

L'UTILISATION DU MICRO-ORDINATEUR EN TRAVAUX PRATIQUES DE SCIENCES NATURELLES

Perspectives pour une Expérimentation Assistée par Ordinateur (EX.A.O.)

Serge CESARANO, André VIDEAUD

I- OBJECTIFS DE L'EXPÉRIMENTATION

- Étudier l'intégration de l'ordinateur dans l'investigation et l'expérimentation en Travaux Pratiques de Sciences Naturelles. Analyser comment une telle utilisation permet d'atteindre les objectifs pédagogiques fondamentaux :
 - acquisition de concepts,
 - appropriation d'une démarche scientifique,
 - maîtrise de technologies actuelles.
- Développer des démarches pédagogiques nouvelles éventuellement induites par l'utilisation de nouveaux outils.
- Étudier de nouveaux matériels scientifiques intégrant des technologies nouvelles.

II- INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE

A côté de l'utilisation de logiciels didactiques, de l'interrogation de banques de données, de la simulation de modèles, l'informatique trouve un champ privilégié d'application dans l'expérimentation scientifique elle-même. Le pilotage de dispositifs expérimentaux, l'informatisation de chaînes de mesures, le traitement des données en temps réel, l'affichage immédiat de représentations graphiques sont couramment employés dans les laboratoires et les ateliers. Cette utilisation de l'ordinateur comme "auxiliaire de la pensée et de l'action", combinée à d'autres moyens techniques, incite les élèves à une réflexion technique. Elle les familiarise avec des principes et des dispositifs, actuellement développés dans la recherche et dans l'industrie, qu'elle leur permet de maîtriser

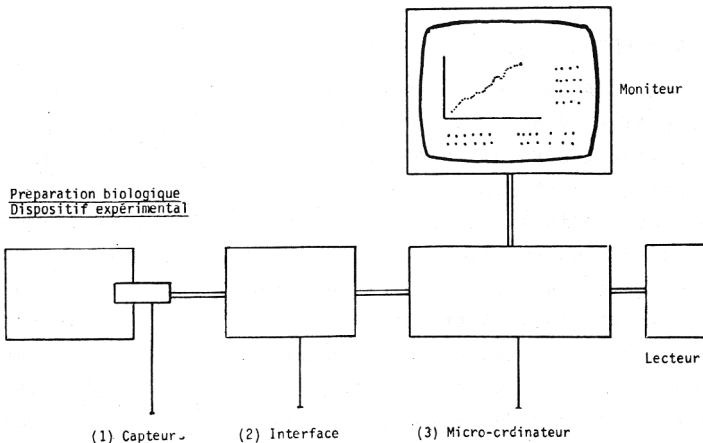
dans des situations comparables (toutes proportions gardées) à celles de ces différents domaines professionnels.

Simultanément, ces technologies introduites dans l'enseignement des Sciences biologiques rendent accessibles, par leur efficacité, des travaux expérimentaux jusqu'alors trop laborieux ou inabordables. Elles facilitent ainsi la formation des élèves à la démarche scientifique et l'approche concrète de notions fondamentales.

Permettant un enseignement plus expérimental, ces moyens de notre temps doivent contribuer efficacement à développer chez les élèves, de manière active, une véritable culture scientifique et technique.

III- PRINCIPE GÉNÉRAL DE L'EXPÉRIMENTATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Le dispositif permet de gérer, en temps réel, l'acquisition de données expérimentales pour les traiter au fur et à mesure de leur obtention. Ceci implique les éléments suivants



(1) - Capteurs : permettent la saisie des valeurs des différents paramètres (par exemple la concentration d'oxygène, de CO₂, la température...). Un capteur permet de convertir une grandeur physique et le contenu de son information en une autre grandeur physique (une tension électrique) accessible aux sens humains (lecture directe) ou aux autres éléments de la chaîne de mesure et de traitement.

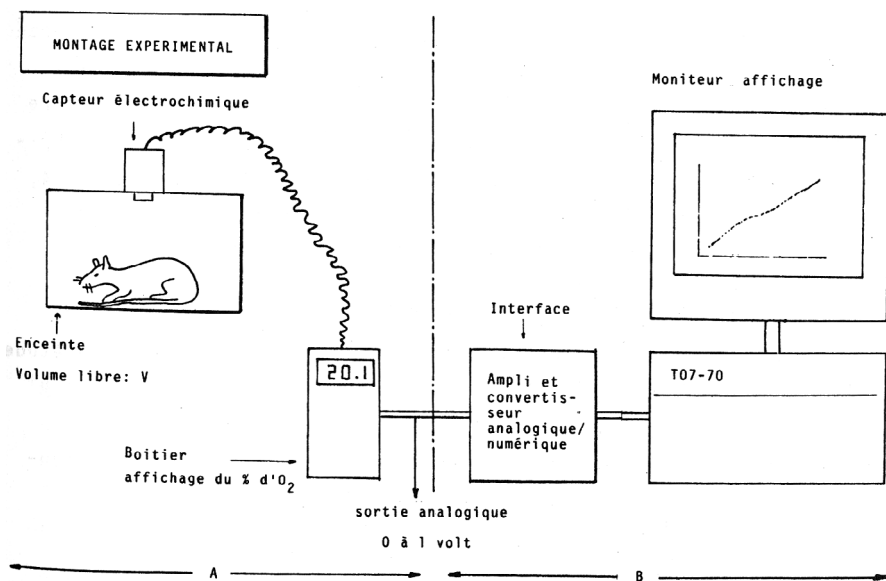
(2) - Interface : permet l'adaptation du signal délivré par le capteur et sa numérisation (conversion analogique/numérique).

(3) - Micro-ordinateur : un logiciel approprié permet le pilotage des mesures, leur saisie, leur traitement, l'affichage des résultats (graphique et numérique), leur mémorisation (sauvegarde sur cassette, disquette ou imprimante).

IV- RÉALISATIONS ACTUELLES ET FUTURES

1°- Un exemple de réalisation

La mesure de l'intensité respiratoire d'un organisme et l'évaluation de son métabolisme.



Ce dispositif permet la mesure en continu de la consommation d'oxygène et le calcul immédiat de l'intensité respiratoire. La conception du logiciel permet le pilotage de la mesure, l'affichage des résultats et leur représentation graphique.

L'intérêt pratique

- utilisation d'un matériel informatique de grande diffusion (MO5 ou T07-70),
- simplicité et robustesse du montage.

L'intérêt pédagogique

La simplicité et la clarté du principe le rendent accessible aux élèves dès la fin du premier cycle. Sa rapidité de mise en œuvre permet de multiplier les mesures dans le cadre d'une démarche d'investigation et libère du temps pour la réflexion ; la souplesse du dispositif permet, par exemple, d'étudier les variations de l'intensité respiratoire (immédia

tement visible) en fonction de différentes conditions imposées à un organisme (activité musculaire, température externe...). Ceci donne la possibilité aux élèves de tester le modèle global de la fonction respiratoire (processus de libération de l'énergie par l'oxydation des aliments). Remarque : Cette réalisation a été présentée au Salon Educatec 84, au stand de la Direction des Lycées dans le cadre du thème "Lycées et technologies nouvelles".

2°- Réalisations envisagées à court terme :

De nouveaux matériels scientifiques sont en cours d'étude, permettant l'expérimentation dans divers domaines des Sciences biologiques (voir annexe I) :

- l'énergie biologique : métabolisme respiratoire (perfectionnement du dispositif présenté), photosynthèse ;
- l'étude de réactions enzymatiques ;
- la physiologie nerveuse et musculaire ;
- les comportements.

V- LES PERSPECTIVES DU DÉVELOPPEMENT DE L'EXPÉRIMENTATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

Ce développement implique une recherche sur deux plans :

- sur le plan technique

- la mise au point des différents capteurs nécessaires (voir annexe 2) ;
- la réalisation d'interfaces "multi-sondes" et "multi-ordinateurs" ;
- la réalisation de logiciels adaptés à chaque situation expérimentale ;
- la réalisation de dispositifs expérimentaux permettant d'agir sur la préparation-biologique.

- sur le plan pédagogique

L'expérimentation, en situation réelle de classe, des dispositifs nouveaux.

VI- NOTES TECHNIQUES

A) Dispositif expérimental

Le capteur utilisé est une pile à oxygène dont la f.e.m. varie avec le taux d'oxygène présent dans l'air.

La difficulté majeure a été d'utiliser la courbe non linéaire de la sonde. Un amplificateur spécifique a été élaboré pour utiliser le signal issu du capteur.

Les informations sont alors amenées à un interface M05/TO7 baptisé ORPHY mis au point au laboratoire d'informatique du CNAM. Ce type d'interface permet, entre autre, de procéder à 16 mesures simultanées (ou presque) analogiques et possède 8 sorties "tout ou rien".

B) Objectifs techniques

- mesurer en continu la consommation d'oxygène d'un être vivant,
- visualiser sur un graphique cette consommation en fonction du temps,
- calculer la consommation horaire,
- calculer l'intensité respiratoire,
- évaluer l'énergie libérée.

C) Traitement "manuel"

- *La partie A du montage suffit.* Le résultat brut est donné par l'affichage du pourcentage d'oxygène dans l'enceinte.

- *Protocole.* On procède à des lectures à intervalles réguliers aux temps $t_0, t_1, t_2 \dots t_n$ (en minutes)

% $x_0, x_1, x_2 \dots x_n$

la baisse du % d'oxygène traduit la consommation de ce gaz par l'être vivant :

soit v cette consommation : $v = (x - x_0) V$

par exemple, au temps t_3 , la consommation sera : $v_3 = (x_3 - x_0) V$

la calcul des valeurs $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ permet de tracer le *graphe de consommation en fonction du temps* (courbe cumulée).

. calcul de *la consommation horaire* à un temps t_n $V_n = V_h \times \frac{60}{t_n - t_0}$

expression V_h en $\text{ml O}_2 \text{ h}^{-1}$ et en $\text{l O}_2 \text{ h}^{-1}$

. calcul de *l'intensité respiratoire I.R.* (volume d'oxygène consommé par unité de temps et par unité de masse d'être vivant) : $I.R. = \frac{V_h}{m}$

expression I.R. en $ml\ O_2\ h^{-1}\ g^{-1}$ et en $l\ O_2\ h^{-1}\ Kg^{-1}$

. calcul de *l'énergie libérée*. Métabolisme.

Principe : au niveau cellulaire, l'oxygène consommé est utilisé dans l'oxydation des molécules organiques. Cette oxydation complexe libère l'énergie chimique potentielle de ces molécules (glucides, lipides, protides). L'étude des bilans chimiques et énergétiques de ces oxydations permet d'établir une correspondance entre le volume d'oxygène consommé et l'énergie libérée ; ainsi, en moyenne 1 litre d'oxygène correspond à la libération de 19,6 kJ lors de l'oxydation de lipides et à 21 kJ lors de l'utilisation de glucides ; on peut donc définir un coefficient thermique de l'oxygène. Pour une utilisation mixte des différentes catégories, ce coefficient thermique C, vaut environ 20 kJ par litre d'oxygène.

On aura donc : Métabolisme $M = V_h \times C$ (kJ : kiloJoule)

expression M en $kJ\ h^{-1}$ pour l'animal ou végétal entier et en $kJ\ h^{-1}\ kg^{-1}$ (ramené à l'unité de masse).

L'ensemble des mesures peut être présenté par le tableau :

Sélection de la durée et des intervalles.		Volume de l'enceinte V		masse de l'être vivant m	coeff. therm. de l'O ₂ C
↓		↓		↓	↓
temps en mn	lecture en % d'O ₂	calcul du vol. d'O ₂ consommé V	Vol. d'O ₂ consommé à l'heure V _h	I.R.	Métabolisme
t ₀	x ₀		0		
t ₁	x ₁	v ₁ = (x ₁ - x ₀) V	-		
t ₂	x ₂	v ₂ = (x ₂ - x ₀) V	v _h = v ₂ · $\frac{60}{t_2 - t_0}$		
t ₃	x ₃	v ₃ = (x ₃ - x ₀) V			
.	.				
t _n	x _n	v _n = (x _n - x ₀) V	v _h = v _n · $\frac{60}{t_n - t_0}$	I.R. = $\frac{V_h}{m}$	M = v _h · C

↓
Graphe

D) Traitement informatique

D.1. Spécifications

Doit permettre de réaliser tout ce qui est décrit ci-dessus pour le traitement "manuel" soit :

- la conversion des variations de pression partielle d'oxygène dans l'enceinte, en volumes réels d'oxygène consommé,
- la visualisation par graphe de la consommation d'oxygène,
- le calcul et l'affichage de la consommation horaire,
- le calcul et l'affichage de l'I.R.
- le calcul et l'affichage du métabolisme.

D.2. Moyens

- l'interface : amplificateur et convertisseur analogique/numérique (voir annexe I). La sortie (analogique) de la sonde donne une tension qui varie linéairement de 0 à 1 volt lorsque le % d'O₂ passe de 0 à 100%. La variation "utile" dans la mesure ne peut excéder 4 à 5%, soit à la sortie, 40 à 50 mV.

Le logiciel permet :

- la programmation de la mesure, soit
 - la sélection de la durée totale par choix entre les valeurs suivantes : 5min, 10min, 20min, 60min,
 - la sélection des intervalles des échantillonnages par choix entre les valeurs suivantes : 0,5min, 1min, 2min, 5min ;
- la visualisation de la consommation par affichage du graphe avec échelle variable pour arriver à pleine échelle à la fin de la mesure programmée ;
- le calcul de la consommation horaire
 - de l'I.R.
 - du métabolisme

données à entrer au clavier : V = volume libre de l'enceinte

m = masse de l'être vivant

C = coefficient thermique de l'oxygène.

- gestion de l'écran (voir annexe III).

Serge CESARANO

Formateur Académie de Créteil

André VIDEAUD

IPR Sc. Naturelles Limoges.

ANNEXE I

L'UTILISATION DU MICRO-ORDINATEUR EN TRAVAUX PRATIQUES DE SCIENCES NATURELLES Quelques applications possibles dans le cadre d'une Expérimentation Assistée par Ordinateur. (tableau non exhaustif)			
DOMAINES SCIENTIFIQUES	NIVEAU	SITUATIONS EXPERIMENTALES	MOYENS MATERIELS
ENERGETIQUE BIOLOGIQUE ET FONCTIONS DE NUTRITION I- Libération d'énergie <u>RESPIRATION</u>	Collèges	Mise en évidence d'une consommation d'oxygène. Mise en évidence d'un rejet de CO ₂ . Mesure de la consommation d'O ₂ .	Pour tous les montages: -micro-ordinateur et ses périphériques. -interface (adaptateur et C.A.N.). -sondes en capteurs. Sonde à O ₂ Sonde à CO ₂ capteurs. Sonde de t° dispositif expérimental permettant de placer un organisme dans des conditions variées de t° et d'activité. Idem dispositif calorimétrique automatisé. métabographe (sonde à O ₂ et débitmètre).
	Lycées	Idem + Mesure de l'I.R., du Q.R. dans des conditions variées et définies: . de température, . d'activité musculaire, . de régime alimentaire. Mesure du métabolisme par calorimétrie respiratoire chez l'animal. Mesure du métabolisme par calorimétrie directe chez l'animal. Lycées Collèges Mesure du métabolisme par calorimétrie respiratoire chez l'homme.	
II- Fixation d'énergie <u>PHOTOSYNTHESE</u>	Collèges	Mise en évidence d'une fixation de CO ₂ Mise en évidence d'un rejet d'O ₂ Mise en évidence de l'augmentation de la biomasse organique d'un végétal	Sonde à CO ₂ Sonde à O ₂ Sonde de t°

	Lycées	<p>Mesure de la fixation de CO₂</p> <p>Mesure du rejet d'O₂</p> <p>Mesure de l'augmentation de biomasse organique dans des conditions variées et définies:</p> <ul style="list-style-type: none"> . de température . de teneur en CO₂ . d'éclairement 	<p>capteurs</p> <p>Sonde photo-métrique</p> <p>Dispositifs expérimentaux permettant de placer un organe végétal ou un végétal chlorophyllien dans des conditions variées et définies.</p>
III- CATALYSE ENZYMATIQUE	Lycées	<p>Mise en évidence d'une réaction enzymatique.</p> <p>Mesure de l'évolution de la concentration d'un substrat et/ou d'un produit.</p> <p>Cinétique enzymatique.</p> <p>Etude de l'influence de différents facteurs: t°, pH, concentration.</p> <p>Pilotage d'un bioréacteur expérimental à enzymes mobilisées.</p>	<p>Sondes spécifiques et/ou photocolorimètre</p> <p>capteurs</p> <p>pH-mètre</p> <p>Sonde de t°</p>
FONCTIONS DE RELATION			
1- NEUROPHYSIOLOGIE	Lycées	<p>Etude expérimentale du signal nerveux</p> <p>Enregistrement de P.A.</p>	<p>Electrodes capteurs</p> <p>Amplificateur</p> <p>Chaîne de stimulation</p>
2- REGULATION DE L'ACTIVITE CARDIAQUE		<p>Cardiographie.</p> <p>Analyse des processus de régulation par l'intermédiaire de l'enregistrement de la pression artérielle.</p> <p>E.C.G.</p>	<p>Capteur de déplacement</p> <p>Capteur de pression</p> <p>Electrode, amplificateur</p>
3- ACTIVITE MUSCULAIRE		<p>Mécanomyographie anisométrique.</p> <p>isométrique</p> <p>E.M.G.</p> <p>Thermomyographie.</p>	<p>Capteur de déplacement</p> <p>" dynamométrique</p> <p>Electrodes, amplificateur</p> <p>Sondes thermiques</p>

ANNEXE II

CAPTEURS

Définition : Premier élément d' un chaîne de mesure, un capteur permet de transformer ou convertir une grandeur physique et son contenu d'information en une autre grandeur physique accessible aux sens humains ou aux autres maillons de la chaîne. Le signal de sortie est très généralement un potentiel électrique qui varie avec la grandeur physique mesurée selon une fonction définie ; signal analogique qu'il est possible de convertir en signaux numériques.

PRINCIPAUX CAPTEURS UTILISABLES EN EXAO BIOLOGIE

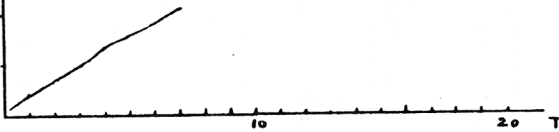
GRANDEURS A MESURER	PLAGE D'UTILISATION	PRÉCISION
Taux d'oxygène . dans l'air en % ou en p.p. . dans l'eau en gl^{-1}	0 à 100 % 0 à saturation	1 % de la valeur mesurée 1 % de la valeur mesurée
Taux de CO_2 dans l'air	0 à 100 % 0 à 5 %	1 % des valeurs mesurées
Température	- 20 à 100°C	1 %
H_2O dans l'air	0 à saturation	1 %
pH	0 à 14	1 %
Intensité lumineuse	0 à 850w/m ²	1 %
Déplacements	0 à 10 mm	1 %
Pressions (variation de pression autour de 1 Atm)	0 à 30 kPa	1 %
Forces	0 à 1 N	1 %
Une balance numérique peut être considérée comme un capteur... 0,1 g à 1000 g 0,5 %		

ANNEXE III

RESULTATS

VO_2
ml

- VOLUME CONSOMMÉ au TEMPS $ml O_2$
- VOLUME CONSOMMÉ PAR HEURE $ml O_2 h^{-1}$
- I. R. $ml O_2 h^{-1} g^{-1}$
- MÉTABOLISME $l O_2 h^{-1} kg^{-1}$
 $kJ h^{-1} kg^{-1}$



ENTRÉE DES DONNÉES

- DURÉE TOTALE DE LA MESURE mn
- INTERVALLE D'ÉCHANTILLONNAGE mn
- VOLUME LIBRE DE L'ENCEINTE ml
- MASSE DE L'ÊTRE VIVANT g
- COEFFICIENT THERMIQUE DE L'OXYGÈNE $kJ l^{-1} O_2$