'encore plus nombreux matériels. Les unités de fabrication étant très dispersées. Les différents opérateurs et maîtres d'ouvrages associés ont réalisé des machines correspondant à des cahiers des charges spécifiques de leurs besoins ou de leur imagination. Il y a peu d'appareils complets sur le marché.

L'automate de terrain gère le site de façon plus ou moins autonome selon le niveau de performance de sa programmation interne et il assure une liaison intelligente avec l'extérieur. L'automate de terrain est appelé "centrale d'acquisition de données" et sa programmation "programmation résidente". La programmation résidante peut être figée à la fabrication ou être modifiable ou paramétrable par l'utilisateur, même à distance.

5.2. Fonctions de base

Dans le cas général (Fig. 2) l'automate de terrain dans sa version de base est passif. Il reçoit un signal électrique analogique variable (courant 4-20 mA, 0- 1Volt par exemple). Ce signal est transformé, numérisé par un convertisseur en une valeur numérique. La précision de la transformation dépend du nombre de bits du convertisseur (8 - 12 - 16) qui permettent de couper le signal en tranches d'observations plus ou moins fines.

L'information peut concerner le passage d'un courant fixe par la fermeture d'un circuit, elle est dite Tout Ou Rien (TOR) et codée le plus souvent par 0 pour circuit ouvert et 1 pour circuit fermé.

Les valeurs numériques sont stockées les unes derrière les autres dans des mémoires mortes où elles constituent une pile. La gestion de ce stockage est assurée par la partie de logiciel de l'automate ou programmation résidante située dans les mémoires actives.

En cas de panne d'alimentation énergétique, les valeurs stockées en mémoire et la programmation résidante sont conservées pendant une durée pouvant atteindre 1 an par une batterie interne de sauvegarde.

Aux valeurs stockées dans les mémoires, le logiciel résidant associe des noms de

capteurs ou de sites et par l'intermédiaire d'une horloge interne des repères de temps, assurant ainsi pour l'utilisateur une cohérence de la série de mesures obtenues pour un capteur sur un site.

L'accès au contenu des mémoires pour l'utilisation peut être réalisé de 3 façons :

- Les mémoires enfichables sur l'appareil sont enlevées et emportées pour être vidées dans un centre spécialisé. Elles sont remplacées par des mémoires vides.
- Les mémoires sont vidées sur place et leur contenu transféré dans un ordinateur portable.
- Le contenu des mémoires est transféré vers l'extérieur, soit à l'initative d'un logiciel résidant, soit sur demande extérieure, par le moyen de liaison dont dispose l'automate : réseau téléphonique auto-commuté ou fréquence radio.

Les ruptures fréquentes d'alimentation sont préjudiciables aux systèmes électroniques du transmetteur et du capteur. Ainsi quand il n'y a pas de difficulté pour l'alimentation en énergie, le capteur est laissé alimenté de façon permanente et il émet un signal en continu. La prise d'information sur ce signal constitue le pas de mesure, et ce dernier est paramétrable par le logiciel.

La valeur d'une mesure associée à sa date occupe une certaine place mémoire ; plusieurs solutions sont proposées par des logiciels pour réduire l'espace nécessaire au stockage des mesures :

- Le stockage différentiel. La mesure n'est considérée comme significative et donc stockée que s'il y a une différence donnée par l'utilisateur lors de la programmation de l'automate, avec la mesure antérieure.
- Le stockage seul. Les valeurs ne seront stockées qu'au-dessus, ou au-dessous, ou même dans un intervalle de valeurs que l'on aura préalablement défini.

5.5. Un cas particulier, sortie RS 232

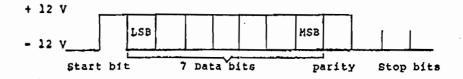
Un cas particulier est représenté par les appareils de mesure à sortie RS 232. Ces appareils intègrent en un seul ensemble le capteur, le transmetteur et l'automate et donnent pour l'utilisateur une information directement numérisée utilisable vers un ordinateur, sans aucun autre branchement. Ils constituent à eux seuls une chaîne de télémesure. Ce type de matériel est fréquent dans les usages de laboratoire, ou pour un utilisateur isolé, type "balance commerciale".

Alors qu'un transmetteur peut selon le constructeur recevoir plusieurs capteurs, et un automate plusieurs transmetteurs, dans ce cas il y a une chaîne complète par capteur. Il y a donc renchérissement du prix. Le codage de l'information en sortie de la RS 232 est en général spécifique au fabricant, auquel il faut acheter l'imprimante correspondante et une carte d'adaptation à enficher sur l'ordinateur (Fig. 6).

Pour la mesure multiple de paramètres de l'environnement, il existe des chaînes de traitement complètement intégrées regroupant plusieurs capteurs multiplexés vers une sortie RS 232. Il s'agit le plus fréquemment de centrale d'acquisition de données ciblant un usage très spécifique.

INTERFACE RS 232C

PORMAT DE TRANSMISSION D'UN CARACTERE ASCII.



BROCHAGE DU CONNECTEUR CANON

PIN N°	Symbol .	Nom du signal
1	rg	France ground
2	TD	Transmission data
3	EDR	External data request
4	RTS	Ready to send
5	CTS	Clear to send
6	DSR	Data set ready
7.	ag	Signal ground
20	DTR	Data terminal ready

Pour des applications particulières, la parité ainsi que la vitesse de transmission qui peut varier entre 150 et 19200 bauds, sont adaptables par nos soins. Nous consulter...

Fig. 6 : EXEMPLE D'ESOTERISME DES CODES DE TRANSMISSION (pour en savoir un peu plus se référer à la Fig. 7 et à ses commentaires)

VI. Transmission et traitement de l'information

L'automate de terrain ayant stocké dans ses mémoires un certain nombre d'informations et de mesures, il est nécessaire d'en assurer la transmission vers l'extérieur pour la consultation directe ou pour le transfert vers un ordinateur de traitement.

La transmission est assurée par l'intermédiaire de supports physiques (appareillage électronique, fils, air) dans lesquels on fait circuler l'information selon une certaine logique pouvant être définie par des normes.

Les supports physiques apparents peuvent être :

- des modems (modulateur-démodulateur)
- une ligne PTT
- des balises hertziennes
- des satellites
- des traînes de météorites entrant dans l'atmosphère.

Dans les trois derniers cas, il y a de grandes difficultés concernant les obtentions de bandes de fréquence, les normes et les homologations PTT. Pour les résoudre, il est nécessaire de faire appel à un spécialiste.

6.1. Supports physiques de la transmission

Ce sont les liaisons qui assurent le dialogue avec l'extérieur. Dans la plupart des cas ce sont des liaisons de type série asynchrone.

Dans les liaisons séries, les bits d'information sont transmis les uns derrière les autres selon un processus codé. Les liaisons séries ne nécessitent qu'un nombre limité de fils et consomment peu d'énergie, elles sont intéressantes pour les liaisons à grande distance, ce qui est le cas en télémesure.

Dans les liaisons asynchrones, c'est le signal d'émission qui porte l'information de synchronisation des horloges. L'émetteur est maître de la synchronisation. Les machines émettrices et réceptrices n'ont pas besoin d'être réglées par la même horloge. Elles peuvent être totalement indépendantes.

Les liaisons standards le plus couramment employées sont :

- RS 232 pour les liaisons vers la péri-informatique, modem minitel, PC, autres automates ;
- RS 485 pour les liaisons internes en réseau.

Dans le cas où le site est équipé de plusieurs stations de mesures, dispersées et relativement écartées les unes des autres, il est intéressant de les relier entre elles par radio.

Une balise radio, de la taille d'une cassette vidéo, se connecte d'une part sur la sortie série de l'automate de terrain, et d'autre part sur une antenne.

Les différentes stations de mesure peuvent être raccordées par radio à une station maître, chargée de collecter leurs informations et de les transmettre par téléphone (par exemple) au centre de traitement.

Une grande quantité de câbles est évitée, réduisant ainsi les coûts d'installation et les risques de détérioration (coupures, souillures), donc les coûts de maintenance.

C'est également la solution la plus pratique dans les situations où l'équipement de mesure est peu accessible (terrain escarpé, site lacustre ou maritime), donc difficilement raccordable par câble.

Cependant la liaison radio est accompagnée de certaines contraintes au moment de l'installation.

En France, comme dans la plupart des pays industrialisés (sauf aux U.S.A.), les télécommunications sont réglementées. Cela implique que, dès que l'on utilise un moyen radioélectrique en dehors de chez soi, on est soumis à une autorisation d'émettre et à une redevance annuelle. Le coût de la redevance est faible (quelques centaines de francs français par an), mais doit être incorporé au budget annuel de fonctionnement.

Avant l'installation du réseau radio, il est nécessaire de demander une licence d'exploitation aux autorités compétentes (actuellement la Direction des Télécommunications des Réseaux Extérieurs : D.T.R.E.). Sous un délai de 7 à 15 semaines, l'autorisation d'installer et la licence d'exploitation reconductible permettent le démarrage de l'exploitation du réseau. Notons que l'installation doit être faite par un installateur agréé France Télécom avec du matériel homologué.

Cette procédure peut paraître contraignante, et peut éventuellement encourager l'emploi de matériel non homologué donc moins coûteux. Il faut savoir que ces mesures, ainsi que les normes sévères appliquées aux équipements Télécom permettent une utilisation confortable des liaisons dans un environnement radioélectrique très encombré.

Les fréquences attribuées sont généralement partagées avec d'autres utilisateurs sur la région, mais garantissent le non-brouillage dans une cellule spatiale donnée, sur un canal

donné. La densité des fréquences étant de 80 canaux par Mégahertz, il est nécessaire de ne pas émettre (donc brouiller) les canaux de part et d'autre du canal attribué. Les matériels bon marché d'origine taïwanaise ou italienne ne respectent généralement pas ces normes et perturbent les fréquences adjacentes. Les contrôles réguliers de la D.T.R.E. visent à repérer les contrevenants utilisateurs de matériels non homologués, et à retirer ceux-ci du marché. L'emploi de matériel agréé est donc un investissement garantissant un fonctionnement non brouillé du réseau, et la compatibilité du matériel avec d'autres matériels conformes à la même norme.

Transmission par voie satellitaire: les exemples Argos et Méteosat (Fig.7)

A côté du système américian Meteor burst qui utilise la transmission par réflexiondiffusion sur les traînes ionisées de micro-météorites, deux systèmes satellitaires de télétransmission des données sur l'environnement sont opérationnels. Les deux systèmes, Argos et Meteosat, ne sont pas concurrents mais tendent plutôt à se compléter.

Le système Argos, embarqué sur les satellites de la série TIROS, a les avantages suivants par rapport au système Meteosat :

- il est plus économique en abonnement global (2.500 F H.T./balise sans back-up et avec station de réception directe);
- l'antenne, très compacte, a la taille d'une grosse demi-orange. Elle est donc quasi invulnérable au vent et au vandalisme ;
- il n'y a aucun pointage de l'antenne à effectuer, ni en site, ni en azimut ;
- il n'y a pas d'horloge dans l'émetteur. Il suffit de brancher l'alimentation et le système fonctionne.

Son inconvénient majeur est que, s'appuyant sur des satellites polaires, ceux-ci ne sont pas toujours en liaison optique avec la balise, d'où une transmission en temps légèrement différé. De façon schématique, l'utilisateur peut attendre 24 messages/jour aux pôles et 4 messages/jour à l'équateur.

En conclusion, le système Argos paraît très adapté à des contraintes de milieu dont les évolutions spatio-temporelles sont lentes c'est-à-dire, par exemple, la propagation des crues sur les grands fleuves comme la Seine ou bien le suivi des températures des cours d'eau qui varient peu d'un jour à l'autre avec une étude de tendance possible.

Fig.7 PRESENTATION SCHEMATIQUE DES DEUX SYSTEMES DE TELETRANSMISSION PAR SATELLITE UTILISABLES

	·
ARGOS depuis 1979 (CNES - NOAA - NASA)	METEOSAT depuis 1987 (GOES, GMS) (ESA)
Colle	ecte des données
Zone	de couverture
Totalité du Globe	Zone de visibilité du satellite 1/3 du globe entre 65° de latitude Nord et 65° de latitude Sud
Caractéristiques	générales de l'émetteur
1) longueur du message transmis : 256 bits max.	1) longueur max.du message transmis: 5104 bits utiles (canal normal) 184 bits (canal d'alerte)
2) émission périodique (toutes les 100 à 200 s)	émission à heure fixe (canal normal) * émission instantanée (canal d'alerte)
3) fréquence fixe 401,65 MHz4) adresse de la plate-forme attribuée par le Service ARGOS	3) 66 canaux de fréquence différente existent sur le satellite à partir de 402 MHz La fréquence et l'heure d'émission sont fixées par l'ESA (Agence Spatiale Européenne)
Récepti	on des données

- 1°) Par un Centre spécialisé (Centre ARGOS aux USA ou en FRANCE) avec dissé mination des résultats aux utilisateurs par télex, par envoi de listings ou bandes magnétiques par Minitel
- 2°) Par une station locale de réception satellitaire directe développée par CEIS-Espace.
- 1°) Par le Centre spécialisé de l'ESA à DARMSTADT (RFA) avec dissémination des résultats aux utilisateurs par le réseau GTS (Système Global de Télécommunication) sous forme de télex, listings ou bandes magnétiques
- 2°) Par une station locale de réception satel·litaire directe développée par CEIS-Espace.

NOTA: Les plates-formes METEOSAT peuvent être utilisées avec les satellites GOES et GMS.

^{*} Le canal d'alerte permet de transmettre instantanément un message d'alerte (dépassement de seuil)

En règle générale, l'hydrologie opérationnelle choisit Argos car les messages nécessaires à ce type de travail restent brefs (256 bits souvent suffisants).

Le système Meteosat a les avantages suivants par rapport au système Argos :

- la longueur maximale allouée aux messages est plus longue (5.104 bits utiles contre 256);
- sur le canal d'alerte, l'émission correspondante au dépassement d'un seuil imposé est instantanée :
- l'émission a lieu normalement toutes les 3 heures. Il est possible à la demande d'avoir des émissions toutes les heures, toutes les 6 heures ...

Les inconvénients majeurs sont liés à l'aérien :

- l'antenne, ressemblant à celle d'une télévision, ne résite pas au poids d'un gros oiseau (cas rare en France);
- l'antenne doit être pointée très précisément. Au fond d'une vallée encaissée en France, le satellite risque de ne pas être relié optiquement à la balise.

Il y a une horloge. Ceci est un handicap qui fait que le montage *in situ*, jamais très facile pratiquement, doit malgré tout être soigné. Une bonne qualification du personnel est nécessaire. En cas de dérive de l'horloge, il faut impérativement intervenir; il faut remettre l'horloge à l'heure car il y a le risque de gêner les autres utilisateurs du satellite.

En conclusion, le système Meteosat est très adapté aux systèmes d'alerte pour les Risques Majeurs (contrôle du niveau des retenues des barrages, pollutions ponctuelles). Le système Meteosat peut doubler ou tripler le fil et la radio.

De plus, le système est très adapté au suivi des stations météorologiques synoptiques avec une émission toutes les 3 heures et un rôle du personnel limité à l'entretien des capteurs.

Les consommations électriques en veille de ces systèmes sont comprises entre 0,5 mA et 2,5 mA. En émission, elles varient, selon la longueur du message émis, entre 50 et 700 mA pendant une très courte durée (de l'ordre de 0,3 sec.).

L'autonomie des centrales d'acquisition est très longue (plusieurs mois).

L'autonomie des centrales d'acquisition est très longue (plusieurs mois).

A la station pluviographique des Rochers St Paul et St Pierre installée sur une île déserte par 0°56' N et 29°22' W, l'autonomie dépasse 1 an avec une alimentation par piles sèches. La centrale peut bénéficier de l'apport de 1 ou 2 panneaux solaires de 8 ou 10 W chacun.

L'ensemble (capteur - centrale d'acquisition - balise - bâti) peut être portable, démontable et compact.

- portable : la société CLS donne un numéro de balise mais ceci n'implique pas que la balise doive être fixée toujours en un même lieu. Le poids de l'ensemble est faible. Il se décompose ainsi dans le cas d'un limnigraphe :
 - capteur, sonde piézorésistive (env. 4 kg avec 12 m de câble);
 - centrale (5 kg sans batterie);
- balise (Argos moins de 1 kg);
- bâti (en cornière de ferraille standard, 10 kg.).

Il faut ajouter le lest (béton) qui ancre le capteur au fond du lit. C'est la pièce la plus lourde (supérieure à 20 kg) mais elle peut être circulaire. Il peut s'agir d'un pneu de VL dont la "jante" a été bétonnée, le pneu restant ainsi facile à faire rouler.

• démontable et compact : la plus grosse pièce après démontage est la centrale d'acquisition dont les dimensions sont les suivantes (600 x 400 x 250 mm).

L'ensemble peut être mis dans le coffre d'un VL ou celui d'un petit hélicoptère. Le montage peut se faire en quelques heures. Le seul temps "perdu" est celui de l'installation et de la protection du câble.

6.2. Les codes logiques de transmission

Le langage décrivant l'organisation des transmissions n'est pas homogène selon que l'on s'adresse à un spécialiste des transmissions (au sens PTT du terme), ou à un informaticien, ou à un électronicien.

Une transmission est organisée selon le schéma suivant :

Emetteur	début	fin	Récepteur
	trame transfé	érée	
inter	[ace	interf	äce

La circulation de l'information depuis l'émetteur par l'intermédiaire d'une interface de liaison vers le récepteur s'effectue selon un protocole d'établissement de communication ou protocole de transmission.

Il y a deux grands types de protocoles:

- d'un maître vers un esclave,
- d'un maître vers un maître ou protocole de contention.

Le premier de ces protocoles est le plus répandu, l'émetteur est le maître et il décide du moment de la transmission.

Le deuxième protocole permet de mieux gérer les réseaux, mais est générateur de conflits qu'il faut gérer.

- ☐ La transmission des petites unités d'automates de télémesure est organisée selon des protocoles maître → esclave plus faciles à mettre en œuvre.
- Quand le maître a quelque chose à dire, (le maître peut être le consultant d'un automate quand ses mémoires sont pleines) il envoie une invitation à recevoir ou "selecting". En retour, il attend un "clear to receive" ou "CTR".

Ces deux fonctions correspondent à un signal sur un fil spécialisé. Si la voie est libre, le maître envoie une trame d'informations codées.

- La maître peut également solliciter l'esclave pour savoir s'il y a quelque chose à dire, il lui envoie une invitation à émettre ou "Polling" et attend en retour un "clear to send" ou "CTS", ces deux fonctions correspondent aussi à un état (0-1) sur fil.

☐ La trame constitue un bloc de données sous forme binaire (0-1) (cf Fig. 8) ou en code Ascii. Une trame est découpée en un certain nombre de zones, zone de début, d'identification, zone d'information, zones de contrôle, zone de fin.

Les spécifications d'usage des protocoles concernent l'emplacement et l'étendue de

Fig. 8: PROTOCOLE DE TRANSMISSION R S 2 3 2

Ce que fait le récepteur :

- Je suis OK:

Il reçoit en série toutes les informations de la trame, et contrôle s'il y a lieu

E T X

- La parité, somme de tous les bits de parité

c'est un état (0;1)

- Le check Sum, somme de tous les bits de la trame

sur un fil

En cas de différence, l'émetteur réenvoie la trame si nécessaire autant de fois que défini dans le protocole.

Que recouvre la norme RS 232 ?

- . Des compléments électroniques de communication 12 ou 5 volts DC
- . Des supports physiques, 25 pts, 9 pts et (5 pts et 3 pts) dyne
- . Des codages, soit 8 bits sans parité, 7 bits + 1 bit de parité
- . Et l'organisation du dialogue (STX, ETX), le colisage, la vitesse, la sécurité d'arrivée.

Mais la norme ne recouvre pas les caractères réservés propres à chaque constructeur, et qui rendent les dialogues entre matériel différent très difficiles.

ces zones, et non l'emploi des caractères. Chaque code comporte un certain nombre de caractères ayant une signification très particulière; ce sont les caractères réservés, ils ne peuvent être utilisés pour l'établissement de la donnée à transmettre. Il en résulte, même si les spécifications d'usage d'un type de code sont respectées, une grande incompatibilité entre les différents constructeurs (tous types d'appareillages confondus), le changement de caractères réservés étant une opération très compliquée à mettre en œuvre.

Lors de la transmission d'une trame, il peut y avoir altération de l'information par un changement d'état d'un ou de plusieurs bits. Cela peut être la conséquence de microcoupures de courant sur la ligne. Des contrôles sont donc placés dans la trame pour vérifier qu'elle n'a pas subi d'altérations durant la transmission (Fig. 8).

- Contrôle sur bit de parité :

On additionne tous les bits de parité de la trame, la parité du résultat binaire impair ou pair est stockée dans le dernier bit (0-1). Si la trame a subi un changement, la parité à l'arrivée est modifiée.

- Contrôle sur Check Sum:

On additionne tous les bits de la trame, le résultat est stocké dans la dernière zone. On recommence l'opération à l'arrivée, le résultat est le même si l'information n'a pas été modifiée.

Si le résultat de contrôle montre une erreur, la transmission est recommencée un certain nombre de fois avant l'émission d'un message d'erreur.

La vitesse de tranfert de l'information est un autre paramètre de la compatibilité, elle est exprimée en bauds ou bits/seconde. Sa valeur est généralement comprise entre 150 et 19200 bauds et il y a très peu de dispositifs à vitesse variable.

6.3. Traitement de l'information à la réception

A la réception, le devenir de l'information peut être multiple :

- simple consultation en temps réel sur un minitel
- écriture d'un message sur une imprimante
- appel téléphonique avec message vocal
- entrée dans un système informatique.

Dans ce dernier cas, il peut y avoir simplement stockage des données, avec des mises en fichiers plus ou moins complexes. La tendance actuelle est à l'implantation de logiciel superviseur de télémesure, on peut distinguer dans ces logiciels plusieurs niveaux de traitement de l'information:

- simple visualisation graphique des données brutes, avec
 - . graphique dans le temps
 - . graphique de données croisées
- outils de mise en forme des données avec possibilités de correction, d'interpolations de prise en compte de dérive, de compaction... en vue de réalisation de calcul ou d'archivage de données directement interprétables.
- traitement spécifique adapté à un type de données ou aux circonstances de leur utilisation.

L'information à traiter peut provenir de plusieurs sites à partir desquels les automates de terrain reliés entre eux en réseau peuvent dialoguer. Le traitement terminé, l'information mise sous une forme adaptée peut être renvoyée vers des utilisateurs par l'intermédiaire d'un serveur, et être consultée par Minitel ou sur un PC.

VII. Problématique du site de mesure

Intuitivement, nous attribuons à la mesure en continu une meilleure représentativité qu'à la mesure ponctuelle. Ceci n'est pas forcément vrai et la sécurité apparente donnant plus d'importance à la mesure en continu doit faire considérer avec beaucoup de soins tout ce qui concerne la représentativité du site. Il s'agit là de la première et de la plus importante contrainte d'une chaîne de télémesure. Sans un site représentatif, il n'y a pas d'objet pour la réalisation de la mesure. Il est en général possible de contourner les autres contraintes, de mettre des batteries en cas d'absence d'électricité, une balise hertzienne en absence de téléphone, d'aménager ou de protéger un accès. Toutefois la localisation d'un site est le plus souvent fonction de sa représentativité par rapport au phénomène que l'on veut observer ou mettre en évidence.

Par exemple, pour apprécier l'impact d'une station d'épuration sur une rivière, il faudra se situer assez en aval de son rejet pour avoir un mélange complet de l'effluent avec la rivière. Ceci est la représentativité du site par rapport au phénomène, mais il y a d'autres types de représentativité à prendre en considération.

- La repésentativité du paramètre physico-chimique le mieux adapté pour voir le phénomène : pH, oxygène dissous, température, turbidité, Eh, vent, salinité, conductivité. Il peut y avoir variation de l'adéquation du type de mesure en fonction de certaines périodes de l'année, contre-indication entre une contrainte réglementaire et l'observation la plus facile à réaliser, ou entre l'observation d'un phénomène permanent et/ou accidentel. Les choix sont parfois délicats, et à négocier.
- Il y a également la représentativité de la mesure au niveau du site lui-même. Il n'y a pas pratiquement en milieu naturel de sites dans lesquels la répartition des teneurs en éléments dans les fluides à mesurer air et eau soit homogène. Il y a toujours des variations de la mesure dans l'espace et dans le temps. L'exemple figuré et commenté ciaprès (Fig. 9, 10) montre quelles peuvent être ces variations dans le cas de l'oxygène dissous dans une rivière. La connaissance fine des variations autour du point de mesure est indispensable à l'interprétation des valeurs, et pour le passage à des estimations repésentatives sur un plan plus général.

développement .
algaire

rive droite

rive gauche

Canal de prise pour télémesure 0,05 mg/l 136 mV 0,05 mg/l -110 mV

0,5 mg/l 1,7 mg/l 183 mV 159 mV

BARRAGE

1,8 mg/l +110 mV

AVAL

SITUATION AU 6 SEPTEMBRE 1988 une partie du débit passe sous le développement algaire

> 0,1 à 0,5 mg/l . 50 mV

> > 0 à 0,05 mg/l 10 à 30 mV

2 à 3,6 mg/l 140 à 180 mV

0,7 mg/1

+185 mV

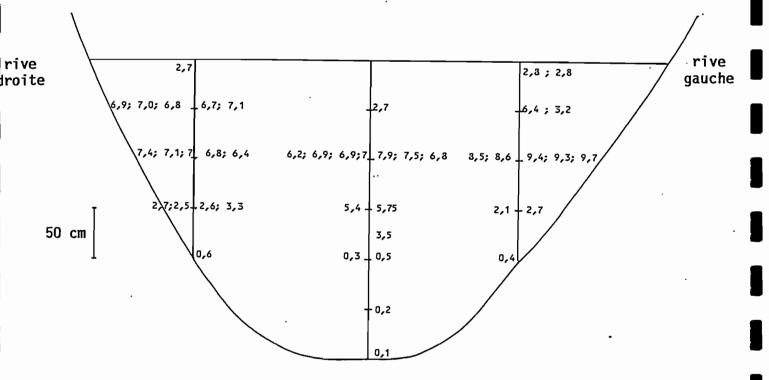
2,3 mg/l 0,2 mg/l -290 mV

Situation au 12 août 1988

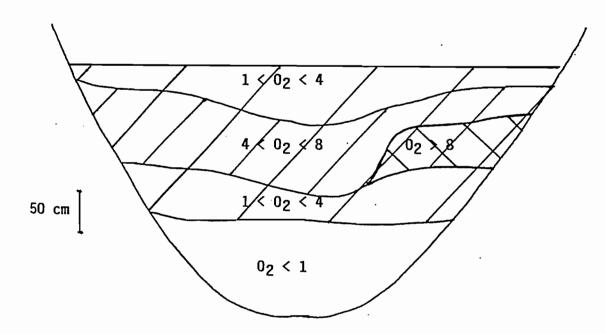
Fig. 9 : VARIABILITE SPATIOTEMPORELLE EN AMONT D'UN BARRAGE :

3ème écluse du fleuve LEZ - été 1988

(oxygène dissous en mg/l, potentiel redox en mV)



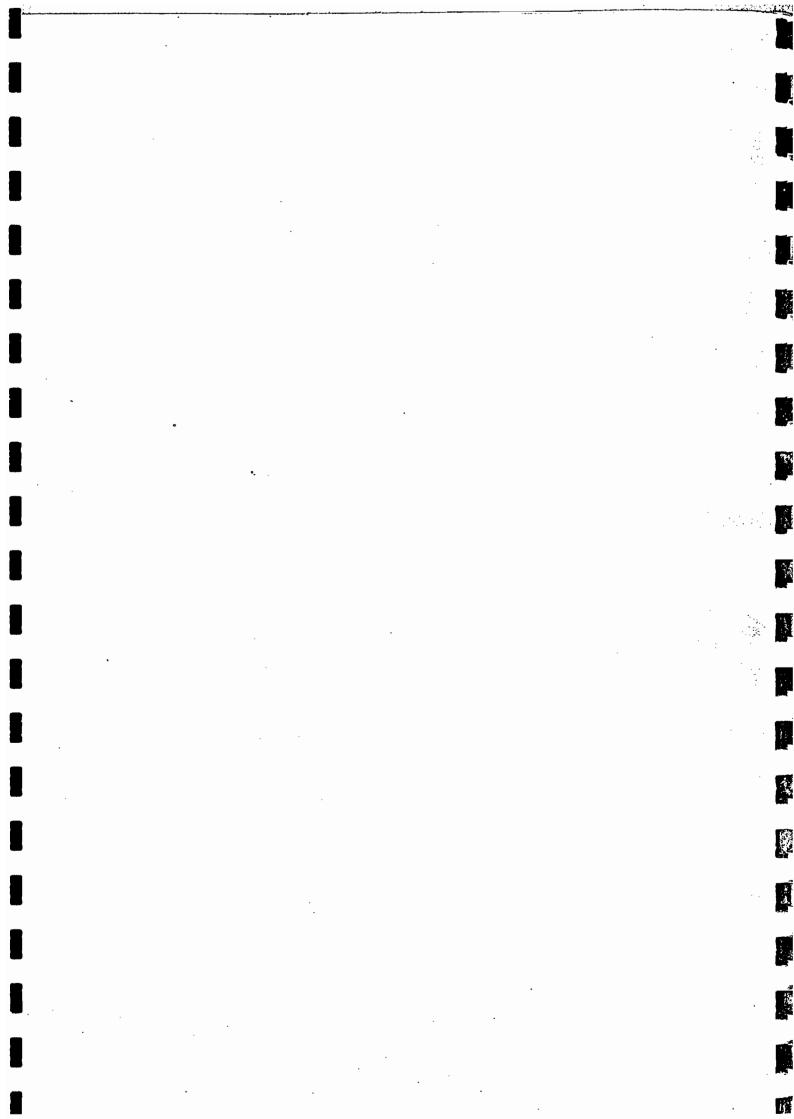
a) Profils verticaux de teneur en oxygène dissous en mg/l (mesure au pas de temps de 1 minute)



b) Isoteneur d'oxygène dissous en mg/l, le calcul du flux d'02 nécessiterait la connaissance de la répartition des vitesses.

Fig. 10:VARIABILITE SPATIALE SUR UN TRANSECT:

fleuve le Lez, passerelle base marine, 6 septembre 1988.
(écoulement vers le lecteur)



VIII. Ce qu'il faut savoir en plus

8.1. La protection anti-foudre

Les surtensions provoquées lors des épisodes orageux sont l'ennemi numéro un des dispositifs de télémesure. Les protections anti-foudre ne protègent pas contre une charge de foudre reçue directement sur le site. Les tensions y sont supérieures à 400.000 V et tout est volatilisé. Mais les surcharges apparaissant lors des épisodes orageux peuvent provoquer des détériorations de certains des composants électroniques de la chaîne de télémesure.

De plus, c'est très souvent lors d'épisodes climatiques difficiles qu'il est nécessaire d'obtenir des informations sur le milieu.

Les protections anti-foudre doivent porter sur les longueurs de fils supérieures à une trentaine de mètres. Sont principalement concernées :

- l'alimentation en énergie (sauf en cas de batteries)
- la liaison téléphonique (doit être assurée par les PTT)
- les entrées-sorties de l'automate
- les entrées-sorties du transmetteur et le capteur selon la configuration du site (longueur de câble supérieure à 20 m)
- les antennes

Pour éviter les déplacements, les protections type fusibles sont à éviter. Il faut toujours des protections par éclateur à gaz qui rétablissent le courant dès la fin de la surtension. La protection anti-foudre (une par fil) pouvant représenter un coût élevé sur un site de mesures, il y a toujours intérêt à examiner les modalités de liaison entre capteurs, transmetteurs et automates par rapport à ce problème.

8.2. L'étalonnage

La précision de l'étalonnage conditionne en grande partie la qualité des mesures obtenues, et seul l'étalonnage permet d'apprécier la dérive ou le vieillissement des capteurs. L'étalonnage constructeur ou celui réalisé à la première mise en œuvre doivent être complétés d'étalonnages périodiques entrant dans le fonctionnement d'entretien du site.

Pour réaliser des contrôles d'étalonnage sans risque d'erreur, il ne faut pas travailler en aveugle, mais disposer d'affichage de lecture directe sur les transmetteurs et sur les automates, afin de contrôler l'adéquation des valeurs sur l'ensemble de la chaîne.

La différence de valeurs observées entre le transmetteur et l'automate, s'il y en a une, permet de juger l'adéquation de la charge de la ligne par rapport aux caractéristiques demandées par le constructeur, ≤ à 750 Ohms en général. Au niveau de l'automate, on peut réaliser un étalonnage prenant en compte la perte en ligne.

☐ L'étalonnage constructeur

Il est donné par le constructeur, avec une correspondance valeur de courant-valeur de mesure, sur laquelle on ne peut agir. C'est le cas très souvent des capteurs de température. Pour limiter les erreurs, il est nécessaire d'effectuer des mesures de contrôle avec un autre appareillage (thermomètre au mercure au 1/10°C). En cas de différence, il faudra faire une correction systématique de la mesure.

Certains automates ont une fonction étalonnage et peuvent prendre en compte directement cette différence par réglage du zéro, c'est la fonction "offset".

☐ L'étalonnage sans point de référence interne

Certains appareils, capteurs ou transmetteurs, émettent un courant de référence correspondant à une valeur de mesure très particulière. Le plus souvent il s'agit de la valeur zéro. A partir de cette valeur, pour réaliser une courbe d'étalonnage linéaire, il faut un deuxième point. En effectuant une mesure dans une solution étalon de teneur connue, l'étalonnage consiste à faire le zéro bien réglé sur l'appareillage, à obtenir l'affichage sur le cadran du transmetteur ou de l'automate de la bonne valeur correspondant à la solution étalon. Cela est réalisé par un bouton d'étalonnage de réglage potentiométrique.

☐ L'étalonnage sans point de référence interne

L'appareillage n'émet pas de courant de référence, et l'étalonnage s'effectue avec deux solutions étalons, pour deux mesures situées pour plus de précision vers les extrémités de l'étendue de mesure. Ce type d'étalonnage nécessitant un doublement des circuits correspond à de l'appareillage haut de gamme, il lui est généralement adjoint le choix de l'amplitude de l'échelle de mesure. Le plus couramment l'amplitude de l'échelle de mesure correspond à la valeur retenue pour les solutions étalons. Il est possible ainsi selon l'amplitude du phénomène que l'on veut mesurer d'augmenter la précision de la mesure.

Les automates à fonction d'étalonnage offrent exactement la même possibilité. Une fois l'étalonnage du capteur effectué sur le transmetteur, on peut affecter la totalité de la plage de courant de sortie du transmetteur à l'étendue des valeurs numériques couvertes par le convertisseur de l'automate, ce qui permet de conserver la plus grande précision.

En effet un découpage de signal en 4096 parties par un convertisseur 8 bits n'aura pas la même précision pour une plage de mesure de température de (-100 + 300°C) ou de (-10 + 50°C), on passe du 1/10 au 1/100.

8.3. La dégradation des capteurs dans le milieu de mesure

Il reste toutjours un phénomène incontournable, c'est la dégradation rapide des capteurs sous l'action agressive du milieu.

- ☐ Dégradation physique
- dégradation humaine
- action des crues toujours dévastatrices
- dégradation thermique, action de l'humidité sur les contacts
- vieillissement des plastiques, des caoutchoucs et de l'électronique.

L'appréciation de ce risque peut influer sur le choix des capteurs, le rapport des prix étant de 1 à 10, on peut très bien décider du remplacement systématique annuel d'un capteur.

□ Dégradation chimique

Elle est surtout due à l'action corrosive du SH₂ dans les milieux réducteurs. Il faut des protections spéciales (contact or) ou ne laisser à proximité du lieu de mesure que le capteur proprement dit et déporter toute l'instrumentation électronique et l'alimentation énergétique.

On constate souvent la réduction des anodes en argent des oxymètres.

☐ Dégradation électrostatique

Dans les milieux riches en matières en suspension à particules chargées type floc, il peut, par effet électrostatique des capteurs, y avoir dépôt de particules. Ce phénomène est parfois très rapide (Ex. : faible dilution en aval d'une station à boues activées fonctionnant mal) et en moins de 24 heures, la membrane d'un oxymètre peut être complètement imperméabilisée.

☐ Dégradation biologique

Les capteurs et leur protection constituent de véritables niches écologiques. Dans un premier temps, il y a fixation des microphytes et du microplancton dans un milieu riche de

ce point de vue; cela peut prendre quelques jours, une semaine tout au plus. Ensuite la voie est ouverte à l'accrochage des macrophytes, algues diverses, pouvant complètement englober le capteur dans un micromilieu, et d'animaux divers : holothuries, sangsues, escargots, clovisses, crevettes, balanes, huîtres, moules ... selon le milieu.

Le seul remède passif actuel est une grande surface de contact entre le capteur et le milieu ambiant ce qui laisse pendant plus longtemps une plage résiduelle libre pour une mesure biaisée mais encore interprétable quantitativement.

8.4. Coût investissement-fonctionnement

Les coûts d'achat sont très variables en fonction du type de matériel retenu, de son degré d'automatisation.

Pour quatre paramètres en milieu environnemental, le coût d'un site de télémesure peut être compris entre 100.000 et 400.000 F. Le prix d'une sonde à oxygène dissous avec un transmetteur peut varier de 7.000 à 80.000 F. Il faut d'abord considérer la qualité du matériel par rapport à l'agressivité du milieu environnant. L'installation en milieu marin ou littoral est plus onéreuse qu'en milieu continental. La profondeur ou la pression du milieu ambiant gonflent les coûts d'étanchéification; il existe aussi du matériel antidéflagrant.

Il faut prendre aussi en compte le risque de dégradation : le matériel sera-t-il le support d'une vie aquatique, peut-il être emporté par une crue, détérioré par une action humaine ? L'examen de ce risque fait souvent pencher le choix vers des capteurs peu chers, facilement remplaçables.

Les coûts de fonctionnement sont aussi très variables, ils vont dépendre du site et du type de mesure. Un site avec des développements d'algues ou de l'envasement va nécessiter de nombreuses visites. Le pH et l'oxygène dissous peuvent dériver par évolution interne ou salissure des sondes, seuls les étalonnages périodiques peuvent mettre en évidence et corriger cette dérive. Le blocage d'un anémomètre est repérable à distance, la température est une mesure très stable ne nécessitant pas d'entretien.

On considère en mileu aquatique que la fréquence des visites d'entretien doit être de

- 15 jours pour les mesures de paramètres chimiques,
- 1 mois pour les mesures de paramètres physiques.

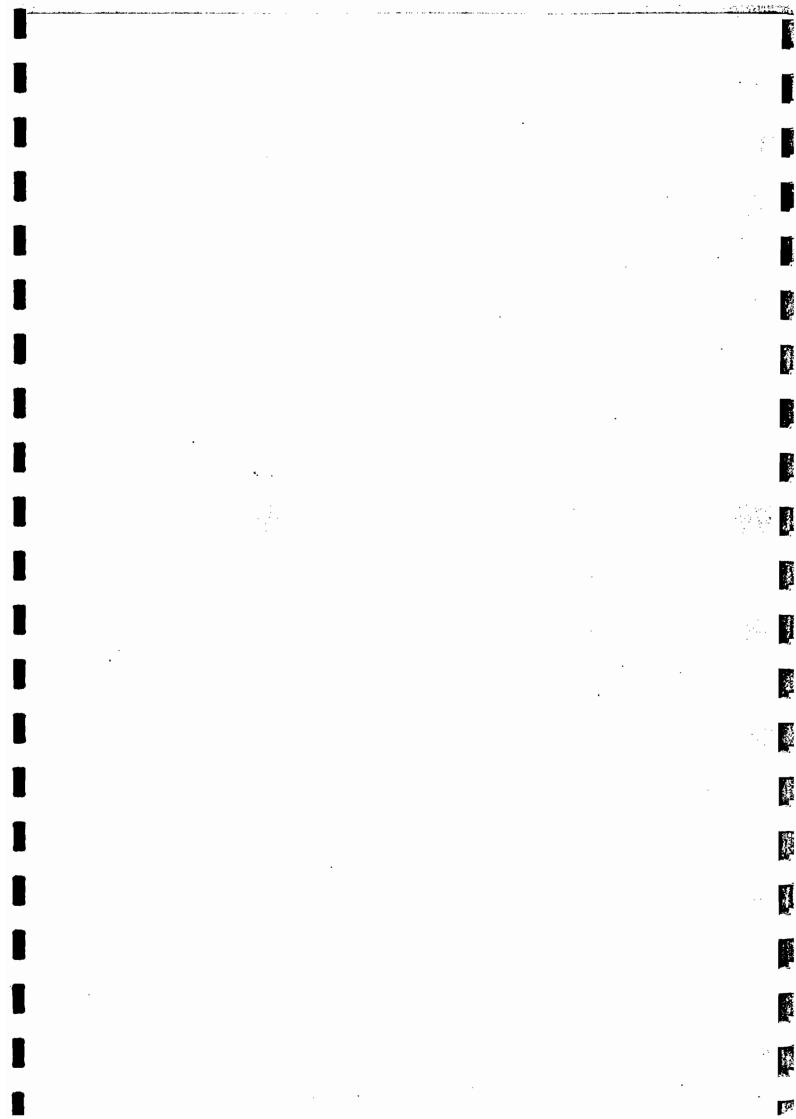
L'électronique et les différents circuits sont aussi susceptibles de panne. Une valeur raisonnable pour un taux d'immobilisation est de 20 jours/an (d'après une enquête de l'AGTHM et expériences VERSEAU).

Sur ces bases, on constate que la gestion correcte d'une quinzaine de sites va demander une personne à temps complet, et un matériel tournant de remplacement. Il y a donc intérêt à normaliser, standardiser ou même simplement rendre compatible au maximum le matériel d'un réseau de télémesure.

Il faut aussi prendre en compte le coût de la transmission et du traitement de l'information. Sur un réseau d'un quinzaine de sites, le coût des abonnements téléphoniques n'est pas négligeable et il faut étudier la fréquence des besoins en consultations. Une gestion des alarmes peut rapidement être amortie par la diminution de la fréquence des consultations.

Les systèmes satellitaires sont économiques sous certaines conditions :

- Bien que chaque émetteur doive bénéficier d'une licence payante d'exploitation de la Direction de Télécommunication des Réseaux Extérieurs (DTRE), les télécommunications spatiales ont aujourd'hui un espace de liberté privilégié.
- La redevance annuelle, facturée par CLS (Collecte Localisation Satellites), peut tomber à 2500 Frs/balise avec Argos et à 10 000 Frs/balise avec Meteosat. Avec l'agrément de l'ESA, pour Meteosat, il peut ne pas y avoir de facturation.



Liste non exhaustive des constructeurs dont les notices ont été consultées pour établir ce document

CAPTEURS

SEBA Hydrométrie Distributeur local : Tubafor Provence

B.P. 321 84706 SORGUES cedex Tél: 90 83 47 47 - Fax: 90 39 13 85

AQUALYSE B.P. n° 8356 95804 CERGY PONTOISE cedex

Tél: (1) 34 25 01 55 - Fax: (1) 34 25 05 95

CIFEC 10, avenue de la Porte Molitor 75016 PARIS

Tél: (1) 46 51 52 04

COMPTOIR LYON ALEMAND LOUYOT

13, rue de Montmorency 75013 PARIS Tél: (1) 42 77 11 11 - Fax: (1) 42 77 03 58

DE PESCARA Avenue Léon Heid 64230 BIZANOS

Tél: 59 27 28 84 - Fax: 59 27 23 45

ELSYDE 93, rte de Corbeil 91700 Ste GENIEVIEVE DES BOIS

Tél: (1) 69 04 93 93

DEGUSSA FRANCE 157, avenue Charles de Gaulle 92203 NEUILLY

Tél: (1) 47 47 51 00

ENDRESS-HAUSER S.A. 3, rue du Rhin, Zone Industrielle, B.P. 5

68330 HUNINGUE Tél: 89 69 67 68

EUR-CONTROL FRANCE 11, rue de Rottenbours 75012 PARIS

HACH EUROPE Chaussée de Namur, 1, 5751 FLORIFFOUX

B.P. 51 5000 NAMUR 1 (BELGIQUE)

Tél: (081) 44 53 81

ICEL 55, boulevard Galliéni

92130 ISSY LES MOULINEAUX

Tél: (1) 45 58 52 74

KELLER St. Gallerstrasse 119, CH-8404, WINTERTHUR

Tél: (052) 29 11 26

KOBOLD INSTRUMENTATION B.P. 7719 95046 CERGY PONTOISE

Tél: (1) 34 21 91 15

KRHONE S.A. B.P. 98, Usine des Ors 26103 ROMANS cedex

Tél: 75 05 44 00 - Fax: 75 05 00 48

LEEDS NORTHRUP FRANCE 75-77 rue du Docteur Vailant 78210 St CYR l'ECOLE

Tél: (1) 34 60 61 61

MERRESA 13, rue des Dames 78340 LES CLAYES SOUS BOIS

OSI 141, rue de Javel 75739 PARIS 15°

Tél: (1) 45 54 97 31

PHOX FRANCE 10, ave Parmentier 78340 Les CLAYES SOUS BOIS

Tél: (1) 30 56 02 97

POLYMETRON-SIEGER 14, rue du Ballon, Z.I. Les Richardets

93160 NOIST LE GRAND

PONSELLE MESURE 14, avenue de la Pépinière 78340 VIROFLAY

Tél: (1) 30 24 62 62 - Fax: (1) 30 24 31 85

ROSEMOUNT 1, place des Etats-Unis, Silic 265

94578 RUNGIS cedex

Tél: (1) 46 87 26 12 - Fax: (1) 46 87 57 98

SERES Z.I., rue Albert Einstein, B.P. 87

13762 LES MILLES cedex

SEURI 36, avenue Hoche 75008 PARIS

Tél: (1) 45 61 11 50 - Fax: (1) 45 25 12 06

T.N.C. 190, rue Championnet 75018 PARIS

TRANSAMERICA INSTRUMENT 112, rue des Solets, Silic 138 94523 RUNGIS cedex

Tél: (1) 46 87 26 38 - Fax: (1) 46 86 20 69

VEGA TECHNIQUE 15, rue du Ried, Nord House 67150 ERSTEIN

Tél: 88 98 18 18

WTW FRANCE 133, allée des Clématites 94510 LA QUEUE EN BRIE

ZULLIG 70, Grand Rue, B.P. 66 Horbourg Whin

68000 COLMAR Tél: 89 41 47 38

DRUCK PARAMETTRES Agence Rhône Alpes, Les Flandres 38490 AOSTE

Tél: 76 32 57 28

BRUEL et KJAER 46, rue de Champoreux, B.P. 33

91451 MEMECY cedex

Tél: (1) 64 57 20 10 - Fax: (1) 64 57 24 19

CENTRALE D'ACQUISITION DE DONNEES

MIRIA 16 DEGREANE Electronique - B.P. 954

28, avenue de Font Pré 83050 TOULON cedex

Tél: 94 27 90 70

EMAC 85

AUTEG, 56, rue du Progrès 38170 SEYSSINET PARISET

Tél: 76 27 56 33

MADO

BRGM Instruments

B.P. 6009 45060 ORLEANS cedex

Tél: 38 64 34 18

S.C.H.T.R.O.U.M.P.H.

EDF, Division Technique Générale - 37, rue Diderot

B.P. 41, Centre de Tri 38040 GRENOBLE cedex

PATERAS

CAMPTORT TECHNOLOGIE

Avenue Léon Heid 64320 BIZANOS Tél: 59 27 28 84 - Fax: 59 27 23 45

PH 18

CEIS-Espace, rue des Frères Boudes

Z.I. Thibaux 31084 TOULOUSE cedex

Tél: 61 44 39 31

CIMEL

CIMEL Electronique

5, Cité de Phalsbourg 75011 PARIS

Tél: 43 48 79 33

CR2M

CR2M, 15, rue du Buisson aux Fraises 91300 MASSY

Tél: 60 13 06 33

NEURO-TRONIC

NEURO-TRONIC, 13, rue du Général Gourand

67210 OBERNAI Tél: 88 95 03 81

NOE

CENTRALP, 21, rue Marcel Pagnol 69200 VENISSIEUX

Tél: 78 75 92 30 - Fax: 78 76 11 23

CMR 100

KRISTAL S.A., 1, rue des Essarts

Z.I. de Gières Mayencin, B.P. 29 38610 GIERES

ACRO 400

MARTEC, 655, avenue Roland Garros

B.P. 72 78530 BUC

Tél: (1) 30 24 91 00 - Fax: (1) 39 56 52 33

AIRTELEC

METRONICA, Bât. Le Prologue

B.P. 213 31328 LABEGE INNOPOLE Cedex

MESUR-ELEC

39, rue des Frères Lumière

B.P. 22 69682 CHASSIEU Cedex

Tél: 78 90 15 27

AXONE

NARDEUX S.A., 11, rue des Granges Galand

B.P. 212 37552 St AVERTIN Cedex

Tél: 47 28 30 21

HYDRUS II

A. OTT GMBH, 4-12

B.P. 2120, D 8960 Kempten

Distributeur: WILD LEITZ, 86 rue du 18 Juin 1940

F 92563 RUEIL MALMAISON Cedex

Tél: (1) 47 32 92 13

MSD II

SEBA HYDROMETRIE Distribué par TUBAFOR

B.P. 96 59393 WATTRELOS Cedex Tél: 20 26 24 32 - Fax: 20 27 97 92

SOFREL S 10/S 15

SOFREL Télégestion, Le Plessis 35770 VERN SUR SEICHE RENNES Tél: 99 28 59 00 - Fax: 99 62 72 16

PERAX

PERAX, 48, rue de Fenouillet 31140 St ALBAN TOULOUSE

Tél: 61 70 31 59

BALISES HERTZIENNES

EUROPE TELECOM

B.P. 9012

34041 MONTPELLIER Cedex 01

Tél: 67 87 27 30 - Fax: 67 59 30 10

BALISES SATELLITAIRES

CEIS-ESPACE

Z.I. Thibaux, rue des Frères Boudes

31084 TOULOUSE Cedex

Tél: 61 44 39 31

CLS

18, avenue Edouard Belin 31055 TOULOUSE Cedex

BALISES METEOR BURST

METEOR COMMUNICATIONS CORP.

22415 72nd avenue South KENT (Washington State)

98031 USA

VAISALA

VAISALA OY PL 00421 HELSINKI

42 FINLANDE

PANNEAUX SOLAIRES

CHRONAR

Z.I. Nord, route de la Brassée B.P. 66 62302 LENS Cedex

Tél: 21 42 99 99

PHOTOWATT

131, route de l'Empereur 92500 RUEIL MALMAISON

SOLELEC.S.A.

Rue des Caraïbes Z.I B.P. 6 34880 LAVERUNE

Tél: 67 42 47 00 - Fax: 67 47 39 31

SOLEMS S.A.

Z.I Les Glaises, rue Léon Blum

91130 PALAISEAU

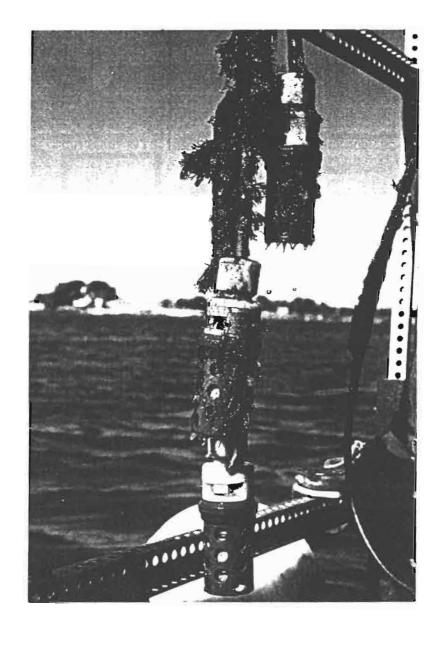
Tél: (1) 60 13 34 40

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

3 capteurs d'oxygène dissous sur un profil vertical de mesure dans l'étang de Thau (34). Après un séjour de 15 jours sans entretien, les capteurs, sauf celui de fond ont été colonisés par une biocénose importante. L'expérience à montré qu'à ce stade d'occupation, la mesure des capteurs est encore interprétable.

Capteurs d'oxygène dissous et capteurs de mesures de pH avec canne réservoir de Kcl, dans le déversoir d'arrivée à la station de lagunage de Mèze (34). Il s'agit, en raison de la longueur des égouts et de la présence de rejets issus de la cave coopérative, d'eau assez réductrice. On y constate au bout de deux mois une réduction de la surface en argent de l'électrode d'oxygène.

Les capteurs figurés ci-contre sont du type de ceux employés de façon courante pour la surveillance des stations d'épuration, peu onéreux et robustes.





En haut:

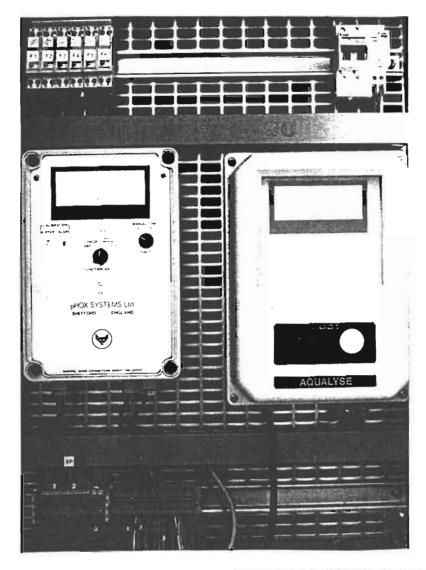
Coffret contenant deux transmetteurs avec les raccordements vers la centrale d'acquisition de données, les capteurs, l'alimentation en énergie et les protections antifoudre.

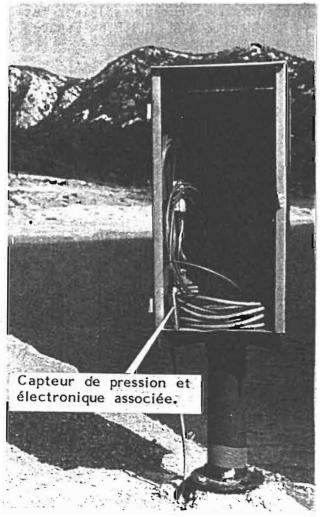
En bas à gauche:

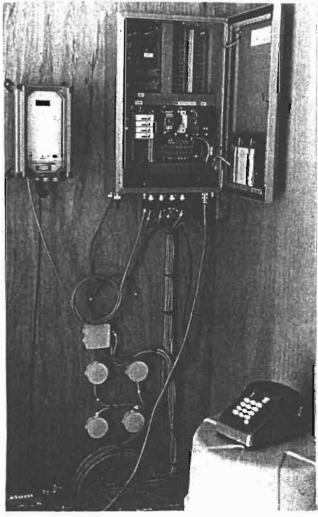
Coffret de raccordement de capteur de pression installé sur piézomètre de contrôle d'infrastructure de barrage. Mas de la Jasse (34).

En bas à droite :

Centrale d'acquisition de données déportée (Redon-Industrie), et transmetteur de mesure de conductivité par induction.







En haut à gauche:

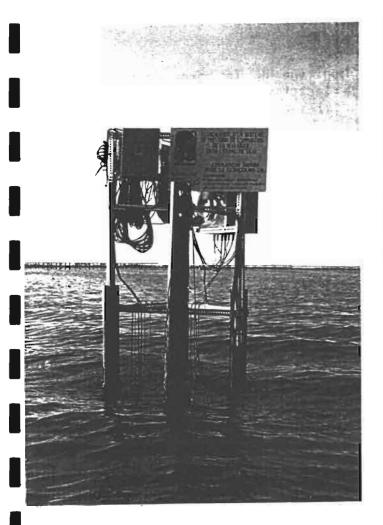
Centrale d'acquisition et de télémesure sur l'étang de Thau. Cette centrale alimentée en énergie par cable gère 6 capteurs à oxygène dissous, 6 capteurs de pH et 6 capteurs de températures.

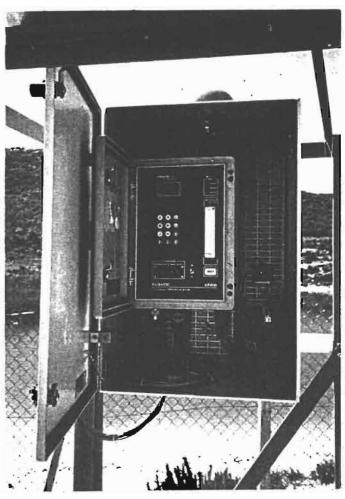
En haut à droite :

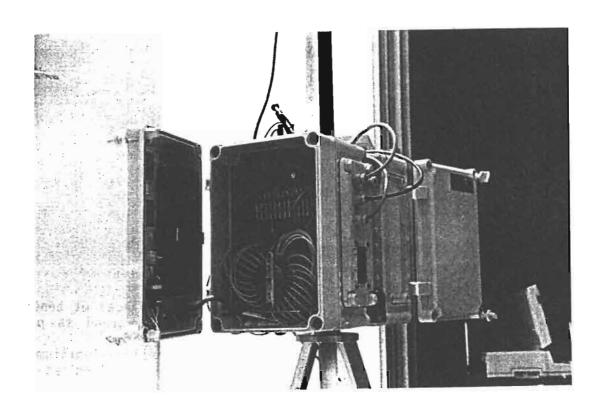
Centrale d'enregistrement CHLOE A alimentée par panneaux solaires et transmission de données par balise Argos. Matériel ELSYDE C.I.E.S. Espace. Cliché ORSTOM.

En bas:

Centrale d'acquisition à faible consommation c.r. 2m.







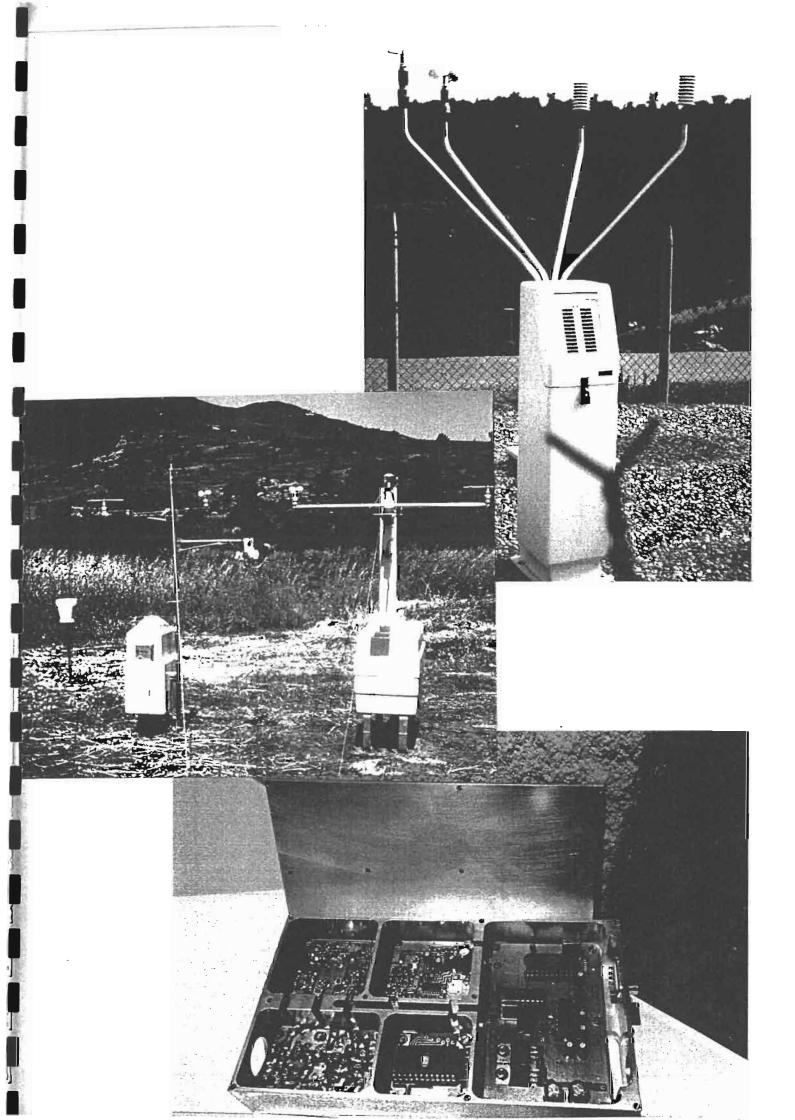
Station Météorologique automatique CIMEL vue de la borne abri alimentée par panneau solaire et équipée ici de 4 capteurs sur le site de la Jasse (vitesse, direction du vent, températures).

SAMCET (système automatique de calcul de mesure еt l'évapotranspiration) et SAME (système automatique de mesure de 1'Environnement). PESCARA.

SAME est un ensemble compact réunissant 7 capteurs (T humide, T sèche, vitesse et direction de vent, psychromètre, pluviomètre, rayonnement) et équipée d'une centrale de mesure et de calcul PATERAS qui gère les capteurs (10 mesures/s) et calcule toutes les 15 minutes Température ambiante, humidité relative, déficit de saturation, vitesse et direction du vent, énergie reçue par le couvert végétal et évapotranspiration selon la formule de Penman modifiée.

Utilisant la technologie CMS (Composants Montés en surface) et bénéficiant d'une conception modulaire, la balise EUROPE TELECOM prend sa place au sein de la chaîne de mesure.

Son boîtier (180 x 100 x 20 mm) en alliage Magnésium-Aluminium fraisé dans la masse isole l'extérieur des rayonnements parasites et protège les composants des agressions extérieures.



Joseph C., Rodier C., Blateyron F. (collab.), Clerc J.M. (collab.), Gioda Alain (collab.), Tortosa C. (collab.)

Systèmes de télémesure en contrôle et gestion de l'environnement.

Montferrier-sur-Lez: VERSEAU, 1990, (1), 61 p. multigr. (Les Cahiers de VERSEAU; 1).