

EXPÉRIENCES DE BIOLOGIE ASSISTÉES PAR MICRO-ORDINATEUR

J.-C. DUVAL, G. PARESYS

La banalisation des micro-ordinateurs dans l'enseignement apporte de nouvelles possibilités pédagogiques. Tandis que de nombreux logiciels de simulation ou d'auto-éducation sont déjà disponibles, l'utilisation de l'ordinateur en tant que dispositif permettant de mieux conduire des expériences devant les élèves en est à ses débuts. Le développement concomitant de composants électroniques relativement bon marché permet de réaliser des ensembles ouvrant des possibilités nouvelles pour la mesure de paramètres biologiques ; le couplage avec le micro-ordinateur permet une gestion plus souple de l'expérience et une utilisation immédiate plus facile des résultats devant les élèves. Dans les laboratoires de recherche fondamentale, nous sommes conduits à exploiter au maximum les possibilités des nouveaux capteurs et, bien souvent, nous réalisons nous-même les montages et les logiciels pour gérer nos expériences. Qui peut le plus peut-il le moins ? A travers les contacts que nous avons avec les professeurs de l'enseignement secondaire (recyclages à l'École Normale Supérieure, anciens élèves, participation aux jurys des concours de recrutement...) nous avons pris conscience que l'expérience acquise pouvait être utile dans la mise au point d'un ensemble de saisie de mesures pour la biologie.

PRINCIPES DE LA CONCEPTION

a) Pédagogie

Il faut que l'introduction de l'appareil permette soit de simplifier le protocole expérimental tout en améliorant les résultats, soit de conduire à de nouvelles manipulations. Un danger menace cependant : en saisie de mesures, un logiciel peut "tout" faire, lisser les courbes, effectuer des corrections immédiates etc. or, il nous apparaît essentiel que deux principes soient toujours absolument respectés :

- La présence de l'ordinateur ne doit pas empêcher les élèves de comprendre les principes de l'expérience. Il est fondamental que l'enseignant puisse expliquer le rôle que joue chaque élément du dispositif expérimental.
- Les résultats doivent apparaître de manière aussi proche que possible du phénomène enregistré. Tout lissage, tout traitement des données doivent être exclus dans un premier temps. Il serait en effet catastrophique de mélanger expérimentation et simulation. D'après les résultats l'élève doit réfléchir aux éventuelles corrections nécessaires, que l'ordinateur pourra effectuer, bien sûr, mais dans un deuxième temps.
- Les courbes peuvent être vues sur un grand écran de télévision, imprimées (et donc distribuées aux élèves) et enregistrées sur disque.

b) Réalisation de l'interface

Un inventaire des principales expériences actuellement réalisées en biologie dans les lycées nous a conduit à la conclusion que la manipulation la plus exigeante sur le plan des performances électroniques était la mesure de l'influx nerveux (environ 50mV, durée 1ms, nécessité d'une entrée différentielle pour limiter le bruit). Les autres expériences nécessitent souvent une adaptation électronique particulière pour des capteurs spécifiques (photodiode, jauge de contrainte, capteur d'oxygène...) qui peut cependant être réalisée pour un très faible coût si on dispose de l'alimentation +/- 15V.

Dans le but de réduire le prix de l'interface tout en conservant un maximum de possibilités, nous avons opté pour la solution suivante :

- 2 voies de mesures (sensibilité de 0,1V à 10V) commutables en 1 seule voie différentielle.
- 1 sortie d'impulsions réglables en niveau (0 à 10 V) et en durée (60 μ s minimum).
- 3 sorties d'alimentation +/- 15V disponibles.

Ceci implique une interface assez complexe, mais présente l'avantage de regrouper l'essentiel des éléments nécessaires dans un seul ensemble acquis une fois pour toutes.

c) Logiciels

Comme nous l'avons dit précédemment, les logiciels présentent des mesures brutes ; la sensibilité de l'affichage est choisie par l'utilisateur ; un agrandissement partiel des courbes est prévu ("zoom").

En ce qui concerne la mesure de l'influx nerveux, un point est enregistré toutes les $40\mu\text{s}$, ce qui donne une résolution en temps suffisante.

Il faut noter que de tels programmes de prise de mesures sont relativement courts et ne nécessitent pas des ordinateurs de grande capacité-mémoire ; par ailleurs, pour la saisie rapide des données, le programme doit être écrit directement en langage assembleur. Les expériences ont été réalisées avec un micro-ordinateur Amstrad CPC 6128. Une adaptation sur ordinateur de type compatible PC est en cours.

RÉALISATION : DEUX EXEMPLES

En collaboration avec le C.R.D.P. de Paris, nous avons organisé une série de deux démonstrations portant sur les caractéristiques de l'influx nerveux et la photosynthèse d'algues marines.

a) Influx nerveux

Les expériences ont porté sur le sciatique de la grenouille. Les connections sont réduites au minimum : 2 fils pour les électrodes excitatrices, 2 pour l'enregistrement (fig. 1).

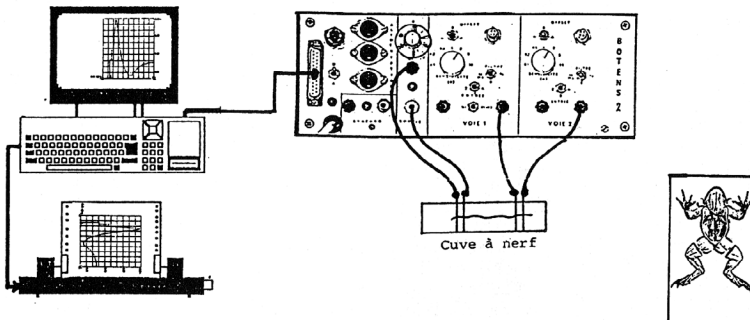
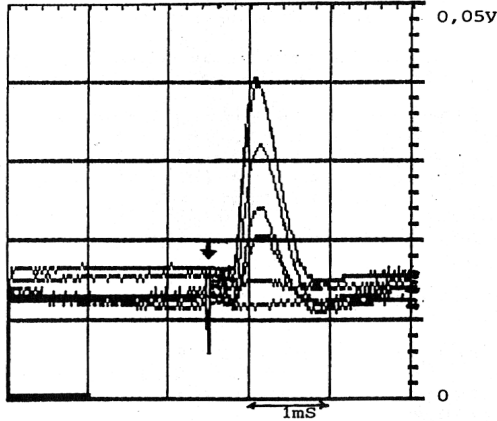


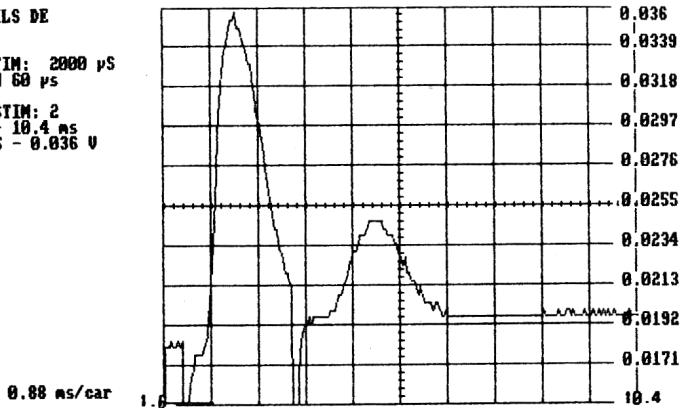
Figure 1: Dispositif pour la mesure de l'influx nerveux.

Le logiciel permet de faire la recherche du seuil d'excitation en choisissant l'option "1 stimulation"; le niveau de celle-ci est réglé manuellement par l'utilisateur. Les divers enregistrements peuvent être superposés (fig. 2).



En choisissant l'option "deux stimulations", qui peuvent être séparées de 60 μ s à 10 ms, on peut étudier d'une part la sommation de deux stimulations sous-maximales et, d'autre part, mettre en évidence la période réfractaire en rapprochant deux stimulations supraliminaires (fig.3).

DETAILS DE
R2
ECART STIM: 2000 μ S
TPS STIM 60 μ s
VALEUR STIM: 2
1.6 - 10.4 ms
0.015 - 0.036 V



Les avantages apportés par la présence de l'ordinateur dans cette manipulation portent essentiellement sur la facilité de la mise en œuvre, surtout au niveau des réglages, et, grâce à la souplesse de l'affichage, sur

J.-C. DUVAL, G. PARESYS LE BULLETIN DE L'EPI

une meilleure visibilité du phénomène par tous les élèves ; de plus, la possibilité de superposer différents enregistrements permet de mieux mettre en évidence les variations de l'influx.

b) Photosynthèse

Faisant partie d'un laboratoire qui étudie la photosynthèse nous avons naturellement cherché à proposer de nouvelles expériences dans ce domaine :

- Mise au point d'un capteur de concentration en oxygène (basé sur le principe de l'électrode de Clark) d'un coût très abordable. Cette électrode ne nécessite pas d'entretien particulier. Il faut également acheter des membranes de téflon spéciales (mais pas très chères...) et préparer une solution de KCl .
- Réalisation d'un module complémentaire contenant outre l'amplificateur très particulier nécessaire à l'électrode un dispositif de mesure de l'énergie lumineuse.
- La mise en œuvre de l'expérience nécessite en outre de disposer d'un projecteur de diapositives et d'un agitateur magnétique pour homogénéiser le milieu de mesure ; sinon, les récipients nécessaires correspondent à la verrerie courante de : établissements scolaires.

Ces expériences portent sur la mesure de la photosynthèse et de la respiration de végétaux aquatiques (élodée, algues vertes : pluricellulaires marines ou d'eaux douces). Les échantillons doivent être coupés en petits morceaux afin de faciliter la diffusion de l'oxygène et l'agitation. Le milieu doit être en équilibre thermique avec l'extérieur car la sonde constitue également un excellent thermomètre!

Les deux voies de l'interface effectuent cette fois de mesures différentes :

- la voie 1 est reliée par un fil au module complémentaire et évalue la concentration en oxygène.
- la voie 2 est également reliée par un fil au module et évalue l'énergie lumineuse.
- le module est enfin relié à l'interface au niveau d'une sortie d'alimentation.

Le montage est donc simple, là encore. Les deux voies s'affichent simultanément sur l'écran, sous la forme de deux courbes en fonction du temps.

On a donc des mesures concomitantes de la concentration en oxygène et de l'énergie lumineuse (fig. 4). On peut ainsi mettre en évidence la saturation de la photosynthèse aux fortes énergies lumineuses, le point de compensation, la respiration à l'obscurité. Nous pensons que c'est à l'enseignant de guider la réflexion des élèves pour découvrir que la respiration existe même à la lumière et non au logiciel d'effectuer la soustraction! Ceci peut d'ailleurs être mis en évidence par un inhibiteur spécifique de la photosynthèse, utilisé comme désherbant.

figure page 113

Figure 4. Mesure de la respiration et de la photosynthèse chez l'Ulve.

L'effet des lumières colorées peut être envisagé. Cela nécessite une correction au niveau des valeurs données par le capteur d'énergie lumineuse, facile à inclure dans le logiciel; cependant, il existe une difficulté au niveau des filtres utilisés: en théorie, il doivent avoir une même efficacité de transmission; or, de tels filtres sont très coûteux. Il serait alors nécessaire d'introduire une seconde correction relative aux filtres. Ces expériences ont été réalisées: on constate alors que pour une même énergie dans le bleu, le vert, le rouge les réponses sont différentes: ceci permet de mettre en évidence que l'activité photosynthétique est proportionnelle au nombre de photons captés et non à l'énergie (il suffit de corriger les valeurs des énergies en les divisant par la longueur d'onde). Cette manipulation est donc intéressante mais nous attendons l'avis des enseignants pour savoir si elle serait utile dans les lycées, compte tenu du fait que les diverses corrections nécessaires exigent des explications détaillées aux élèves.

Ces nouvelles expériences sont évidemment très démonstratives, mais la remarque de certains collègues concernant l'intérêt de la méthode dite "des bulles" nous paraît pertinente pour une première mise en évidence du phénomène photosynthétique.

En conclusion nous pensons avoir montré que l'interface présentée ici est d'un usage très souple. Son coût par rapport : aux modèles

équivalents est intéressant (des négociations en cours avec les fabricants laissent prévoir un prix d'environ 3 000 F). Il faut noter que les modules complémentaires éventuellement nécessaires sont de très bas prix. La simplicité des connections est également un élément important. D'autres développements sont en cours: études de la contraction musculaire, et de la cinétique enzymatique (à l'aide de la glucose oxydase, enzyme de faible coût dont l'activité peut être suivie par l'électrode). Enfin, le comportement de l'électrode dans l'air est à l'essai dans le but de mesurer la respiration animale. Cette interface serait évidemment utilisable également pour des expériences de physique (en électricité, électronique.. ..) mais cela dépasse nos compétences personnelles! Nous sommes évidemment prêts à répondre à toutes les suggestions ou demandes de renseignements.

J.-C. DUVAL, G. PARESYS

Laboratoire des biomembranes et surfaces cellulaires végétales
École Normale Supérieure - 46 rue d'Ulm 75230 - Paris Cedex 05