

## LE STOCKAGE DE L'INFORMATION SUR LE SITE ET SA RESTITUTION

J.M. FRITSCH

Lorsque les spécifications des systèmes CHLOE-OEDIPE ont été définies en 1982, un premier choix fondamental s'est présenté : dans le cas général, devait-on accorder la priorité à un stockage de l'information sur le site, ou fallait-il privilégier d'abord la télémesure.

Selon un consensus quasi-général, il s'est avéré, que dans les conditions typiques rencontrées par les hydrologues en zone intertropicale et en particulier par ceux de l'ORSTOM, la télémesure constituait "un plus", parfois indispensable pour certaines applications, mais que la collecte de données devait comporter une mémorisation sur le site en option de base. En effet :

- Par rapport à une collecte sur site, toute technique de transmission introduit un risque supplémentaire de dégradation ou de perte de l'information, pendant les phases d'émission, de transmission ou de réception, pour des raisons aussi diverses que la défaillance des modules physiques, les perturbations de l'espace radio-électrique ou de mauvaises conditions de gestion de l'information à la réception.
- En considérant les contraintes de longueur de message du système de transmission satellitaire ARGOS, le seul opérationnel à cette époque, il était clair que la totalité de l'information significative ne pouvait plus transiter par cette voie, à partir du moment où les conditions hydrologiques imposent un échantillonnage de collecte avec un pas de temps nettement inférieur à l'heure.
- Une part importante des mesures hydrologiques menées dans le cadre de programmes de recherche de l'ORSTOM sont à caractère non opérationnel et non permanent. La période des mesures, leur durée et les critères d'exploitation peuvent être mouvants en fonction des objectifs spécifiques de chaque programme et des résultats intermédiaires qui ont pu être obtenus. L'intégration de ces stations dans des réseaux de télétransmission et la gestion des résultats selon un protocole rigide n'est pas toujours possible ni souhaitable.

Ainsi, à l'amont d'une éventuelle télétransmission destinée à assurer le suivi en temps réel des paramètres mesurés ou la télésurveillance de la station d'acquisition, on a considéré que la mémorisation sur site constituait l'équivalent de la "boîte noire" en aviation, dans laquelle on est censé retrouver, dans tous les cas, la totalité des paramètres qui ont été collectés. A cet effet, la première qualité de la technologie utilisée pour mémoriser l'information doit être la plus grande sécurité possible.

Sécurité en phase de collecte : En cas d'une avarie quelconque sur un capteur ou sur la station, y compris les pannes d'alimentation électrique totales et durables, toute l'information collectée jusqu'au moment de la panne ne doit subir aucune altération.

Sécurité pendant le transport terrain-laboratoire : Cette sécurité vise à rendre inopérantes toutes les fausses manœuvres des opérateurs lors des visites sur les stations. La qualification de ces personnels reste le plus souvent encore insuffisante, et on a tenu à ce que les conditions de leurs interventions sur place, dans un environnement souvent difficile, soient le moins complexe possible et se limitent à substituer physiquement des modules-mémoires pleins par des modules vides. On a éliminé à priori toute solution prévoyant l'utilisation d'un clavier et d'un micro-ordinateur portable pour ce transfert sur le site. Cette technique est en général associée avec des mémoires résidentes sur la station, en technologie RAM secourue ou EEPROM. Le point faible de cette filière est qu'il autorise et impose l'effacement de la mémoire de collecte sur le site, par l'opérateur qui effectue le relevé. Dans les conditions ordinaires de l'hydrologie opérationnelle, il y a une probabilité assez forte pour qu'un lot d'information collecté avec succès puisse être perdu. Le transport de cartouches de mémoire statique extractibles introduit une certaine lourdeur dans les procédures, mais assure la meilleure sécurité possible. L'effacement est commandé en temps différé, par des hydrologues-informaticiens rompus aux procédures de gestion des fichiers, dans la sérénité d'un laboratoire climatisé.

A cette sécurité vis-à-vis des défaillances humaines doit correspondre une sécurité technologique maximum. De ce fait, on a également éliminé toute solution nécessitant une alimentation électrique permanente pendant le transfert terrain-laboratoire (filière RAM secourue), et a fortiori les systèmes mécaniques (cartouches à bandes magnétiques).

La solution à retenir passait par l'utilisation de cartouches de mémoire statique, amovibles, enfichables sur les stations d'acquisition. La capacité typique d'une cartouche avait été estimée à 64 K octets. Deux technologies de réalisation étaient envisageables :

- Les mémoires EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). La programmation et l'effacement de ces mémoires sont assurés électriquement et un état quelconque de la mémoire est indéfiniment stable, sans qu'aucun courant électrique ne soit nécessaire. Cette solution n'a pu être mise en oeuvre à l'époque, car les capacités des boîtiers de mémoire EEPROM étaient trop limitées et leur coût prohibitif pour l'application envisagée.
- Les mémoires EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory). L'écriture et la lecture sont assurées par des courants électriques, mais l'effacement est obtenu par une exposition

directes des puces aux rayons ultra-violet. Cette filière a finalement été retenue pour la conception du module de stockage CE64 des matériels ORSTOM-ELSYDE.

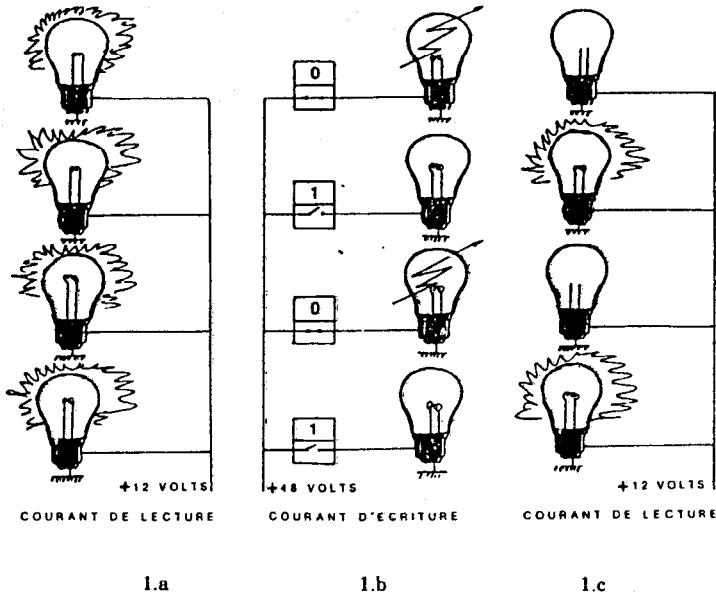


Fig. 1 : Représentation schématique de la programmation d'une mémoire EPROM

La cartouche CE64 est un module amovible, adaptable sur les centrales d'acquisition par un connecteur 96 points. Ses dimensions extérieures sont de 115 mm x 115 mm x 20 mm. La capacité de 64 K octets est obtenue par l'implantation de 8 boîtiers au standard 28 broches de 64 K bits chacun. Dans une EPROM vierge, tous les bits sont positionnés à "un". Schématiquement, en appliquant une tension donnée à l'adresse d'une cellule mémoire (un octet), les bits sollicités sont positionnés à "zéro" par ce courant d'écriture qui crée une modification stable dans le silicium. Cette tension de programmation de l'EPROM est de l'ordre de 21 volts, alors que la tension d'utilisation en lecture-seule est de 5 volts. Une analogie très démonstrative consiste à figurer une cellule mémoire comme une rampe de lampes électriques. Le courant de lecture correspond à la tension d'alimentation nominale des ampoules, par exemple 12 volts. Au départ (Fig. 1.a,) toutes les ampoules peuvent être allumées (On "lit" un état où tous les bits sont à 1). Une tension d'écriture (Fig 1.b), en l'occurrence 24 ou 48 volts par exemple, est appliquée selon la combinaison binaire désirée (la valeur 0101 pour coder le chiffre 5 en BCD dans le demi-octet sélectionné sur la figure), ce qui a évidemment pour effet de "griller" les ampoules sélectionnées et de laisser la

batterie de lampes dans un état qui peut indéfiniment être "relu" avec la tension nominale de 12 volts (Fig. 1.c).

L'analogie lampe-EPROM s'arrête là, car s'il faut permuter les lampes grillées pour remettre les bits à 1, l'état originel du silicium peut être reconstitué en appliquant à la puce une énergie de l'ordre de 15 watts par seconde et par centimètre carré, sous forme d'un rayonnement ultra-violet de 250 nanomètres de longueur d'onde fourni par la lampe d'un effaceur. Le temps d'effacement est de quelques minutes (de 5 à 40 minutes). En pratique, cette dispersion des temps d'effacement semble pouvoir être imputée à la situation du boîtier dans l'effaceur (distance à la source et position par rapport à l'axe du rayonnement) et à l'état de propreté des fenêtres des boîtiers.

Le nombre de cycles écriture-effacement que peut subir une EPROM est extrêmement variable, à en croire les différents constructeurs : certains annoncent 1000 cycles, d'autres 50 !. Les boîtiers utilisés dans les cartouches CE64 ont été testés et ont supporté sans dommages 200 cycles écriture-effacement. Il semblerait que la durée de vie corresponde à une quantité globale d'énergie de rayonnement. L'utilisateur n'a donc pas intérêt à illuminer systématiquement trop fort ou trop longtemps ses cartouches, mais à se situer juste au dessus du seuil d'énergie minimum, quitte à refaire un cycle si l'effacement n'est pas obtenu en un seul passage. Si l'effacement n'est pas réalisé dans des délais nominaux, avant de disqualifier la cartouche, il faut s'assurer que l'anomalie ne provient pas des conditions de l'expérience (lampes U.V. grillées ou vieillies, traces de vernis ou saletés sur les fenêtres des boîtiers).

La contrepartie de cette sécurité est l'obligation de prévoir une gestion particulière de la mémoire. En effet, si pour une raison quelconque, une anomalie se produit au moment de l'écriture dans un octet d'EPROM, il n'est pas possible de "corriger" la valeur erronée et d'y reprogrammer la valeur correcte. (l'analogie avec les lampes s'applique bien dans ce cas).

Pour permettre le traitement de ces erreurs au moment de la lecture de ces cartouches au laboratoire, on aurait pu imaginer d'écrire un code-erreur dans l'octet suivant (situé à l'adresse  $A + 1$ ), pour invalider le contenu de l'octet à l'adresse  $A$  et signifier que la valeur cherchée est située à l'adresse  $A + 2$ . Mais il y a de très fortes probabilités pour que cette procédure échoue et qu'on ne puisse pas écrire correctement le code-erreur dans l'octet suivant : Il suffit d'imaginer que toute une zone mémoire ou un boîtier entier de 8 K octets soit défectueux ; ou bien encore que le défaut d'écriture provienne d'une alimentation électrique insuffisante, auquel cas on n'aura pas davantage de chances d'écrire correctement le code-erreur que la donnée hydrologique. En fait la seule certitude que l'on puisse avoir est que l'espace mémoire est vide à partir de l'octet suivant l'anomalie jusqu'à la fin de la cartouche, c'est à dire que tous les bits sont à "un" et que la valeur hexadécimale de ces octets est "FF". La procédure utilisée est la suivante : si la programmation de

l'octet situé en A échoue, l'octet A + 1 est "sauté" (la valeur reste "FF") et l'écriture est tentée sur l'octet A + 2. En cas de nouvel échec, l'opération est répétée sur les octets A + 3 et A + 4 et ainsi de suite...

Cette procédure d'abandon des positions de mémoire inutilisables permet la poursuite de l'enregistrement des données, en toute fiabilité, au prix d'une réduction de la capacité utile de la cartouche. La mise en oeuvre de cet algorithme impose que la cartouche soit vide au moment de son insertion sur une centrale d'acquisition (Tous les octets sont bien à "FF"). Une procédure de contrôle de vacuité est activée lors de la mise en route des stations, qui a pour effet de rejeter les cartouches qui ne satisfont pas à ce critère.

Au moment du traitement de ces cartouches au laboratoire, la mémoire est explorée octet par octet à partir de l'adresse de fin de cartouche (64 K) jusqu'à l'adresse de début (00). Pendant cette opération, l'occurrence d'une valeur "FF" doit donc être interprétée de la façon suivante :

Tant que l'on n'a pas rencontré d'octet avec une valeur différente de "FF", on est dans l'espace mémoire non utilisé pendant la collecte et le code "FF" signifie "octet disponible non utilisé".

A partir du moment où l'on a rencontré un octet différent de "FF", on a atteint la zone de la cartouche qui a effectivement été utilisée pendant la collecte, et dès lors, l'occurrence de la valeur "FF" invalide l'octet suivant. Au stade du dépouillement, différentes procédures de lecture des cartouches sont accessibles à l'utilisateur, qui l'autorisent à gérer lui même cet algorithme ou le rendent transparent.

Les EPROM se sont révélées extrêmement fiables à l'usage et il s'est avéré que cette procédure de gestion des erreurs d'écriture dans les octets défectueux n'a été mise en oeuvre que très rarement. Pratiquement dans tous les cas, ces défaillances n'ont pas pu être imputées à un défaut du support d'enregistrement, mais à une tension de programmation inférieure au seuil minimum de 20.5 volts.

La qualité de l'alimentation électrique des stations (12 volts) est un facteur déterminant pour la stabilité de la tension de programmation de l'EPROM, qui doit rester dans des limites très strictes ( Moins de 20.5 volts = défaut d'écriture; plus de 21.5 volts = destruction de l'EPROM). Or des alimentations électriques dégradées peuvent fort bien autoriser le fonctionnement logique normal d'une station CHLOE ou OEDIPE (tensions internes requises de 5 volts - courant absorbé sur l'alimentation : 5 milliampères) et perturber l'écriture en mémoire, phase pendant laquelle l'alimentation de la centrale doit fournir un courant appelé de 400 milliampères.

La lecture des cartouches CE64 est possible avec le terminal LCM (Lecteur de Cartouche Mémoire). Cette unité est connectable sur tout ordinateur capable de gérer une liaison série au standard RS232C.

Le LCM reconnaît un certain nombre de commandes envoyées par l'ordinateur; en réponse le terminal envoie les informations codées dans la cartouche. La version 2.0 de son logiciel intégré supporte les commandes suivantes :

#### Copie

syntaxe : "Caaaazzzz"

fonction : Transmet sur la liaison série le contenu de la cartouche compris entre les adresses hexadécimales *aaaa* et *zzzz*

#### Transfert bloc

syntaxe : "Tn"

fonction : Transmet sur la liaison série le premier bloc mémoire de la cartouche compris entre l'adresse [0000] et l'adresse [n x K octets]. La valeur n doit être comprise entre 1 et 8.

#### Suite transfert bloc

syntaxe : "S"

fonction : Transmet sur la liaison série le bloc de longueur nxK octets, suivant celui précédemment transmis par une commande Tn ou S.

#### Fin de cartouche

syntaxe : "F"

fonction : Transmet sur la liaison série l'adresse du dernier octet utilisé dans la cartouche, ainsi que le nombre d'octets défectueux rencontrés pendant l'écriture en mémoire et qui ont été balisés par la procédure "des sauts sur octets à FF".

La commande C produit une copie brute de la mémoire, alors que les commandes T et S gèrent l'algorithme des octets défectueux. Ceux-ci sont détectés et mis à "FF" avant la transmission.

Cette transmission est faite en code ASCII. Chaque octet de la cartouche comportant 2 caractères codés en BCD, la transmission complète d'une CE64 représente donc 128K caractères.

La vitesse de transmission est fixée à 4800 bauds. Chaque caractère donne lieu à l'émission de 10 bits : 1 start, 7 data, 1 parité paire (dite "parité transversale"), 1 stop.

Chaque bloc d'information transmis par une quelconque des commandes comporte en fin de bloc un octet de "parité longitudinale" ou BCC (Binary Check Count). Cet octet de contrôle est programmé avant l'émission sur la liaison RS232 comme un "OU EXCLUSIF" de tous les octets du bloc qui va être émis. La gestion du BCC et de la parité transversale donne à l'utilisateur l'assurance d'obtenir une copie entièrement conforme à la cartouche CE64 en cours de traitement.

**Le LCM assure une fonction supplémentaire importante pour la gestion d'un stock de cartouches CE64 : le test de vacuité, c'est à dire le contrôle que l'effacement s'est conclu de manière favorable. Cette fonction est accessible même sans micro-ordinateur connecté au terminal; elle est activée par un bouton poussoir. Cette action provoque la lecture séquentielle de la cartouche et le clignotement d'une diode TEST en façade si un octet non à "FF" est rencontré. Une telle cartouche n'est pas correctement effacée et ne peut être installée sur une station d'acquisition dans ces conditions.**

L'effacement est assuré par un coffret ECM (Effaceur de Cartouche Mémoire), comportant deux rampes à rayonnement Ultra-Violet correspondant aux deux rangées de boîtiers EPROM 2764 implantés dans la cartouche. Sur certains ECM de première version, on a constaté une dégradation prématurée des qualités du rayonnement UV fourni et des difficultés subséquentes à effacer correctement les cartouches. Cette anomalie a parfois été imputée, à tort, aux cartouches. Dans ce cas, le remplacement des lampes UV s'impose. Une version 2 de l'effaceur ECM, pour laquelle ce défaut a été corrigé, est actuellement commercialisée.

L'évolution technologique du stockage sur les systèmes ORSTOM-ELSYDE est prévue en deux temps :

1er temps : L'utilisation de mémoire EEPROM, qui permettra de conserver toutes les spécifications intéressantes de la mémoire statique EPROM, avec en plus les avantages suivants :

- Faible consommation électrique en mode programmation. (Faible puissance et tension nominale de programmation fixée à 5 volts). Tous les anomalies introduites par les spécifications de programmation des EPROM sont supprimées.

- Effacement "instantané" assuré électriquement par une commande appropriée du LCM.

Cette modification imminente ne remettra pas en cause l'ensemble des matériels CHLOE et OEDIPE actuellement en service. Le conditionnement des EEPROM sera le même que celui des EPROM (cartouche CE64 et connecteur 96 points). Il est prévu que les nouvelles cartouches EEPROM pourront être utilisées sur les versions anciennes des stations d'acquisition. L'utilisateur devra toutefois implanter un logiciel "nouvelle version" dans le LCM, comportant une commande pour activer l'effacement de la cartouche EEPROM.

2ème temps : Plus tard, on peut prévoir qu'une deuxième génération de stations d'acquisitions verra le jour, dont la technologie sera radicalement différente et pour laquelle il ne sera plus possible de respecter une compatibilité ascendante. Il est probable que la carte-mémoire constituera alors le support idéal pour le stockage sur site. Banalisée (donc de coût très bas), de grande capacité (256 ou 512 K octets), peu gourmande en énergie électrique et d'encombrement réduit, cette carte mémoire pourra être associée à des centrales d'acquisition miniaturisées, dont l'autonomie, assurée par des piles internes, sera considérable. Il ne resterait plus alors que les capteurs pour poser des problèmes et générer des pannes sur les systèmes d'acquisition .....