

L'ordinateur en travaux pratiques classes préparatoires aux grandes écoles

par Claude RABALLAND et Michel NOEL
professeurs en mathématiques spéciales
Lycée Michel Montaigne 33075 Bordeaux

Cet article décrit quelques applications possibles de l'informatique au cours de séances de travaux pratiques dans les classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs. Les exemples proposés font partie de la liste de manipulations effectuées en cours d'année par les élèves du lycée Michel Montaigne pour leur préparation aux concours.

Nous pouvons envisager plusieurs façons d'utiliser l'informatique avec nos élèves pendant les séances de T.P. :

- 1) Simulation et gestion de relevés expérimentaux «classiques»,
- 2) Simulation et gestion de relevés expérimentaux effectués en acquisition de données automatisées,
- 3) Illustration des lois théoriques associées à un montage expérimental réalisé en T.P.,
- 4) Illustration d'un résultat théorique obtenu lors d'une séance de cours ou d'un exercice.

Nous proposons, dans ce qui suit, une brève description des manipulations que nous avons effectuées avec nos élèves, en application des quatre points précédents.

1. SIMULATION ET GESTION DE RELEVÉS EXPÉRIMENTAUX CLASSIQUES

L'ordinateur calcule un modèle théorique associé au phénomène physique étudié. L'élève effectue les mesures avec des appareils usuels et place ses points expérimentaux en confrontation avec la courbe théorique grâce à un gestionnaire de mesures.

Nous étudierons les exemples suivants :

1.1. Courbe de déviation de la lumière par un prisme.

Cette manipulation est effectuée en T.P. d'optique avec des élèves de Spéciales P, P'.

Un prisme d'angle $A = 60^\circ$ est placé sur un goniomètre. On effectue le relevé de la courbe de déviation D en fonction de l'angle d'incidence i sur la face d'entrée du prisme.

L'indice est calculé au minimum de déviation par la formule :

$$n = \sin((A + D_m) / 2) / \sin(A / 2).$$

L'ordinateur trace la courbe théorique $D = f(i)$ pour l'indice donné (relatif à la raie jaune du sodium). Les élèves placent leurs points expérimentaux sur cette courbe théorique.

On donne ci-dessous, un exemple de relevés.

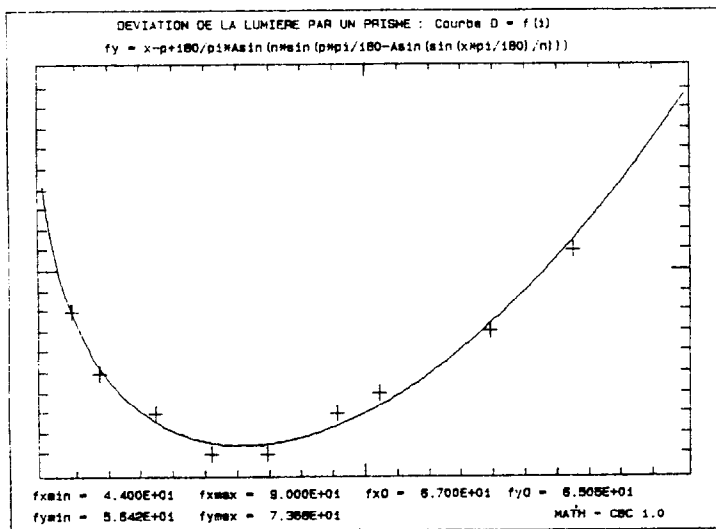


Figure 1

Logiciel utilisé : MATH - MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES (fichier PRISME), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

Grâce à l'interactivité de ce procédé, les élèves détectent immédiatement leurs causes d'erreurs (elles sont nombreuses !) : mauvaises mesures d'angles, mauvais calcul d'indice, etc...

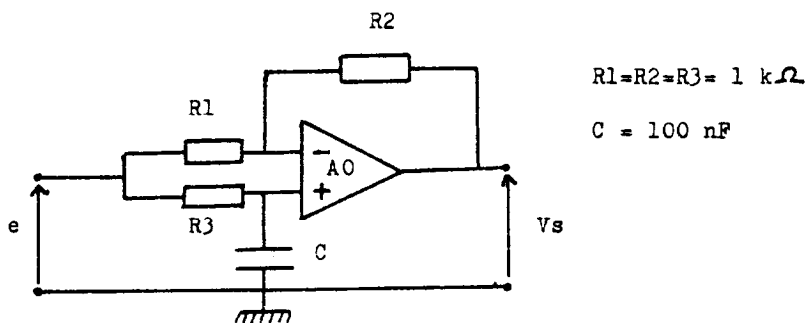


Figure 2

1.2. Circuit déphaseur : tracé de la courbe de phase

On réalise le montage électronique ci-dessous :

La fonction de transfert du montage :

$$H(j\omega) = - \frac{1 - jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

montre que la phase est une fonction de la fréquence par $\Phi = \pi - 2\text{Arctg}(RC\omega)$

L'ordinateur propose le tracé de $\Phi(\omega)$ dans le diagramme de Bode ; les élèves effectuent le relevé expérimental correspondant (fréquence-mètre et phasemètre) et placent les points expérimentaux sur la courbe théorique grâce au gestionnaire de mesures.

On obtient le diagramme page suivante (figure 3).

Cette manipulation est rapide et marche très bien en général. Il peut arriver que, par suite d'une erreur sur le choix d'un composant (R ou C), les points expérimentaux ne soient pas situés sur la courbe théorique : l'élève corrige facilement son erreur.

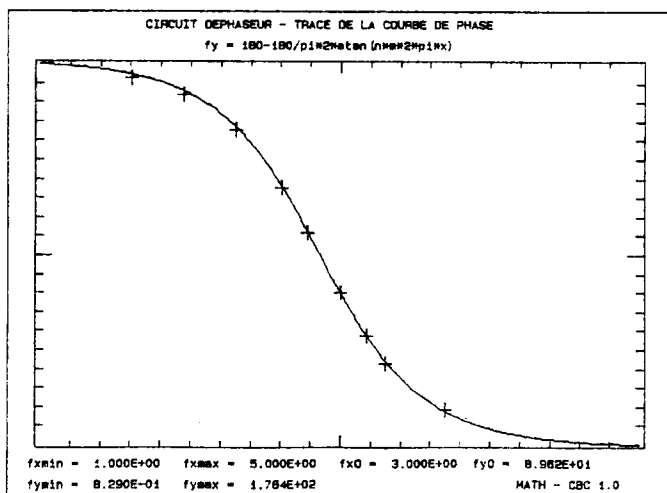


Figure 3

Logiciel utilisé : MATH - MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES
 (fichier DEPHAS), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

1.3. Self simulée - Résistance négative

Montage réalisant une résistance négative $-R_0$:

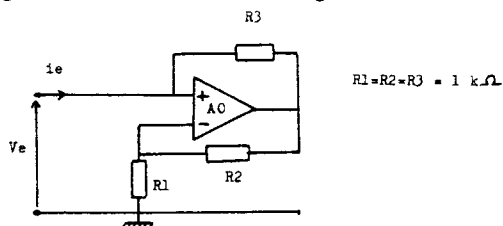


Figure 4

Montage réalisant une self simulée (L, r) :

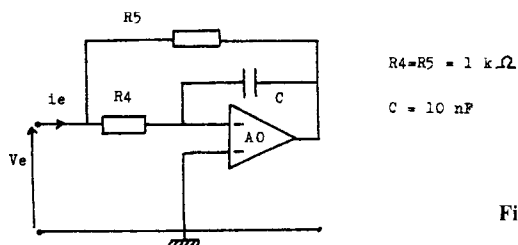


Figure 5

On associe les deux montages précédents selon le schéma ci-dessous :

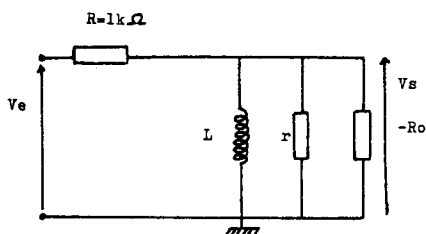


Figure 6

La fonction de transfert s'écrit :

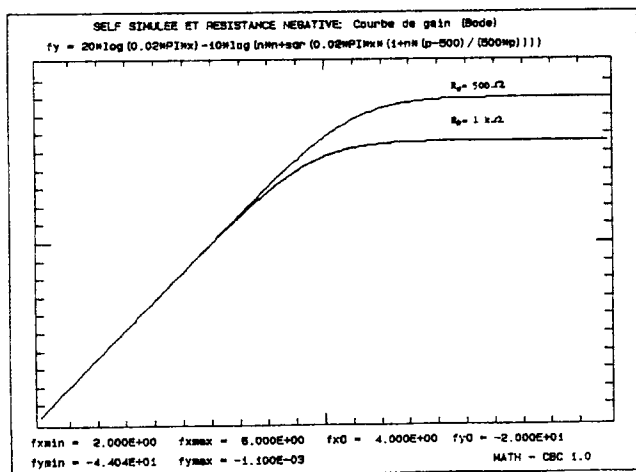
$$H(j\omega) = \frac{jL\omega}{jL\omega(1 + R(R_o - r)/rR_o) + R}$$

$$\Rightarrow \text{Gain : } G_{dB} = 20 \log(L\omega) - 10 \log(R^2 + L^2 \omega^2 (1 + R(R_o - r)/rR_o)^2)$$

$$\Rightarrow \text{Phase : } \Phi = \pi/2 - \text{Arctg}(L\omega(1 + R(R_o - r)/rR_o)/R)$$

L'ordinateur propose le tracé du diagramme de Bode : Gain et phase. Les élèves placent leurs points expérimentaux sur les courbes de gain puis de phase grâce au gestionnaire de mesures. Il constatent immédiatement si leurs mesures sont correctes ou non.

On obtient les relevés ci-dessous :

Figure 7 : Courbe de gain pour $R_o = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_o = 500 \Omega$

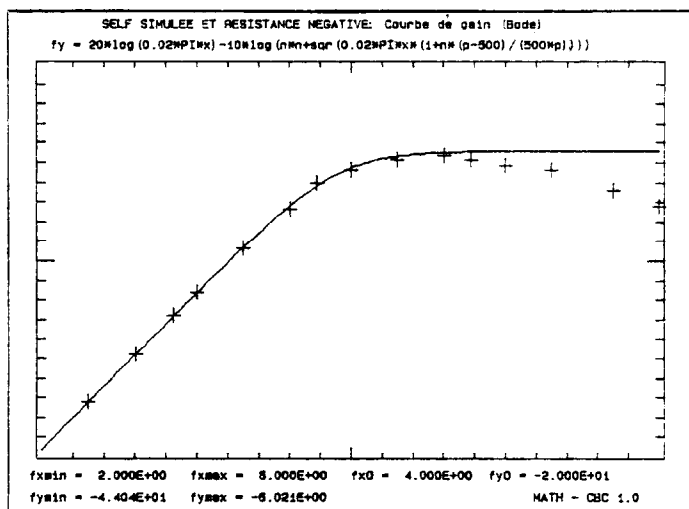


Figure 8 : Courbe de gain pour $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$ et points expérimentaux.

Logiciel utilisé : MATH - MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES (fichier GAIN-RN et PHASE-RN), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

Mêmes remarques que précédemment : Contrôle en temps réel des erreurs de manipulation et correction de celles-ci

On constate qu'en haute fréquence ($f > 100\,000 \text{ Hz}$) les points expérimentaux s'écartent notablement de la courbe théorique ; ceci est dû au comportement non idéal des amplificateurs opérationnels.

1.4. Oscillateur à pont de Wien

On réalise le montage ci-dessous :

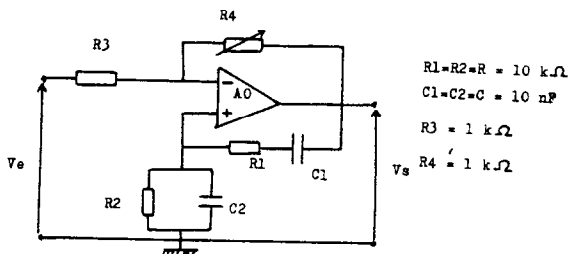
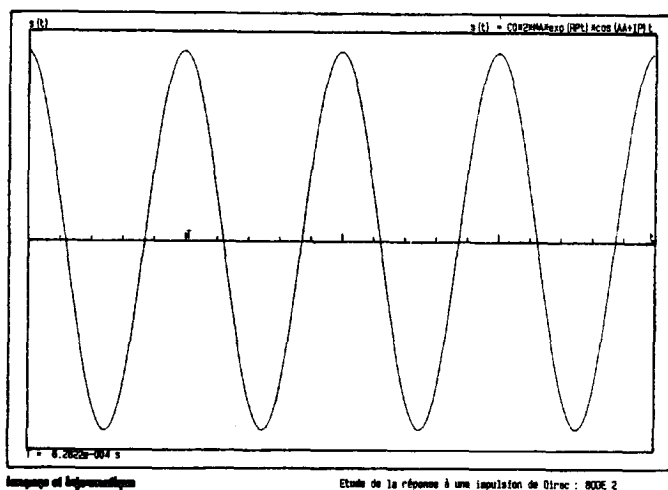
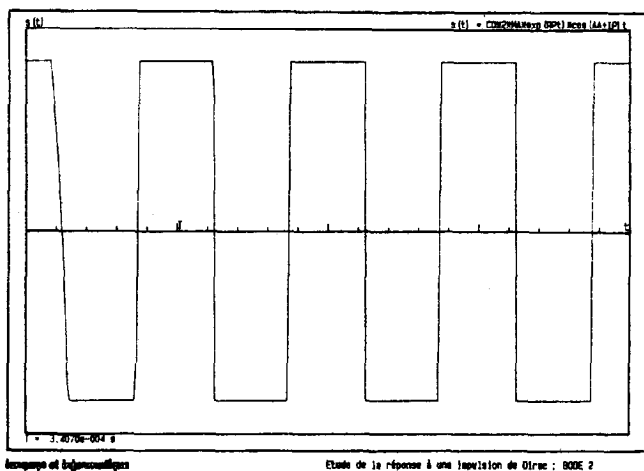


Figure 9

Figure 11 : $K = 2$: Oscillateur sinusoïdalFigure 12 : $K > 2$: Oscillateur saturé.

Logiciel utilisé : BODE. Livre : CIRCUITS ÉLECTRONIQUES - FONCTION DE TRANSFERT page 129. Sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

2. SIMULATION ET ACQUISITION DE DONNÉES

On réalise le titrage de l'acide orthophosphorique et la détermination des 3 pK de H_3PO_4 en classe de Spéciales P.

Matériel utilisé :

Carte Interface CANDIBUS et logiciel SIMULTIT2.

Le programme TPTIT de SIMULTIT2 permet d'étalbir, grâce à la carte d'acquisition, des fichiers de mesures directement lisibles par SIMULTIT2.

Le logiciel MATH, programmé pour la courbe de titrage de H_3PO_4 , permet enfin de visualiser les écarts entre les formules approchées et la courbe exacte.

Pour le titrage de H_3PO_4 , on place dans un bécher 50 ml de H_3PO_4 de concentration molaire Mo et 10 ml de KCl molaire (pour fixer la force ionique). On titre avec une solution d'hydroxyde de sodium décimolaire.

On plonge une électrode de verre et une électrode de référence au calomel dans la solution (schéma du montage dans l'éditeur de texte du logiciel MATH), ces électrodes sont reliées à un pH-mètre dont la sortie enregistreur est connectée à l'interface CANDIBUS.

Après étalonnage préalable avec deux solutions tampons, on rentre au clavier de l'ordinateur les volumes de NaHO versés au cours du titrage et on valide la mesure de pH en tapant sur la touche <ENTRÉE>. La courbe s'affiche au fur et à mesure sur l'écran.

Une fois les mesures terminées, on exploite la courbe au moyen de SIMULTIT2. La recherche des volumes équivalents se fait avec le tracé de la dérivée de la courbe, puis en pointant les points particuliers du titrage (point de départ, point de demi-équivalence) ; en notant leurs coordonnées, on détermine des valeurs approximatives des trois pK de H_3PO_4 (au moyen des formules simplifiées de pH).

On passe ensuite à la simulation du graphe en définissant un système expérimental (mêmes volumes, mêmes concentrations molaires) en prenant pour valeurs des pK les valeurs déduites du graphe. Si la superposition n'est pas correcte, on modifie les valeurs erronées et, après 2 ou 3 simulations, on arrive à une bonne superposition, les

pK étant alors ajustés au mieux. On remarquera, sur le graphe, que pour les valeurs de pH élevées, la réponse de l'électrode de verre donne une valeur de pH très inférieure à la valeur calculée.

Dans les conditions expérimentales choisies, on a déterminé :

$$pK1 = 2.2 \quad pK2 = 6.7 \quad pK3 = 10.9$$

On obtient la courbe ci-dessous :

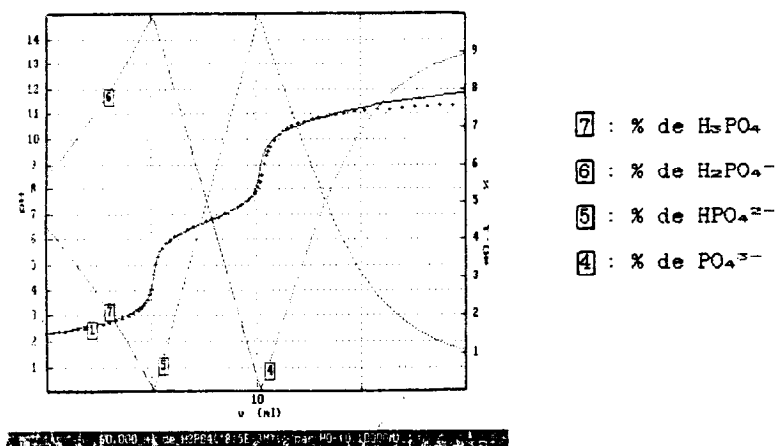


Figure 13

Remarque : les courbes donnant les % des diverses espèces permettent de trouver pK2 et pK3 aux intersections respectives de [5] et [6] et de [4] et [5].

On termine par la comparaison des tracés approchés de la courbe de titrage en utilisant la formule classique du type $pH = pK + \log ([BASE]/[ACIDE])$, puis de la courbe exacte obtenue en résolvant une équation du 2^e degré, pour la 1^{ère} acidité ou la 3^e acidité. (Logiciel MATH, fichier H3PO4).

On constate finalement un écart significatif uniquement pour les faibles et forts pH, la partie centrale de la courbe étant bien représentée par ces formules approchées. On place également les points expérimentaux sur la courbe théorique pour vérifier le modèle de calcul :

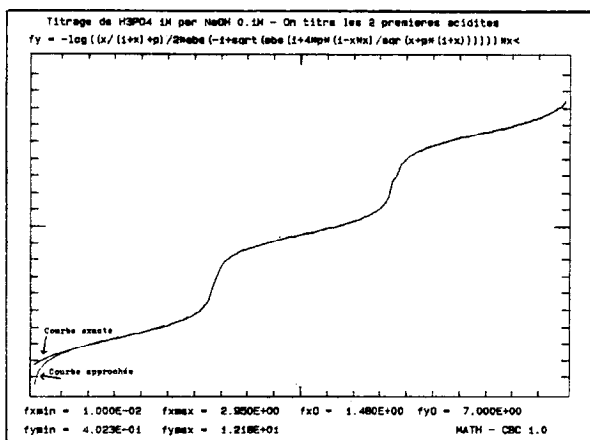


Figure 14

La courbe exacte est disjointe de la courbe approchée en début de titrage ; elles sont confondues ensuite.

(Remarque : la courbe approchée peut aussi être obtenue à partir de SIMULTIT2).

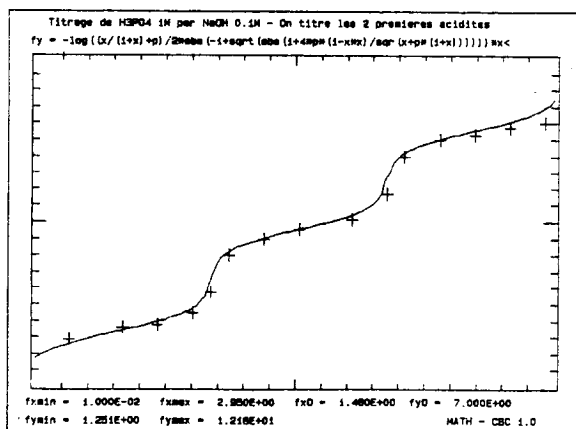


Figure 15

Les points expérimentaux sont en bon accord avec la courbe exacte jusqu'à la deuxième équivalence.

3. ILLUSTRATION THÉORIQUE D'UN MONTAGE EXPÉRIMENTAL EN TRAVAUX PRATIQUES

3.1. Interférences et diffraction à l'infini par les fentes d'Young.

On réalise le montage expérimental classique de la figure d'interférences à l'infini par des fentes d'Young sur un banc d'optique. La figure d'interférences est calculée en cours.

Les élèves sont invités, en début de séance, à étudier sur l'ordinateur l'allure de la courbe. Ils mettent également en évidence l'influence de la figure de diffraction de chaque fente. Ils observent les rôles joués par la distance des fentes et par la largeur d'une fente. Ils comparent ensuite avec l'observation expérimentale.

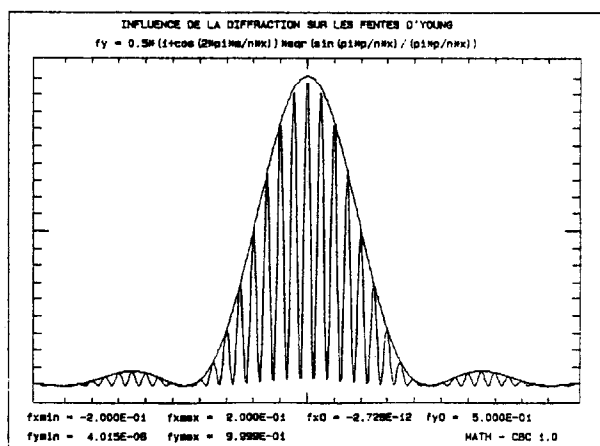


Figure 16

Logiciel utilisé : MATH - MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES (fichier DIFF-Y), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

3.2. Figure de diffraction à l'infini donnée par un réseau à fentes

On étudie, à l'aide d'un goniomètre, la figure de diffraction à l'infini donnée par un réseau à fentes éclairé par une lampe à vapeur de sodium ou de mercure.

En début de séance, les élèves observent, à l'ordinateur, la figure de diffraction donnée par un réseau à 10 fentes puis 30 fentes. Ils mettent ainsi en évidence l'influence du nombre de motifs du réseau sur la finesse de pics principaux et sur le rôle joué par les maximums secondaires. Ils passent ensuite, pour le reste de la séance, à l'expérimentation proprement dite.

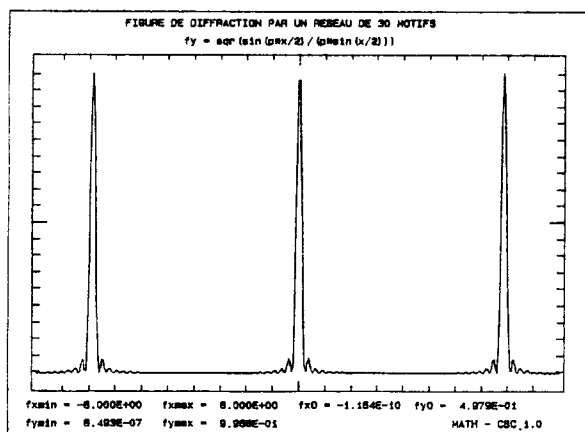


Figure 17

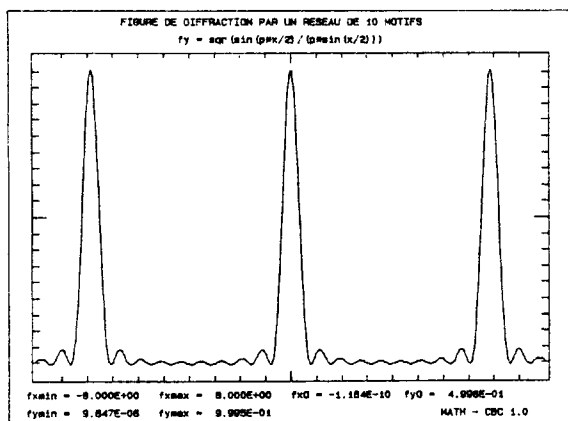


Figure 18

Logiciel utilisé : MATH - MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES (fichiers RES-10 et RES-30), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

4. ILLUSTRATION D'UN RÉSULTAT THÉORIQUE DE COURS

Une séance de travaux pratiques peut être l'occasion, pour les élèves, d'étudier en détail un modèle théorique exposé en cours ou en exercice. Ils disposent, pour cela des ordinateurs de la salle de T.P. Si le temps d'utilisation est bref, ceci peut-être fait à l'occasion d'une séance de T.P. quelconque, sans que celle-ci ne soit trop perturbée.

4.1. Loi de distribution des vitesses de Maxwell-Boltzmann.

A propos du cours de thermodynamique de Math Sup, nous proposons à nos élèves d'étudier la loi de distribution des vitesses de Maxwell-Boltzmann. On met ainsi en évidence la notion de vitesse la plus probable, l'influence de la température sur cette vitesse et sur la largeur de la distribution des vitesses autour du maximum central.

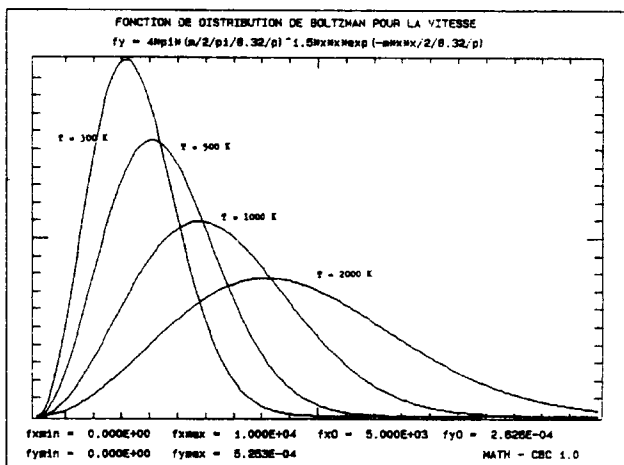


Figure 19

Logiciel utilisé : MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES (fichier BOLTZ), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

4.2. Équilibre de BOUDOUARD et loi de déplacement de l'équilibre

On étudie l'équilibre : $2\text{CO}_{(g)} \rightleftharpoons \text{C}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$

On représente, à une pression donnée P , la fraction molaire x de CO dans la phase gazeuse en fonction de la température T .

Pour cela, on se donne les grandeurs thermodynamiques standard $\Delta H_f^\circ(298)$ et $S^\circ(298)$ de CO, C et CO_2 et on résout l'équation :

$$K = (1 - x) / (Px^2) \text{ avec } \ln(K) = -\Delta G^\circ / RT \text{ et } P \text{ en bars.}$$

On représente, à l'aide du menu RESEAU, le réseau de courbes obtenu pour différentes pressions.

On vérifie ainsi que, si à T donnée, on augmente la pression, l'équilibre se déplace vers la formation de CO_2 (x décroît) et que si, à P donnée, on augmente la température T , l'équilibre se déplace vers la formation de CO (x croît).

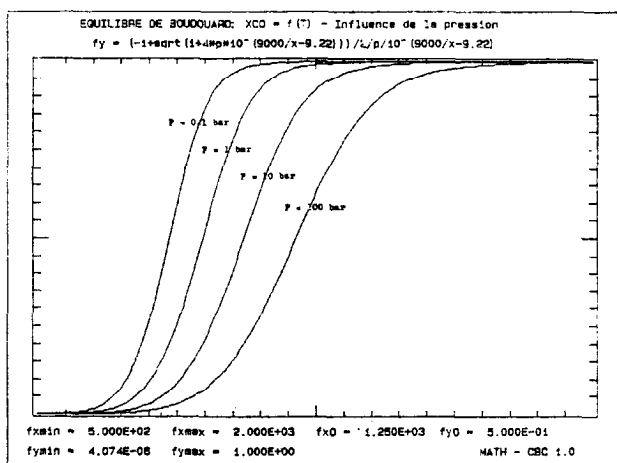


Figure 20

Logiciel utilisé : MATH - MODULE COURBES EN CARTÉSIENNES (fichier BOUD, Option RESEAU), sortie sur traceur SEKONIC SPL 430 des classes préparatoires.

CONCLUSION

Les exemples proposés ci-dessus sont loin d'être exhaustifs ! Nous avons toute une panoplie d'autres applications possibles de l'outil informatique. Certaines d'entre-elles sont très brèves : 10 mn seulement pendant une séance de T.P. seront consacrés au passage sur machine (exemple : étude de la figure d'interférences des fentes d'Young). En revanche, celles qui font appel à un gestionnaire de mesures ou à une acquisition de données peuvent durer toute une séance et mobiliser complètement un poste informatique.

Ceci montre que l'utilisation de l'ordinateur, si elle est raisonnablement conçue, peut trouver sa place dans de nombreux domaines.

Nous n'avons pas non plus perdu de vue la préparation de nos élèves aux épreuves orales des concours : c'est ainsi que la plupart de nos manipulations s'inscrivent dans le cadre de l'emploi de l'ordinateur aux épreuves orales des concours (cf note du jury du concours commun CENTRALE).

RÉFÉRENCES DES LOGICIELS UTILISÉS

1^o MATH - MODULE COURBES ET CARTÉSIENNES :

MICROLAMBDA ZI Auguste 33610 CESTAS (56.36.22.14)

Prix 1991 : 480 Frs TTC

2^o CIRCUITS ÉLECTRONIQUES - FONCTION DE TRANSFERT
logiciel BODE :

Langage et Informatique : Le Dorval Place Mendès France
31400 Toulouse (61.52.37.24).

Lavoisier Tec Doc : 14, rue de Provigny 94236 Cachan Cédex
((1) 47.40.67.00)

3^o SIMULTIT2 ET INTERFACE CANDIBUS :

Langage et Informatique : Le Dorval Place Mendès France
31400 Toulouse (61.52.37.24).