

Le système CAPPAR : expérimentation assistée par ordinateur, grâce à des CAPteurs reliés à la prise PARallèle

par Pierre DIEUMEGARD
Professeur de Sciences Naturelles
Lycée Thiers - 13232 Marseille

Pour l'Expérimentation Assistée par Ordinateur (EXAO), outre les interfaces «classiques», on pouvait déjà utiliser le système «CAPMAN» (acronyme de CAPteurs à la place des MANettes de jeu) (voir Biologie-Géologie n° 1 - 1990). Ce système est fondé sur l'emploi de la prise «manettes de jeu», qui permet de mesurer facilement la valeur de résistance électrique d'un composant électronique : photorésistance, thermistance, potentiomètres, photodiodes ou phototransistors...

Néanmoins ce système nécessite la présence dans l'ordinateur de l'interface «jeux» (= «joystick»), qui n'existe pas sur tous les ordinateurs. En particulier les ordinateurs portables, qui sont très pratiques pour aller faire des mesures sur le terrain, ne sont pas utilisables avec ce système, pas plus qu'avec les autres systèmes de mesure nécessitant de placer une carte dans un connecteur d'extension. Les différents capteurs utilisables avec CAPMAN étaient donc inutilisables sur ces ordinateurs.

Pour ces ordinateurs sans connecteur d'extension, il fallait concevoir un système de mesure pouvant se relier à une interface standardisée existant sur ceux-ci, c'est-à-dire sur l'interface «série» ou sur l'interface «parallèle». Déjà, certains systèmes sont développés pour ces interfaces. Orphy utilise l'interface «série» (RS232), mais, pour les modèles commercialisés actuellement (été 93), c'est un matériel nécessitant une alimentation en 220 volts, ce qui en réduit considérablement la portabilité. Diverses interfaces utilisant la prise parallèle sont décrites dans les revues d'électronique, mais elles doivent être montées par l'utilisateur, et sont trop complexes pour être montées facilement.

En fait, en utilisant cette interface parallèle, qui est fondamentalement conçue pour la connexion d'une imprimante, on peut faire le même type de mesures qu'avec Capman, grâce à un montage qui, outre le capteur spécifique de la mesure, ne nécessite qu'un seul composant électronique : un condensateur, pesant moins d'un gramme et valant moins d'un franc.

Grâce à lui, on peut faire facilement des mesures de lumière, de température, d'angle... Avec l'aide supplémentaire d'un optocoupleur, on peut enregistrer aussi des tensions électriques.

1. PRINCIPE GÉNÉRAL : CHARGE ET DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR À TRAVERS UNE RÉSISTANCE

Un condensateur est un composant électronique capable d'emmagasiner une certaine quantité d'électricité lorsqu'il est soumis à une tension électrique : le condensateur est alors «chargé». Lorsque la charge cesse, l'électricité emmagasinée dans le condensateur est dissipée dans le circuit : le condensateur se décharge, et peu à peu la tension à ses bornes s'annule.

Si on réalise le circuit simple suivant :

- générateur de tension électrique, pouvant passer de la tension 0 à la tension U_a ,
- résistance,
- condensateur,

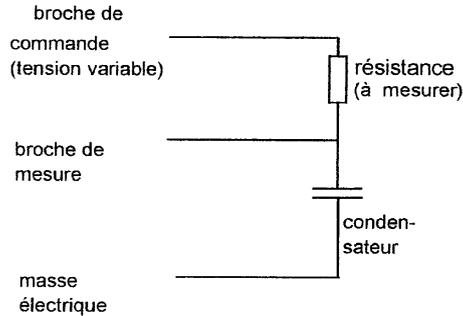
et que l'on mesure la tension aux bornes du condensateur lors de la charge, on constate que le temps mis par le condensateur pour se charger dépend de la valeur de la résistance R . On peut définir une **constante de temps** pour ce circuit :

$$\tau = R.C$$

Pour aboutir à une charge de 95 % de la tension d'alimentation, il faut attendre un temps égal à 3 fois la valeur de τ ; inversement, à la décharge, il faut attendre le même temps pour que la tension ait diminué de 95 %, et qu'il ne reste plus que 5 % de la tension initiale.

Donc, pour un condensateur de capacité donnée, le temps de charge ou de décharge est proportionnel à la valeur de la résistance (en ohms). Inversement, si l'on veut un temps de charge ou de décharge donné, il

faut faire varier la valeur du condensateur pour qu'elle soit accordée à celle de la résistance.



2. APPLICATION PRATIQUE : L'INTERFACE PARALLÈLE DES «COMPATIBLES PC» ET LA MESURE DES RÉSISTANCES

2.1. Fonctionnement de l'interface parallèle

Normalement, cette interface sert à la commande des imprimantes, mais elle est aussi utilisée pour la communication entre ordinateurs. Elle se présente sous la forme d'une prise plate femelle à 25 broches, en principe sur la face arrière de l'ordinateur.

En plus des 8 fils utilisés pour transmettre les caractères (codés sur un octet, soit 8 bits), il y a divers fils utilisés pour harmoniser la transmission des caractères : il ne faut pas que l'ordinateur envoie des caractères si l'imprimante n'est pas sous tension, ou si elle n'a plus de papier, ou si elle n'arrive pas à imprimer suffisamment vite...

Pour cette coordination, les fils peuvent être en principe à deux niveaux électriques :

- soit 0 volt (neutre électrique),
- soit + 5 volts.

Le changement de tension est commandé par l'électronique de l'appareil (ordinateur ou imprimante), et est perçu par l'autre appareil (imprimante ou ordinateur), ce qui modifie son fonctionnement.

Ce changement de tension correspond à un changement de la valeur d'un bit dans la mémoire centrale de l'ordinateur, c'est-à-dire au

changement de la valeur d'un «port» dont les adresses sont indiquées ci-dessous (en hexadécimal).

Normalement, pour la première interface parallèle, celle qui est normalement sur tous les ordinateurs PC, l'adresse des signaux émis est \$379, et celle des signaux reçus est \$37A, c'est-à-dire l'adresse immédiatement suivante. Pour la deuxième et troisième interfaces parallèles (à installer soi-même si on le désire), les adresses sont \$279 et \$27A, ainsi que \$3BD et \$3BE. Il arrive malheureusement que certains ordinateurs ne suivent pas cette règle, et que l'adresse de la mémoire de la première prise parallèle soit l'adresse normale de la deuxième...

Parmi les signaux émis par l'ordinateur (signaux de commande), voici les plus utilisables :

- «Strobe»	broche 1	bit 0
- «Autofeed»	broche 14	bit 1
- «Reset»	broche 16	bit 2
- «Select in»	broche 17	bit 3

Parmi les signaux reçus par l'ordinateur, les plus utilisables sont :

- «Select out»	broche 13	bit 4
- «Paper out»	broche 12	bit 5
- «Ack»	broche 10	bit 6
- «Busy»	broche 11	bit 7

La masse électrique est dans les broches 18 à 25. Les numéros des broches sont gravés en petits caractères sur la prise elle-même.

2.2. Utilisation de ces signaux pour faire des mesures logiques

Puisqu'un programme peut commander le passage des fils de commandes («sorties») de la tension 0 V à la tension 5 V et inversement, ces sorties peuvent servir de sortie logique : stimulations, commandes de relais, etc.

De même, les fils d'entrée peuvent servir d'entrée logique, et permettre à l'ordinateur de vérifier la présence ou l'absence d'un contact.

Déjà, ce principe est utilisé pour certaines manipulations : l'Union des Physiciens diffuse le logiciel «Chrono PC - chute libre», de F. BOSSERT, F. FRANCK, P. MAHE et O. PECHEUX, qui permet d'étudier la chute libre grâce à un phototransistor branché sur l'interface parallèle.

2.3. Utilisation de ces signaux pour faire des mesures analogiques de résistances

Si une broche de commande est reliée à la masse par l'intermédiaire d'un condensateur (de capacité fixe, et supposée connue) et d'une résistance (variable, et que l'on cherche à mesurer), lorsqu'on fera varier la tension de la broche de commande (par exemple passer de 0 V à + 5 V), la tension aux bornes du condensateur ne va varier que progressivement, en fonction du courant traversant le circuit, qui dépend lui-même de la résistance que l'on cherche à mesurer.

Si la jonction condensateur-résistance est reliée à une broche de réception, en mesurant le temps mis par le condensateur pour se charger, on pourra mesurer la valeur de la résistance.

2.4. Montage proposé et algorithme de mesure

On utilise une variable entière comme compteur :

- au départ, on suppose que la broche de commande est à 0 V,
- pour chaque mesure :
 - mettre le compteur à 0,
 - mettre la broche de commande à 5 volts,
 - répéter l'incrémentement du compteur jusqu'à ce que la broche d'entrée soit à 5 volts,
 - remettre la broche de commande à 0 volt,
 - la valeur du compteur correspond à la valeur de la résistance.

L'opération inverse est bien sûr possible, et au lieu de mesurer le temps mis par le condensateur à se charger, on peut mesurer le temps mis par celui-ci à se décharger.

2.5. Utilisation possible des 4 entrées/sorties

Pour une programmation simple, le mieux est de numéroter les entrées et les sorties selon la valeur des bits qu'elles occupent dans la mémoire :

1^{er} couple : Strobe/Select out

2^e couple : Autofeed/paper

2^e couple : Reset/Ack

3^e couple : Select in/busy

2.6. Un exemple de mesure programmée en Pascal

```

program capimp;
uses crt;
const adr1=$379;
      adr2=$279;
      adr3=$3BD;

      delai=10;

const tabmasque : array[0..7] of byte
      = (1,2,4,8,16,32,64,128);

var adresse:word;
function litcappar(numbit:byte):word;
var i:word;
    test:word;
begin
  test:=port[adresse] ;
  i:=0;
  port[adresse+1]:=port[adresse+1] or tabmasque[numbit];
  repeat inc(i) until (i>3999) or (port[adresse]<>test);
  (* c'était la boucle de mesure*)
  port[adresse+1]:=port[adresse+1] and (not tabmasque[numbit]);
  delay(delai);
  litcappar:=i;
end;

begin
  adresse:=adr1;
  repeat
    write(litcappar(0),' ');
    write(litcappar(1),' ');
    write(litcappar(2),' ');
    writeln(litcappar(3));
  until keypressed;
end.

```

Remarques : le petit délai introduit entre chaque mesure est destiné à permettre au condensateur de se décharger complètement. Sa valeur dépend de votre montage, et en particulier des valeurs de la résistance et du condensateur.

La valeur numérique renvoyée par la fonction LitCappar dépend de la rapidité du microprocesseur de votre ordinateur.

Même si la résistance est nulle, la valeur renvoyée par LitCappar ne le sera pas, car il y a une résistance interne dans l'ordinateur, qui empêche que le condensateur soit rechargé instantanément. Cette valeur n'est pas identique selon les différentes broches.

Si au contraire, la résistance est infinie (lorsque les broches ne sont pas connectées), les valeurs renvoyées par la fonction sont aberrantes, puisqu'il n'y a ni charge, ni décharge de condensateur.

Si l'on programme la boucle de mesure en assembleur au lieu de Pascal, on doit augmenter considérablement la vitesse du comptage, donc la précision de la mesure (environ 10 fois).

3. ADAPTATION DU MONTAGE ÉLECTRONIQUE EN FONCTION DU CAPTEUR

3.1. Quels composants utiliser ?

Il n'y a pas de règle bien définie. D'une façon générale, si la résistance à mesurer est grande, alors il faut prendre un petit condensateur, et si la résistance est petite, prenez un gros condensateur (pour que le produit R.C soit du même ordre de grandeur).

Pour un premier essai, prenez un condensateur de l'ordre du microfarad, et une photorésistance : lorsque vous ferez varier l'éclairement de celle-ci, sa résistance électrique changera, et les valeurs renvoyées par Cappar changeront. Adaptez ensuite les composants en fonction de vos résultats.

3.2. Quels capteurs utiliser pour les mesures scientifiques ?

- Les potentiomètres rotatifs peuvent servir à des mesures d'angle (par exemple pour faire l'étude du pendule en physique).
- Les potentiomètres à curseur peuvent permettre de mesurer des longueurs.

- Photorésistances, photodiodes et phototransistors sont utilisables pour les mesures d'éclairement.
- Les thermistances (ou thermorésistances) de type CTN ont une résistance qui diminue lorsque la température augmente, et la relation entre les deux grandeurs est de type exponentiel.
- Les optocoupleurs permettent la détection de variation de tension (entre 0 et quelques volts).
- Enfin, de simples fils métalliques plongés dans une solution aqueuse permettent d'en mesurer la résistivité.

3.3 Différences d'emploi entre CAPMAN et CAPPAR

Dans la mesure où vous construisez vous-même votre circuit CAPPAR, vous avez toute liberté pour choisir le condensateur en fonction de la gamme de résistances que vous cherchez à mesurer, ce qui n'est pas le cas avec CAPMAN.

Dans les cycles de charge-décharge du condensateur, le courant électrique circule dans la résistance de CAPPAR tantôt dans un sens, tantôt dans un autre.

3.4. Quelques idées de développement de ce principe pour d'autres interfaces

L'interface parallèle n'est pas seule à offrir ce genre de détournement de fonctions :

- dans l'interface sérielle (RS 232), il y a aussi des broches de sorties (DTR et RTS) qui peuvent passer de l'état - 12 V à l'état + 12 V par programme, et des broches de mesure (CTS et DSR) qui changent la valeur d'un bit de mémoire en fonction de leur tension. On doit donc pouvoir imaginer un système CAPSER de mesure, qui serait utilisable aussi pour les ordinateurs n'ayant pas d'interface parallèle, comme le Macintosh,
- des interfaces ayant des entrées et sorties logiques peuvent probablement servir à des mesures du même type : en faisant passer la sortie logique à un état, et en mesurant le temps nécessaire pour que l'entrée logique qui y est reliée change de valeur, on peut mesurer la résistance. Par exemple, l'interface PMB, diffusée par la Maison des Enseignants de Provence, a normalement 4 entrées analogiques, mesurant des tensions (en volts), et 8 entrées et sorties logiques. Si l'on adapte des systèmes condensateur/résistance variable à ces entrées/sorties logiques,

on ajoute du même coup 8 entrées analogiques pouvant mesurer des résistances. Ce système «CAPPMB» peut utiliser tous les capteurs de Capman et de Cappar.

4. LOGICIELS CAPABLES D'EXPLOITER CETTE INTERFACE CAPPAR

4.1. Si vous êtes bon programmeur

Comme on l'a vu précédemment, le fonctionnement de CAPPAR est très simple : il suffit de fixer la valeur d'un bit de mémoire, et de compter le temps mis par un autre bit pour changer de valeur. On peut programmer Cappar dans tous les langages : Basic, C ou Pascal, pour ne citer que les plus connus. Vous pouvez donc écrire vos programmes d'application vous-mêmes.

4.2. Si vous n'êtes pas programmeur

A partir de l'hiver 1994, tous les logiciels polyvalents diffusés par la Maison des Enseignants de Provence (B.P. 194, 13264 Marseille Cedex 07) seront capables d'utiliser Cappar :

- Mesugraf94 : logiciel d'expérimentation générale pour les mesures lentes,
- Oscill94 : logiciel d'expérimentation générale pour les mesures rapides,
- Symbiote94 : programme résidant permettant de faire des mesures à l'intérieur des tableurs-grapheurs. Avec cette nouvelle version sera livrée une partie pour Windows, permettant de faire des mesures dans le tableur Quattro Pro pour Windows.

4.3. Si vous êtes un peu programmeur

La solution des «pilotes résidants» est faite pour vous. Ce sont des petits programmes chargés en mémoire avec le programme principal. Lorsque celui-ci les appelle, ils font la mesure à l'interface, et lui renvoient le résultat.

On peut donc programmer indépendamment le programme principal (qui fait les traitements numériques, l'affichage graphique, l'écriture et la lecture des fichiers...) et le pilote résidant.

Les logiciels cités précédemment (Mesugraf94, Oscill94, Symbiote94) seront capables d'appeler ces pilotes résidants, et seront

fournis avec une documentation permettant de programmer soi-même ces petits programmes (avec fichiers-sources en Pascal).

Si l'écriture de quelques lignes de programme ne vous fait pas peur, vous pourrez donc réaliser vous-même le pilote de votre interface (CAPPAR avec un délai différent, ou un système semblable pour la prise RS-232, ou transformer les entrées/sorties logiques de Cassy en entrées analogiques...). Ensuite vous pourrez tranquillement faire vos mesures par Mesugraf94 ou Oscill94.

5. DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME POUR LES SCIENCES PHYSIQUES

Cappar peut bien sûr servir au laboratoire, pour toutes les mesures où Capman ferait l'affaire, mais il a un domaine spécifique : les mesures «sur le terrain», à l'aide d'un ordinateur portable.

Si l'expérience doit durer plusieurs heures ou plusieurs jours, il peut être sage de prévoir des accumulateurs supplémentaires pour pallier à l'épuisement des batteries normales de l'ordinateur.

5.1. Étude générale d'un circuit R-C

Si l'on utilise un condensateur fixe, et de capacité connue, on peut concevoir un programme qui calcule automatiquement la valeur de la résistance. Inversement, si on met une résistance connue, on peut calculer la valeur du condensateur, en fonction du temps mis par la broche de mesure à prendre la tension qu'on a imposé à la broche de commande.

5.2. Avec des thermistances (mesures de température)

- Mesure du rayonnement solaire (puissance reçue au sol), en mesurant l'échauffement d'un objet noir.
- Conduction de la chaleur, en disposant plusieurs résistances le long d'une règle métallique.

5.3. Avec des capteurs photosensibles

On peut mesurer la lumière, et donc faire des études de cinétique chimique par colorimétrie...

Les capteurs les plus simples à utiliser sont les photorésistances : le sens de branchement n'a pas d'importance, et elles sont sensibles à

la lumière visible. Malheureusement, elles ont un défaut : elles réagissent lentement aux variations de lumière : bien que leur résistance varie en une fraction de seconde, il faut souvent plusieurs secondes pour qu'elles atteignent leur résistance d'équilibre. Elles ne sont donc pas utilisables pour des mesures très rapides (de type «oscilloscope»).

Phototransistors et photodiodes réagissent beaucoup plus vite, mais ont deux particularités auxquelles il faut être attentif : ils sont sensibles surtout au rouge et à l'infrarouge, et leur aptitude à laisser passer le courant électrique (pour charger le condensateur) dépend du sens de branchement.

5.4. Avec des fils métalliques

On peut mesurer la conductivité d'une solution saline. Du fait du fonctionnement alternatif de Cappar, les électrodes ne se polarisent pas, ce qui est un gros avantage par rapport aux mesures avec une tension continue fournies par les «interfaces classiques».

5.5 Avec un photocoupleur (ou optocoupleur)

On peut détecter des variations de tension (entre 0 et quelques volts)

5.6. Mesure de la capacité d'un condensateur

Avec le montage décrit précédemment, on utilisait un condensateur fixe pour mesurer une résistance variable.

Si, au contraire, la résistance est fixe et de valeur connue, on peut concevoir un programme qui détermine automatiquement la valeur (en microfarads) du condensateur utilisé...

Cet article publié dans le Bulletin de l'Union des Physiciens sera doublé d'une publication dans «Biologie-Géologie», bulletin de l'Association des Professeurs de Biologie-Géologie, pour favoriser une collaboration entre professeurs des deux disciplines.