CALCULATRICES
Hubert Canon
Arnaud Ramboux

HP 48 physique-chimie en prépa



Tous les
programmes-clés
pour les concours,
prêts à l'emploi...
et prêts à charger
sur la disquette
PC-Mac incluse!

Préface de Jean-Claude Morlaes IPR de Sciences physiques Inspecteur d'Académie



DUNOD



HP 48 physique-chimie en prépa

HP 48, Hewlett-Packard, ainsi que tous les noms de produits cités dans cet ouvrage sont des marques déposées de leurs propriétaires respectifs.

Ce livre n'est pas le manuel des calculateurs Hewlett-Packard 48 G, GX, S et SX.

Son contenu n'engage pas la société Hewlett-Packard, ni ses distributeurs.

L'éditeur remercie la société Hewlett-Packard France pour son aimable concours.

Ce pictogramme mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'éstit particulière.

l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du ler juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et

bilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que

toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 3 rue Hautefeuille, 75006 Paris).

Illustrations: Rachid Maraï

© Dunod, Paris, 1994 ISBN 2 10 002341 1

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit, ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

Table des matières

Préface Avant-propos Notations	9 11 12
 O • Préliminaires et utilitaires 1 • Présentation des HP-48 G et GX 1 • Mise en marche 2 • Initialisation 2 • L'interface 1 • Le clavier 2 • L'écran 3 • Pile et objets : présentation 4 • La saisie des objets 5 • Les barres de menus 3 • Variables et répertoires 1 • Les répertoires 2 • Les variables 4 • La programmation en RPL 1 • Présentation 2 • Saisir et exécuter un programme 2 • La bibliothèque d'équations 	13 13 14 14 15 15 16 17 19 20 21 22 23 24 24 25 26
Consultation de la bibliothèque d'équations	26 27
Utilisez les équations de la bibliothèque	28
3 • Utilitaires	29
1 • Viewer	29
1 • Présentation	30
2 • Les listings des objets	31
2 • Temps d'exécution d'un programme	39
3 • Cryptage des données	39

Chimie	41
 1 • Equilibres chimiques en solution aqueuse 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 45 	43 43
1 • Présentation 2 • Les listings	45 50
2 • Dosages acidobasiques 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings 1 • Version HP-48 S et SX 2 • Version HP-48 G et GX	65 65 66 66 70 70 81
 3 • Dosages acidobasiques par conductimétrie 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 	93 93 94
 4 • Diagrammes de prédominance acidobasique 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 	97 97 98
 5 • Pouvoir tampon d'une solution 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 	101 101 102
6 • Dosage de complexes 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings 1 • Version HP-48 S et SX 2 • Version HP-48 G et GX	105 105 105 106 108 108 115
7 • Dosages de complexes par conductimétrie	123
8 • Piles et couples d'oxydoréduction 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings	125 125 127 127 129

9 • Cinétique : ordre d'une réaction 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings	135 135 137 137 139
10 • Tableau périodique des éléments 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings 1 • Version HP-48 S et SX 2 • Version HP-48 G et GX	143 143 146 146 147 148 151
Physique	155
11 • Equations différentielles 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings	157 157 159 159 162
12 • Tracés polaires et paramétriques 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings	167 167 168 168 174
13 • Satellites 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings 1 • Version HP-48 S et SX 2 • Version HP-48 G et GX	181 181 182 182 186 186
14 • Oscillateurs harmoniques 1 • Rappels de cours 2 • Le programme 1 • Présentation 2 • Les listings	195 195 196 196 201

	1 • Version HP-48 S et SX 2 • Version HP-48 G et GX	201 204
	cours	209 209 211 211 216 216 223
	cours	231 231 232 232 234
		237 237 238 238 242
La disquette du livre Haute Performance Les livres pour HP-48 Le Club Calculatrices Le service 3615 CALCUI La collection "Calculatri		249 251 252 253 253 254

Préface

Cela a été un vif plaisir pour moi que d'avoir à préfacer l'ouvrage que vous avez entre les mains, parce que conçu par des étudiants s'adressant à des étudiants, il présente, avec un souci d'efficacité, des programmes qui permettent, à l'aide d'une calculatrice, de dépasser les difficultés liées à des calculs souvent fastidieux, pour s'intéresser prioritairement à la réalité physique ou chimique des problèmes posés.

La démarche est originale et accessible à tous ceux qui ont un minimum de curiosité scientifique et technique. Les domaines d'application, variés, sont susceptibles d'accrocher l'intérêt de nombreux lecteurs qui auront envie de poursuivre dans la recherche de l'utilisation optimale de leur calculatrice et peut-être, à l'image des auteurs, de développer leur réflexion sur un sujet particulier.

Il m'est agréable de souligner les qualités qui ont permis à de jeunes étudiants de concevoir et de mener à bien un tel projet.

Jean-Claude MORLAES I.P.R. de Sciences physiques Inspecteur d'Académie



Avant-propos

Conçu pour les étudiants, cet ouvrage présente une sélection de programmes originaux aidant à résoudre de très nombreux problèmes de chimie et de physique.

Les programmes de chimie traitent des dosages, de l'oxydoréduction et de cinétique. De plus, un programme permettra à l'utilisateur de mémoriser un tableau périodique des éléments "sur mesure".

Les programmes de physique abordent les satellites, les oscillateurs harmoniques, les circuits électriques, les circuits RLC à la résonance ainsi que l'optique. Il est possible de construire sur l'écran son circuit électrique ou son système optique!

Les utilisateurs de HP-48 S et SX tireront profit des programmes destinés à la résolution des équations différentielles ou aux tracés polaires et paramétriques.

Le premier chapitre de cet ouvrage vous initie à quelques principes fondamentaux de votre HP-48 et présente trois programmes utilitaires : viewer, codeur de données et calcul du temps d'exécution d'un programme.

Les listings présentés sont, soit compatibles avec toutes les HP-48, soit présentés en deux versions dont l'une est optimisée pour les HP-48 G et GX. Cela dit, les versions S et SX demeurent exploitables sur les G et GX (la compatibilité est dite ascendante).

Les auteurs remercient madame Paulette Laigroz ainsi que monsieur Xavier Ramboux.

Notations

D'une façon générale les touches sur lesquelles vous devrez appuyer auront leurs noms placés entre crochets. Ainsi, [ENTER] signifie "appuyez sur la touche nommée "Enter". Les options des menus horizontaux (affichés en bas de l'écran) que vous devrez sélectionner seront placées entre crochets.

Avertissement

- Les copies d'écrans présentées dans cet ouvrage correspondent aux versions G/GX des listings quand ceux-ci existent.
- La checksum (entier système placé au niveau 2 de la pile après activation de la commande BYTES, celle-ci prenant comme argument le nom d'une variable placé au niveau 1 de la pile) de certains objets est cité après le nom de celui-ci (en italiques et entre parenthèses).
- Il arrive que la seule différence entre les versions S/SX et G/GX des programmes corresponde au remplacement de GRAPH (S/SX) par PICTURE (G/GX).
- La saisie des objets graphiques doit être faite sans espace ni saut de ligne.
- Il est très vivement recommandé de placer dans un répertoire spécifique tous les objets relatifs à un programme donné (d'une façon générale, créez un répertoire pour chaque chapitre).
- Les listings des objets ne vous sont communiqués qu'à titre indicatif, utilisez de préférence la disquette jointe qui contient une sauvegarde du contenu de chaque répertoire.
- Il existe une compatibilité ascendante de la HP-48 S/SX vers la HP-48 G/GX. Autrement dit, tous les programmes RPL conçus pour HP-48 S/SX sont exécutables sur les HP-48 G/GX.



Préliminaires et utilitaires

Ce chapitre est inspiré du contenu des livres "HP-48 pour le bac" et "HP-48 Permis de conduire". Signalons pour mémoire l'existence du livre "HP-48 en prépa" qui répondra à vos besoins en mathématiques. Ces livres sont édités par DUNOD (collection "Calculatrices efficaces").

1

Préliminaires

1

Présentation des HP-48

En 1989, lorsque la première HP-48 SX fut présentée, Hewlett-Packard pensait proposer un outil de calcul pour l'ingénieur ; le constructeur américain était loin de s'imaginer que sa machine, certes extraordinaire, mais à un prix prohibitif, deviendrait le standard des classes préparatoires. La HP-48 S, beaucoup plus abordable, mit la HP-48 à la portée du plus grand nombre. Jusqu'à la présentation des HP-48 G et GX, utiliser une HP était synonyme d'apprentissage fastidieux. On remarquera que les nouvelles versions des HP-48 tentent de nous simplifier la vie en nous proposant une interface beaucoup plus conviviale que celles des HP-28 et HP-48 S/SX.

Toutefois, l'exploitation d'une HP-48 n'a rien d'évident et ce chapitre est là pour vous donner quelques principes de base. Les HP-48 G/GX se distinguent des HP-48 S/SX par une ROM de 512 ko contenant les données EQLIB auparavant réservées aux HP-48 SX car disponibles sur carte ROM uniquement. Parmi les nouveautés apportées par la nouvelle génération, on trouvera : un écran plus lisible, un processeur dont la fréquence est passée de 2 MHz à 4 MHz, le protocole de communication XModem qui complète le protocole Kermit, 128 ko de mémoire vive sur la HP-48 GX et une capacité d'extension théorique jusqu'à plus de 4 Mo.

1

Mise en marche

Pour allumer la HP-48, rien de plus simple, appuyez sur [ON]. Pour l'éteindre, il vous suffira d'entrer la séquence de touches [[] [ON]. Il est possible que l'écran soit illisible après l'allumage de la machine (en particulier si les piles viennent d'être changées). En ce cas, maintenez [ON] enfoncée et appuyez sur :

- [+] pour assombrir l'écran,
- [-] pour éclaircir l'écran,

relâchez [ON] quand le réglage est satisfaisant.

Note importante

Retenez que la touche [ON] correspond, quand la machine est sous tension, à la fonction CANCEL (Annuler). Une pression sur [ON] permet donc d'annuler une opération en cours, ce qui, dans la pratique, est très utile. Un problème ? La machine est bloquée ? Un écran de sélection à quitter ? Vite ! Une pression sur [ON] !

2

Initialisation

Afin d'initialiser la machine (ce qui est conseillé avant une première utilisation, après un grave problème d'utilisation ou après l'achat d'une machine d'occasion), il existe plusieurs méthodes.

•Initialisation des modes du calculateur (versions G et GX)

Vous pouvez initialiser tous les modes du calculateur, autrement dit, leur donner leurs valeurs par défaut. Pour cela, il vous faut saisir la séquence de touches : [←] [CST] (FLAG) [NXT] (RESET).

•Initialisation logicielle

Pour effacer tout le contenu de la mémoire (initialisation de la mémoire), vous pouvez :

- appuyer sur [ON] et maintenir cette touche enfoncée.
- appuyer simultanément sur [A] et [F], (ce sont deux touches blanches en haut du clavier sur les côtés gauche et droit),
 - relâcher [A] et [F],
 - relâcher [ON],
 - appuyer sur la touche correspondant à (NO).

Initialisation matérielle

Un micro-contact de "reset" (initialisation) est à votre disposition au dos de la HP-48. Vous le trouverez dans un orifice sous le patin de caoutchouc supérieur droit (le "R" de "reset" est gravé à côté de l'orifice). Pour initialiser la machine, procédez comme suit :

- appuyer sur [ON] et relâcher cette touche,
- introduire pendant une seconde dans l'orifice un trombone déplié,
- appuyer sur [ON].

2

L'interface

1

Le clavier

Le clavier est le "périphérique de saisie" de la HP-48. Il va nous permettre de communiquer à la machine les informations à traiter et les ordres de traitement. Certaines touches ont des rôles particuliers. Une touche a une fonction principale (cette fonction est gravée en blanc SUR la touche) et des

fonctions secondaires qui sont gravées en mauve, vert, bleu, orange ou blanc (selon le type de votre HP-48) autour de la touche. En règle générale, pour accéder à la fonction principale d'une touche, il suffit d'appuyer sur celle-ci.

Les touches "de bascule"

Trois touches, dites "de bascule", activent des fonctions secondaires des autres touches :

- la touche $[\alpha]$ donne accès aux caractères gravés en blanc en bas à droite de chaque touche,
- la touche [←] donne accès aux fonctions gravées en mauve (ou en orange) en haut à gauche de chaque touche,
- la touche [] donne accès aux fonctions gravées en vert (ou en bleu) en haut à droite de chaque touche.

Les touches "de bascule" peuvent être combinées entre elles afin d'obtenir des caractères non signalés sur le clavier (symboles divers).

• Les touches de sélection

On trouve sous l'écran six touches dont les rôles varient en fonction de la barre de menus affichée en bas de l'écran. Généralement, l'écran propose six fonctions affichées en bas de l'écran, les touches de sélection donnent alors accès aux fonctions signalées juste au-dessus d'elles. Nous désignerons ces touches par [A], [B], [C], [D], [E] et [F].

Autres touches à connaître absolument

- Les touches de déplacement $[\leftarrow]$, $[\uparrow]$, $[\rightarrow]$ et $[\downarrow]$,
- la touche [ENTER] sert à valider les données saisies,
- la touche [SPC] ("espace") permet, selon le cas, de séparer des données.

2

L'écran

L'écran de la HP-48 se divise en trois parties principales :

- la partie supérieure est appelée "zone d'état", elle rassemble des informations concernant l'activité du calculateur (et ce, en "temps réel"),
- la partie centrale sert à visualiser "la pile" qui rassemble les données à traiter,

• la partie inférieure est une "barre d'options du menu contextuelle" et représente les affectations à un instant donné des touches de sélection ([A], [B], [C], [D], [E] et [F]).

La zone d'état sert à l'affichage de divers symboles, remarquons en particulier :

- le sablier signifie que la machine est train d'effectuer un calcul ou une opération relativement longue, cette opération pourra généralement être interrompue par une pression sur [ON],
- une pression sur la touche $[\alpha]$, ou $[\cap]$, ou $[\cap]$ entraîne l'affichage du symbole correspondant dans la zone d'état.

33

Pile et objets : présentation

Tous les ordinateurs et calculateurs utilisent pour travailler une pile de données chargée de mémoriser les informations à traiter dans un ordre convenable compte tenu du traitement à effectuer.

La plupart des calculatrices utilisent aujourd'hui la notation algébrique directe et l'utilisateur peut introduire un calcul exactement comme il l'aurait écrit sur sa feuille. Cette dernière façon de travailler semble plus simple et il est vrai qu'elle a l'avantage de ne pas nécessiter de formation spécifique.

Hewlett-Packard a fait un autre choix, la pile est directement accessible et l'utilisateur doit être apte à la gérer convenablement. En contrepartie, il aura à sa disposition une puissance de calcul sans équivalent. La pile contient des données à traiter, ces données sont appelées "objet", il existe de nombreux types d'objets (nombre réel, nombre complexe, chaîne de caractères, tableau, etc.).

Chaque niveau de la pile sera représenté par 1 , 2 , 3 , etc. Ainsi, le niveau 1 est le premier niveau de la pile (le plus bas sur l'écran).

• Quelques petites règles simples

- Chaque niveau de pile ne peut contenir qu'un objet et un seul, la pile a donc autant de niveaux que d'objets,
- chaque nouvel objet introduit se place automatiquement au niveau 1 de la pile,
 - c'est la "mémoire utilisateur" qui accueille le contenu de la pile,

- le nombre de niveaux et les tailles des objets ne sont limités que par la capacité de la mémoire,
- il ne peut pas y avoir de niveau vide dans la pile entre deux niveaux occupés.

En résumé, on désigne par objet toute donnée d'un type reconnu par la HP-48. Un objet représente le contenu d'un niveau de la pile. Toutes les données transitent par la pile, même quand la HP-48 G/GX nous propose des écrans de saisie plus conviviaux que la pile, ces derniers ne sont qu'un "shell" (coquillage) masquant temporairement la pile pour nous permettre de travailler avec plus de confort.

• La pile et la ligne de commande

Nous l'avons dit, toutes les nouvelles données introduites dans la pile passent par le niveau 1 de la pile. Par conséquent, à chaque fois qu'une nouvelle donnée est introduite, tout le contenu de la pile est refoulé (le niveau 1 passe au niveau 2, le niveau 2 passe au niveau 3, etc.). Pendant la saisie, les données sont affichées sur la ligne inférieure de la partie centrale de l'écran, que l'on l'appelle "ligne de commande".

La ligne de commande...

• apparaît dès que vous entamez la saisie d'une donnée,

• disparaît dès que la donnée est validée par une pression sur [ENTER], la donnée est alors placée au niveau 1 de la pile.

Quand la ligne de commande est active , le "curseur" est matérialisé par une flèche clignotante pointant vers la gauche, il symbolise le point d'insertion, c'est-à-dire l'endroit où seront insérées les données que vous allez saisir. Le curseur peut être représenté par différents symboles selon l'utilisation de la HP-48, par exemple, il prendra la forme d'un rectangle vide lors de l'utilisation de Equation Writer. Le curseur peut être déplacé sur l'expression en cours de saisie à l'aide des touches de déplacement.

Une donnée affichée sur la ligne de commande est "en cours d'édition", on dispose donc de fonctions dites "d'édition" pour la modifier :

- [ON] (fonction CANCEL) annule la saisie en cours et fait disparaître la ligne de commande,
- [←] (fonction BACKSPACE) efface le caractère précédant le curseur,
- [DEL] (fonction DELETE) efface le caractère placé sous le curseur (un déplacement préalable du curseur à l'aide des flèches de déplacement est nécessaire).

Ne pas oublier que toutes les données doivent être validées par une pression sur [ENTER], elles entrent alors dans la pile par le niveau 1.

• Manipulation de la pile

La pile ("stack" en anglais) peut contenir de très nombreux objets, seuls quatre niveaux (parfois moins) sont affichés. Quand la ligne de commande est active (pendant la saisie d'une donnée), il n'y a plus que trois niveaux visibles.

Enumérons maintenant quelques unes des principales commandes permettant la gestion de la pile :

• [DEL] (ou [←] [DEL] si la ligne de commande est active ; utilisez [←] (←] avec une HP-48 S/SX) CLEAR efface le contenu de la pile.

• $[\rightarrow]$ (ou $[\frown]$ $[\rightarrow]$ si la ligne de commande est active) SWAP échande les contenus des niveaux 1 et 2 de la pile,

• [←] (ou [←]] [←] si la ligne de commande est active) DROP supprime l'objet du niveau 1 et décale tous les niveaux en conséquence.

Par exemple, la ligne de commande n'étant pas active, nous souhaitons supprimer l'objet placé au niveau 2 sans porter atteinte au niveau 1, il nous suffit de taper $[\rightarrow]$ $[\leftarrow]$.

De nombreuses commandes destinées à faciliter la gestion de la pile sont accessibles par [] [] [] [] (menu STACK) ou par [] [] [].

• Restitution de l'état antérieur de la pile

Souvenez-vous que vous avez à votre disposition la commande UNDO ou LAST STACK ([┌] [EVAL] sur HP-48 G/GX et [←] [2] sur HP-48 S/SX) qui permet d'annuler la dernière commande introduite.

43

La saisie des objets

• Saisir un nombre réel positif ou négatif

Pour introduire un nombre réel positif, il suffit de le taper et de le valider par [ENTER]. Pour introduire un nombre négatif, on tape d'abord la valeur absolue, puis on appuie sur [+/-] avant de valider par [ENTER]. Prenons quelques exemples :

- pour saisir 125, taper [1] [2] [5] [ENTER],
- pour saisir 125.36, taper [1] [2] [5] [.] [3] [6] [ENTER],
- pour saisir -125, taper [1] [2] [5] [+/-] [ENTER].

Vous pouvez aussi saisir un nombre associé à un facteur 10, ce facteur 10 étant élevé à une puissance entière. La touche [EEX] correspond à $\times 10^x$. Prenons quelques exemples :

- pour saisir 2×105 taper [2] [EEX] [5] [ENTER],
- pour saisir -2×10⁵ taper [2] [+/-] [EEX] [5] [ENTER],
- pour saisir 2×10-5 taper [2] [EEX] [5] [+/-] [ENTER].

• Saisir une expression algébrique ou un nom

Une expression algébrique ou un nom doit être saisi entre deux délimiteurs «'» (en anglais simple quote). Prenons quelques exemples :

- pour saisir l'expression $\sin x + x^2$, on tapera ['] [SIN] $[\alpha]$ [1/x] $[\rightarrow]$ [+] $[\alpha]$ [1/x] $[y^x]$ [2] [ENTER],
- pour saisir le nom "PRG1", on tapera ['] $[\alpha]$ $[\alpha]$ $[\leftarrow]$ $[\rightarrow]$ [MTH] $[\alpha]$ [1] [ENTER].

5

Les barres de menus

La HP-48 propose de très nombreuses fonctionnalités qui ne peuvent pas toutes être représentées sur le clavier. Hewlett-Packard a donc doté sa machine de touches "contextuelles" (qui donnent accès à des fonctionnalités différentes selon le contexte) que sont les "touches de sélection des menus". Elles sont placées juste au-dessous du clavier et ont déjà été décrites.

• Sélection d'une option

Pour sélectionner une option d'un menu, il suffit d'appuyer sur la touche blanche (touche de sélection) placée juste sous l'option à activer. Appuyons sur [MTH] (l'exemple concerne les HP-48 G et GX).

Options du menu : (VECTR) (MATR) (LIST) (HYP) (REAL) (BASE)
Touches à presser : [A] [B] [C] [D] [E] [F]

Dans le cas du menu affiché après une pression sur [MTH] remarquons que les options du menu sont surmontées d'un tiret dans l'angle supérieur gauche (c'est un "onglet" semblable à celui de l'intercalaire d'un classeur), cela signifie que l'utilisation de cette fonction entraîne l'affichage d'un autre menu (ce menu sera un menu-fils c'est-à-dire un sous-menu). Les menus peuvent donc être imbriqués les uns dans les autres.

Certaines options de menus sont suivies (ou peuvent être suivies) d'un point ("•"). La présence de ce point signifie qu'un mode (associé à l'option du menu) est actif. Par exemple, modifions l'unité de mesure d'angles, saisissons [] [CST] (ANGL) (ou [] [CST] [NXT] [NXT] dans le cas des HP-48 S et SX), appuyez maintenant sur (DEG), (RAD) ou (GRAD). Vous remarquez que la dernière unité spécifiée est suivie d'un point ("•"), vous pouvez donc afficher (DEG•), (RAD•) ou (GRA•) en fonction de l'unité de mesure d'angles choisie. Cette unité est appelée unité courante.

• Navigation entre les menus

Une touche peut donner accès à un menu. Seules les six premières options de ce menu seront affichées (sauf si le menu comprend moins de six options). Par exemple, appuyons sur [VAR], les six premières options seront affichées. Appuyons maintenant sur [NXT] (fonction NEXT, "suivant"), les options suivantes, si elles existent, seront affichées.

Quand plusieurs écrans sont nécessaires afin de présenter l'ensemble des options d'un menu, on utilise :

- [NXT] pour accéder aux six options suivantes,
- [| [NXT] pour accéder aux six options précédentes.

33

Variables et répertoires

Pendant nos calculs, nous manipulons des données. Il peut être intéressant de mémoriser ces données. En effet, la pile ne constitue qu'un moyen de stockage temporaire pour les objets. On stocke des objets dans des variables. Une variable est une zone de la mémoire destiné à recevoir un objet. On attribue un nom à une variable, c'est grâce à ce nom que sera récupéré l'objet mémorisé dans la zone de la mémoire correspondant à la variable. Le "gestionnaire de variables" des HP-48 G/GX, accessible par [] [VAR], facilite grandement l'organisation et la manipulation des variables placées dans la mémoire.

Le menu VAR, accessible par [VAR], est adapté à l'utilisation des variables dans les calculs (il convient aussi à certaines manipulations de base). Il rassemble les noms des variables du *répertoire courant* (répertoire dans lequel vous vous trouvez à l'instant considéré). Le *chemin d'accès* (liste des répertoires à "ouvrir") à ce répertoire courant est affiché dans la zone d'état.

1

Les répertoires

• Introduction aux répertoires

Tous les modèles de HP-48 proposent au moins 32 ko de mémoire (c'est-à-dire l'équivalent de 32000 caractères environ). Cette mémoire est dite "mémoire utilisateur" car ce dernier peut y placer tous les objets qu'il souhaite y mémoriser.

Tous les objets (nombre réel, nombre complexe, liste, programme, etc.) pourront être enregistrés dans des variables. La grande capacité de la mémoire de votre HP-48 impose un rangement des objets. La mémoire pourra être organisée comme un classeur divisé en dossiers, chaque dossier pourra lui-même contenir des sous-dossiers, chaque sous-dossier pourra avoir ses sous-dossiers, etc.

Dans la mémoire de la HP-48, un dossier (ou un sous-dossier) s'appelle un "répertoire" (ou "directory"). Un répertoire appelé "HOME" est présent dès le premier allumage de la machine, c'est un répertoire crée automatiquement, il a la particularité de contenir tous les autres, on l'appelle "répertoire racine".

• Créer un répertoire (HP-48 S, SX, G et GX)

Placez-vous dans le répertoire devant accueillir le nouveau répertoire (à défaut, restez dans HOME), puis :

- saisissez le nom du répertoire entre apostrophes,
- tapez [←] [VAR] (CRDIR).

• Créer un répertoire (HP-48 G et GX)

Utilisation du gestionnaire de mémoire :

- on accède au gestionnaire de variables par [→] [VAR],
- (NEW) va nous permettre de créer une nouvelle variable (un répertoire est une variable particulière),
- (CHOOS) (CHOOS) visualise "l'arborescence" de la mémoire utilisateur, autrement dit, les positions des répertoires les uns par rapport aux autres. A l'aide des touches $[\uparrow]$ $[\downarrow]$ on sélectionne le répertoire dans lequel devra être placé la variable (même si celle-ci est un répertoire), nous validerons notre choix avec [ENTER] ou (OK),
- [\downarrow] [\downarrow] (CHK) on coche le champ de saisie "directory" afin d'annoncer que notre nouvelle variable est un répertoire,

- [\$\psi\$] le champ de saisie OBJECT est sélectionné et doit rester vide puisque nous voulons créer un répertoire,
- [\] le champ de saisie NAME est sélectionné. Tapez le nom du répertoire (vous pouvez donner un nom comportant jusqu'à 127 caractères sachant que seuls les quatre ou cinq premiers caractères apparaîtront dans le menu),
 - validez par [ENTER] [ENTER].

Un nouveau répertoire est alors mis en place dans l'arborescence.

• Déterminer le répertoire courant

Le répertoire dit "courant" est tout simplement le répertoire dans lequel vous vous trouvez à un instant donné. Seules les variables placées dans le répertoire courant sont affichées lorsque vous appuyez sur [VAR]. Notez que les sous-répertoires du répertoire courant sont accessibles à l'aide des options correspondantes du menu [VAR]. Pour remonter d'un niveau d'arborescence vers la racine, il suffit d'utiliser "UP" en tapant [—] [']. On revient directement à la racine en tapant [—] ['].

2

Les variables

Nous rappelons qu'une variable est une zone de la mémoire capable de stocker un objet. On attribue un nom à une variable, et c'est grâce à ce nom que nous pourrons récupérer l'objet enregistré. En résumé, une variable est donc un objet en mémoire auquel on a attribué un nom.

• Copier une donnée dans une variable

Afin de copier un objet dans une variable :

- la variable sera enregistrée dans le répertoire courant, si cela est nécessaire, changez le répertoire courant,
- saisir un objet (sur la ligne de commande), valider par [ENTER] cet objet afin de le placer dans le pile,
- saisir entre deux apostrophes (délimiteurs) le nom de la variable dans laquelle devra être stocké l'objet (exemple : 'VARESSAI1'), valider le nom par [ENTER] afin de la placer dans la pile,
- alors que l'objet se trouve au niveau 2 de la pile et que le nom est au niveau 1, appuyer sur [STO] (storage, stockage en mémoire sous le nom de variable spécifié).

L'objet est maintenant enregistré sous la forme d'une variable. L'attribution d'un nouvel objet à une variable entraîne la perte du précédent objet mémorisé. Dans un répertoire donné, deux variables ne peuvent avoir le même nom.

• Evaluer une variable

A chaque variable enregistrée dans le répertoire courant est attribuée une option du menu accessible par [VAR], le libellé de cette option étant constitué des quatre ou cinq premiers caractères du nom de la variable. Si le répertoire courant accueille plus de six variables, il conviendra de faire défiler les noms de variables à l'aide de [NXT].

L'évaluation d'une variable consiste à envoyer dans la pile la valeur de la variable à l'instant de l'évaluation. Par exemple, si nous évaluons la variable EXEMPLE contenant l'expression algébrique 'x+y', la HP-48 va envoyer dans la pile la somme x+y en tenant compte des valeurs de x et de y (qui sont d'autres variables) au moment de l'évaluation. Ainsi, si à l'instant de l'évaluation on a x=2 et y=5, la valeur 7 sera placée dans la pile. Les informaticiens diront que l'évaluation est fonction de l'environnement, c'est-à-dire des valeurs des variables à l'instant considéré. Pour évaluer une variable il suffit d'appuyer sur (Variable) (où "Variable" est le nom de la variable...) dans le menu VAR accessible par [VAR].



La programmation en RPL

1

Présentation

Il n'est pas question dans cet ouvrage d'expliquer les principes de la programmation, nous tenons juste à vous dire comment introduire un programme RPL dans la machine et comment l'exécuter.

Un programme est une succession d'ordres donnés à la machine. La succession d'instructions, commandes et objets constituant le programme est rassemblée dans ce qu'on appelle le "listing" (ou "liste de programme"). Aux

yeux de la HP-48, un programme est un objet placé entre les délimiteurs « et ». Le RPL ("Reverse Polish Lisp") est le langage de programmation utilisée par notre HP-48.

2

Saisir et exécuter un programme

• Saisir un programme

Pour saisir un programme écrit en RPL, il suffit d'afficher la pile (il vous faut donc, éventuellement, appuyer sur [ON]) et de saisir le programme sur la ligne de commande.

Un programme RPL est une succession d'instructions et de paramètres placés entre les délimiteurs « et ». Pour obtenir ces délimiteurs, il suffit de saisir $[\leftarrow]$ [-], il vous faut alors taper votre programme entre ces délimiteurs. Notez que le témoin PRG s'affiche en haut de l'écran.

Une fois les instructions et les objets saisis dans l'ordre correct de leur exécution, appuyez sur [ENTER], le programme se placera alors au niveau 1 de la pile. Saisissez maintenant entre deux apostrophes le nom du programme, validez par [ENTER]. A ce stade, le programme est donc au niveau 2 de la pile et son nom au niveau 1. Appuyez sur [STO], le programme est alors enregistré et est associé au nom que vous lui avez donné.

Remarquez qu'il convient de se placer préalablement dans le répertoire où devra être enregistré le programme.

Pendant la saisie d'un programme :

- les commandes de programmes sont accessibles en utilisant les différents menus affichés après une pression sur [PRG],
- une commande, par exemple DO, peut être placée dans un programme, soit en utilisant l'option de menu correspondante (DO), soit en la saisissant caractère par caractère,
- placez un espace[SPC] afin de séparer les fonctions et les arguments du programme,
- afin de rendre votre programme plus lisible, il est conseillé de "revenir à la ligne" en utilisant [→] [.],
- Attention! Si vous appuyez sur [ENTER] avant la fin de la saisie du programme, vous placerez votre programme inachevé dans la pile... Il faudra dans ce cas avoir recours à l'environnement EDIT...

• Exécuter un programme

Pour exécuter un programme, qui est en fait une variable contenant un objet "exécutable", il faut :

- se placer dans le répertoire où se trouve la variable correspondant au programme (autrement dit, le programme doit se trouver dans le répertoire courant),
 - appuyer sur [VAR] afin d'afficher les variables disponibles,
- appuyer sur la touche de sélection correspondant à l'option de menu représentant le programme.

2

La bibliothèque d'équations

Attention! Ce paragraphe ne concerne que les utilisateurs des HP-48 G/GX.

L'une des nouveautés apportées par les HP-48 G et GX est la présence en mémoire morte d'une bibliothèque d'équations. Celle-ci est accessible par [7] [3].

Sélectionnez l'option (UNITS) du menu pour afficher les unités (l'option se transforme en (UNIT•) quand elle est active). Vous avez le choix entre deux systèmes d'unités :

- sélectionnez l'option (SI) pour utiliser le système international d'unités, quand cette option est active, elle devient (SI•),
- sélectionnez l'option (ENGL) pour utiliser le système anglais d'unités, quand cette option est active, elle devient (ENGL•).



Nous allons décrire quelques utilisations possibles de la bibliothèque d'équations. Avant tout, il convient de choisir un domaine, pour cela, sélectionnez-

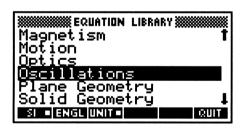
en un en vous déplaçant à l'aide des flèches puis validez votre choix par [ENTER]. Les domaines disponibles sont :

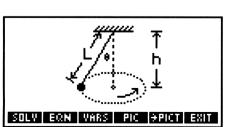
- colonnes et poutres (columns and beams),
- électricité (*electricity*),
- mécanique des fluides (fluids),
- forces et énergies (forces and energy),
- gaz (gases),
- transfert de chaleur (heat transfer),
- magnétisme (magnetism),
- mouvement (motion),
- optique (optics),
- oscillations (oscillations),
- figures de géométrie plane (plane geometry),
- géométrie des solides (solid geometry),
- électronique, procédés liés à l'état solide (solid state devices),
- analyse des pressions (stress analysis),
- ondes (waves).

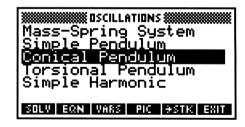
Consultation de la bibliothèque d'équations

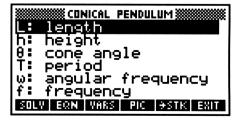
Par exemple, recherchons les informations relatives au pendule conique :

- ouvrez la bibliothèque d'équations : [] [3],
- choisissez (avec [↑] et [↓]) OSCILLATIONS et validez avec [ENTER]
 (à ce stade, vous pouvez quitter la bibliothèque en sélectionnant (QUIT)),
- choisissez (avec $[\uparrow]$ et $[\downarrow]$) CONICAL PENDULUM et validez avec [ENTER] (en sélectionnant l'option *(EXIT)* vous retrouverez la précédente liste de sélection),
- sélectionnez l'option (PIC) du menu afin de visualiser le phénomène (le message NO PICTURE AVAILABLE est affiché quand aucune illustration



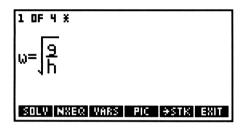


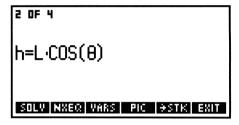


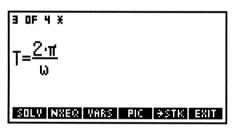


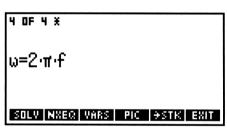
n'est disponible, vous pouvez retrouver la liste de sélection en sélectionnant (EXIT)). L'image affichée peut être placée dans l'environnement PICTURE en sélectionnant l'option $(\rightarrow PICT)$,

- des variables sont affichées sur l'illustration, pour connaître leurs significations, sélectionnez l'option (VARS) du menu,
- pour visualiser les équations relatives au sujet traité, sélectionnez l'option (EQN) du menu. Faites ensuite défiler les autres équations en sélectionnant l'option (NXEQ) du menu. En sélectionnant l'option ($\rightarrow STK$) du menu vous placez dans la pile la liste d'équations.







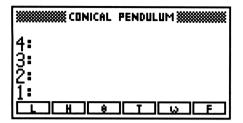


• Utilisez les équations de la bibliothèque

La bibliothèque d'équations peut être utilisée avec un "solveur" (celui-ci s'apparente au solveur disponible sur les HP-48 S et SX) permettant de résoudre les équations pour une ou plusieurs inconnues.

Reprenons l'exemple du pendule conique :

- ouvrez la bibliothèque d'équations : [→] [3],
- choisissez OSCILLATIONS et validez avec [ENTER],
- choisissez CONICAL PENDULUM et validez avec [ENTER],
- sélectionnez l'option (SOLV) du menu afin de lancer le solveur (pendant son utilisation, la pile reste visible et utilisable, il ne s'agit pas de l'application SOLVE),
- pour chaque variable connue, introduisez sa valeur puis sélectionnez l'option du menu correspondant à la variable (il est parfois nécessaire de faire défiler les options avec [NXT]). Les variables dont les valeurs ont été introduites voient leurs options "noircies",
- appuyez sur [i] avant de sélectionner l'option du menu correspondant à la variable inconnue.





```
t HOME >
4:
3:
2: T: .628318530718_s
1: f: 1.59154943092_Hz
```

33

Utilitaires

1

Viewer

Le répertoire 'POMPES' (!) contient un ensemble de programmes permettant une visualisation aisée des chaînes de caractères. L'environnement EDIT étant trop lent dès que l'objet à visualiser devient important. Le répertoire contient un viewer et un programme de recherche de chaîne. 1

Présentation

Première utilisation

Le seul objet du répertoire 'POMPES' que vous aurez à évaluer est 'DEPART'. Lors de la première utilisation, le répertoire ne contient aucune chaîne de caractères, lorsque 'DEPART' est évalué, il renvoie "Catalogue vide". Utilisez l'option CRDIR du menu pour créer un sous-répertoire ou l'option NEW afin de créer une nouvelle "fiche". L'option "EDIT" permettra de modifier une "fiche". Une pression sur [ENTER] éditera la chaîne sélectionnée.

• Utilisation du programme

Le programme est exécuté en évaluant l'objet 'DEPART' du répertoire 'POMPES'. Le catalogue des chaînes visualisables est affiché, notez que ce catalogue peut éventuellement être vide, il présente :

- les chaînes de caractères qui pourront être éditées,
- les sous-répertoires rassemblant des chaînes de caractères à éditer,
- par ailleurs, un menu spécifique est affiché en bas de l'écran.

La fonction INPUT permet d'introduire une nouvelle fiche ou de la modifier. Le programme VIEWER (visualisation de chaînes) utilise sept lignes sur l'écran.

• Touches utilisables pendant l'affichage du catalogue

- [\uparrow] [\downarrow] déplacent le curseur et sélectionnent les fiches. Le curseur peut être déplacé de cinq lignes à la fois en appuyant sur [$\not \vdash$] avant d'appuyer sur [\downarrow] ou sur [\uparrow]. Le curseur se place à une extrémité de la chaîne en appuyant sur [f] avant d'appuyer sur [f],
- [ENTER] visualise la "fiche" sélectionnée ou ouvre un sous-répertoire sélectionné,
 - [HOME] fait du répertoire racine le répertoire courant,
 - [NXT] fait défiler les options du menu.

• Options du menu pendant l'affichage du catalogue

- CRDIR crée un sous-répertoire dans le répertoire courant,
- NEW crée une nouvelle fiche,
- EDIT édite la fiche sélectionnée,
- FIND recherche un fragment de chaîne de caractères dans toutes les fiches du répertoire courant,

- ORDER place la fiche ou le sous-répertoire sélectionné au début de la liste,
- PURGE ou DEL effacent la fiche ou le sous-répertoire sélectionné à condition que ce dernier soit vide,
 - ON quitte le programme.

• Touches utilisables pendant l'utilisation du VIEWER

- [\uparrow] [\downarrow] déplacement dans la fiche. En appuyant sur [\uparrow] avant d'appuyer sur [\downarrow] ou sur [\uparrow] on se déplace "page par page". En appuyant sur [\uparrow] avant d'appuyer sur [\downarrow] ou sur [\uparrow] on se place directement à une extrémité de la fiche,
- [] puis [1], [2], [3,] [4] ou [5] permet de placer cinq "marques" au sein d'une fiche,
- [1], [2], [3], [4] ou [5] affichera l'un des cinq endroits marqués de la fiche,
 - [ON] ou [ENTER] quittent la visualisation et affichent le catalogue.

Remarques:

- Il est préférable de créer des sous-répertoires afin de classer vos aide-mémoires par sujets,
- lors de vos déplacement dans l'arborescence, il faut absolument que les objets exécutables du répertoire 'POMPES' soient accessibles (ils doivent se trouver dans l'un des répertoire du chemin courant... HOME !),
- 'VIEWER' est assez lent au départ puisqu'il détermine la position de chaque saut de ligne, cela lui permet d'être plus rapide ensuite,
 - le programme 'TROUVE' distingue majuscule et minuscule.

• Les objets du répertoire 'POMPES'

- 'DEPART' affiche le catalogue,
- 'VIEWER' visualise une fiche,
- 'TROUVE' demande un motif et le recherche dans tout le répertoire courant,
 - 'M1' et 'M2' sont les deux menus du catalogue.

2

Les listings des objets

Les objets du répertoire 'POMPES' sont utilisables sur HP-48 S/SX/G/GX.

• 'DEPART' (#8A18)

« CLLCD DEPTH \rightarrow LIST RCLMENU PATH 1 { } 0 1 1 6 4 0 1 \rightarrow stk m path p fich k cur idx n pg nt chg

IFERR

DO

IF chg THEN

CLLCD 1 'cur' STO 1 'idx' STO 2 TVARS 15 TVARS + DUP SIZE 'nt' STO 'fich' STO 0 'chg' STO

END p

'M1' 'M2' IFTE

TMENU

IF nt THEN

idx idx 7 nt MIN 1 - DUP 'n' STO +

FOR j

j cur == ">" " " IFTE fich j GET + IF fich j GET VTYPE 15 ==

THEN ": dir" + END j idx - 1 +DISP

NEXT

ELSE

"Catalogue vide" 4 DISP

END -1

WAIT 'k' STO

CASE k

IP 26 ==

THEN

p NOT 'p' STO

END k

51.1 ==

THEN

```
fich cur GET
IF DUP VTYPE 2 ==
THEN DUP RCL SWAP
+ SWAP + CLLCD
VIEWER DROP 1 'chg'
STO
ELSE EVAL 1 'chg'
STO
END
               END k
11.1 == p AND
               THEN
CLLCD
"Nom du répertoire"
\{\alpha\} INPUT "'"
SWAP +
IFERR STR→ CRDIR
THEN CLLCD
"Impossible de créer
ce répertoire"
1 DISP 0 WAIT DROP
END 1 'chg' STO
               END k
12.1 == p AND
"Nom de la fiche" {
\alpha } INPUT "'" SWAP
+ STR→ "Contenu :"
\{\alpha\} INPUT SWAP
STO 1 'chg' STO
               END k
13.1 == p AND
               THEN
fich cur GET
IF DUP VTYPE 2 ==
THEN DUP RCL ""
SWAP { 1 \alpha } +
INPUT SWAP STO 1
'chg' STO
```

END k

THEN

END

16.1 == p AND

```
TROUVE 1 'chg' STO
              END k
11.1 == p NOT AND
fich cur GET 1
→LIST ORDER 1 'chg'
STO
              END k
12.1 == p NOT AND k
54.1 == OR
              THEN
CLLCD fich cur GET
"PURGE " OVER +
(O/N) ?" + 1 DISP
0 WAIT IP
IF 33 ==
THEN PURGE
ELSE DROP
END 1 'chg' STO
              END k
31.2 ==
              THEN
XLIB 771 3 1 'chg'
STO
              END k
31.3 ==
XLIB 771 2 1 'chg'
STO
              END k
55.1 ==
              THEN
0 DOERR
              END k
25.1 ==
CASE cur DUP 1 \le 
  THEN nt DUP n -
'idx' STO
  END 1 - DUP idx <
  THEN DUP 'idx'
STO
  END
```

END k

END 'cur' STO

```
35.1 ==
```

THEN

CASE cur DUP nt ≥ THEN 1 DUP 'idx'

STO

END 1 + DUP idx n

+ >

THEN DUP n -

'idx' STO

END

END 'cur' STO

END k

25.2 ==

THEN

CASE cur DUP pg ≤ THEN 1 DUP 'idx'

STO

END pg - DUP idx

<

THEN DUP 'idx'

STO

END

END 'cur' STO

END k

35.2 ==

THEN

CASE cur pg + nt

DUP2 >

THEN SWAP DROP

DUP n - 'idx' STO

END DROP DUP idx

n + >

THEN DUP n -

'idx' STO

END

END 'cur' STO

END k

25.3 ==

THEN

1 'cur' STO 1 'idx'

STO

END k

35.3 ==

THEN

nt DUP 'cur' STO n - 'idx' STO

END

END

UNTIL 0

END

THEN CLEAR

m MENU stk LIST \rightarrow DROP path EVAL

END

>>

>>

• ' VIEWER' (#6C24)

« DEPTH ROLLD

DEPTH 1 - →LIST { 0

} 0 1 { 1 1 1 1 1 } \rightarrow s stk t c x m

≪

IFERR CLLCD

"Patientez SVP ..."

1 DISP S DUP 2 DISP

WHILE DUP

•

" POS DUP

REPEAT

DUP 'C' STO+ 'T' C STO+ 1 + OVER SIZE

SUB

END DROP2

'T' S SIZE STO+

IF T SIZE

8 ≤

THEN T {

0 0 0 0 0 0 0 0 } +

1 8 SUB 'T' STO

END CLLCD

WHILE S T

X GET 1 + 1000000

SUB 1 DISP 0 WAIT

DUP IP 51 ≠

REPEAT

CASE

DUP 25.1 ==

THEN

DROP X 1 - 1 MAX

'X' STO

```
END
```

DUP 35.1 ==

THEN

DROP X 1 + T SIZE 7

- MIN 'X' STO

END

DUP 25.2 ==

THEN

DROP X 6 - 1 MAX

'X' STO

END

DUP 35.2 ==

THEN

DROP X 6 + T SIZE 7

- MIN 'X' STO

END

DUP 25.3 ==

THEN

DROP 1 'X' STO

END

DUP 35.3 ==

THEN

DROP T SIZE 7 - 'X'

STO

END {

82.1 83.1 84.1 72.1

73.1 } OVER POS DUP

THEN

M SWAP GET 'X' STO

DROP

END

DROP { 82.2 83.2

84.2 72.2 73.2 }

OVER POS DUP

THEN

'M' SWAP X PUT DROP

END

DROP2

END

END DROP

THEN

END

CLEAR

STK LIST- DROP S

>>

• 'TROUVE' (#3C9A)

```
« 2 TVARS
"Motif à trouver" {
\alpha } INPUT 0 0 0 \rightarrow f
mitd
        DO
           WHILE f
'i' INCR
             IF OVER
SIZE OVER <
             THEN 0
1 'd' STO
             ELSE
GET DUP RCL DUP m
POS NOT
             END
           REPEAT
DROP2
           END
           IF d
           THEN
DROP2
           ELSE 1
't' STO SWAP "
SWAP + VIEWER DROP
           END
         UNTIL CLLCD
           IF t d
NOT AND
           THEN
"Continuer la recherche
(O/N) ?"
1 DISP 0 WAIT IP 32
==
           ELSE 1
           END
         END
      >>
```

• 'M1'

{ "CRDIR"

```
"NEW" "EDIT" "" ""
"FIND" }
• 'M2'
{ "ORDER" "PURGE" }
```

2

Temps d'exécution d'un programme

Le programme 'DUREE' permet de déterminer le temps d'exécution d'un programme. Il suffit de placer dans la pile les éventuels arguments du programmes, le nom de ce programme puis d'exécuter DUREE. Dans la pile sera placé l'éventuel résultat renvoyé par le programme suivi du temps d'exécution du programme exprimé en secondes

• Le listing de 'DUREE' (#FE45)

```
« TICKS → T
    « EVAL TICKS T -
B→R 8192 / "Durée"
    →TAG 2 RND
    »
»
```

33

Cryptage des données

Le programme 'CODEUR' permet de crypter des données afin de les rendre incompréhensibles aux yeux des indiscrets. Pour coder crypter une chaîne de caractères, placer celle-ci dans la pile, suivie d'une clef de codage puis exécuter 'CODEUR'. Attention ! Cette clef de codage ne devra en aucun être oubliée ! On obtient dans la pile une chaîne cryptée qui pourra être placée dans une variable. Pour exploiter la chaîne cryptée (restitution des données

initiales), on procédera de même, il suffira donc de placer dans la pile la chaîne cryptée puis la clef de décodage et d'exécuter 'CODEUR'.

• Le listing de '→COD' (#6AE5)

THEN

"Il faut entrer la chaîne et la clé" DOERR

END OVER SIZE OVER SIZE 0 0 \rightarrow S C IM JM I J

≪ S

WHILE 'I'

INCR IM ≤

REPEAT I
DUP2 DUP SUB NUM C
J JM MOD 1 + DUP
'J' STO DUP SUB NUM
SWAP - 256 MOD CHR
REPL

END

» >

CHIMIE

Non: 23 Control of the control of th

Equilibres chimiques en solution aqueuse

1

Rappels de cours

- Les couples acido-basique, définitions de BrØnsted et Lowry
- un **acide** est une espèce, ion ou molécule, capable de libérer un proton (ion H+). Un acide sera noté A,
- une **base** est une espèce, ion ou molécule, susceptible de recevoir ("capter") un proton. Une base sera notée *B*. Une base possède nécessairement un doublet d'électrons non liant sur lequel l'ion H+ vient se fixer par coordinence,
 - réactions élémentaires

B:H
$$\stackrel{\leftarrow}{\hookrightarrow}$$
 B: $^+$ H+
B: $^+$ H+
 $\stackrel{\leftarrow}{\hookrightarrow}$ BH+

• couple acido-basique (A/B)

A $\stackrel{\leftarrow}{\hookrightarrow}$ B $^+$ H+

acide $\stackrel{\leftarrow}{\hookrightarrow}$ base $^+$ proton

L'acide et la base d'un même couple sont dits conjugués.

Un acide contient nécessairement l'élément hydrogène mais un composé hydrogéné n'est pas implicitement un acide (Par exemple, NaH est basique). Notez que des composés qui ne sont pas des acides peuvent se comporter comme des acides.. mais restons-en à la définition de BrØnsted. Un acide libérant un seul proton est un monoacide, s'il en libère plusieurs, c'est un polyacide. De même, il existe des monobases et des polybases.

Remarque : pour introduire une réaction non totale, on utilisera sur la HP-48 la flèche \rightarrow aussi utilisées pour les réactions quasi-quantitatives.

• Produit ionique de l'eau

Dans l'eau pure, en l'absence de tout acide ou de toute base en solution, un équilibre acidobasique dans lequel l'eau, qui est amphotère, est à la fois acide et base. Cependant, la réaction est très limitée : à 25° C la concentration des ions H_3O^+ (égale à celle des ions OH-) n'est que 1.10^{-7} mol.l-1.

L'eau est un acide :

mais aussi une base:

$$H_2O + H^+ \stackrel{\longleftarrow}{\rightarrow} H_3O^+$$

d'où

$$2.H_2O \stackrel{\longleftarrow}{\rightarrow} H_3O^+ + OH^-$$

Produit ionique de l'eau :

$$Ke = (\alpha_{H_3O^+} \cdot \alpha_{OH^-}) \div (\alpha_{H_3O})^2$$

Ke est appelé "produit ionique de l'eau". Or l'eau étant un solvant on peut poser $a_{H_2O} \approx 1$ et la solution est diluée donc $a_{H_3O^+} = [H_3O^+]$ et $a_{OH^-} = [OH^-]$.

• Couple acidobasique dans l'eau :

$$A + H_2O \hookrightarrow B + H_3O^+$$

 $Ka = [H_3O^+].[B]/[A]$

Réaction de complexation

Certains ions forment avec le solvant, notamment avec l'eau, un ion complexe. Celui-ci est un édifice stable et un véritable composé défini. Les réactions de **complexation** doivent être distinguées des réactions de solvation. Soit un complexe *MLn* où :

- M représente l'atome ou l'ion central,
- L représente le ligand (ou coordinat),
- n est l'indice de coordination.

Couple donneur/accepteur:

$$M + nL \hookrightarrow MLn$$

accepteur + ligand \hookrightarrow donneur potentiel

La constante de formation globale est la constante d'équilibre associée à la réaction de formation du complexe.

$$\dot{M} + nL \hookrightarrow MLn$$

 $Kf = [MLn]/([M]^*[L]^n)$

Equilibres successifs de complexation : $\mathbf{Kf_1}$ correspond aux produits des $\mathbf{kf_j}$ pour j variant de 1 à i.

• Précipitation

Dans le cas d'un sel (composé solide) peu soluble il apparaît un solide si les concentrations sont trop importantes. La solution est dite saturée. Les concentrations sont alors reliées par une expression du type :

$$\mathbf{K}_{s} = [\mathbf{A}]^{\alpha}.[\mathbf{B}]^{\beta}$$

$$\mathbf{A}_{\alpha}\mathbf{B}_{\beta} \approx \alpha[\mathbf{A}] + \beta[\mathbf{B}]$$

où K_s est le produit de solubilité.

Lorsque la phase solide est inexistante, l'équilibre n'est pas vérifié et on a :

$$[A]^{\alpha}.[B]^{\beta} < K$$

2

Le programme



Présentation

Ce programme permet de résoudre les problèmes de chimie en solution aqueuse. Il est utilisable avec les HP-48 S, SX, G et GX.

• Données attendues par le programme

Il vous faudra introduire:

- les espèces en solution,
- les réactions,
- les constantes d'équilibre.

Vous obtiendrez les concentrations à l'équilibre.

Le répertoire SOLUTION contient 10365 octets.

• Les fonctions-utilisateur utilisées

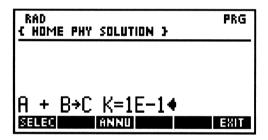
- 'RESET' initialise les réactions et espèces connues,
- 'NEW' commence une nouvelle sélection,
- 'DEPART' modifie la sélection et lance le calcul,
- 'CALC' poursuit un calcul interrompu.

Démonstration

Placez-vous dans le répertoire 'SOLUTION' et sélectionnez l'option 'RESET' ou 'NEW' du menu. Le curseur apparaît à gauche de "Autres espèces". Appuyez alors sur 'SELECT' ou 'ENTER' pour introduire une nouvelle réaction. Un message vous précisera qu'il ne faut pas faire apparaître H₂O dans la réaction.

Introduisez votre réaction de part et d'autre de la flèche. Il ne faudra pas faire intervenir les charges des ions car le "+" sert à délimiter le réactifs ou les produits.

A droite de "K=", c'est la constante d'équilibre qui devra être saisie, par exemple, "A+B->C K=1E-1".



Appuyez sur [ENTER]. Le nouvel écran comportera les espèces de la réaction enregistrée.



Indiquez la concentration de chacune des espèces en solution :

• déplacez le curseur à l'aide des flèches [↑] et [↓] afin de sélectionner une espèce ([┌)] permet d'aller en haut ou en bas de la liste),

- validez votre choix par [ENTER] ou en sélectionnant l'option SELECT du menu,
- introduisez la concentration de l'espèce sélectionnée et validez par [ENTER],
 - répétez ces opérations pour chaque espèce.

Remarques:

- si une espèce n'est pas présente au départ mais intervient dans la réaction, associez-lui une concentration nulle,
- dans le cas de réactions avec des sels peu solubles, le programme ne n'est valable que lorsque la phase est soluble. On peut alors écrire la réaction d'équilibre sans faire figurer le solide. Ainsi, si vous vérifez à l'aide d'un petit calcul annexe qu'il n'existe plus de solide, il faut recommencer le calculen enlevant la réaction,
- les espèces présentes n'intervenant pas dans les réactions doivent se voir associer des concentrations nulles.

En cas d'erreur, sélectionnez l'option ANNUL du menu avant de choisir une nouvelle espèce.

Quittez le tableau en sélectionnant l'option EXIT du menu. Les calculs commencent alors (comme toujours, ce type de processus pourra être annulé par une pression sur [ON]). Pendant l'exécution du programme apparaissent deux nombres en haut de l'écran :

- le premier est l'écart par rapport à la position d'équilibre. Le calcul est terminé lorsque cette valeur est inférieure à E dont la valeur doit être comprise entre 0,1 et 0,001,
- le second correspond à l'avancement des concentrations (norme du vecteur dC).

• Principe

Le programme utilise la méthode de Newton pour rechercher la position d'équilibre.

• Les objets du répertoire SOLUTION

- 'SMART' correspond à la liste des espèces et de leurs concentrations à l'équilibre,
 - 'CALC' exécute le calcul,
 - 'C' est une variable contenant les concentrations,
 - 'INITC' cherche à obtenir des concentrations strictement positives,
 - 'E' indique la précision recherchée,
 - 'NC' correspond au nombre de constituants,
 - 'NE' correspond au nombre d'équilibres,
 - 'C0' indique les concentrations initiales,

- 'lambda' contient les coefficients des réactions,
- 'LNK' correspond aux logarithmes népériens de constantes d'équilibre des réactions,
 - 'ESPECES' est la liste des espèces connues,
 - 'REACTIONS' est la liste des réactions connues,
 - 'SEL' est la liste des espèces sélectionnées,
 - 'CONC' correspond aux concentrations des espèces sélectionnées,
 - 'ENLEVE' retire une espèce de 'SEL' (option ANNUL du menu),
 - 'DEMANDE' est le programme d'introduction des concentrations,
 - 'TRANS' construit le tableau des coefficients à partir de 'SEL',
- les variables 'ESPECE.OLD' et 'REACTIONS.OLD' sauvegardent les informations en cas d'erreur (option ANNUL du menu)
 - 'LASTOP' mémorise la dernière opération,
 - 'NBESP' mémorise le nombre d'espèces connues,
 - 'eta' est un petit déplacement pour 'INITC',
 - 'TEST' vérifie que les concentrations sont strictement positives,
- 'ADAPT' diminue de déplacement donné par la méthode de Newton pour que les concentrations restent strictement positives,
 - 'CK' vérifie les dimensions de 'C0', 'LNK' et 'lambda',
 - 'LCOMP' vérifie que deux listes sont égales,
 - 'F' est la fonction utilisée pour la méthode de Newton,
 - 'DF' calcule la matrice Jacobienne de la fonction 'F',
 - 'C1' correspond au stockage temporaire de 'C',
 - 'DC' est le déplacement donné par la méthode de Newton,
 - 'x' coefficient utilisé par 'ADAPT',
 - 'y' coefficient utilisé par 'ADAPT',
 - 'z' coefficient utilisé par 'ADAPT'.

Remarques

On peut aussi modifier directement les variables 'C0', 'LNK' et 'lambda' :

- 'C0' est un vecteur de dimension NC,
- 'LNK' est un vecteur de dimension NE,
- 'lambda' est une matrice de dimension {NC NE}. Chaque ligne correspond à une réaction, chaque colonne à un constituant. Le coefficient est positif dans le cas d'un produit, négatif dans le cas d'un réactif et nul si le composé n'intervient pas dans la réaction.

• Exemple (d'après E.N.S. Lyon P' 1989)

Trouvez le pH d'une solution de H_2SO_3 de concentration c = 0,01 mol/l.

$$H_2SO_3/HSO_3^-$$
 pK1 = 1.77 HSO_3 -/ SO_3 ²⁻ pK2 = 7.19

- Exécutez 'RESET'.
- sélectionnez 'Autres espèces' pour entrer la première réaction,
- tapez " \rightarrow H₃O+OH" puis "K=1E-14" pour l'autoprotolyse de l'eau (On omettra H₂O et le nombre de charges),
- introduisez les concentrations de ces deux nouvelles espèces en plaçant le curseur en face de l'une ou l'autre puis sélectionnez 'SELECT' ou tapez 'ENTER'. Ici les concentrations étant nulles, vous saisirez 0,
- sélectionnez à nouveau 'autres espèces' la réaction suivante " $H_2SO_3 \rightarrow HSO_3 + H_3O$ K = -1.77 ALOG", (la constante K peut être saisie sous cette forme car le programme exécute l'instruction $STR \rightarrow du$ RPL) puis introduisez les concentrations 0,01 pour H_2SO_3 et 0 pour HSO_3 ,
- Répétez l'opération pour la dernière réaction " $HSO_3 \rightarrow SO_3 + H_3O$ K = -7.19 ALOG", entrez la concentration (nulle) de SO_3 . Sélectionnez ensuite EXIT après avoir vérifié que vous obtenez le tableau convenable.

Après quelques instants de calcul, vous obtenez :

H₃O: 7.063E-3
OH: 1.415E-12
H₂SO₃: 2.937E-3
HSO₃: 7.063E-3

SO₃: 6.456E-8
Soit un pH de 2.15





• Exemple (d'après E.S.T.P. 1977)

On prépare une solution contenant 0,01 mole de nitrate d'argent, 0,08 mole d'ammoniac et 2 moles de nitrates d'ammonium pour un litre.



On donne:

$$Kf = [Ag(NH_3)^{2+}]/[Ag^{+}] \times [NH_3]^{2} = 10^{7.60}$$

 $Ka = ([NH_3], [H_3O^{+}]) + [NH_4^{+}]$

Calculez le pH de la solution et les concentrations de Ag+ et NH₃.

Si, par exemple, vous avez précédemment exécuté le calcul du pH, vous pouvez lancez le programme avec 'NEW' pour réemployer les ions de l'autoprotolyse de l'eau (de concentration initiale 0) en effaçant les concentrations initiales des autres ions. Les autres espèces sans concentration ne sont pas manipulées. Il faudra cependant ajouter le couple de l'ammoniac et le couple de complexe en entrant les réactions "Ag(NH₃)₂ \rightarrow Ag+2 NH₃ K = -7.6 ALOG" et "NH₄ \rightarrow NH₃+H₃O K = -9.70 ALOG". Il faut aussi introduire leurs concentrations : 0,01 pour Ag, 0,08 pour NH₃, 2 pour NH₄ et 0 pour Ag(NH₃)₂ (Bien entendu, les concentrations de OH et de H₃O sont nulles). Vous devez obtenir un écran comme celui-ci :

Après quelques instants de calcul, vous trouvez :

- H₃O : 6,.651E-9
- OH: 1,504E-6
- NH₄: 2,000E0
- NH₃: 6,000E-2
- Ag: 6,977E-8
- Ag(NH₃)₂: 1,000E-2
- Soit un pH de 8,177.

2

Les listings

Les objets dont les listings sont présentés ci-après sont destinés aux HP-48 versions S, SX, G et GX.

• 'NEW' (#DBF7)

« { } 'SEL' STO
{ } 'CONC' STO
ESPECES SIZE
'NBESP' STO 1
'LASTOP' STO DEPART
»

• 'DEPART' (#A8F6)

 $\mbox{$\mbox{$\mbox{$\ll$}$}$ RCLF 3 SCI }$ RCLMENU { "SELECT" "" "ANNUL" "" "" "" "EXIT" } TMENU 1 1 6 4 1 \rightarrow flg m idx cur n pg chg

IFERR

DO

IF chg

THEN

CLLCD 0 'chg' STO

END idx

idx 6 NBESP MIN DUP

'n' STO +

FOR j j

cur == ">" " IFTE

ESPECES

"Autre espèce" + j

GET +

IF

SEL j POS DUP

THEN

CONC SWAP GET SWAP

" + SWAP +

ELSE

DROP

END j

idx - 1 + DISP

NEXT -1

WAIT

CASE

DUP 11.1 == OVER

51.1 == OR

THEN

```
DROP
IF cur NBESP 1 + ==
THEN AUTRE 1 'chg'
ELSE cur DUP idx -
1 + DEMANDE
END 0
              END
DUP 13.1 == OVER
54.1 == OR
              THEN
DROP SEL cur POS
ENLEVE 1 'chg' STO
DUP 16.1 == OVER
55.1 == OR
DROP flg STOF m
MENU 1
              END
DUP 25.1 ==
              THEN
DROP
CASE cur DUP 1 ≤
  THEN DROP NBESP 1
+ DUP n - 'idx' STO
  END 1 - DUP idx <
  THEN DUP 'idx'
STO
 END
END 'cur' STO 0
              END
DUP 35.1 ==
              THEN
DROP
CASE cur DUP NBESP
  THEN DROP 1 DUP
'idx' STO
  END 1 + DUP idx n
 THEN DUP n -
'idx' STO
  END
END 'cur' STO 0
```

```
END
DUP 25.2 ==
               THEN
DROP
CASE cur DUP pg \le 
  THEN DROP 1 DUP
'idx' STO
  END pg - DUP idx
  THEN DUP 'idx'
STO
  END
END 'cur' STO 0
               END
DUP 35.2 ==
               THEN
DROP
CASE cur pg + NBESP
1 + DUP2 >
  THEN SWAP DROP
DUP n - 'idx' STO
  END DROP DUP idx
n + >
  THEN DUP n -
'idx' STO
  END
END 'cur' STO 0
              END
DUP 25.3 ==
              THEN
DROP 1 'cur' STO 1
'idx' STO 0
              END
DUP 35.3 ==
              THEN
DROP NBESP 1 + DUP
'cur' STO n - 'idx'
STO 0
              END
DROP 0
            END
          UNTIL
          END
        THEN flg
STOF m MENU ERRN
```

DOERR

```
END
      » TRANS INITC
CALC SMART
    >>
```

• 'SMART' (#EB10)

« 1 NC FOR j C j GET ESPECES SEL j GET $\mathtt{GET} \rightarrow \mathtt{TAG}$ NEXT

• 'CALC' (#7B10)

WHILE F DUP RNRM DUP 1 DISP ϵ > REPEAT DF / NEG λ TRN SWAP * 'dC' STO ADAPT END DROP

• 'C'

[0 0 0 0]

• 'RESET' (#2CD8)

« { } 'ESPECES' STO { } 'REACTIONS' STO NEW

• 'INITC' (#84E7)

« CK CO 'C' STO $\mathbf{0} \rightarrow \mathbf{I}$

WHILE TEST

NOT

REPEAT 'I'

INCR

IF DUP NC

```
>
                       THEN DROP
           1 DUP 'I' STO
                       END 1
          DISP
                       IF C I
           GET 0 ≤
                       THEN 1 NE
                         FOR J \lambda
           J I 2 →LIST GET
                         NEXT NE
           \rightarrowARRY RAND * \lambda TRN
          SWAP * \eta * 'C' STO+
                       END
                    END
                  >>
            .001
            4
            2
           [ 0 0 0 0 ]
           [[ 0 1 -1 -1 ]
            [ -1 0 -1 0 ]]
           [ 0 0 ]
• 'ESPECES'
```

• 'ε'

• 'NC'

• 'NE'

• 'C0'

'λ'

• 'LNK'

{ }

```
• 'REACTIONS'
           { }
• 'SEL'
           {}
• 'CONC'
           { }
• 'ENLEVE' (#FDA2)
                   CASE LASTOP
          1 == j 0 \neq AND
                     THEN SEL
          j DUP2 1 SWAP 1 -
          SUB 3 ROLLD 1 +
          OVER SIZE SUB +
          'SEL' STO CONC j
          DUP2 1 SWAP 1 - SUB
          3 ROLLD 1 + OVER
          SIZE SUB + 'CONC'
          STO
                     END
          LASTOP 2 ==
                     THEN
          ESPECES.OLD DUP
          SIZE 'NBESP' STO
          'ESPECES' STO
          REACTIONS.OLD
          'REACTIONS'
           STO 1
          'LASTOP'
           STO
                     END
                   END
• 'DEMANDE' (#83B9)
```

« "" { "." "-"

```
"E" "0" "1" "2" "3"
"4" "5" "6" "7" "8"
"9" } { 51 55 93 52
53 92 82 83 84 72
73 74 62 63 64 } \rightarrow
ijsck
        WHILE ">"
ESPECES i GET +
" : " + s + "_" + j
DISP k 0 WAIT IP
POS DUP 1 ≠
        REPEAT
           CASE DUP
2 ==
             THEN
DROP s 1 OVER SIZE
1 - SUB 's' STO
            END DUP
NOT
             THEN
DROP 380 .1 BEEP
             END s c
ROT 2 - GET + 's'
STO
          END
        END DROP s
OBJ \rightarrow
        IF SEL i
POS DUP
        THEN 'CONC'
OVER 4 ROLL PUT
        ELSE DROP
'CONC' SWAP STO+ i
'SEL' SWAP STO+
        END 1
'LASTOP' STO
```

• 'AUTRE' (#B982)

"Entrez la nouvelle réaction(sans espaces) suivie de la constante d'équilibre. Ex :
NH3→NH4+OH K=1.58E-5
!Ne PAS mettre H2O!
Appuyez sur une touche"
1 DISP 0 WAIT DROP
"" { "→ K=" α 1 }
INPUT ESPECES
'ESPECES.OLD' STO
REACTIONS
'REACTIONS.OLD' STO
2 'LASTOP' STO { }
→ reacθ

≪

WHILE DUP

" \rightarrow " POS 1 >

REPEAT DUP

"+" POS DUP 1000

IFTE OVER " \rightarrow " POS

MIN DUP2 1 - 1 SWAP SUB

IF DUP 1

1 SUB DUP NUM DUP

 $48 \ge SWAP 57 \le AND$

THEN

IF OVER

2 2 SUB DUP NUM DUP

 $48 \ge SWAP 57 \le AND$

THEN +

 $OBJ \rightarrow SWAP 3 OVER$

SIZE SUB

ELSE

DROP OBJ \rightarrow SWAP 2

OVER SIZE SUB

END

ELSE DROP

1 SWAP

END

IF

ESPECES OVER POS

DUP

THEN

'reac θ ' SWAP 4 ROLL

NEG R \rightarrow C **STO+** DROP

ELSE DROP

'ESPECES' SWAP STO+

'NBESP' INCR SWAP

NEG R \rightarrow C 'reac θ ' SWAP STO+

END 1 +

OVER SIZE SUB

END DUP "→"

POS 1 + OVER SIZE

SUB

WHILE DUP

"K" POS 2 >

REPEAT DUP

"+" POS DUP 1000

IFTE OVER " " POS

MIN DUP2 1 - 1 SWAP SUB

IF DUP 1

1 SUB DUP NUM DUP

 $48 \ge SWAP 57 \le AND$

THEN

IF OVER

2 2 SUB DUP NUM DUP

 $48 \ge SWAP 57 \le AND$

THEN +

 $OBJ \rightarrow SWAP 3 OVER$

SIZE SUB

ELSE

DROP OBJ \rightarrow SWAP 2

OVER SIZE SUB

END

ELSE DROP

1 SWAP

END

IF

ESPECES OVER POS

DUP

STO+

THEN

'reac0' SWAP 4 ROLL

R→C STO+ DROP

ELSE DROP

'ESPECES' SWAP STO+

'NBESP' INCR SWAP

R→C 'reac0' SWAP

END 1 +

OVER SIZE SUB

END DUP "="

POS 1 + OVER SIZE

SUB OBJightarrow 'reacheta' SWAP STO+ ESPECES SIZE 'NBESP' STO 'REACTIONS' reac θ 1 →LIST STO+

• 'TRANS' (#BBC1h)

« SEL SIZE 'NC' STO CONC $\mathtt{OBJ} o \mathtt{ARRY}$ 'CO' STO 0 'NE' STO { } 'LNK' STO REACTIONS 1

DO GETI 1 1 \rightarrow

bi

DO DUP i

GET RE SEL SWAP POS b AND 'b' STO

UNTIL 'i'

INCR OVER SIZE ≥ b NOT OR

END

IF b

THEN 1

'NE' STO+ NC 1 \rightarrow LIST 0 CON 1 3

PICK SIZE 1 -

FOR j

OVER j GET C-R SEL ROT POS SWAP PUT

NEXT

 $ARRY \rightarrow 1 GET 1 +$ ROLL DUP SIZE GET LN 'LNK' SWAP STO+ NC 2 + ROLL NC 2 + ROLL

> ELSE DROP END

>>

UNTIL -64 FS? END DROP2 NE NC 2 \rightarrow LIST \rightarrow ARRY ' λ ' STO LNK OBJ \rightarrow

```
→ARRY 'LNK' STO
• 'ESPECES.OLD'
           {}
• 'REACTIONS.OLD'
           {}
• 'LASTOP'
           1
• 'NBESP'
           0
• 'η'
           .00001
• 'TEST' (#D81C)
              « 1 1 NC
                 FOR J C J GET
          0 > AND
                 NEXT
• 'ADAPT' (#EB7E)
              « C 'C1' STO 0
          \rightarrow B
                   WHILE C1 dC
          DUP ABS 2 DISP +
          'C' STO TEST NOT
                   REPEAT 'dC'
          x STO/ 1 'B' STO
                   END
                   IF B
                   THEN
                     DO 'dC' y
          STO*
```

```
UNTIL C1
          dC DUP ABS 2 DISP +
          'C' STO TEST NOT
                     END 'dC'
          y STO/
                     DO 'dC' z
          STO*
                     UNTIL C1
          dC DUP ABS 2 DISP +
          'C' STO TEST NOT
                     END 'dC'
          z STO/
                   END C1 dC
          DUP ABS 2 DISP +
          'C' STO
• 'CK' (#F084)
                 CASE CO SIZE
          NC 1 \rightarrowLIST LCOMP
          NOT
                   THEN
          "Invalid CO" DOERR
                   END LNK
          SIZE NE 1 →LIST
          LCOMP NOT
                   THEN
          "Invalid LNK" DOERR
                   END \lambda SIZE
          NE NC 2 \rightarrowLIST LCOMP
          NOT
                   THEN
          "Invalid \lambda" DOERR
                   END
                 END
```

• 'LCOMP' (#873D)

 \star \rightarrow L1 L2

IF L1 SIZE

DUP L2 SIZE #

```
THEN DROP 0
                      ELSE 1 1
           ROT
                         FOR J L1
            J GET L2 J GET SAME
           AND
                         NEXT
                      END
• 'F' (#9154)
                 « 1 NE
                   FOR I 0 1 NC
                      FOR J C J
           GET LN \lambda I J 2
           \rightarrowLIST GET * +
                      NEXT
                   NEXT NE \rightarrowARRY
           LNK -
                 >>
• 'DF' (#D22C)
                 « 1 NE
                   FOR K 1 NE
                      FOR I 0 1
           NC
                         FOR J \lambda K
           \mathbf{J} 2 \rightarrowLIST GET \lambda I J
           2 →LIST GET * C J
           GET / +
                         NEXT
                      NEXT
                   NEXT NE DUP 2
           \rightarrowLIST \rightarrowARRY
                 >>
• 'C1'
            [0000]
```

[0 0 0 0]

• 'dC'

• 'x'

3

• 'y'

1.11612317404

• 'z'

1.01104669194

Dosages acidobasiques

1

Rappels de cours

• Préliminaires :

La réaction entre l'acide et la base doit être rapide et totale. Il s'agit de déterminer la concentration d'un soluté en partant d'une autre de concentration connue (titre).

A l'équivalence, le nombre de protons cédés par l'acide est égal au nombre de protons captés par la base.

Dans les conditions des réactions chimiques, c'est-à-dire en solution, les protons libres n'existent pas. Un acide ne peut pas perdre un proton H+ si une base n'est pas là pour le capter. Inversement, une base ne pourra capter un proton que si un acide lui en cède un. La perte d'un proton par un acide et sa fixation par une base sont donc totalement dépendantes.

Une réaction acide-base (acidobasique) fait intervenir deux couples acidebase qui échangent un proton. Cet échange a lieu lors d'une collision entre l'acide de l'un des couples (qui devient sa bas conjuguée) et la base de l'autre couple (qui devient son acide conjugué).

Soient les couples (acide 1, base 1) et (acide 2, base 2), on peut poser :

acide $1 + base 2 \subseteq acide 2 + base 1$

2

Le programme

1

Présentation

Introduction

Le programme permet de :

- tracer d'une courbe de dosage acidobasique d'une solution ne contenant que des acides et des bases à partir des *pKa* et des concentrations initiales des couples en solution,
- lire le graphique obtenu et donc le *pH* à chaque instant ainsi que le point d'équivalence.
- calculer rapidement le *pH* d'une solution ne contenant que des acides et des bases.

A propos du répertoire DOSAGE

Le répertoire DOSAGE contient 5221 octets (G/GX) ou 5377,5 (S/SX).

Exécution

- Pour lancer le programme, sélectionnez l'option DEPART du menu,
- suivez les instructions qui s'affichent sur l'écran : le programme demande la concentration de la base forte, de l'acide fort puis celle de différentes espèces faibles de la solution,
 - si la solution ne comporte pas de base forte, introduisez 0,
 - si la solution ne comporte pas d'acide fort, introduisez 0,
- indiquez le nombre d'acidité de la première espèce faible, introduisez les pKa dans l'ordre croissant, puis les concentrations de l'espèce la plus acide à la plus basique.

• Principe

Le programme utilise la relation d'échange protonique (R.E.P.) pour calculer le pH. Les concentrations de toutes les espèces sont exprimées en fonction de $h = [H_3O^+]$ puis l'expression obtenue est résolue à l'aide de ROOT.

• Les objets du répertoire DOSAGE

- 'DEPART' exécute le programme principal,
- 'ENTR' permet la saisie des espèces, pKa et concentrations,
- 'TITRE' demande les conditions du dosage,
- 'CALC' calcule le pH de la solution initiale,
- 'CALC. EQ' calcule le pH de la solution au cours du dosage. Il est utilisé comme équation pour DRAW,
 - 'EQPH' équation de la R.E.P.,
- 'MKEQ' construit 'EQPH' à partir des pKa et des concentrations introduites à l'aide de 'ENTR',
- 'DSP' est le programme d'affichage du *pH* en cours de calcul. Ce programme est sous la forme 'D1' pendant le tracé et 'D2' pendant le calcul manuel du *pH*,
- 'FAIBLE' sert à introduire les pKa et les concentrations d'un couple acide faible/base faible,
- 'ACFORT' et 'BFORTE' introduisent la concentration de l'acide fort et de la base forte dans la solution,
 - 'DEB' "initialise" la solution,
 - 'SOL' est la liste contenant les données utilisées par 'MKEQ',
 - 'H' est la variable contenant la concentration de H_3O^+ ,
 - 'ω' contient la quantité de H₃O+ libérables,
 - 'ω0' est la quantité de OH versés au cours du dosage,
 - 'V' est le volume de solution,
 - 'V0' est le volume versé de solution titrante,
 - 'VM' est le volume maximal de solution titrante,
 - 'C0' est la concentration de la solution titrante,
 - 'AB' vaut 1 ou -1 selon l'espèce titrante (base ou acide).

• Exemple (d'après baccalauréat)

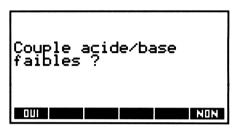
Dans $30~cm^3$ d'une solution aqueuse d'ammoniac dont la concentration est Cb = 6.10^{-2} mol/l, on verse lentement une solution aqueuse d'acide chlorhydrique de concentration Ca = 0.1 mole/l. Tracez l'évolution du pH en fonction du volume et en déduire le pH au point d'équivalence.

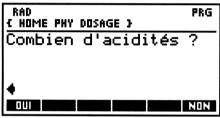
Utilisez votre HP-48 (répertoire DOSAGE) :

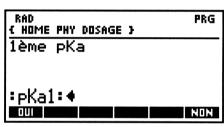
- sélectionnez l'option 'DEPART' du menu,
- introduisez 0 pour *Ca* et *Cb* car la solution dosée est uniquement une solution de base faible,
- répondez "OUI" à la question "Couple acide-base faibles ?" afin d'ajouter l'ammoniac,
- il n'y a qu'une acidité (introduisez [1] [ENTER]), le *pKa* est 9,2 (introduisez [9] [.] [2] [ENTER]), les concentrations des espèces sont 0 ([0] [ENTER]) et 6.10-2 (6E-2 obtenu en tapant [6] [EEX] [2] [+/-] [ENTER]),
- répondez maintenant "NON" à la question "Couple acide-base faibles ?" car il n'y a qu'un seul couple,

- introduisez le volume de solution, ici, 30 (le volume doit être exprimé en cm³),
- sélectionnez l'option 'ACIDE' du menu, la solution titrante étant HCI,
 - initialisez C₀ à 0,1 ([0] [.] [1] [ENTER]),
 - affectez la valeur 50 à V_{max} ([5] [0] [ENTER]).





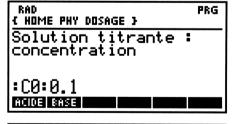




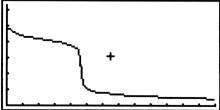












Il faut 2'10" à la HP-48 G/GX pour tracer la courbe (une S/SX y passera 5'05")...

Graphiquement, le point d'équivalence se trouve à peu près à 18 cm³ ce qui est confirmé par le calcul.

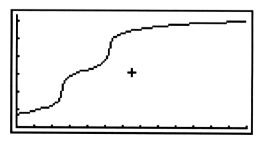
• Exemple : dosage de l'acide phosphorique

10 ml d'acide phosphorique à 0,1 mol/l sont dosés par une solution de soude à 0,1 mol/l. Calculez le pH aux points d'équivalences de la courbe puis tracez l'allure de la courbe. On donne les pKa: 2,12, 7,21 et 12,38.

Placez-vous dans le répertoire DOSAGE :

- sélectionnez l'option 'DEPART' du menu,
- saisissez 0 pour Ca puis 0 pour Cb,
- sélectionnez l'option 'OUI' du menu quand la question "Couple acide/base faibles ?" apparaît,
 - répondez 3 à la question "Combien d'acidités ?",
 - introduisez 2,12 pour pKa1,
 - introduisez 7,21 pour pKa2,
 - introduisez 12,38 pour pKa3,
- il vous faut maintenant saisir les concentrations, introduisez 0,1 pour C1,
 - introduisez 0 pour C2,
 - introduisez 0 pour C3,
 - introduisez 0 pour C4,
- sélectionnez l'option 'NON' du menu quand la question "Couple acide/base faibles ?" (ré-)apparaît,
 - introduisez 10 pour le volume V,
- la solution titrante est une base (la soude), sélectionnez donc l'option 'BASE' du menu,
 - introduisez 0,1 pour la concentration C₀ de la solution titrante,
- introduisez 50 pour le volume maximal V_{max} de la solution titrante puis validez.

Vous obtenez alors la courbe présentée ci-dessous. Le volume (en cm³) est placé en abscisse alors que le pH se trouve en ordonnée.



Vous pouvez rapidement retrouver les points d'équivalence sur la courbe à l'aide de l'environnement graphique GRAPH (ou PICTURE pour les G/GX), la résolution graphique n'étant pas très bonne. Il suffit de placer le curseur (à l'aide des flèches de déplacement) sur le point d'équivalence et d'appuyer sur [ENTER] ce qui place les coordonnées du point dans la pile, c'est-à-dire dans notre cas le volume (en cm³) en abscisse et le pH en ordonnée.

• Remarques relatives à l'utilisation du contenu du répertoire DOSAGE

- Lorsqu'apparaît le message "Concentration de la x-ième espèce ?" vous devez introduire les concentrations des espèces, de l'espèce la plus acide à la plus basique,
- Pour gagner en rapidité lors du dosage d'un triacide comme ci-dessus exécutez "#3 RES" (pour ne tracer qu'un point sur trois).
- La courbe tracée correspond à une représentation graphique classique normale (Le tracé est exécuté en plaçant une équation dans la variable EQ) et pourra donc être interrompue, reprise ou modifiée avec DRAW. Toutes les fonctions utilisables avec une représentation graphique sont donc disponibles (zoom, etc.), en particulier avec une G ou GX, on peut utiliser le mode TRACE, mais attention, il peut être très long de passer d'un point à un autre de la courbe.
- En présence d'un diacide fort (de même avec une dibase forte) on multiplie les concentrations C_a et C_b par 2.

2

Les listings

11

Version HP-48 S et SX

• 'DEPART' (#45B6)

« ENTR TITRE
`CALC.EQ' STEQ `D1'
RCL `DSP' STO `V0'
INDEP 0 VM XRNG 0

14 YRNG ERASE DRAX DRAW GRAPH

>>

• 'ENTR' (#B96C)

```
« DEB
«Concentration en
base forte ?»
{ «:CB:» V } INPUT
OBJ→ BFORTE
«Concentration en
acide fort ?»
{ «:CA:» V } INPUT
OBJ -- ACFORT RCLMENU
      WHILE CLLCD
«Couple acide/base
faibles ?»
3 DISP { "OUI" ""
"" "" "NON" }
TMENU
        WHILE { 11
16 } -1 WAIT IP POS
DUP NOT
        REPEAT DROP
380 .1 BEEP
        END 1 ==
      REPEAT
«Combien d'acidités ?»
{ "" V } INPUT OBJ \rightarrow
\rightarrow N
         « { } 1 N
           FOR J J
"ème pKa" + ":pKa"
J + ":" + { V } +
INPUT OBJ \rightarrow DTAG +
           NEXT { }
1 N 1 +
           FOR J
«Concentration de la
J + «ième espèce» +
«:C» J + «:» + { V
\} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
           NEXT
```

FAIBLE

END MENU MKEQ

• 'TAMPON' (#16C7)

« ENTR 1 'V' STO 1 'VO' STO DPH 'CO' STO CALC.EQ DPH NEG 'CO' STO CALC.EQ - DPH 2 * SWAP / >>

• 'PRED' (#1D21)

«Combien d'acidité ?» { «» V } INPUT OBJ \rightarrow \rightarrow N

« 1 N

FOR J J

«ème pKa» + «:pKa»

J + «:» + { V } + INPUT $OBJ \rightarrow DTAG$

NEXT N

 \rightarrow LIST

«Concentration totale ?»

» ERASE 0 14

{ «:C:» V } INPUT

 $\mathtt{OBJ} \! o \mathtt{DTAG} \ \mathtt{N} \ \mathtt{3} \ o \mathtt{LIST}$

1 →LIST 'SOL' STO

XRNG -14 0 YRNG DRAX

PPAR 4 GET

IF DUP TYPE

THEN $B \rightarrow R$

ELSE DROP 1 0

RES

END 14 * 130

 $/ \rightarrow DX$

b0 # b0 # } »

} PVIEW 0 14

FOR X X NEG

ALOG 'H' STO CONC

 $\mathtt{ARRY}
ightarrow \ \mathtt{LIST}
ightarrow \ \mathtt{SWAP}$

START X SWAP LOG $R \rightarrow C$ PIXON NEXT DX STEP

GRAPH

>>

>>

>>

• 'CONDUC' (#5F1F)

« ENTR2 TITRE
«Conductivité
équivalente des ions
autres que OH- ou H3O+»
{ «:λ0:» V } INPUT
OBJ→ `λ0' STO
`DIAG.EQ' STEQ 0 VM
XRNG ERASE DRAX
DRAW GRAPH

• 'ENTR2' (#FEB7)

« DEB «Conductivité équivalente limite de H3O+ ?» $\{ \ll: \lambda H3O+: \gg V \}$ INPUT $OBJ \rightarrow DTAG$ «Conductivité équivalente limite de OH- ?» { «:λοH-:» V } INPUT OBJ \rightarrow DTAG 2 \rightarrow LIST ' λ ' STO 0 `λ1' STO «Concentration en base forte ?>> { «:CB:» V } INPUT OBJ→ DUP BFORTE IF DUP $0 \le$ THEN DROP ELSE «Conductivité équivalente limite des ions autres que OH- ?»

```
\{ \ll : \lambda B : \gg V \} INPUT
OBJ\rightarrow * '\lambda1' STO+
      END
«Concentration en
acide fort ?»
{ «:CA:» V } INPUT
OBJ -> DUP ACFORT
       IF DUP 0 \le
       THEN DROP
       ELSE
«Conductivité
équivalente limite des
ions autres que H30- ?»
\{ \ll : \lambda A : \gg V \} INPUT
OBJ \rightarrow * `\lambda1' STO+
      END RCLMENU
      WHILE CLLCD
«Couple acide/base
faibles ?»
3 DISP { «OUI» «»
«» «» «NON» }
TMENU
         WHILE { 11
16 } -1 WAIT IP POS
DUP NOT
         REPEAT DROP
380 .1 BEEP
         END 1 ==
       REPEAT
«Combien d'acidités ?»
\rightarrow N
         « { } 1 N
           FOR J J
«ème pKa» + «:pKa»
J + «:» + { V } +
INPUT OBJ \rightarrow DTAG +
           NEXT { }
{ } 1 N 1 +
           FOR J
«Concentration de la
≪
              IF J 1
==
              THEN
«première espèce
```

```
(la plus acide)»
                         ELSE J
          + «ème espèce»
                         END +
          «:C» J + «:» + { V
          \} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
          «Conductivité
          équivalente limite ?»
          «:λ» J + «:» + { V
          \} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
          ROT + SWAP
                      NEXT 'λ'
          ROT STO+ FAIBLE
                 END MENU MKEQ
'λ1'
            0
'λ0'
            5
'λ'
           { 35 20.5 0 4.1
• 'CONC' (#81E)
               \times 2 \rightarrow M
                 « H 1.E-14
          OVER / 1 SOL SIZE
                    FOR J SOL J
          GET LIST\rightarrow DROP \rightarrow pK
          c n
                      \ll n 1 +
           'M' STO+ c 1 1 n
                         FOR K H
          n K - 1 + ^ 1 K n
                           FOR L
          pk L GET NEG ALOG *
                           NEXT
```

```
/ +
                          NEXT /
           1 n
                          FOR K
           DUP H * pK n K - 1
           + GET NEG ALOG /
                          NEXT
                     NEXT M
           \rightarrowARRY
                >>
• 'DIAG.EQ' (#6CC8)
                \  \  \, \hbox{$\star$ } \lambda \ \hbox{$\tt LIST} \! \to \! \to \! \hbox{$\tt ARRY} \\
           CALC.EQ DROP CONC
           DOT \lambda 1 + \lambda 0 C0 * V0
           * V / +
• 'DPH'
             .0000001
• 'TITRE' (#551A)
           «Volume de solution»
           { «:V:» V } INPUT
           OBJ→ 'V' STO CLLCD
           «Solution titrante :
           acide ou base ?»
           3 DISP RCLMENU {
           «ACIDE» «BASE» }
           TMENU
                   WHILE { 11 12
           } -1 WAIT IP POS
           DUP NOT
                   REPEAT DROP
           380 .1 BEEP
                   END 1 == -1 1
           IFTE 'AB' STO
           «Solution titrante :
           concentration»
           { «:C0:» V } INPUT
```

OBJ→ 'C0' STO

«Volume maximal de
solution titrante»
{ «:Vmax:» V }

INPUT OBJ→ 'VM' STO
MENU

• 'CALC.EQ' (#D37D)

• 'CALC' (#16F7)

• 'EQPH'

'1.E-14/H-DSP(H)-.15+.3/(1+H/ 1.99526231497E-5)'

• 'MKEQ' (#5A7B)

% `1.E-14/H-DSP (H)' ω - 1 SOL SIZE FOR J SOL J

```
c n
                    « c 1 1 n
                      FOR K 'H'
          n K - 1 + ^ 1 K n
                        FOR L
          pk L GET NEG ALOG *
                        NEXT /
                      NEXT /
                      IF n 1 >
                      THEN n 1
          n 1 -
                        FOR K K
           'H' n K - * 1 K 1
          + n
                           FOR L
          pk L GET NEG ALOG *
                           NEXT
          / +
                        NEXT *
                      END
                 NEXT 'EQPH'
          STO
• 'D1'
               \star \rightarrow H
                 ≪ H
               >>
• 'D2'
               \mathbf{w} \to \mathbf{h}
                 « h DUP LOG
          NEG 3 DISP
               >>
• 'DSP'
               \star \rightarrow H
                 ≪ H
```

```
• 'EQ'
          DIAG. EQ
• 'FAIBLE' (#6FBD)
             IF DUP SIZE
         N 1 + ≠
                 THEN
         «Entrez les pK et les
         c° dans 2 listes»
         DOERR
                 END DUP
         LIST→ 1 - 1
                 START + -1
                 STEP SWAP
         LIST→ 1 - 0
                 FOR J J *
         'ω' STO+ -1
                  STEP N 3
         →LIST 1 →LIST 'SOL'
         STO+
             >>
• 'ACFORT'
             « 'w' SWAP STO-
• 'BFORTE'
             « 'ω' STO+
• 'DEB'
             « 0 '\omega' STO { }
         'SOL'
          STO
```

```
• 'SOL'
            { }
• 'H'
           1.99473199634E-5
• 'ω'
             .15
• 'ω0'
             0
• 'V'
            1
• 'V0'
            1
• 'VM'
            3
• 'C0'
            -.0000001
• 'AB'
            1
• 'PPAR'
           { (0,0)
(14,14) V0 # 3d
            (0,0) FUNCTION pH }
```

Version HP-48 G et GX

• 'DEPART'

```
« ENTR TITRE
'CALC.EQ' STEQ 'D1'
RCL 'DSP' STO 'V0'
INDEP 0 VM XRNG 0
14 YRNG ERASE DRAX
DRAW PICTURE
```

>>

• 'ENTR'

```
≪ DEB
"Concentrations" {
{ "CB"
"Concentration en base forte"
0 } { "CA"
"Concentration en acide fort"
0 } } { } { 0 0 }
DUP
      IF INFORM NOT
      THEN KILL
      END OBJ→ DROP
ACFORT BFORTE
RCLMENU
      WHILE CLLCD
"Couple acide/base
faibles ?"
3 DISP { "OUI" ""
"" "" "NON" }
TMENU
        WHILE { 11
16 } -1 WAIT IP POS
DUP NOT
        REPEAT DROP
380 .1 BEEP
        END 1 ==
      REPEAT
"Combien d'acidités ?"
\{ "" V \} INPUT OBJ \rightarrow
```

```
\rightarrow N
        « { } 1 N
           FOR J J
"ème pKa" + ":pKa"
J + ":" + { V } +
INPUT OBJ - DTAG +
           NEXT { }
1 N 1 +
           FOR J
"Concentration de la
J + "ième espèce" +
":C" J + ":" + { V
\} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
           NEXT
FAIBLE
      END MENU MKEQ
```

• 'TAMPON'

« ENTR 1 'V'
STO 1 'V0' STO DPH
'C0' STO CALC.EQ
DPH NEG 'C0' STO
CALC.EQ - DPH 2 *
SWAP /

• 'PRED'

```
"Combien d'acidité ?"
{ "" V } INPUT OBJ→

→ N

« 1 N

FOR J J

"ème pKa" + ":pKa"
J + ":" + { V } +
INPUT OBJ→ DTAG

NEXT N

→LIST
"Concentration totale ?"
{ ":C:" V } INPUT
```

OBJ \rightarrow DTAG N 3 \rightarrow LIST 1 \rightarrow LIST 'SOL' STO

» ERASE 0 14

XRNG -14 0 YRNG DRAX PPAR 4 GET

- GEI

IF DUP TYPE

THEN $B \rightarrow R$

ELSE DROP 1 0

RES

END 14 * 130

 $/ \rightarrow DX$

« { # 0h # 0h

} PVIEW 0 14

FOR X X NEG

ALOG 'H' STO CONC

 $\mathtt{ARRY} o \mathtt{LIST} o \mathtt{SWAP}$

START X

SWAP LOG $R \rightarrow C$ PIXON

NEXT DX

STEP

PICTURE

>

>>

>>

'CONDUC'

« ENTR2 TITRE
"Conductivité
équivalente des ions
autres que OH- ou H3O+"
{ ":\(\lambda\)0:" V } INPUT
OBJ→ '\(\lambda\)0' STO
'DIAG.EQ' STEQ 0 VM
KRNG ERASE DRAX
DRAW PICTURE

• 'ENTR2'

« DEB
"Conductivité
équivalente limite
de H3O+ ?"
{ ":\lambdaH3O+:" V }
INPUT OBJ→ DTAG
"Conductivité

```
équivalente limite
de OH- ?"
{ ":λOH-:" V }
INPUT OBJ \rightarrow DTAG 2
\rightarrowLIST '\lambda' STO 0
'λ1' STO
"Concentration en
base forte ?"
{ ":CB:" V } INPUT
OBJ→ DUP BFORTE
       IF DUP 0 <
       THEN DROP
       ELSE
"Conductivité
équivalente limite des
ions autres que OH- ?"
{ ":\lambdaB:" V } INPUT
OBJ\rightarrow * '\lambda1' STO+
       END
"Concentration en
acide fort ?"
{ ":CA:" V } INPUT
OBJ→ DUP ACFORT
       IF DUP 0 \le
       THEN DROP
       ELSE
"Conductivité
équivalente limite des
ions autres que H30- ?"
\{ ": \lambda A: " V \} INPUT
OBJ\rightarrow * '\lambda1' STO+
       END RCLMENU
       WHILE CLLCD
"Couple acide/base
faibles ?"
3 DISP { "OUI" ""
"" "" "NON" }
TMENU
         WHILE { 11
16 } -1 WAIT IP POS
DUP NOT
         REPEAT DROP
380 .1 BEEP
         END 1 ==
       REPEAT
"Combien d'acidités ?"
```

```
{ "" V } INPUT OBJ \rightarrow
\rightarrow N
         « { } 1 N
           FOR J J
"ème pKa" + ":pKa"
J + ":" + { V } +
INPUT OBJ \rightarrow DTAG +
            NEXT { }
{ } 1 N 1 +
            FOR J
"Concentration de la
              IF J 1
==
              THEN
"première espèce
(la plus acide)"
              ELSE J
+ "ème espèce"
              END +
":C" J + ":" + { V
\} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
"Conductivité
équivalente limite ?"
":λ" J + ":" + { V
\} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
ROT + SWAP
            NEXT 'λ'
ROT STO+ FAIBLE
         >>
       END MENU MKEQ
 0
 .00015
```

'λ1'

'λ0'

'λ'

{ 4 2 }

• 'CONC'

```
\times 2 \rightarrow M
      « H 1.E-14
OVER / 1 SOL SIZE
        FOR J SOL J
\ll n 1 +
'M' STO+ c 1 1 n
            FOR K H
n K - 1 + ^ 1 K n
              FOR L
pk L GET NEG ALOG *
              NEXT
/ +
            NEXT /
1 n
            FOR K
DUP H * pK n K - 1
+ GET NEG ALOG /
            NEXT
        NEXT M
\rightarrowARRY
```

• 'DIAG.EQ'

 $\ \ \, \hbox{$\star$ } \lambda \ \hbox{$\tt LIST} \! \to \! \to \! \hbox{$\tt ARRY} \\$ CALC.EQ DROP CONC DOT $\lambda 1 + \lambda 0$ C0 * V0 * V / +

• 'DPH'

.0000001

• 'TITRE'

"Volume de solution" { ":V:" V } INPUT OBJ→ 'V' STO CLLCD

```
"Solution titrante :
         acide ou base ?"
         3 DISP RCLMENU {
         "ACIDE" "BASE" }
         TMENU
               WHILE { 11 12
         } -1 WAIT IP POS
         DUP NOT
               REPEAT DROP
         380 .1 BEEP
               END 1 == -1 1
         IFTE 'AB' STO
         "Solution titrante :
         concentration"
         { ":C0:" V } INPUT
         OBJ→ 'CO' STO
         "Volume maximal de
         solution titrante"
         { ":Vmax:" V }
         INPUT OBJ→ 'VM' STO
         MENU
             >>
• 'CALC.EQ'
             « 'EQPH' AB CO
         * V0 * V / - 'H'
               IF H 1.E-14 <
         H 1 > OR
               THEN .000001
         'H' STO
               END 1.E-14 H
         1 3 →LIST ROOT LOG
         NEG
             « 'D2' RCL
         'DSP' STO 'EQPH'
         'н'
               IF H 1.E-14 <
         H 1 > OR
               THEN .0000001
         'H' STO
```

END 1.E-14 H

• 'CALC'

```
1 3 →LIST ROOT LOG
          NEG
• 'EQPH'
            '1.E-14/H-
          DSP(H) + .01/(1+H/
          1.99526231497E-5)'
• 'MKEQ'
               « '1.E-14/H-DSP
           (H)' \omega - 1 SOL SIZE
                 FOR J SOL J
          GET LIST\rightarrow DROP \rightarrow pK
          c n
                    « c 1 1 n
                      FOR K 'H'
          n K - 1 + ^ 1 K n
                        FOR L
          pk L GET NEG ALOG *
                        NEXT /
                      NEXT /
                      IF n 1 >
                      THEN n 1
          n 1 -
                        FOR K K
           'H' n K - ^ * 1 K 1
          + n
                           FOR L
          pk L GET NEG ALOG *
                           NEXT
          / +
                        NEXT *
                      END
                 NEXT 'EQPH'
          STO
               >>
• 'D1'
               \star \rightarrow H
                 ≪ H
```

```
• 'D2'
               \mathbf{w} \rightarrow \mathbf{h}
                 « h DUP LOG
          NEG 3 DISP
               >>
• 'DSP'
               \star \rightarrow H
                 « H
                 >>
• 'EQ'
           'CALC.EQ'
• 'FAIBLE'
               IF DUP SIZE
          N 1 + ≠
                   THEN
          "Entrez les pK et les
          co dans 2 listes"
          DOERR
                   END
          DUP
          LIST→ 1 - 1
                   START + -1
                   STEP SWAP
          FOR J J *
          'ω' STO+ -1
                   STEP N 3

ightarrowLIST 1
          →LIST 'SOL'
```

STO+

>>

```
• 'ACFORT'
                « 'w' SWAP STO-
• 'BFORTE'
                « 'ω' STO+
• 'DEB'
                « 0 'ω' STO { }
           'SOL' STO
• 'SOL'
            { }
• 'H'
            .210938489703

 'ω'

            0
• 'w0'
            0
            1
• 'V0'
            0
• 'VM'
```

```
• 'C0'
```

• 'AB'

-1

• 'PPAR'

```
{ (0,0)
(1,14) V0 # 3h
(0,0) FUNCTION pH }
```



Dosages acidobasiques par conductimétrie

Les programmes relatifs aux dosages acidobasiques par conductimétrie sont ceux du répertoire "DOSAGE" et ont été présentés au chapitre 2.

1

Rappels de cours

• On pose:

$$I = j \times S = \sigma \times E \times S$$

avec:

- I, intensité du courant crée dans l'électrolyte,
- j, vecteur densité de courant,
- E, champ électrique crée dans l'électrolyte,
- S, surface traversée par les ions.

$$\sigma = conductivit\acute{e} = \sum (F \times z_i \times c_i \times \mu_i) > 0$$

avec:

- z_i, nombre de charges,
- c_i, concentration exprimée en mol.m⁻³,
- μ_i , mobilité de l'ion ($\mu=q/k$ avec k, coefficient de proportionnalité des forces de frottements),
 - F, charge d'une mole d'électrons,

On pose fréquemment $\lambda = F \times z = \text{conductivité équivalente.}$

Le programme

Présentation

Ce programme permet de représenter graphiquement des dosages acidobasiques par conductimétrie.

Le programme demande à chaque fois les conductivités équivalentes de H_3O^+ et OH^- . Si les valeurs que vous utilisez sont toujours les mêmes vous pouvez modifier le programme 'ENTR2' en remplaçant la portion de programme :

```
"Conductivité équivalente de H3O+ ?" { ":\lambdaH3O+:" V } INPUT OBJ\rightarrow DTAG "Conductivité équivalente de OH- ?" { ":\lambdaOH-:" V } INPUT OBJ\rightarrow DTAG 2 \rightarrowLIST
```

par la liste suivante :

```
{ 350E-4 205E-4 }
```

Bien entendu, il conviendra de placer dans la liste les valeurs réellement utilisées.

Exécution du programme

- Sélectionner l'option'CONDUC' du menu pour exécuter le programme,
 - saisissez la conductivité équivalente limite de H₃O+,
 - saisissez la conductivité équivalente limite de OH-,
 - saisissez la concentration de la base forte (C_b),
- saisissez éventuellement la conductivité équivalente limite des ions basiques autres que OH- si leur concentration n'est pas nulle,
 - saisissez la concentration de l'acide fort (Ca),
- saisissez éventuellement la conductivité équivalente limite des ions acides autres que H₃O+ si leur concentration n'est pas nulle,
- comme nous l'avons déjà vu dans le cadre d'un dosage acidobasique classique (voir chapitre 2), le programme demande s'il faut ajouter un couple acide-base faible (de toutes façons, il faut au moins l'un de ces

couples), le nombre d'acidités de ce couple, les pKa, la concentration des espèces en partant de la plus acide et la conductivité équivalente limite (λ) de l'espèce,

- saisissez le volume V de la solution titrante.
- saisissez la nature de la solution titrante (sélectionnez l'option ACIDE ou l'option BASE du menu),
 - saisissez la concentration de la solution titrante,
 - saisissez le volume maximal V_{max} de la solution titrante,
- saisissez la conductivité équivalente des ions autres que OH- et H₃O+,
 - le tracé de la courbe la courbe commence.

• Objets du répertoire DOSAGE utilisés pour la conductimétrie

Le programme utilise l'objet 'CALC' pour le calcul du pH et en déduit automatiquement les concentrations de toutes les espèces. La formule donnant la conductivité en fonction des concentrations des espèces dans la solution est ensuite utilisée.

Les objets :

- 'CONDUC' lance le programme principal,
- 'ENTR2' demande les informations concernant les espèces dans la solution (pKa, concentrations initiales, conductivités équivalentes),
- 'DIAG. EQ' est l'équation donnant la conductivité de la solution au cours du dosage,
 - 'CONC' calcule les concentrations en fonction du pH,
- ' λ ', ' λ 0' et ' λ 1' sont les variables contenant les conductivités des espèces.

• Exemple (d'après Les solutions aqueuses, Morlaës, VUIBERT)

A 100 cm³ d'une solution de CH_3COOH de concentration 0,1 mol/l, on ajoute progressivement une solution de soude. Etudiez la conductivité du mélange en fonction de x = nombre de centimètres cubes de NaOH ajoutés, tracez le graphe correspondant.

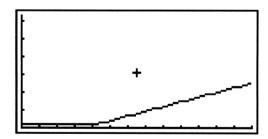
On donne:

- $\lambda H_3O^+ = 35.0$,
- $\lambda Na^+ = 5.0$
- λ OH- = 7.6,
- $\lambda \text{ CH}_3\text{COO} = 4,1,$
- conductivité de l'eau pure : 5,55.10-6,
- pKe = 14,
- pKa du couple CH₃CO₂H/CH₃CO₂ = 4,8.

Avec votre HP-48:

- placez-vous dans le répertoire DOSAGE puis sélectionnez l'option 'CONDUC' du menu,
 - saisissez [3] [5] [ENTER] pour λ H₃O+,
 - saisissez [2] [0] [.] [5] [ENTER] pour λ OH-,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C_b,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C_a,
- répondez à la question "Couple acide/base faibles ?" en sélectionnant l'option 'OUI' du menu,
- saisissez [1] [ENTER] pour répondre à la question "Combien d'acidités ?",
 - saisissez [4] [.] [8] [ENTER] pour pKa1,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour C1,
 - saisissez [4] [.] [1] [ENTER] pour λ1,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C2,
 - saisissez [0] [ENTER] pour λ2,
- répondez à la question "Couple acide/base faibles ?" en sélectionnant l'option 'NON' du menu,
 - saisissez [1] [ENTER] pour V,
- répondez à la question "Solution titrante : acide ou base ?" en sélectionnant l'option 'BASE' du menu,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour C0,
 - saisissez [3] [ENTER] pour V_{max},
 - saisissez [5] [.] [0] [ENTER] pour λ0.

Il faut deux minutes à HP-48 G/GX pour tracer la courbe (plus de cinq minutes avec une HP-48 S/SX). Toutefois, il est intéressant d'interrompre le tracé en cours afin d'ajuster les paramètres de la fenêtre d'affichage.



N'oubliez pas de multiplier les λ molaires par le nombre de charges pour obtenir les λ équivalents.

Rappel: les volumes sont exprimés en cm³.



Diagrammes de prédominance acidobasique

Les programmes relatifs aux diagrammes de prédominance acidobasique sont ceux du répertoire "DOSAGE" et ont été présentés au chapitre 2.



Rappels de cours

Les équilibres acidobasiques pourront être traduits à l'aide d'un diagramme de prédominance acidobasique. Il s'agit de représenter graphiquement pour chaque espèce le logarithme de la concentration par rapport au pH. On placera les logarithmes de la concentration en ordonnée, le pH (dont la progression est logarithmique) sera placé en abscisse. On pourra ainsi visualiser efficacement la concentration d'une espèce en fonction de l'acidité ou de la basicité (traduite par le pH). Un tel diagramme est aussi appelé diagramme "Log C/pH".

• Domaines de prédominance

Pour un couple acide/base, pH = pka + log([base]/[acide]). Si [acide] prédomine sur [base] alors [acide] >> $10 \times [base]$. Donc :

[base]/[acide] $< 0 \Rightarrow \log([base]/[acide]) < -1 \Rightarrow pH < pka-1$

De même:

[base]/[acide] $> 0 \Rightarrow pH > pka+1$

Le programme

Le programme trace des diagrammes logarithmiques de concentration à partir de la concentration globale de l'espèce étudiée et des différents *pka*.

• Utilisation du programme

- Placez-vous dans le répertoire DOSAGE et sélectionnez l'option 'PRED' du menu,
- le programme demande le nombre d'acidités, les pka et la concentration totale.

Ce programme trace le diagramme de prédominance des espèces appartenant à un même couple. Il utilise la valeur de RES (dans la liste PPAR qui rassemble les paramètres de tracé) pour le tracé point par point.

• Les objets utilisés

Connaissant le pH d'une solution et les espèces présentes, on peut en déduire toutes les concentrations de ces espèces. Le programme utilise simplement l'objet 'CONC' pour calculer ces concentrations et placer les points sur l'écran.

Il n'y qu'un seul programme : 'PRED', il utilise 'CONC' et les variables 'H' et 'SOL'.

• Exemple (d'après AGRO 1975)

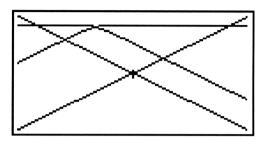
Soit un acide faible, l'acide acétique de pka = 4,70 et de concentration totale 0,1, tracez son diagramme de prédominance.

Sur votre HP-48:

- placez-vous dans le répertoire DOSAGE et sélectionnez l'option 'PRED' du menu,
 - répondez par [1] [ENTER] à la question "Combien d'acidités ?",
 - saisissez [4] [.] [7] [0] [ENTER] pour pka1,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour la concentration.

Comme toujours lors à l'occasion d'une représentation graphique, les paramètres de tracé sont essentiels. Précisez à la HP-48 que l'axe des ordonnées doit être représenté pour des ordonnées comprises entre -14 et 0.

On obtient la représentation ci-après dont le temps de tracé dépend de l'intervalle (STEP) que vous avez choisi pour séparer deux points représentés (1'30" sur HP-48 G/GX avec STEP fixé à 1 pixel).



En séparant deux points représentés de trois pixels, la représentation reste parfaitement exploitable tout en nous permettant de diviser par trois le temps de tracé par rapport au précédent réglage évoqué.

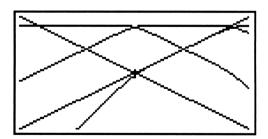
• Exemple : solution sulfhydrique

Tracez le diagramme de prédominance d'une solution sulfhydrique de concentration totale 0,1 mol/l. On donne : pka1 = 7 et pka2 = 13.

Sur votre HP-48:

- placez-vous dans le répertoire DOSAGE et sélectionnez l'option 'PRED' du menu,
 - répondez par [2] [ENTER] à la question "Combien d'acidités ?",
 - saisissez [7] [ENTER] pour pka1,
 - saisissez [1] [3] [ENTER] pour pka2,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour la concentration.

On obtient finalement le diagramme ci-dessous :



Attention! Tous les paramètres de tracé devront être connus (pour pouvoir interpréter le diagramme) et éventuellement ajustés (pour visualiser le phénomène) avec soin par l'utilisateur.



Pouvoir tampon d'une solution

Les programmes relatifs au pouvoir tampon d'une solution sont ceux du répertoire "DOSAGE" et ont été présentés au chapitre 2.

1

Rappels de cours

Une solution tampon est une solution dont le pH varie peu lorsqu'on la dilue ou lorsqu'on ajoute un acide fort ou une base forte. Un mélange tampon limite donc les variations de pH.

On obtient une solution tampon en mélangeant (en solution) un acide faible (par exemple, CH₃COOH) et l'un des sels qu'il forme avec une base forte (par exemple, CH₃COONa). De même, en mélangeant une base faible (par exemple, NH₃) et un sel formé au contact d'un acide fort (par exemple, NH₄Cl), on obtient un mélange tampon apte à limiter les variations du pH.

On mesure la qualité d'une solution tampon par estimation de son pouvoir tampon :

$$\tau = dCb/dCpH = -dCa/dpH$$

avec:

- dCb, quantité de base forte en solution,
- dCa, quantité d'acide fort en solution,
- dpH, variation du pH.

Le programme

Ce programme calcule le pouvoir tampon d'une solution à partir des concentrations présentes et de leurs pka.

Le programme 'TAMPON' occupe 158 octets.

• Exécution du programme

Placez-vous dans le répertoire DOSAGE et sélectionnez l'option 'TAMPON' du menu. Comme d'autres programmes du répertoire DOSAGE, TAMPON vous demande de saisir :

- bases et acides forts,
- les couples acide-base,
- les nombres d'acidités des couples acide-base,
- les pka des espèces présentes,
- les concentrations des espèces présentes.

• Principe

Le programme calcule la dérivée dCb/dpH en utilisant le programme de dosage : il "verse" une petite quantité de base forte (proportionnelle à dpH) puis une petite quantité d'acide fort. Les deux pH sont ensuite calculés. Le quotient (pH1-pH2)/(Cb-Ca) est d'autant plus proche de la dérivée que dpH est petit. Attention ! Les approximations successives entraîneront des résultats erronés si dpH est trop faible.

• Exemple

Comparez le pouvoir tampon d'une solution de CH_3COOH (concentration 0,15 mol.l-1) et de CH_3COO - (concentration 0,15 mol.l-1), au pouvoir tampon d'une solution de CH_3COOH (concentration 0,2 mol.l-1) et de CH_3COO - (concentration 0,2 mol.l-1) à laquelle été ajoutée 0,05 mole de soude.

Avec votre HP-48:

- placez-vous dans le répertoire DOSAGE et sélectionnez l'option 'TAMPON',
 - pour la première solution ; saisissez [0] [ENTER] pour C_b,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C_a
 - avec une HP-48G/GX, sélectionnez l'option OK du menu,

- sélectionnez l'option 'OUI' du menu (Couple acide/base faible ?),
- saisissez [1] [ENTER] pour le nombre d'acidités,
- saisissez [4] [.] [7] [ENTER] pour pka1,
- saisissez [0] [.] [1] [5] [ENTER] pour C1,
- saisissez [0] [.] [1] [5] [ENTER] pour C2,
- sélectionnez l'option 'NON' du menu (Couple acide/base faible ?),

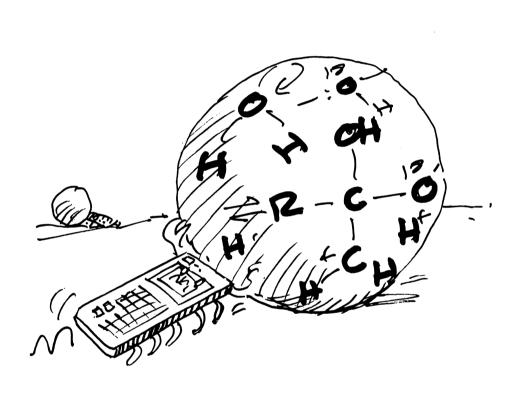
Après quelques secondes de calcul, le résultat (Γ) est placé au niveau 1 de la pile (on obtient 0,1727563272).

- On s'intéresse maintenant à la seconde solution ; saisissez [0] [.]
 [0] [5] [ENTER] pour C_b,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C_a,
- avec une HP-48G/GX, validez l'écran de saisie en sélectionnant l'option OK du menu,
 - sélectionnez l'option 'OUI' du menu (Couple acide/base faible ?),
 - saisissez [1] [ENTER] pour le nombre d'acidités,
 - saisissez [4] [.] [7] [ENTER] pour pka1,
 - saisissez [0] [.] [2] [ENTER] pour C1,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour C2,
 - sélectionnez l'option 'NON' du menu (Couple acide/base faible ?),

Après quelques secondes de calcul, le résultat (Γ) est placé au niveau 1 de la pile (on obtient 0,1727563272).

Les deux solutions considérées ont donc les mêmes pouvoir tampon.

Le temps de calcul est de l'ordre de 5 secondes.





Dosage de complexes

Ce chapitre décrit l'utilisation d'objets du répertoire COMPLX.

1

Rappels de cours

La complexométrie correspond à un dosage d'ions minéraux (en particulier Ca²⁺ et Mg²⁺ dans l'eau dure) dans un milieu convenable par l'EDTA (EDTA est le sigle correspondant à l'éthylènediaminetétraacétique). Ce dosage se fait généralement en présence d'un indicateur coloré, lui-même complexant de l'ion.

2

Le programme

Le comportement général de ce programme ressemble à celui du programme de dosage acidobasique. Les données demandées lors de l'exécution du programme sont proches de celles nécessaires à un dosage acidobasique.

Présentation

• Principe

Le principe est le même que celui utilisés pour les dosages acidobasiques à ceci près qu'on utilise les constantes de dissociation totales (pKd) en lieu et place des constantes d'acidité.

Ce dont a besoin le programme :

- le nombre de ligands acceptables pour le complexe considéré,
- les différents pKd,
- les concentrations des espèces,
- les caractéristiques de la solution titrante traitée comme une solution de ligands.

• Les objets du répertoire COMPLX

- 'DEPART' exécute le programme principal,
- 'ENTR' permet la saisie des espèces, pKd et concentrations,
- 'TITRE' demande les conditions du dosage,
- 'CALC.EQ' est l'équation utilisée pour la représentation graphique,
- 'CALC' correspond aux caractéristiques de la solution de départ,
- 'EQPX' est l'équation correspondant à la R.E.P. mais pour des complexes avec des constantes de dissociation totales,
- 'MKEQ', 'D1', 'D2', 'DSP', V', 'V0', 'VM', 'C0', 'PPAR', 'DEB', 'SOL' et 'EQ' ont des rôles à rapprocher de ceux des objets de mêmes noms dans le répertoire DOSAGE,
 - 'AJ' ajoute un nouveau couple de complexes,
 - 'X' est concentration en ligand au cours du dosage,
 - 'Y' est la variable contenant la quantité de ligand utilisable.

• Exemple : dosage par l'EDTA (D'après "Les solutions aqueuses", Morlaës, Vuibert)

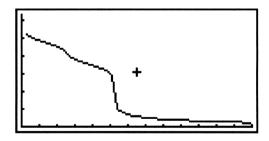
L'ion éthylène diamine tétraacétate, symbolisé par Y⁴-, forme des complexes avec les ions Ba²⁺ et Ca²⁺ :

$$Ba^{2+} + Y^{4-} \rightarrow BaY^{2-}$$
, avec pKBa = 7,8
 $Ca^{2+} + Y^{4-} \rightarrow CaY^{2-}$, avec pKCa = 10,6
(constantes de dissociation)

On ajoute progressivement à une solution d'ions Ba²⁺ et Ca²⁺ de concentration $C_0 = 0.1$ mol/l une solution molaire de Y⁴. Tracez pY = $-\log[Y^{4-}] = f(X)$, X étant la proportion de Y4- ajouté par rapport à la quantité initiale de Ca²⁺. On négligera par ailleurs la variation de volume au cours du dosage.

Avec votre HP-48:

- Placez-vous dans le répertoire COMPLX et sélectionnez l'option DEPART du menu,
- sélectionnez l'option OUI du menu lorsqu'apparaît "Ajouter un couple de complexes ?",
 - saisissez [1] [ENTER] pour le nombre de ligands acceptables.
 - saisissez [7] [.] [8] [ENTER] pour pKd1,
- saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour C1 (les concentrations des espèces doivent être introduites en commençant par l'espèce la moins complexée, puis par ordre de complexation croissante).
 - saisissez [0] [ENTER] pour C2,
- sélectionnez l'option OUI du menu lorsqu'apparaît "Ajouter un couple de complexes ?",
 - saisissez [1] [ENTER] pour le nombre de ligands acceptables,
 - saisissez [1] [0] [.] [6] [ENTER] pour pKd1,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour C1,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C2,
- sélectionnez l'option NON du menu lorsqu'apparaît "Ajouter un couple de complexes ?",
 - saisissez [1] [ENTER] pour V,
- saisissez [1] [ENTER] pour C₀,
 saisissez [0] [.] [5] [ENTER] pour V_{max}, (ce choix est arbitraire puisque la variation de volume ne peut pas être négligée mais on pourrait exécuter le dosage avec un titrant plus concentré).



Cette courbe est obtenue après 2'23" avec une HP-48 G/GX (environ 5' sont nécessaires avec une HP-48 S/SX). Notez les points communs avec le dosage acidobasique.

Bien entendu, les paramètres de définition de l'écran ont une très grande influence sur le résultat obtenu et l'intervalle séparant deux points calculés est déterminant pour la vitesse de tracé.

Les listings

1

Version HP-48 S et SX

```
'λ0'
            .0001
'λ'
```

{ .0005 .0002 .0001 .0002 .0002 .0001 }

• 'CONC' (#D47C)

 $\mathbf{*}$ 1 \rightarrow M « CALC.EQ DROP X 1 SOL SIZE FOR J SOL J GET LIST \rightarrow DROP \rightarrow pK c n \ll n 1 + 'M' STO+ c 1 1 n FOR K X

K ^ pK K GET NEG ALOG * +

NEXT /

1 n

FOR K K PICK X K * pK K

> ALOG * NEXT

NEXT M

 \rightarrow **ARRY**

GET NEG

```
• 'DIAG.EQ' (#1C5D)
                 \  \  \, \hbox{$\star$ } \lambda \ \hbox{$\tt LIST} \! \to \! \to \! \hbox{$\tt ARRY} \\
           CONC DOT \lambda 0 C0 * V0
            * V / +
• 'ENTR2' (#E267)
                 « DEB RCLMENU
            "Conductivité
           équivalente limite
           des ligands ?"
            { ":λx:" V } INPUT
           OBJ→ DTAG 1 →LIST
            '\lambda' STO 0 '\lambda0' STO
                   WHILE CLLCD
            "Ajouter un couple
           de complexes ?"
           3 DISP { "OUI" ""
            "" "" "NON" }
           TMENU
                      WHILE { 11
           16 } -1 WAIT IP POS
           DUP NOT
                      REPEAT DROP
           380 .1 BEEP
                      END 1 ==
                   REPEAT
           "Combien de ligands
           acceptables ?"
            { "" V } INPUT OBJ \rightarrow
           \rightarrow N
                      « { } 1 N
                        FOR J J
           "ème pKd" + ":pKd"
           J + ":" + { V } +
           INPUT OBJ \rightarrow NEG +
                        NEXT { }
           { } 1 N 1 +
                        FOR J
```

"Concentration de la

IF J 1

==

THEN

"première espèce (la - complexée)"

ELSE J

+ "ème espèce"

END +

":C" J + ":" + { V $\}$ + INPUT OBJ \rightarrow DTAG

"Conductivité

équivalente limite ?"

":λ" J + ":" + { V

 $\}$ + INPUT OBJ \rightarrow DTAG ROT + SWAP

NEXT 'λ'

ROT STO+ AJ

>> END MENU MKEO

• 'CONDUC' (#148F)

« ENTR2 TITRE "Conductivité équivalente des ions autres que les ligands" { ":λ0:" V } INPUT $OBJ \rightarrow \lambda 0$ ' STO 'DIAG.EQ' STEQ 0 VM XRNG ERASE DRAX DRAW GRAPH

• '**DEPART**' (#ED6F)

« ENTR TITRE 'CALC.EQ' STEQ 'D1' RCL 'DSP' STO 'V0' INDEP 0 VM XRNG ERASE

> DRAX DRAW

GRAPH

>>

• 'ENTR' (#467B)

```
« DEB RCLMENU
      WHILE CLLCD
"Ajouter un couple
de complexes ?"
3 DISP { "OUI" ""
"" "" "NON" }
TMENU
         WHILE { 11
16 } -1 WAIT IP POS
DUP NOT
        REPEAT DROP
380 .1 BEEP
         END 1 ==
      REPEAT
"Combien de ligands
acceptables ?"
{ "" V } INPUT OBJ \rightarrow
\rightarrow N
         « { } 1 N
           FOR J J
"ème pKd" + ":pKd"
J + ":" + { V } +
INPUT OBJ \rightarrow NEG +
           NEXT { }
1 N 1 +
           FOR J
"Concentration de la
             IF J 1
==
             THEN
"première espèce
(la - complexée)"
             ELSE J
+ "ème espèce"
             END +
":C" J + ":" + { V
\} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
           NEXT AJ
      END MENU
      MKEQ
```

```
• 'TITRE' (#E40)
```

"Volume de solution" { ":V:" V } INPUT OBJ→ 'V' STO "Solution titrante : concentration" { ":C0:" V } INPUT OBJ→ 'CO' STO "Volume maximal de solution titrante" { ":Vmax:" V } INPUT OBJ→ 'VM' STO **>>**

• 'CALC.EQ' (#17E7)

« 'EQPX' CO VO * V / - 'X' 1.E-14 ROOT LOG NEG

• 'CALC' (#267F)

« 'D2' RCL 'DSP' STO 'EQPX' 'X' 1.E-14 ROOT LOG NEG

• 'EQPX'

'DSP(X)+.1/(1+X*90000)*(X* 9.999999999E499)'

• 'MKEQ' (#BCB4)

 \ll 'DSP(X)' Y -1 SOL SIZE FOR J SOL J GET LIST \rightarrow DROP \rightarrow pK c n « c 1 1 n

FOR K 'X'

```
ALOG * +
                           NEXT / 0
             1 n
                           FOR K K
             'X' K ^ * pK K GET
             NEG ALOG * +
                           NEXT *
                     NEXT 'EQPX'
             STO
• 'D1'
                  \star \rightarrow H
                     « H
                     >>
• 'D2'
                  \mathbf{w} \to \mathbf{h}
                     « h DUP LOG
            NEG 3 DISP
• 'DSP'
                  \star \rightarrow H
                     ≪ H
• 'CALC.EQ'
• 'AJ' (#94DC)
                  	exttt{	iny OVER SIZE} 
ightarrow 	exttt{N}
                        IF DUP SIZE
            N1+\neq
                        THEN
             "Entrez les pKf et les
            c° dans 2 listes"
```

K ^ pK K GET NEG

```
END DUP
          DOERR
          LIST - 1
                    START + -1
                    STEP SWAP
          LIST→ 1 - 0
                    FOR J J *
           'Y' STO+ -1
                   STEP N 3
          \rightarrowLIST 1 \rightarrowLIST 'SOL'
          SWAP STO+
• 'DEB' (#C88E)
               « 0 'Y' STO { }
           'SOL' STO
• 'SOL'
            { }
• 'X'
          9.93107673736E-3
• 'Y'
            0
• 'V'
            10
• 'V0'
            1.61538461538
• 'VM'
            25
• 'C0'
            1
```

```
• 'PPAR'
```

```
{ (0,0)
(25,14) V0 # 3h
(0,0) FUNCTION pH }
END
```

2

Version HP-48 G et GX

'λ0'

.0001

'λ'

```
f .0005 .0002
.0001 .0002 .0002
.0001 }
```

• 'CONC'

```
\mathbf{*} 1 \rightarrow M
      « CALC.EQ
DROP X 1 SOL SIZE
        FOR J SOL J
c n
          \ll n 1 +
'M' STO+ c 1 1 n
            FOR K X
K ^ pK K GET NEG
ALOG * +
            NEXT /
1 n
            FOR K K
PICK X K * PK K
GET NEG ALOG *
            NEXT
```

NEXT M

```
\rightarrowARRY
• 'DIAG.EQ'
                \ll \lambda LIST\rightarrow \rightarrowARRY
           CONC DOT \lambda 0 C0 * V0
           * V / +
                >>
• 'ENTR2'
                 « DEB RCLMENU
           "Conductivité
           équivalente limite
           des ligands ?"
            \{ ": \lambda X: " V \} INPUT
           OBJ \rightarrow DTAG 1 \rightarrow LIST
            '\lambda' STO 0 '\lambda0' STO
                   WHILE CLLCD
           "Ajouter un couple
           de complexes ?"
           3 DISP { "OUI" ""
           "" "" "NON" }
           TMENU
                      WHILE { 11
           16 } -1 WAIT IP POS
           DUP NOT
                      REPEAT DROP
           380 .1 BEEP
                      END 1 ==
                   REPEAT
           "Combien de ligands
           acceptables ?"
           \{ "" V \} INPUT OBJ \rightarrow
           \rightarrow N
                      « { } 1 N
                        FOR J J
           "ème pKd" + ":pKd"
           J + ":" + { V } +
           INPUT OBJ \rightarrow NEG +
                        NEXT { }
```

 ${ }$ 1 N 1 +

FOR J
"Concentration de la

IF J 1 == THEN "première espèce (la - complexée)" ELSE J + "ème espèce" END + ":C" J + ":" + { V } + INPUT OBJ→ DTAG "Conductivité équivalente limite ?" ":λ" J + ":" + { V } + INPUT $OBJ \rightarrow DTAG$ ROT + SWAP NEXT 'λ' ROT STO+ AJ >>

• 'CONDUC'

« ENTR2 TITRE
"Conductivité
équivalente des ions
autres que les ligands"
{ ":\(\lambda\)0:" V } INPUT
OBJ→ '\(\lambda\)0' STO
'DIAG.EQ' STEQ 0 VM
XRNG ERASE DRAX
DRAW PICTURE

END MENU MKEO

• 'DEPART'

« ENTR TITRE
'CALC.EQ' STEQ 'D1'
RCL 'DSP' STO 'V0'
INDEP 0 VM XRNG
ERASE DRAX DRAW
PICTURE

>>

• 'ENTR'

```
« DEB RCLMENU
      WHILE CLLCD
"Ajouter un couple
de complexes ?"
3 DISP { "OUI" ""
"" "" "NON" }
TMENU
        WHILE { 11
16 } -1 WAIT IP POS
DUP NOT
        REPEAT DROP
380 .1 BEEP
        END 1 ==
      REPEAT
"Combien de ligands
acceptables ?"
{ "" V } INPUT OBJ \rightarrow
\rightarrow N
         « { } 1 N
           FOR J J
"ème pKd" + ":pKd"
J + ":" + { V } +
INPUT OBJ→ NEG +
           NEXT { }
1 N 1 +
           FOR J
"Concentration de la
             IF J 1
==
             THEN
"première espèce
(la - complexée)"
             ELSE J
+ "ème espèce"
             END +
":C" J + ":" + { V
\} + INPUT OBJ\rightarrow DTAG
           NEXT AJ
       END MENU MKEQ
    >>
```

• 'TITRE'

• 'CALC'

• 'MKEQ'

```
"Volume de solution"
          { ":V:" V } INPUT
         OBJ→ 'V' STO
          "Solution titrante:
         concentration"
          { ":C0:" V } INPUT
         OBJ→ 'CO' STO
          "Volume maximal de
         solution titrante"
          { ":Vmax:" V }
         INPUT OBJ→ 'VM' STO
• 'CALC.EQ'
              « 'EQPX' CO VO
          * V / - 'X' 1.E-14
         ROOT LOG NEG
             « 'D2' RCL
          'DSP' STO 'EOPX'
          'X' 1.E-14 ROOT LOG
         NEG
           EQPX 'DSP(X)+.1/(
         1+X*90000)*(X*
         9.999999999E499)'
              \ll 'DSP(X)' Y -
         1 SOL SIZE
                FOR J SOL J
         GET LIST\rightarrow DROP \rightarrow pK
         c n
                  « c 1 1 n
                    FOR K 'X'
         K ^ pK K GET NEG
         ALOG * +
```

NEXT / 0

```
1 n
                        FOR K K
           'X' K ^ * pK K GET
           NEG ALOG * +
                        NEXT *
                   NEXT 'EQPX'
           STO
• 'D1'
                \star \rightarrow H
                   « H
• 'D2'
                 \mathbf{w} \rightarrow \mathbf{h}
                   « h DUP LOG
           NEG 3 DISP
                 >>
• 'DSP'
                 \star \rightarrow H
                   ≪ H
                   >>
• 'EQ CALC.EQ'
• 'AJ'
                 IF DUP SIZE
           N 1 + ≠
                      THEN
            "Entrez les pKf et les
           co dans 2 listes"
           DOERR
                      END DUP
           LIST \rightarrow 1 - 1
```

```
START + -1
                   STEP SWAP
          LIST→ 1 - 0
                   FOR J J *
          'Y' STO+ -1
                   STEP N 3
          →LIST 1 →LIST 'SOL'
          SWAP STO+
• 'DEB'
              « 0 'Y' STO { }
          'SOL' STO
• 'SOL'
           { { {
          -63799.66789 } .1 1
          } }
• 'X'
          9.93107673736E-3
• 'Y'
           0
• 'V'
           10
• 'V0'
           1.61538461538
• 'VM'
           25
• 'C0'
```

1

• 'PPAR'

```
{ (0,0)
(25,14) V0 # 3h
(0,0) FUNCTION pH }
```

Dosages de complexes par conductimétrie

Ce chapitre traite de l'utilisation de certains objets du répertoire COM-PLX présenté au chapitre 6 (Dosages de complexes) dont la lecture est d'ailleurs vivement conseillée avant de lire ce chapitre.

Utilisation du programme

Placez-vous dans le répertoire COMPLX et sélectionnez l'option 'CONDUC' du menu. La saisie des données s'effectue selon le principe déjà présenté au chapitre 6.

• Les objets du répertoire COMPLX utilisés

- 'CONDUC' exécute le programme principal,
- 'ENTR2' demande les propriétés des espèces en solution (pKd, concentrations initiales, conductivités équivalentes),
- 'CONC' calcule les concentrations de toutes les espèces en solutions à partir de celle du ligand.
- 'DIAG. EQ' est l'équation utilisée pour la représentation graphique. Elle correspond au calcul de la conductivité de la solution à partir des concentrations données par 'CONC' et des conductivités équivalentes,
- ' λ 0' est la variable contenant le conductivités équivalentes de espèces de la solution.

• Exemple pratique

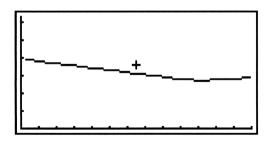
Le ligand L se complexe avec M, donc : $M + L \rightarrow ML$, avec pkd = -100

$$M + 2 \times L \rightarrow ML_2$$
, avec pkd = 4

On verse progressivement L de concentration 0,1 mol/l sur l'édifice polyatomique M de concentration 0,75 mol/l de volume 1 l. Tracez la courbe.

Avec votre HP-48:

- Placez-vous dans le répertoire COMPLX et sélectionnez l'option CONDUC du menu,
 - saisissez [2] [0] [ENTER] pour λx,
- sélectionnez l'option OUI du menu lorsqu'apparaît "Ajouter un couple de complexes ?",
 - saisissez [2] [ENTER] pour le nombre de ligands acceptables,
 - saisissez [1] [0] [0] [+/-] [ENTER] pour pKd1,
 - saisissez [4] [ENTER] pour pKd2,
- saisissez [0] [.] [7] [5] [ENTER] pour C1 (les concentrations des espèces doivent être introduites en commençant par l'espèce la moins complexée, puis par ordre de complexation croissante),
 - saisissez [1] [7] [ENTER] pour λ1,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C2,
 - saisissez [1] [0] [ENTER] pour λ2,
 - saisissez [0] [ENTER] pour C3,
 - saisissez [2] [5] [ENTER] pour λ3,
- sélectionnez l'option NON du menu lorsqu'apparaît "Ajouter un couple de complexes ?",
 - saisissez [1] [ENTER] pour V,
 - saisissez [0] [.] [1] [ENTER] pour C0,
 - saisissez [2] [0] [ENTER] pour V_{max},
 - saisissez [0] [ENTER] pour λ0.



Attention ! Un ajustement des paramètres d'affichage est souvent indispensable pour visualiser la courbe. Par exemple, la courbe ci-dessus a été obtenue avec des ordonnées variant entre 0 et 30 (l'axe des abscisses est représenté de 0 à V_{max} automatiquement). Une fois le réglage introduit, il suffit de recommencer le tracé en utilisant DRAW (environnement PLOT sur les HP-48 G/GX). En activant LABEL vous placerez V et pH sur les axes, remplacez pH par λ en modifiant la variable "PPAR" (pH est destiné à une utilisation avec les programmes du répertoire DOSAGE).

Piles et couples d'oxydoréduction

1

Rappels de cours

- Définitions :
 - une réduction est un gain d'électron(s),
 - une oxydation est une perte d'électron(s),
- un **oxydant** est un réactif capable de provoquer une oxydation, il peut donc recevoir d'une autre espèce un ou plusieurs électron(s),
- un **réducteur** est un réactif capable de provoquer une réduction, c'est donc une espèce capable de céder à une autre espèce un ou plusieurs électrons.

Par exemple, la transformation d'ion Ag+ d'une solution de nitrate d'argent en argent métallique Ag est une réduction : Ag+ + $e^- \rightarrow$ Ag.

Les pertes et les gains d'électrons sont des processus réversibles, il correspond donc un oxydant à chaque réducteur (et inversement). Cet oxydant et ce réducteur constituent un **couple d'oxydoréduction** aussi appelé **couple redox**. Par exemple, on notera Ag+/Ag, Fe³+/Fe²+ ou Fe²+/Fe. Par convention, on place l'oxydant en tête. On pourra aussi représenter ainsi un couple redox :

$$Oxydant + n \times e^- \subseteq réducteur$$

Un oxydant qui a une forte tendance à capter un ou plusieurs électron(s), et à se réduire, est un oxydant dit "fort". Remarquons qu'en ce cas le réduc-

teur appartenant au même couple cédera difficilement ses électrons, il sera donc un réducteur "faible". Donc, un couple fortement oxydant est implicitement faiblement réducteur (et inversement).

Une **réaction d'oxydoréduction** est en fait le bilan de deux réactions simultanées, une oxydation et une réduction faisant intervenir deux couples d'oxydoréduction (oxydant₁/réducteur₁ et oxydant₂/réducteur₂), ainsi :

$$oxydant_1 + réducteur_2 \stackrel{\longleftarrow}{\rightarrow} réducteur_1 + oxydant_2$$

Un élément peut se trouver dans différents états d'oxydation (ou de réduction). Le fer, par exemple, existe sous la forme d'atomes Fe (métal), d'ions Fe²⁺ (sel ferreux), ou d'ions Fe³⁺ (sels ferriques). Dans chacun de ses états, on attribue à l'élément un nombre d'oxydation (aussi appelé degré d'oxydation). Il s'agit d'un nombre entier positif ou négatif souvent noté *N.O.* qui indique l'importance du gain ou de la perte d'électrons par de l'élément par rapport à l'atome (qui, lui, est neutre). Le degré d'oxydation est noté en chiffres romains et placé en exposant à droite du symbole. Le calcul des N.O. avant et après une réaction d'oxydoréduction permet de donner une définition plus générale de la réduction et de l'oxydation :

- une oxydation est une augmentation (en valeur algébrique) du N.O.,
 - une réduction est une diminution (en valeur algébrique) du N.O.

Les réactions d'oxydoréduction ont généralement des constantes d'équilibre très grandes. Elles sont pratiquement totales et peuvent être utilisées pour des dosages.

• Pile électrochimique

Soit la réaction d'oxydoréduction :

$$Cu^{2+} + Zn \stackrel{\longleftarrow}{\rightarrow} Cu + Zn^{2+}$$

On représente symboliquement une pile électrochimique ainsi :

Par convention, le couple oxydant (qui sera réduit) est placé à droite alors que le couple réducteur (qui sera oxydé) se trouve à gauche. Le pôle positif de la pile est alors à droite et le pôle négatif à gauche. L'oxydation se produit à l'anode alors que la réduction a lieu à la cathode. Chaque couple et chacun des deux compartiments de la pile électrochimique constitue une demi-pile. Il existe une différence de potentiel entre les deux électrodes. Cette différence de potentiel est maximale lorsque le circuit est ouvert, c'est la force électromotrice (f.e.m.) de la pile électrochimique.

• Relation de Nernst

Potentiel d'une électrode :

$$E_{Oxydant/R\acute{e}ducteur} = E_{O(Oxydant/R\acute{e}ducteur)} + (RT/nF) \cdot Ln(a_{Oxydant} / a_{Reducteur})$$

On posera $R \times T/n_{Reducteur} F = 0.06$ ou 0.059.

En pratique, on considère la réaction entre l'oxydant du couple redox ayant le potentiel le plus élevé et le réducteur du couple redox ayant le potentiel le plus bas.

2

Le programme

1

Présentation

• Principe

Le programme calcule la force électromotrice d'une pile et détermine ses bornes. Les données à introduire sont les deux demi-réactions d'oxydoréduction ainsi que les concentrations des espèces.

•Exécution du programme

Placez-vous dans le répertoire PILE et sélectionnez l'option DEPART du menu. Introduisez les demi-réactions comme indiqué pendant l'exécution du programme. N'oubliez pas le potentiel d'oxydoréduction. Introduisez les concentrations des constituants, et éventuellement le pH si H+ intervient.

Pour changer la valeur de 'RTFLn10', placez 0,06 ou 0,059 (selon la valeur donnée dans l'énoncé de votre problème) dans la pile, appuyez sur [-] puis sélectionnez l'option 'RTFLn10' du menu pour stocker la valeur se trouvant au niveau 1 de la pile dans la variable.

Pour faire apparaître automatiquement "OX" et "RED" dans l'écriture de la réaction, modifiez le programme 'COEF' : remplacez $\{" \to E0=" \ V\}$ par $\{"OX \to RED \ E0=" \ V\}$ ou par $\{"RED \to OX \ E0=" \ V\}$.

Les objets du répertoire PILE

Le programme calcule la f.e.m. d'une pile à partir des demi-réactions d'oxydoréduction relatives aux deux demi-piles et des concentrations des espèces présentes dans les solutions de ces demi-piles en utilisant la formule de Nernst. Le programme détermine les différents coefficients en analysant la réaction qu'on lui donne et dessine la pile en indiquant la f.e.m. et les polarités des bornes.

les objets:

- 'DEPART' initialise et exécute le programme principal,
- 'AFF' affiche la pile, la f.e.m. et les polarités,
- 'CONC' demande les concentrations des espèces et calcule le deuxième terme de la formule de Nernst.
- 'COEF' demande une demi-réaction d'oxydoréduction et en déduit les coefficients de cette réaction,
- 'RTFLn10' est la variable contenant la valeur de 'R*T/F*Ln(10)', il s'agit en général de 0,06 ou de 0,059,
 - 'DESS' correspond au dessin d'une pile,
- 'CO' correspond aux coordonnées de la f.e.m. et des polarités, et des dessins de "+" et "-" dans l'environnement graphique.

• Exemple (d'après examen final de math sup du Lycée Henri Wallon)

La dilution étant telle que l'on confondra activité et concentration, toutes les grandeurs thermodynamiques sont données à 298 K, température supposée constante dans l'ensemble du problème. On réalise une pile contenant, d'une part, une électrode d'argent plongeant dans 100 ml d'une solution de nitrate d'argent à 10-3 mol/l (compartiment 1 de la pile), d'autre part, une électrode de zinc plongeant dans 100 ml d'une solution de sulfate de zinc à 0,1 mol/l (compartiment 2 de la pile).

On donne les potentiels standards :

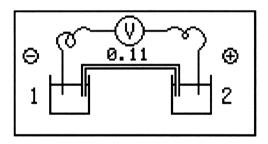
$$Ag^{+}/Ag : E_{0} = 0.80 \text{ V}$$

 $Zn^{2+}/Zn : E_{0} = -0.76 \text{ V}$

Avec votre HP-48:

- placez-vous dans le répertoire PILE et sélectionnez l'option DEPART du menu.
 - appuyez sur une touche quelconque (mais pas sur [ON]...),

- lisez les instructions puis appuyez sur une touche quelconque,
- saisissez "OX+E \rightarrow RED E0=0.80", pour cela, tapez [EVAL] [1/x] [+] [E] $[\alpha] [\rightarrow] [\alpha] [\rightarrow] [\rightarrow] [\rightarrow] [0] [.] [8] [ENTER],$
- saisissez [0] [.] [0] [1] [ENTER] lorsqu'apparaît "Concentration en oxydant? (1 si solide)",
- saisissez [1] [ENTER] lorsqu'apparaît "Concentration en réducteur ? (1 si solide)",
 - appuyez sur une touche quelconque,
 - lisez les instructions puis appuyez sur une touche quelconque,
- saisissez "OX+2E \rightarrow RED E0=-0.76", pour cela, tapez [EVAL] [1/x] [+] [2] [E] [α] [E] [D] [α] [α
- saisissez [0] [.] [1] [ENTER] lorsqu'apparaît "Concentration en oxydant? (1 si solide)",
- saisissez [1] [ENTER] lorsqu'apparaît "Concentration en réducteur ? (1 si solide)",
 - le résultat est immédiatement traduit graphiquement.



2

Les listings

Ces listings sont compatibles avec les HP-48 S, SX, G et GX.

• 'DEPART' (#5D01)

« CLLCD
"Demi-pile n°1" 3
DISP
"Appuyez sur une touche"
7 DISP 0 WAIT DROP
COEF CONC + CLLCD

```
"Demi-pile n°2" 3
DISP
"Appuyez sur une touche"
7 DISP 0 WAIT DROP
COEF CONC + - AFF
```

• 'AFF' (#3AEF)

« DESS PICT STO { # 0h # 0h } PVIEW RCLF 2 FIX PICT CO 1 GET 4 PICK ABS 2 \rightarrow GROB REPL STOF IF DUP 0 > THEN 3 5 ELSE 5 3 END PICT CO 2 GET CO 5 ROLL GET REPL PICT CO 4 GET CO 4 ROLL GET REPL { } PVIEW **>>**

• 'CONC' (#1870)

« DUP 2 GET / "Concentration en oxydant? (1 si solide)" { "" V } INPUT $OBJ \rightarrow$ LOG 0 "Concentration en réducteur ? (1 si solide)" $\{$ "" V $\}$ INPUT $OBJ \rightarrow$ LOG IF 4 PICK 4 GET THEN "pH de la solution ?" { "" V } INPUT $OBJ \rightarrow$ NEG ELSE 0 END 4 →ARRY

DOT RTFLn10 *

×

• 'COEF' (#C1E5)

"Entrez la réaction avec OX, RED, E et H (sans espaces) suivie du potentiel standard $OX+2E \rightarrow RED+H$ E0=-0.76!Ne PAS mettre H2O! Appuyez sur une touche" 1 DISP 0 WAIT DROP "" { " \rightarrow E0=" α 1 } INPUT { } [0 0 0 0] { "OX" "E" "RED" "H" $\}$ \rightarrow esp coef n ≪ WHILE DUP "→" POS 1 > REPEAT DUP "+" POS DUP 1000 IFTE OVER " \rightarrow " POS MIN DUP2 1 - 1 SWAP SUB IF DUP 1 1 SUB DUP NUM DUP $48 \ge SWAP 57 \le AND$ THEN IF OVER 2 2 SUB DUP NUM DUP $48 \ge SWAP 57 \le AND$ THEN + OBJ→ SWAP 3 OVER SIZE SUB ELSE DROP OBJ SWAP 2 OVER SIZE SUB END

ELSE DROP

END SWAP

NEG 2 \rightarrow LIST 'esp' SWAP STO+ 1 + OVER

1 SWAP

SIZE SUB

```
END DUP "→"
```

POS 1 + OVER SIZE

SUB

WHILE DUP

"E0" POS 1 >

REPEAT DUP

"+" POS DUP 1000

IFTE OVER " " POS

MIN DUP2 1 - 1 SWAP

SUB

IF DUP 1

1 SUB DUP NUM DUP 8

 \geq SWAP 57 \leq AND

THEN

IF OVER

2 2 SUB DUP NUM DUP

 $48 \ge SWAP 57 \le AND$

THEN +

OBJ→ SWAP 3 OVER

SIZE SUB

ELSE

DROP OBJ SWAP 2

OVER SIZE SUB

END

ELSE DROP

1 SWAP

END SWAP

2 →LIST 'esp' SWAP STO+ 1 + OVER SIZE

SUB

END DUP "="

POS 1 + OVER SIZE

SUB OBJ→ 1 4

FOR J

IF esp

DUP n J GET POS DUP

THEN 1 +

GET

ELSE SWAP

DROP

END

'coef' J ROT PUT

NEXT coef

>>

'RTFLn10'

.06

• 'DESS' (#5D05)

GROB 124 55 000000000008300040114000C30E000000000000006C0 00401140003C81300000000000010FFF7011CFFF00504 00000000000E90000040A040000608000000000008170 000040A04000099010000000004840000080402000009 0010000000028400000804020000600200000000024 8000001001000000020000000002480000002080000 0000200000000024800000000600000000010000000000 000008000000E00080000000000000000004000C10813 00010000000000000000000036084200010000000000 F500010000000000000000002008EB0444000100000000 000000002008080842000100000000000000000200014 0813000100000000000000000020003600E000010000000 000000000002000C1000000108FFFFFFFFFFF7002000 00000000108000000000000400200000000000108EFF FFFFFFFF500200000000001082000000000050020 0000000000108200000000005002000000000001082 00000000000500200000000020108A00000000004500 2010000000020108A00000000004500201000000002010 8A00000000004500201000000020108A000000000045 002010000000020108A0000000000450020100000000EF FFFE0000000000CDFFFF10000000020108A0000000000 45002010000001020108A0000000000450020107000810 20108A0000000000045002018800001020108A000000000 0045002018800001020108A00000000004500201040000 1020008A00000000004500001020000102000080000000 000040000101000010200008000000000004000001800000102000080000000000040000018000083020000800000 00000040000018F00000020000800000000000400000100 0000020000800000000004000010000000200008000 00000004000001000000020000800000000004000001 000000002000080000000000400000100000000EFFFFF0 000000000CFFFFF10000

• 'CO'

```
# 12h } { # 4h
# 14h }
GROB 5 5 4040F14040
{ # 75h # 14h }
GROB 5 5 0000F10000
}
```

Cinétique : ordre d'une réaction

1

Rappels de cours

La cinétique chimique est l'étude d'une réaction chimique dans le temps. La vitesse d'une réaction dépend des facteurs suivants :

- la température, d'une façon générale, l'élévation de la température augmente la vitesse de la réaction (si la chaleur ne dénature pas les réactifs, on notera à ce propos l'exemple des protéines qui peuvent être dénaturées à des températures relativement faibles),
- la concentration des réactifs, d'une façon générale, plus les concentrations sont élevées, plus la réaction est rapide (toutefois, des concentrations trop fortes peuvent entraîner des pH extrêmes, par exemple, qui modifient la réaction),
- le contact entre les réactifs, aussi appelé "surface d'échange". Par exemple, un pot d'échappement à catalyseur contient du platine sous forme de mousse afin d'obtenir une surface d'échange maximale pour une masse de platine minimale,
 - la nature du solvant,
- la catalyse, certains corps ont la propriété d'accélérer certaines réactions mais n'interviennent pas dans le bilan final de la réactions, ce sont des catalyseurs. La catalyse est à la base de la biochimie, en effet, celle-ci dépend dans une large mesure de catalyseurs tant chimiques que biologiques (enzymes),
- la **lumière** est parfois capable d'accélérer une réaction en apportant une énergie d'activation sous forme de photons. Notons que certaines réactions ne sont possibles qu'en présence de lumière (photographie).

Vitesse moyenne d'une réaction

S'il s'est formé n_1 moles de produit à l'instant t_1 et n_2 moles de produit à l'instant t_2 (avec $t_2 > t_1$), la **vitesse moyenne** v_m d'une réaction est donnée par la formule :

$$v_m = (n_2 - n_1) \div (t_2 - t_1)$$

• Loi de vitesse

Si le volume d'une solution dans laquelle a lieu une réaction est augmenté par ajout de solvant, la vitesse de la réaction diminue. Cette affirmation constitue la loi de vitesse. La loi de vitesse d'une réaction dans le cas général est de la forme :

$$v = k.[A]^{m}.[B]^{n}.[C]^{p}...$$

où on a:

- k, constante de vitesse propre à chaque réaction et variant avec la température,
 - [A], [B], [C]... concentrations molaires des réactifs,
- m, n, p... ordres partiels de la réaction par rapport à chacun des réactifs.

m + n + p + ... correspond à l'ordre global de la réaction.

Loi de vitesse pour une réaction "avec ordre"

En exprimant la réaction sous la forme :

$$\textstyle \sum \mu_{l} \times A_{l} \; \rightarrow \; \sum \mu'_{l} \times A'_{l}$$

on peut poser:

$$v = -1/\mu_1 \times d[A_1]/dt = 1/\mu_1 \times d[A_1]/dt = K \times \prod ([A_1]^{\alpha_1})$$

L'entier ou le demi-entier α_i est l'ordre partiel relatif à l'espèce A_i . La somme des ordres partiels est l'ordre total de la réaction.

On dit qu'il y a dégénérescence d'ordre lorsque l'une des concentrations est négligeable devant les autres. Ces dernières peuvent être considérées comme constantes et la vitesse peut alors s'exprimer sous la forme :

$$v = -1/\mu_1 \times d[A_1]/dt = K' \times [A_1]^{\alpha_1}$$

dans le cas où A₁ est minoritaire.

2

Le programme

1

Présentation

Pour déterminer les différents ordres α_i d'une réaction donnée, on étudie la concentration d'un des réactifs en présence d'une grande quantité des autres, cela permet de se placer dans le cas de la dégénérescence d'ordre et de pouvoir facilement calculer l'ordre du réactif considéré.

Le programme permet, à l'aide d'une série de valeurs de concentrations en fonction du temps, de calculer l'ordre qui se rapproche le plus de ces valeurs et de calculer la constante K' correspondante.

• Exécution du programme

Il vous faut remplir une matrice de dimension $n \times 2$, où n est le nombre de mesures. La première colonne de la matrice correspond au temps et la seconde aux concentrations. La matrice devra être placée dans la variable 'TABL'. Placez-vous dans le répertoire CINETIQ, appuyez sur [VAR] et sélectionnez l'option 'CALC' du menu.

Le programme 'CALC':

- détermine l'ordre optimal,
- trace les différents points et la courbe relative à l'ordre trouvé,
- donne les valeurs de l'ordre de la concentration initiale de la constante K' et du coefficient de corrélation (plus ce coefficient est proche de 1, plus les résultats communiqués sont exacts).

• Les objets du répertoire CINETIQ

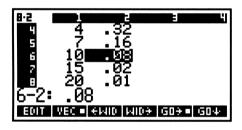
- 'CALC' est le programme principal, il exécute tous les calculs,
- 'TABL' est l'objet-tableau utilisé pour stocker les données,
- 'QMAX' est l'ordre maximal que le programme teste (en général un ordre de réaction ne dépasse pas 3).

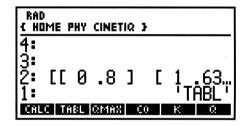
- 'C0', 'K' et 'Q' sont utilisés pour stocker la concentration initiale, la constante de vitesse et l'ordre trouvé,
 - 'EQ', 'PPAR', '∑PAR' sont utilisés pour le tracé.

• Exemple (concours ENSI)

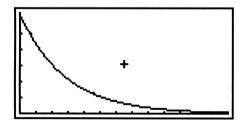
On considère la réaction $2H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_22O$. On relève le concentration de H_2O_2 au cours du temps :

t en min	[H ₂ O ₂] en mol.l-1
0	0,80
1	0,63
2	0,50
4	0,32
7	0,16
10	0,08
15	0,02
20	0,01





Saisir le tableau à l'aide MatrixWriter. Le valider et le stocker dans la variable 'TABL'. Placez-vous dans le répertoire cinétique, appuyez sur [VAR] et sélectionnez l'option 'CALC'. Les résultats suivants vous sont renvoyés :





Appuyez sur [ON] pour quitter l'environnement graphique et utilisez la pile interactive afin de visualiser les résultats. Utilisez [] [ENTER] pour accéder à MatrixWriter, [ENTER] pour placer le tableau dans la pile, [STO] pour affecter le nom 'TABL' au tableau et [] activer la pile interactive et visualiser ainsi les données qui y ont été placées par le programme.

2

Les listings

Ces listings sont compatibles avec les HP-48 S, SX, G et GX.

• 'CALC' (#65B3)

```
« TABL SIZE
« 'QMAX' DUP
RCL 2 MAX SWAP STO
{\tt CL}\Sigma 1 N
         FOR J TABL
J 1 2 →LIST GET
TABL J 2 2 →LIST
GET DUP \rightarrow Q
           « 2 QMAX
             FOR I Q
1 I - ^
             NEXT
QMAX 1 + \rightarrowARRY \Sigma+
        NEXT 1 XCOL
2 YCOL EXPFIT LR
NEG 'K' STO 'CO'
STO 1 'Q' STO CORR
ABS 'CO*EXP(-K*T)'
steq \rightarrow c
         « LINFIT
           IF CORR
ABS C >
           THEN CORR
ABS 'C' STO 0 'Q'
STO LR NEG 'K' STO
'CO' STO 'CO-K*T'
STEQ
           END 2
QMAX
           FOR J J 1
+ YCOL
             IF CORR
```

ABS C >

```
THEN
```

CORR ABS 'C' STO J
'Q' STO LR Q 1 - *
'K' STO 1 Q - INV ^
'CO' STO '(CO^(1-Q)
+K*T/(Q-1))^INV(1-Q
)' STEQ

END

NEXT Q

"Ordre" →TAG C0
"C0" →TAG K "K"
→TAG C

ightarrowTAG C
"Corrélation" ightarrowTAG
'T' INDEP (0,0)
PMIN MAXightarrow DUP 1 GET
SWAP 2 GET RightarrowC PMAX
ERASE { # 0h # 0h }
PVIEW DRAX 2 YCOL
SCATTER DRAW CLightarrow

FUNCTION DRAW GRAPH
»

»

• 'TABL'

[[0 0]]

• 'QMAX'

3

• 'C0'

0

• 'K'

0

• 'Q'

1

• 'EQ'

'C0*EXP(-K*T)'

• 'PPAR'

```
{ (0,0)
(20,.8) T 0 (0,0)
FUNCTION Y }
```

• 'ΣPAR'

```
{ 1 2
.779704941962
-.227161798151
LINFIT }
END
```



Tableau périodique des éléments

1

Rappels de cours

• Le noyau

- le nombre A représente le nombre de nucléons, c'est le nombre de masses,
- le nombre Z représente le nombre de protons, c'est le **numéro** atomique ou nombre de charges,
 - la différence A-Z correspond au nombre de neutrons.

• Les nombres quantiques

L'état d'un électron dans un atome, autrement dit son énergie et la géométrie de la portion de l'espace dans laquelle il évolue, est défini par quatre paramètres appelés nombres quantiques et notés n, l, m et s. Les valeurs des quatre nombres quantiques identifient un électrons, deux électrons distincts ne pouvant pas avoir les quatre mêmes nombres quantiques.

Les nombres n et s sont des variables indépendantes mais l et m ne peuvent prendre que certaines valeurs.

- *n* est le **nombre quantique principal**, il appartient aux entiers naturels non nuls,
- l est le nombre quantique secondaire ou nombre quantique azimutal, on a $0 < l \le (n-1)$, l étant un entier,

- m est le nombre quantique tertiaire ou nombre quantique magnétique, on a $-l \le m \le l$, m est un entier relatif,
 - s est le spin, il est égal à +1/2 ou -1/2,
- on appelle **niveau** ou **couche** l'ensemble des électrons possédant le même nombre *n*. Parmi les électrons d'une même couche, ceux qui possèdent le même nombre *l* constituent une **sous-couche**. Parmi les électrons d'une même sous-couche, ceux qui possèdent le même nombre *m* appartiennent à la même **case quantique** (notion qui correspond à celle d'**orbitale** dans le modèle ondulatoire).

Ci-dessous sont cités les symboles associés aux couches et sous-couches.

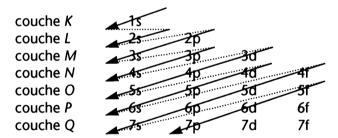
<i>n</i> = 1couche <i>K</i>	n = 6couche P	$l = 0 \dots sous$ -couche s
<i>n</i> = 2couche <i>L</i>	<i>n</i> = 7couche <i>Q</i>	l = 1sous-couche p
<i>n</i> = 3couche <i>M</i>	n = 8couche R	$l = 2 \dots$ sous-couche d
<i>n</i> = 4couche <i>N</i>	etc.	$l = 3 \dots sous$ -couche f
<i>n</i> = 5couche <i>O</i>		

Le tableau ci-dessous présente l'organisation électronique des couches *K*, *L* et *M*. Les règles de dépendance entre les nombres quantiques et le **principe d'exclusion de Pauli** impliquent qu'un nombre limité d'électrons peuvent occuper une case électronique, une sous-couche ou une couche.

n (couches)	(sous-couches)	m (orbitales)	s (électrons)	Electrons par sous-couche	Electrons par couche (2 <i>n</i> ²)
1 (K)	0 (1s)	0	+ 1/2, - 1/2	2	2
2 (L)	0 (2s)	0	+ 1/2, - 1/2	2	
	1 (2p)	-1 0 +1	+ ¹ / ₂ , - ¹ / ₂ + ¹ / ₂ , - ¹ / ₂ + ¹ / ₂ , - ¹ / ₂	6	8
3 (M)	0 (3s)	0	+ 1/2, - 1/2	2	
	1 (3p)	-1 0 +1	+ ¹ / ₂ , - ¹ / ₂ + ¹ / ₂ , - ¹ / ₂ + ¹ / ₂ , - ¹ / ₂	6	10
	2 (3d)	-2 -1 0 +1 +2	+ 1/2, - 1/2 + 1/2, - 1/2 + 1/2, - 1/2 + 1/2, - 1/2 + 1/2, - 1/2	10	18

• La structure électronique d'un atome

- Principe d'exclusion de Pauli : "au sein d'un même atome, il ne peut pas y avoir plus d'un électron décrit par un même ensemble de valeurs données aux quatre nombres quantiques",
- une case quantique est définie par les trois nombres *n*, *l* et *m*; l'état des électrons qui s'y trouvent ne peut donc différer que par la valeur du spin. Le spin ne peut prendre que deux valeurs différentes, le principe d'exclusion de Pauli entraîne qu'une case quantique donnée ne peut pas contenir plus de deux électrons dont les spin seront différents. Un électron seul dans une case quantique est dit **impair** ou **célibataire**. Lorsque deux électrons se trouvent dans une même case quantique, ces électrons sont dits **appariés**, ils constituent un **doublet** ou une **paire**,
 - une couche est saturée lorsqu'elle contient 2n² électrons,
- principe de stabilité : "les électrons d'un atome occupent en priorité les orbitales atomiques les plus stables, c'est-à-dire celles de plus basse énergie".
- la règle de Hund précise que les électrons se placent d'abord à raison de un par case quantique et ne s'apparient en doublets que s'ils sont plus nombreux que les cases quantiques, autrement dit, les électrons se disposent dans les orbitales de même énergie avec un maximum de spins parallèles.
- la **règle de Klechkowski** permet de traduire graphiquement (et de façon mnémotechnique) l'ordre de remplissage des sous-couches, en commençant par le haut du schéma, c'est-à-dire par les niveaux les plus stables.



• Le tableau périodique des éléments

```
Н
                                                             He
Li Be
                                                  С
                                                     N O
                                                         F Ne
Na Mg
                                               Al Si P S Cl Ar
   Ca Sc
                  Ti V Cr Mn Fe Co Ni Co Zn Ga Ge As Se Br Kr
                  Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I
Rb Sr Y
                  Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hb Tl Pb Bi Po At Rn
Cs Ba La *
Fr Ra Ac **
  Lanthanides : Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu
  Actinides
               : Th Pa U
                          Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lw
```

2

Le programme

1

Présentation

• Pourquoi ce programme?

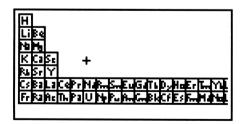
Il est très difficile de connaître par cœur toutes les informations relatives à chacun des éléments du tableau périodique, c'est pourquoi il est intéressant de disposer d'un moyen d'accès à ces données avec votre HP-48.

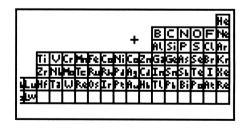
• A propos du répertoire PERIODIQ

Il contient les moyens nécessaires à une manipulation facile des informations rassemblées dans le tableau périodique. Il permet aussi de dessiner celui-ci. Le répertoire PERIODIQ contient 4213 octets en version S/SX et 4225 en version G/GX, les écrans présentés ont été "capturés" depuis une HP-48 GX.

Utilisation des programmes

Lancez le programme principal 'DEPART'. Celui-ci vous place tout d'abord dans l'environnement GRAPH ou PICTURE avec, dans PICT, le tableau périodique (ne contenant que les symboles des éléments) qui est plus grand que l'écran. Il apparaît ainsi sur l'écran :





• choisissez un élément en plaçant l'index "dessus" puis appuyez sur [ENTER] et sur [ON]. Bien entendu, lorsque l'index arrive à une extrémité de l'écran, l'image défile. Une pression sur [-] masque le menu,

- le programme recherche alors les données relatives à l'élément choisi et les placent dans la ligne de commande. Une chaîne vide est placée dans la ligne de commande si aucune information n'est trouvée.
- Consultez ou modifiez ces données puis appuyez sur [ENTER] pour les sauvegarder vos modifications.



Remarque : le programme ne contient que les données que vous lui avez fournies. Ceci permet de gagner de la place en mémoire car vous n'introduisez que les données qui vous intéressent pour les éléments que vous utilisez le plus souvent.

• Organisation du programme

Le programme calcule les coordonnées de l'élément choisi d'après la position du curseur dans l'environnement graphique.

Les objets du répertoires PERIODIQ :

- 'DEPART' est le programme principal,
- 'DONNEES' est une liste contenant les informations relatives à chacun des éléments,
- 'INDICES' matrice permettant de retrouver les informations (en fonction des indices),
 - 'TABLEAU' se charge de dessiner le tableau périodique,
 - 'PPAR' correspond aux paramètres de tracé.

2

Les listings

Le programmeur expérimenté pourra améliorer les programmes comme bon lui semble, en particulier il pourra placer à l'avance les données dont il a besoin dans la liste prévue à cette effet.

```
1
```

Version HP-48 S et SX

```
• 'DEPART' (#7215h)
                \leftarrow DEPTH \rightarrowLIST
           RCLMENU \rightarrow stk m
                  « TABLEAU
           PICT STO
                      IFERR
                        DO GRAPH
           C \rightarrow PX LIST\rightarrow DROP 8 /
           1 + B \rightarrow R SWAP 8 / 1
           + B \rightarrow R 2 \rightarrow LIST
           INDICES OVER GET
                           IF DUP
                           THEN
           SWAP DROP
                           ELSE
           DROP DONNEES "" +
           DUP SIZE SWAP
           'DONNEES' STO
            'INDICES' ROT 3
           PICK PUT
                          END
           'DONNEES' SWAP DUP2
           GET "" SWAP { 1 } +
           INPUT PUT
                        UNTIL 0
                        END
                      THEN stk
           LIST-> DROP m MENU
                     END
                   >>
                >>
'DONNEES'
           "HYDROGENE H
           Z=1
           M=1"
```

"HELIUM He

Z=2

```
M=4"
"LITHIUM Li
Z=3
M=7"
"SODIUM Na" }
```

• 'INDICES' (#699Ah)

• 'TABLEAU' (#F289h)

```
GROB 257 57
000000000000000000000000B410D3100000000000000
000000D1935493D7311050B410000000000000000000000
0000000000000000000000005250D454507510547A100
000000000000000052505654503710D57C10000000000
000000000000000005295D193D2501077F11000000000
```

00000000000000000000000000000000000B250525032 00000000F294D19132F610373710000000000000000000 000000000000000000000000000B215501232B21037351 00000000000F254D031F0D035D0F0D1D150D07031105136 3010000000000000000000000000505430F1323071309 03C34B434B0B010D034561000000000000000000000000 00525436FF753EB53E5EB9BBF25A767C105136921000000 000000000000000000005292323B333A353A3A3D37B496 B2B41052D6761000000000000000000000000005211D23 0001010101010101010101010101010101070D054100000 093B010B2309210000000000000000000000000009075F1 50B0B2B4B0345030325411B410725611100000000000000 00000000000056B5FF577A7274F6345E5E525A115A10B6 921110000000000000000000000000323D3B51BABE36B 6365A9A965611B610377211100000000000000000000000 0000F23D3F573F3B36B4D6FA7A765C93BC1010101010000 00000000000000000000001010101010101610101010 07030D0703170D0F0D1F070B0F0F03230B4F0547050F070 50B0F270D47050701034B63634B079B030303852B0B0305 05530B25654B4B450B2B0B252B251B0B2B4103274343A76 B970507AB952B0FE7650943AF654547AB25676F0F25272D 47EF67A1034B63636323DBF9F3A3D56BABA32DF9C3AB256 55B6B45232BAB65236553AB2B610D276F6DC323DBAFA FEDD5674BEF2DA9CFEB256923D52F234BEB65436D43EB43 FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF10101010 0101010101010D17050F07052317050D072D4F0F0313130 10101010101010101010101010101050B6B051B65271B 0B030B2323430F971BA1010101010101010101010101010

2

Version HP-48 G et GX

Vous remarquerez le remplacement de DO GRAPH par DO PICTURE...

• 'DEPART' (#208Ch)

```
RCLMENU \rightarrow stk m
      « TABLEAU
PICT STO
         IFERR
           DO
PICTURE C-PX LIST-
DROP 8 / 1 + B\rightarrow R
SWAP 8 / 1 + B \rightarrow R 2
→LIST INDICES OVER
GET
             IF DUP
             THEN
SWAP DROP
             ELSE
DROP DONNEES "" +
DUP SIZE SWAP
'DONNEES' STO
'INDICES' ROT 3
PICK PUT
             END
'DONNEES' SWAP DUP2
GET "Contenu" SWAP
```

{ 1 } + INPUT PUT

UNTIL 0

```
END
      THEN stk
   LIST-> DROP m MENU
      END
       >>
'DONNEES'
   "HYDROGENE H
   Z=1
   M=1"
   "HELIUM He
   Z=2
   M=4"
   "LITHIUM Li
   Z=3
   M=7"
   "SODIUM Na" "" }
• 'INDICES' (#699Ah)
   • 'TABLEAU' (#F289h))
   GROB 257 57
```

 000000D1935493D7311050B41000000000000000000000 00000000000000000000000005250D454507510547A100 0000000000000000052505654503710D57C100000000000 00000000000000000000000000000000000D1935493503 0000000000000000005295D193D2501077F11000000000 00000000F294D19132F610373710000000000000000000 000000000000000000000000000B215501232B21037351 00000000000F254D031F0D035D0F0D1D150D07031105136 3010000000000000000000000000505430F1323071309 03C34B434B0B010D0345610000000000000000000000000 00525436FF753EB53E5EB9BBF25A767C105136921000000 0000000000000000000005292323B333A353A3A3D37B496 B2B41052D67610000000000000000000000000005211D23 B36DE35DEFADDDDB27C72351010101010000000000000000 00010101010101010101010101010101070D054100000 093B010B230921000000000000000000000000009075F1 50B0B2B4B0345030325411B410725611100000000000000 00000000000056B5FF577A7274F6345E5E525A115A10B6 9211100000000000000000000000000323D3B51BABE36B 6365A9A965611B610377211100000000000000000000000 0000F23D3F573F3B36B4D6FA7A765C93BC1010101010000 0000000000000000000000101010101010101610101010

07030D0703170D0F0D1F070B0F0F03230B4F0547050F070 50B0F270D47050701034B63634B079B030303852B0B0305 05530B25654B4B450B2B0B252B251B0B2B4103274343A76 B970507AB952B0FE7650943AF654547AB25676F0F25272D 47EF67A1034B63636323DBF9F3A3D56BABA32DF9C3AB256 55B6B45232BAB65236553AB2B610D276F6DC323DBAFA FEDD5674BEF2DA9CFEB256923D52F234BEB65436D43EB43 FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF 0101010101010D17050F07052317050D072D4F0F0313130 10101010101010101010101010101050B6B051B65271B 0B030B2323430F971BA1010101010101010101010101010 1010D674F6517452B770F0307A367270F9BFBA101010101 0101010101010101010101052B6B25736523735BFBFB632 34BF3D3B351010101010101010101010101010105237B 65536913337BADA7AD2F2BA3D3FF0101010101010101010 FFF10

• 'PPAR'

```
{
(-6.5,-3.1)
(6.5,3.2) X 0 (0,0)
FUNCTION Y }
END
```

PHYSIQUE



77 77

Equationsdifférentielles

Le contenu de ce chapitre ne sera utile qu'aux utilisateurs de HP-48 S et SX, les versions G et GX étant dotées en standard de capacités de traitement d'équations différentielles.

1

Rappels de cours

On appelle **équation différentielle** toute équation dans laquelle on trouve une variable réelle x, une fonction f de cette variable, ainsi que ses **fonctions dérivées**. L'inconnue est la fonction f. Le programme proposé peut résoudre n'importe quelle équation différentielle du premier ou du deuxième ordre (résolue en y' ou en y''), on a :

Il convient de fixer les conditions initiales :

$$y(t_0) = y_0$$
 pour le premier ordre $y'(t_0) = y'_0$ et $y(t_0) = y_0$ pour le deuxième ordre

Le rappel de cours qui suit n'aborde que les équations différentielles utilisées au niveau du bac scientifique.

• Equation différentielle linéaire du premier ordre

Une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants sans second membre est une équation de la forme :

$$y' + a.y = 0$$

où a est un réel donné, et y, une fonction inconnue. L'ensemble des solutions de l'équation différentielle y' + a.y = 0 est $\{f: x \to C.e^{a.x}\}$, C étant une constante réelle. Pour tout couple (x_0, y_0) de réels, il existe une unique solution vérifiant en plus la condition initiale : $f(x_0) = y_0$. Elle est définie par :

$$f: x \to y_0.e^{a.(x_0-x)}$$

• Equation différentielle linéaire du second ordre

Une équation différentielle linéaire du second ordre à coefficients constants sans second membre est une équation de la forme :

$$y'' + a.y' + b.y = 0$$

où a et b sont deux réels et y, une fonction inconnue. On appelle équation caractéristique de cette équation différentielle, l'équation :

$$r^2 + a.r + b = 0$$

On a alors:

$r^2 + a.r + b = 0$ admet :	y'' + a.y + b.y = 0 a pour solution :
deux racines réelles r ₁ , r2 une racine double r deux racines conjuguées α+i.β, α-i.β	$f: x \to A.e^{r_1x} + B.e^{r_2x}$ $f: x \to (A.x + B).e^{rx}$ $f: x \to (A.\cos \beta.x + \beta.\sin b.x)e^{\alpha x}$

où A et B sont deux constantes réelles.

Pour tout triplet (x_0, y_0, y'_0) de réels, il existe une unique solution vérifiant en plus les conditions initiales $f(x_0) = y_0$, $f'(x_0) = y'_0$. On la trouve en résolvant le système de deux équations à deux inconnues A, B obtenu en écrivant les conditions initiales. On notera que $(A.\cos\beta.x + \beta.\sin b.x)e^{\alpha x}$ s'exprime plutôt en physique sous la forme $A.\cos(\omega t + \varphi)$.



Le programme

ก

Présentation

L'objet-programme 'DEPART' demande dès son évaluation l'ordre de l'équation (Attention ! Seules les équations différentielles d'ordre 1 et d'ordre 2 sont traitées par ce programme !). Il convient ensuite de saisir y' (dans le cas d'une équation différentielle du premier ordre) ou y" dans le cas d'une équation différentielle du second ordre).

La saisie des équations, la calculatrice étant en mode de saisie algébrique, procédez comme suit :

- pour une équation différentielle du premier ordre, saisissez le second membre de l'expression 'F(T,Y)='. Employez T et Y comme variable dans cette expression,
- pour une équation différentielle du deuxième ordre, saisissez le second membre de l'expression 'F(T,Y,Z)='. Dans ce cas, y' sera représenté par Z.

La troisième phase de saisie correspond à l'introduction des conditions initiales. Saisissez les valeurs initiales de t_0 et de y_0 . La valeur y'_0 vous sera demandée si vous traitez une équation différentielle du second ordre.

Le tracé de la représentation graphique commence dès que la dernières valeurs initiales est validée par [EXE]. Le tracé s'effectue d'abord à partir de t_0 de la gauche vers la droite, puis, après une pression sur une touche quelconque (autre que [ON]), de la droite vers la gauche. Une nouvelle pression sur une touche quelconque interrompt le tracé.

• A quoi sert le programme ?

Le programme trace la solution (c'est une fonction cartésienne) de l'équation cartésienne introduite. Il sert à vérifier la solution trouvée "à la main". Il vous suffit pour cela de tracer votre solution sur l'écran graphique, normalement, celle-ci doit recouvrir le tracé exécuté par le programme.

• Algorithme utilisé

Le programme utilise la méthode de Runge-Kutta pour résoudre les équations différentielles d'ordre 1 ou 2 résolues en y' ou y''. Cette méthode est une extension de celle d'Euler, moins précise.

• Les objets du répertoire

Sur HP-48 S ou SX, le répertoire concerné est DIFFEQ. Ce répertoire s'appelle DIFF sur les HP-48 G et GX où DIFFEQ est un mot réservé. Présentons maintenant les objets utilisés :

- 'DEPART' lance le programme principal,
- 'ENTR' sert à la saisie de l'équation différentielle,
- 'DEB' sert à la saisie des conditions initiales,
- 'CLS' efface l'écran,
- 'DRW' se charge de la représentation graphique,
- 'NEXTP' calcule les coordonnées du point suivant,
- 'AFF' affiche le point courant,
- 'DX' calcule la dérivée du vecteur 'X' à partir de 'F',
- 'F' est la fonction contenant l'équation différentielle,
- 'ORDRE' contient l'ordre de l'équation différentielle,
- 'X' contient les coordonnées du point courant, c'est-à-dire t, y, auxquels s'ajoute y' pour l'ordre 2. 'X' contient aussi les coordonnées du point initial,
- 'ε' correspond au pas de calcul, c'est-à-dire à l'intervalle séparant les valeurs calculées. Si 'ε' est négatif le tracé s'effectue dans l'autre sens,
 - 'PPAR' sont les paramètres de la fenêtre graphique.

• Exemples (oraux ENSI)

La force de résistance exercée par l'eau sur les navires d'un certain modèle et pour des vitesses de 10 à 20 km/h est une fonction de la vitesse du type

$$F = -k \cdot V^3$$

Trouver la distance parcourue par le navire lancé, moteur à l'arrêt, pendant que sa vitesse décroît de $V_1=16$ km/h à $V_2=13$ km/h. Quelle est la durée de cette décroissance ? On donne :

- masse du navire : M = 12.106 kg,
- k = 6400.

En appliquant l'équation fondamentale de la dynamique, on trouve immédiatement l'équation différentielle relative aux vitesses du bateau :

$$dV/V^3 = -k/M.dt$$

avec $k/M = 5,333.10^{-4}$.

Exploitons notre programme:

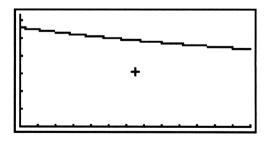
- plaçons-nous dans le répertoire DIFFEQ (ou DIFF) et sélectionnons l'option 'DEPART' du menu,
 - introduisez 1 pour l'ordre, et validez par [ENTER],
 - introduisez F : 'F(T,Y)=-5.333E-4*Y^3',
 - introduisez 0 pour to,
- introduisez 4.44 pour y_0 , (Transposition de la vitesse en unités du S.I.).

Il est possible qu'après quelques secondes de calcul, vous vous rendiez compte que rien n'apparaît sur l'écran. Un mauvais paramétrage de la fenêtre graphique explique ce problème. En effet, le programme n'est pas capable de modifier l'objet 'PPAR' définissant la fenêtre graphique car il ne dispose pas des informations nécessaires. C'est à l'utilisateur qu'il revient d'adapter la fenêtre d'affichage. La lecture de l'énoncé fournit les conditions initiales qui serviront de base à la définition d'un nouvel écran graphique.

Dans le cadre de cet exemple, l'axe des abscisses doit être représenté sur l'intervalle [0, 30] alors que l'axe des ordonnées le sera sur l'intervalle [0, 5]. Une fois ces paramètres introduits, relancez l'exécution du programme de la façon suivante :

- placez X0 dans la pile, puis placez 'X' dans la pile et appuyez sur [STO],
- placez-vous dans le répertoire DIFFEQ (ou DIFF) et évaluez l'objet CLS puis l'objet DRW.

Vous pouvez changer la valeur de ϵ pour affiner ou réduire la précision d'un calcul. Pour obtenir une représentation graphique précise exploitant pleinement l'écran, vous devez donner pour valeur à ϵ le résultat de l'opération $(X_{min}-X_{max})\div131$. Dans le cas présent ϵ a pour valeur 0,23, c'est-à-dire, en tenant compte des nouveaux paramètres de tracé, (30-0)÷131.



Vous obtenez ainsi l'évolution de la vitesse en fonction du temps (Temps en seconde, vitesse en dm/s). Pour répondre graphiquement à la question posée, et donc pour confirmer vos calculs, il vous suffit de mesurer l'intervalle séparant la vitesse initiale et 16 km/h, soit environ 3.61 m/s. Vous pouvez alors supposer que le temps mis est compris entre 24 et 25 secondes.

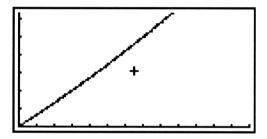
Le résultat numérique trouvé est 24,4 secondes.

Quelle est la distance parcourue par le navire ?

Sachant que V = dx/dt, On résout la même équation différentielle mais avec une solution de la forme x(t). Utilisons notre programme :

- évaluez l'objet 'DEPART' du répertoire DIFFEQ ou DIFF,
- introduisez 2 pour l'ordre,
- introduisez F : 'F(T,Y,Z)=-5.333E-4*Z^3',
- introduisez 0 pour to,
- introduisez 0 pour yo, ,
- introduisez 4.44 pour y'₀.

Dans le cadre de nouvel exemple, représentez l'axe des abscisses sur l'intervalle [0, 30] et l'axe des ordonnées sur l'intervalle [0, 100].



Vous pouvez alors étudier x(t). Sur la calculatrice, vous pourrez modifier les paramètres de tracé pour ne représenter l'axe des abscisses qu'entre 20 et 30 secondes et les ordonnées entre 90 et 100m; vous déduirez de la représentation graphique qu'aux alentours de 24 et 25 secondes, la distance s'élève à 96-98 mètres. "A la main" on trouve 97,1 m.

2

Les listings

Les listings qui suivent sont utilisables sur les HP-48 S, SX, G et GX mais ne sont utiles qu'avec les versions S et SX.

• 'DEPART' (#3E64)

« ENTR DEB CLS ϵ ABS ' ϵ ' STO DRW ϵ

```
NEG 'E' STO DRW
• 'ENTR' (#5F53)
          "Ordre de l'équation"
          { ":ORDRE:" V }
          INPUT OBJ→ 'ORDRE'
          STO
                IF ORDRE 2 ==
                THEN
          "Entrez F telle que
         Y''=F(T,Y,Y')"
          { "'F(T,Y,Z)='" ALG
         V 11 }
                ELSE
          "Entrez F telle que
         Y' = F(T,Y)"
          { "'F(T,Y)='" ALG V
          9 }
                END INPUT
         OBJ \rightarrow DEFINE
              >>
• 'DEB' (#342A)
              « "Entrez TO" {
          ":T0:" V } INPUT
         "Entrez Y0" {
          ":Y0:" V } INPUT
         OBJ \rightarrow DTAG
                IF ORDRE 2 ==
                THEN
          "Entrez Y'0" {
          ":Y'0:" V } INPUT
         OBJ→ DTAG 3
                ELSE 2
                END →ARRY 'X'
         STO
• 'CLS' (#FAF0)
              « ERASE DRAX »
```

```
• 'DRW' (#4E83)
```

« { # 0h # 0h }

PVIEW

DO NEXTP AFF UNTIL KEY END DROP

• 'NEXTP' (#8BFF)

« X DUP DX ϵ * DUP2 2 / + DX ε * 3 PICK OVER 2 / + DX ε * 4 PICK OVER + DX ε * SWAP 2 * + SWAP 2 * + + 6 / 1 ε PUT + 'X' STO

• 'AFF' (#8B0C)

« X 1 GET X 2 GET R→C PIXON

• 'DX' (#9AA9)

 \leftarrow ARRY \rightarrow DROP IF ORDRE 2 == THEN 3 DUPN F

ROT DROP 3

ELSE DUP2 F

SWAP DROP 2 END

 \rightarrow **ARRY**

• 'F' (#460F)

 $\mathbf{w} \rightarrow \mathbf{T} \mathbf{Y} \mathbf{Y}$

• 'ORDRE'



Tracés polaires et paramétriques

Le contenu de ce chapitre est surtout destiné aux utilisateurs des HP-48 S et SX. Les programmes relatifs à ce chapitre sont ceux du chapitre COURBES.

1

Rappels de cours

• Equations paramétriques

Une représentation graphique peut être définies par deux équations dites "paramétriques" :

$$x = f(t)$$

 $y = q(t)$

• Fonction polaire

Une fonction polaire est du type :

$$\mathbf{r} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\theta})$$

Un point est dit "double" lorsqu'il est atteint pour deux paramètres différents.

2

Le programme

1

Présentation

Pour chaque type de représentations graphiques (paramétrique et polaire), nous vous proposons deux programmes. Le premier vous permettra de tracer la courbe avec des points à égale distance les uns des autres et vous évitera donc bon nombre d'erreurs fréquentes liées à l'imprécision du tracé réalisé à l'aide de l'application intégrée à la HP-48. Cependant, en présence de branches infinies, il ne pourra pas fonctionner puisqu'il lui est impossible d'atteindre l'infini. On se servira alors de l'autre programme, celui-ci tracera normalement la courbe et pourra "lire" chaque point de la courbe, ce qui est impossible en mode intégré "CONIC" ou "PARAMETRIC" (application PLOT). Le programme se chargera de calculer le vecteur dérivé, les points doubles et l'aire délimitée par les boucles.

• Présentation des tracés "paramétriques"

Il vous faut tout d'abord introduire votre équation sous forme algébrique, c'est-à-dire placée entre les délimiteurs ' ' pour cela :

- placez-vous dans le répertoire COURBES,
- introduisez votre équation entre apostrophes et placez-la dans la pile en la validant par une pression sur [ENTER]. Cette équation doit renvoyer un couple, donc un "objet nombre complexe"; si votre couple d'équations est $(\mathbf{x} = \mathbf{f(t)}, \mathbf{y} = \mathbf{g(t)})$, il vous faudra introduire l'expression algébrique ' $\mathbf{f(t)} + \mathbf{i} * \mathbf{g(t)}$ '. Celle-ci renverra un couple de nombres réels, retenez qu'il faut placer + \mathbf{i} * entre $\mathbf{f(t)}$ et $\mathbf{g(t)}$,
 - placez 'EQ' dans la pile,
- appuyez sur la touche [STO], vous affectez ainsi votre équation à la variable EQ du répertoire courant.

Afin d'obtenir votre représentation graphique, vous avez le choix entre deux objets du répertoire COURBES : PARAM et REGU :

 PARAM permet d'obtenir la représentation graphique et donne accès aux fonctions présentées plus loin. Ce programme exploite l'application de tracé intégrée à la HP-48 et permet de représenter les branches infinies,

• REGU donne accès aux mêmes fonctions d'études, n'exploite pas la fonction de tracé intégrée, mais ne trace pas les branches infinies. Remarque : la variable 'DL' permettra d'ajuster le pas du tracé (intervalle séparant deux valeurs calculées) et de trouver à chaque fois le meilleur compromis entre vitesse et précision.

Après le tracé apparaît un nouveau menu comportant les options suivantes :

VITES: vitesse,

PTDBL : point double,
AIRE : aire de la boucle,
LONG : longueur d'arc.

• Quelques manipulations de base

Alors que la représentation graphique est affichée, placez l'index clignotant sur le point choisi, sélectionnez ensuite l'option 'VITES' du menu, le vecteur vitesse correspondant sera alors placé dans la pile. Pour obtenir la valeur point double, vous devrez sélectionner deux points de part et d'autre du point double étudié (On sélectionne un point en plaçant l'index clignotant sur celui-ci puis en appuyant sur [ENTER]). Afin de déterminer l'aire d'une courbe paramétrée, il faut activer deux points :

- sélectionner un point de la courbe à l'aide de l'index clignotant (validez par une pression sur [ENTER] quand le point est choisi),
- à l'aide des flèches de déplacement "faites faire un tour" de la boucle à l'index clignotant,
- appuyez à nouveau sur [ENTER] lorsque l'index est revenu sur le premier point sélectionné (lors de la première étape décrite).

Si la courbe comprend plusieurs boucles et que vous désirez calculer l'aire de l'une d'entre elles, deux cas se présentent à vous :

- utilisez le programme 'PTDBL' et sélectionnez deux fois le point choisi,
- ou bien placez-vous le plus près possible de part et d'autre du point double en sélectionnant le point à deux reprises. Cette seconde méthode est plus rapide mais moins précise.

Pour connaître la longueur d'un arc, sélectionnez un arc de courbe (délimité par deux points successifs sélectionnés à l'aide de l'index clignotant et validés par une pression sur [ENTER]) sélectionnez ensuite l'option 'LONG' du menu, vous obtenez alors la longueur de l'arc choisi.

Tous les résultats de ces calculs sont renvoyés dans la pile. Il convient donc d'appuyer sur [ON] pour afficher la pile et visualiser les résultats.

• Manipulation de l'index clignotant

Les touches à utiliser :

- [←] permet de déplacer le curseur le long de la courbe vers les petites valeurs du paramètre,
- [→] permet de déplacer le curseur le long de la courbe vers les grandes valeurs du paramètre,

• [+] visualise coordonnées de chaque point de la courbe,

• [-] supprime l'affichage des coordonnées activé avec [+] et fait réapparaître le menu présentant les programmes,

• [÷] divise par deux (à chaque sollicitation) la vitesse de déplace-

ment de l'index cliquotant,

• [x] multiplie par deux (à chaque sollicitation) la vitesse de déplacement de l'index clignotant.

• Présentation des tracés "polaires"

Les fonctions disponibles sont les mêmes que celles déjà présentées pour les tracés "paramétriques". Seule l'introduction de la fonction à représenter change, en effet, il vous faudra introduire dans la variable 'EQ', une expression du type ' $P \rightarrow R(r, \theta)$ '.

Remarquez qu'il est possible de tracer des courbes polaires paramétrées en introduisant une expression de la forme ' $P \rightarrow R(r(t), \theta(t))$ ', il vous faut alors préciser que t est une variable indépendante (utilisez INDEP).

Principe

Le programme REGUL trace des courbes "régulières" et adapte le pas du tracé en se fondant sur la norme du vecteur dérivé pour que tous les points soient approximativement à la même distance les uns des autres. Le programme PARAM utilise la fonction DRAW de la machine. Le programme TRACE remplace certaines fonctions de GRAPH (sous-menu FCN) absentes pour les tracés paramétriques et polaires (affichage des coordonnées des points de la courbe, vecteur vitesse ou dérivé, aire d'une boucle, points doubles et longueur d'une portion de courbe).

• Les objets du répertoire COURBES

• P→R : trace des courbes polaires ou polaires paramétrées en utilisant le mode PARAMETRIC de la machine,

• PTDBL: recherche les points doubles,

INTEG : calcule les intégrales,

• EQS : équation utilisée par INTEG pour le calcul de l'aire,

• EQL : équation utilisée par INTEG pour le calcul de la longueur,

- EQ : équation à représenter (il s'agit de la même variable que celle utilisée par l'application de tracé intégrée),
 - T, X, θ: variables les plus souvent utilisée pour les tracés,
 - ε : variable contenant le pas pendant la lecture du tracé,

• n : variable utilisée pour les dérivations numériques,

• DL : représente la distance entre chaque point du tracé effectué par REGUL,

• MEN: comprenant le menu TRACE,

• t1, t2 : paramètres des deux derniers points sélectionnés,

• x, y, z : variables utilisées par PTDBL,

• N : nombre de subdivisions pour le calcul de l'intégrale,

• PPAR : paramètres utilisés pour le tracé.

• Premier exemple

La trajectoire d'une particule qui glisse sans frottement après avoir été lancé sur un disque tournant à une vitesse constante est du type :

$$x(t) = (5-t) \times \cos(2t)$$

$$y(t) = -(5-t) \times \sin(2t)$$

Donnez l'allure de la trajectoire, calculer la vitesse de la particule au centre du disque (représenté par le centre du repère), calculer la position des points doubles et l'aire de la plus petite boucle formée.

A l'aide de MODES ([]] [CST]), faites du radian l'unité de mesure d'angle courante. Placez-vous dans le répertoire COURBES. Introduisez dans la variable 'EQ' l'équation sous la forme :

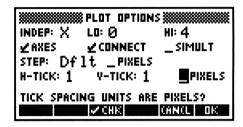
C'est sous cette dernière forme qu'il vaut mieux introduire l'expression algébrique.

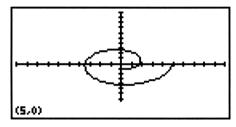
A l'aide de l'application PLOT, précisez que x est la variable indépendante et que celle-ci varie entre 0 et 4. Sélectionnez l'option correspondant au programme "REGUL" dans le répertoire COURBES. Et ce, afin d'obtenir une meilleure précision sachant que cette courbe n'a pas de branches infinies

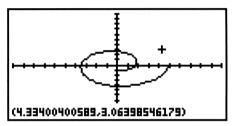
Après avoir visualisé une première fois la représentation graphique, vous pouvez un peu élargir votre champ d'investigation en représentant les axes

sur l'intervalle [-10, 10]. Vous pouvez aussi utilisez la fonction permettant d'obtenir un repère orthonormé. Après avoir modifié les intervalles sur lesquels sont représentés les axes, sélectionnez à nouveau l'option du menu correspondant au programme REGUL dans le répertoire COURBES.









Remarquez que dès la fin du tracé, il vous est possible de "lire" les coordonnées des points de la représentation graphique en déplaçant l'index clignotant.

Sélectionnez les points de part et d'autre des points doubles, appuyez sur [ON] puis sélectionnez l'option PTDBL du menu. Après quelques instants de calcul, le résultat est renvoyé dans la pile sous la forme :

valeur du paramètre : (abscisse, ordonnée)

Par ailleurs, les coordonnées des points sélectionnés restent dans la pile.

Bien évidemment tous les chiffres après la virgule n'ont pas de signification (il est d'ailleurs conseillé de restreindre le nombre de chiffres significatifs à l'aide de l'écran MODES).

Pour retrouver la courbe (accompagnée de son menu), sélectionnez l'option TRACE du menu (affichage des variables du répertoire COURBES).

Pour calculer une aire, il suffira de sélectionner deux points proches de la fermeture de ladite boucle et de sélectionner l'option AIRE du menu présentant les variables du répertoire COURBES (affichez après une pression sur [VAR]). remarquez qu'il n'est pas nécessaire de calculer les coordonnées des points doubles avant de calculer une aire.

La vitesse de la particule à l'origine s'obtient en plaçant l'index le plus près possible de l'origine.

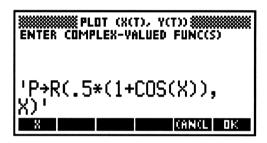
Second exemple

Une particule décrit dans le plan une cardioïde d'équation :

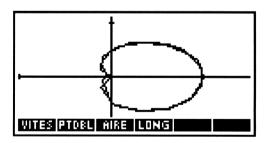
$$(r = 0.5 \times (1 + \cos(\theta)), \theta)$$

Tracez-la puis calculez son aire ainsi que sa longueur.

Placez l'équation dans la variable EQ. Saisissez-la sous la forme présentée sur l'écran.



Sélectionnez ensuite l'option du menu correspondant à l'objet programme REGUL dans le répertoire COURBES. Vous obtenez ensuite un cardioïde (Attention aux valeurs extrêmes et au pas de la variable indépendante).



Très important ! Pour exploiter les fonctions vitesse, point double, aire et longueur d'arc, il est indispensable d'appuyer sur [-] une fois le tracé achevé, et ce, afin d'afficher le menu présentant les options permettant ces calculs. Ceci est valable pour les représentations graphiques obtenues à l'aide des programmes du répertoire COURBES.

Pour obtenir l'aire, sélectionnez l'origine à deux reprise après avoir décrit entièrement la courbe à l'aide de l'index, vous obtiendrez : Aire:1.1780....

Pour obtenir la longueur de la courbe, sélectionnez à nouveau et à deux reprises l'origine du repère, en ayant, entre ces deux sélections, parcouru toute la courbe à l'aide de l'index. Sélectionnez ensuite LONG.

• Tracé polaire paramétré

Ce programme permet également de tracer une polaire paramétrée.

Certaines particules ont une trajectoire dont l'équation est :

$$r = r_0 \times e^{-1/t}$$
$$\theta = 1/t$$

avec ro réel.

Vous pouvez la représenter en introduisant l'expression sous la forme :

$$'P \rightarrow R(r_0 \times e^{-1/t}, 1/t)...'$$

Lorsque vous saisissez " $P \rightarrow R$ ", vous pouvez utiliser [$\overrightarrow{}$] [0] pour introduire " \rightarrow " mais il vous faudra en ce cas supprimer les espaces de part et d'autre de la flèche.

2

Les listings

Ces listings sont utilisables avec les HP-48 S, SX, G et GX.

• 'TRACE'

```
END 4 ROLLD 4
ROLLD 0 0 0 \rightarrow stk v
m t1 t2
       « OVER - 130
/ 'ε' STO v STO
         IFERR
           DO EQ
\rightarrowNUM
              IF m 0
==
              THEN
PICT DUP { # 0d
# 56d } # 131d # 8d
BLANK REPL { # 0d
# 59d } 3 PICK 1
\rightarrowGROB REPL
              ELSE
PICT { # 0d # 56d }
MEN REPL
              END
             WHILE
KEY NOT
             REPEAT
1 2
                START
PICT OVER C-PX
LIST-> DROP 2 - SWAP
2 - SWAP 2 \rightarrowLIST
CURSEUR GXOR
                NEXT
              END {
              ₹ 7 8
STO-
              ν ε
STO+
              « 0 'm'
STO
              « 1 'm'
STO
              « 'ε' 2
STO*
```

```
« 'ε' 2
STO/
                 « \stk'
\mathbf{EQ} \ \rightarrow \mathbf{NUM} \ \mathbf{v} \ \rightarrow \mathbf{NUM} \ \rightarrow \mathbf{TAG}
STO+ t2 't1' STO v
RCL 't2' STO
                 « v RCL
DUP \eta + \mathbf{v} STO EQ
\rightarrowNUM OVER \eta - v STO
EQ \rightarrowNUM - \eta / 2 /
"Vitesse" →TAG
'stk' SWAP STO+ v
STO
                 « stk
LIST→ DROP t1 t2
PTDBL DUP2 't2' STO
't1' STO DUP v STO
EQ \rightarrowNUM SWAP \rightarrowTAG
OVER v STO EQ \rightarrowNUM
ROT \rightarrowTAG SWAP DEPTH
→LIST 'stk' STO
                 « stk
LIST-> DROP t1 t2 v
'EQS' INTEG "Aire"

ightarrowTAG DEPTH 
ightarrowLIST
'stk' STO t2 v STO
                 « stk
LIST\rightarrow DROP t1 t2 v
'EQL' INTEG
"Longueur" \rightarrowTAG
{\tt DEPTH} \ \to {\tt LIST} \ \verb"stk"
STO t2 v STO
                 » } {
34 36 95 85 75 65
51 11 12 13 14 }
ROT POS
                 IF DUP
                 THEN
GET EVAL
                 ELSE
```

DROP

END UNTIL 0

END

THEN CLEAR

stk LIST-> DROP ERRN **DOERR**

END

>>

• 'CURSEUR'

GROB 5 5 4040F14040

• 'PARAM'

« PARAMETRIC ERASE DRAX DRAW TRACE

• 'REGUL'

« PARAMETRIC { # 0d # 0d } PVIEW ERASE DRAX PPAR 3 GET

IF DUP TYPE 5

==

THEN LIST \rightarrow

DROP

ELSE PPAR 1 GET RE PPAR 2 GET RE

> END ROT \rightarrow v « OVER V STO

EQ -NUM 3 ROLLD FOR t t v

STO EQ -NUM SWAP OVER LINE DUP t η + ${f v}$ sto eq \rightarrow num swap

- η / ABS DL SWAP / STEP DROP

TRACE

>>

```
• 'P→R'
```

 $\begin{array}{c} {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} \\ & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} \\ {\color{gray}{*}} \\ {\color{gray}{*}} \\ {\color{gray}{*}} & {\color{gray}{*}} \\ {\color{gray}{*}}$

• 'PTDBL'

« PPAR 3 GET
IF DUP TYPE 5

==

THEN 1 GET END \rightarrow v

«

WHILE OVER

v STO EQ \rightarrow NUM OVER v STO EQ \rightarrow NUM DUP2 - ABS DUP DUP 1 DISP z \geq

REPEAT SQ 5 PICK η + v sto eq \rightarrow NUM 3 PICK - ABS SQ OVER - η / x * NEG

IF DUP

ABS y >

THEN SIGN

У *

END 6

ROLL + 5 ROLLD 4 PICK η + v STO EQ \rightarrow NUM 4 ROLL - ABS SQ SWAP - η / x * NEG

IF DUP

ABS y >

THEN SIGN

У *

END ROT +

SWAP DROP

END 3 DROPN

>>

```
• 'INTEG'
```

```
\begin{array}{c} \text{$\scriptstyle \times$} \rightarrow \text{$v$ eq} \\ \text{$\scriptstyle \times$} \text{ DUP2 - ABS} \\ \text{N / 0} \rightarrow \text{t1 t2 dt s} \\ \text{$\scriptstyle \times$} \text{ t1 t2 MIN} \\ \text{t1 t2 MAX FOR t t v} \\ \text{eq EVAL dt * `s'} \\ \text{STO+ dt} \\ \text{STEP s} \\ \text{ABS} \qquad \Rightarrow \end{array}
```

ABS » » »

• 'EQS'

• 'EQL'

• 'EQ'

 $P \rightarrow R(1+\cos(\theta), \theta)'$

• 'T'

-4.57473730336

• 'θ'

0

• 'X'

0

}

```
• 'e'
        4.83321946706E-2
• 'ŋ'
         .00001
• 'DL'
         . 3
'MEN'
       GROB 131 8
        FFFDFFF7FFFFFFF70BA889544667FD23EDE8636FFFF
       FDFFFF70BADEE5D6557FAAAFDEA4D7FFFFFDFFFF70BAD8D
        5C6567F823EDEA056FFFFFDFFFF707BDEB5F6557FAAAF-
       DEA2D6FFFFFDFFFF707BD8C5F6664FAA2ED88636FFFFFDF
       • 'x'
         .02
• 'y'
        1
• 'z'
         .001
• 'N'
        25
• 'PPAR'
        (-6.5, -3.1)
        (6.5,3.2) { \theta 0
       6.28318530718 } 0
        (0,0) PARAMETRIC Y
```

Satellites

1

Rappels de cours

• Un satellite de masse m tournant autour d'une planète de masse M est soumis à la force de gravitation :

$$\overrightarrow{f} = -(G \times m \times M / r^3) \times \overrightarrow{r}$$

où G est la constante de gravitation universelle

• La position r du satellite vérifie l'équation différentielle :

$$d^2\overrightarrow{r}/dt^2 = -(G \times M / r^3) \times \overrightarrow{r}$$

La solution de cette équation différentielle est de la forme :

$$r = p/(1+e \times (\cos(\theta - \theta_0)))$$

 \vec{r} a pour coordonnées polaires θ et r

En fonction des conditions initiales r_0 et $V_0 = (dr/dt)_0$, on obtient une ellipse , une parabole ou une hyperbole.

Le programme proposé se charge de représenter graphiquement la trajectoire du satellite et de calculer de nombreux paramètres, tout cela, en fonction des conditions initiales que vous devrez saisir.

Le programme

1

Présentation

• Utilisation du programme

- Placez-vous dans le répertoire SATELLIT,
- appuyez sur [VAR] pour afficher les variables du répertoire courant,
- sélectionnez l'option DEPART du menu,
- saisissez la masse de la planète (en kq),
- saisissez la masse du satellite (en kg),
- saisissez les différentes conditions initiales : r_0 (en m), v_0 (en $m.s^{-1}$) et $\alpha(\overrightarrow{r_0}, \overrightarrow{v_0})$ (en fonction de l'unité choisie, en général, utilisez les degrés),
 - la trajectoire est représentée sur l'écran graphique,
 - appuyez sur [ON] pour revenir à l'affichage de la pile :
- sur la première ligne se trouve le nom de la courbe qui vient d'être tracée,
- les options du menu présentent différents points particuliers de la courbe qui vient d'être représentée, il vous suffira de sélectionner l'une des options du menu pour afficher le résultat correspondant :
 - 'p': paramètre de la courbe,
 - 'e' : excentricité (variable 'ee' puisque 'e' est réser-

vée à l'exponentielle)

- 'θο' : angle formé par l'axe focal et l'origine,
- 'a' : demi grand axe,
- 'b' : demi petit axe,
- 'c' : distance focale,
- 'RA' : rayon de l'apogée,
- 'RP' : rayon du périgée
- 'S': surface (dans le cas d'une ellipse),
- 'T' : période de rotation (dans le cas d'une ellipse),
- 'σ': moment cinétique massique,
- 'E': énergie du satellite,
- 'm': masse du satellite.

Les données sont à saisir en utilisant les unités du système international.

Principe

Le programme calcule e, p, θ_0 et les autres coefficients puis trace la courbe correspondante.

• Les objets du répertoire SATELLIT

- 'DEPART': exécute le programme principal,
- 'ENTR': demande la saisie des conditions initiales $(r_0, v_0 \text{ et } \theta)$,
- 'COEF': calcule les différents coefficients,
- 'MKEQ': construit l'équation utilisée par DRAW,
- 'VALEURS' : affiche un menu où figurent les coefficients calculés,
- 'EQ': équation utilisée par DRAW,
- 'θ': paramètre polaire pour le tracé en cours,
- 'r0', 'v0', 'σ', 'p', 'ee', 'θ0', 'E', 'm', 'k', 'a', 'b', 'c', 'T', 'S', 'RA' et 'RP' : coefficients calculés par 'COEF',
 - 'G': constante universelle de la gravitation,
 - 'PPAR' : paramètres de la fenêtre d'affichage graphique.

• Exemples

On étudie la trajectoire d'un objet de masse $m=1\ kg$ lancé depuis la surface de la terre (la trajectoire forme un angle de 90° avec la tangente à la surface de la Terre) à différentes vitesses :

- 5000 m.s⁻¹,
- 11183 m.s-1,
- 7908 m.s-1,
- 25000 m.s-1.

On donne:

- masse de la Terre : 6.10²⁴ kg,
- rayon de la Terre : 6400 km.

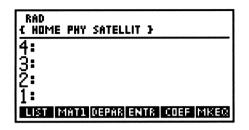
Exploitons notre programme:

- placez-vous dans le répertoire SATELLIT,
- évaluez l'objet DEPART de ce répertoire,
- saisissez la masse de la planète : 6E24,
- saisissez la masse du satellite : 1,
- saisissez la position initiale : 6400E3,
- saisissez la vitesse initiale : 7908,
- saisissez l'angle de départ : 90.

Le rayon de la Terre étant 6400.103 m, il convient de représenter les axes du repère sur les intervalles suivants :

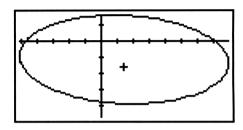
- les abscisses sont représentées sur l'intervalle [-15.106,15.106],
- les abscisses sont représentées sur l'intervalle [-15.106,15.106].

Votre HP-48 dispose d'une fonction SCALE ou AUTOSCALE pour déterminer l'intervalle de représentation de l'axe des ordonnées, vous pourrez exploiter cette fonction puis sélectionner l'option DRAW de l'application PLOT.









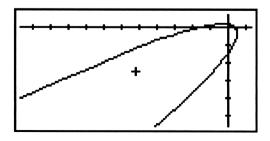
Avec les HP-48 G et GX, remarquez "l'aide en ligne" lors de la saisie des données dans les champs prévus à cet effet.

Si les paramètres de tracé n'ont pas été modifiés après l'introduction des données relatives à la trajectoire, vous retrouvez le menu principal du programme en appuyant sur [ON]. Si vous avez modifié les paramètre de tracé après l'introduction des paramètre de la trajectoire, il vous faut afficher les variables du répertoire SATELLIT puis sélectionner l'objet VALEUR. Le menu propose alors les différentes données calculées (P, E, θO , A, B, C, RA, RP, S, T, σ et E).

Remarque : lorsque la trajectoire est un cercle, le programme l'interprète comme une ellipse. Un cercle n'étant qu'une ellipse dont le petit axe et le grand axe sont égaux.

Représentons la deuxième trajectoire :

- évaluez l'objet DEPART du répertoire SATELLIT,
- saisissez la masse de la planète : 6E24,
- saisissez la masse du satellite : 1,
- saisissez la position initiale : 6400E3,



saisissez la vitesse initiale : 11184,
saisissez l'angle de départ : 90.

En représentant les axes sur des intervalles plus étendus que ceux utilisés précédemment, on obtient une hyperbole (en fait très proche de la parabole de transition entre ellipse et hyperbole).

Représentons la troisième trajectoire :

- évaluez l'objet DEPART du répertoire SATELLIT,
- saisissez la masse de la planète : 6E24,
- saisissez la masse du satellite : 1,
- saisissez la position initiale : 6400E3,
- saisissez la vitesse initiale : 25000,
- saisissez l'angle de départ : 90.

La calculatrice trace les deux branches d'hyperboles et les asymptotes mais seule l'une des branches est nécessaire pour résoudre le problème.

Attention! Ce programme exige des intervalles très étendus pour la représentation des axes! Il vous faudra parfois "tâtonner" pour trouver les intervalles les plus judicieux...

Il est intéressant de commencer par étudier la trajectoire dans un repère très grand (quelques centaines de milliers de kilomètres ne représentent pas forcément un immense repère dans le cadre de l'étude des satellites!), on utilisera ensuite les zooms offerts par la HP-48, et plus particulièrement, le zoom "box" qui permet de définir un rectangle d'agrandissement "à la carte".

A l'occasion du dernier tracé, pour ne pas répéter à chaque fois toutes les étapes de la saisie des paramètres de la trajectoire lorsque seul l'un d'eux est modifié, il est préférable de :

- placer la nouvelle valeur dans la pile (par exemple, 5000),
- placer le nom de la variable dans la pile en appuyant sur ['] puis en sélectionnant l'option du menu correspondant à la variable (par exemple, 'V0'),
 - appuyer sur [STO].

La dernière trajectoire correspond à une ellipse. Notez que l'ellipse est tracée entièrement même si l'objet retombe finalement sur la planète. Le programme s'exécuterait bien trop lentement s'il devait vérifier pour chaque point de la trajectoire que l'objet ne retombe pas sur Terre.

L'angle à introduire doit être exprimé à l'aide de l'unité de mesure d'angle courante. Pour définir celle-ci (ou vérifier la nature de celle-ci si la mémoire vous fait défaut...), utilisez MODES accessibles par [←] [CST] quelle que soit votre modèle de HP-48.

Les listings

1

Version HP-48 S et SX

• 'DEPART' (#1259h)

« ENTR COEF MKEQ POLAR 'θ' INDEP ERASE DRAX DRAW GRAPH VALEURS >>

• 'ENTR' (#5E5F)

"Masse de la planète ?" { ":M:" V } INPUT OBJ→ G * 'k' STO "Masse du satellite ?" { ":m:" V } INPUT OBJ→ 'm' STO "Position initiale ?" { ":r0:" V } INPUT OBJ→ 'r0' STO "Vitesse initiale ?" { ":v0:" V } INPUT OBJ→ 'v0' STO "Angle de départ ?" { ":α:" V } INPUT $obj \rightarrow '\alpha'$ sto **>>**

• 'COEF' (#ECB9)

 \ll r0 v0 * α sin * 'G' STO G SQ k / 'p' STO m v0 SQ 2 /

```
k r0 / - * 'E' STO
           \mathbf{p} \ \sigma \ / \ \mathbf{v0} \ * \ \alpha \ \mathbf{cos} \ \alpha
           SIN R \rightarrow C * (0,-1) *
           1 - DUP ARG \theta
           STO ABS 'ee' STO p
           1 ee SQ - ABS DUP2
           * 'a' STO √ * 'b'
           STO a e * 'c' STO \pi
           a * b * 'S' STO σ 2
           / S / 'T' STO p 1
           ee + / 'RP' STO p 1
           ee - / 'RA' STO
• 'MKEQ' (#BCA9)
                « p 1 ee '\theta' \theta0
           - COS * + / STEQ
• 'VALEURS' (#6F61)
                   CASE ee 0 ==
                     THEN
           "Cercle"
                     END ee 1 <
                     THEN
           "Ellipse"
                     END ee 1 ==
                     THEN
           "Parabole"
                     END
           "Hyperbole"
                   END 1 DISP ""
           2 DISP
           1 FREEZE { p
           { "e" ee }
           \theta0 a b c
           RA RP }
                   IF ee 1 <
                   THEN { S T }
                   END \{ \sigma E \} +
           TMENU
                >>
```

• 'EQ'

'4.5000000001/(1+5.7008771255* $\cos(\theta+52.1250163489)$)'

• 'r0'

0

• 'v0'

0

• 'α'

0

• 'p'

0

• 'ee'

0

• '00'

0

• 'θ'

0

'σ'

0

• 'E'

0

• 'm'

0

• 'k'

```
0
• 'G'
             6.67E-11
• 'a'
              0
• 'b'
             0
• 'c'
              0
• 'S'
              0
• 'T'
              0
• 'RA'
              0
• 'RP'
              0
• 'PPAR'
              { (-6.5,-3.1) (6.5,3.2) \theta 0 (0,0) POLAR Y }
```

Version HP-48 G et GX

Remarque : les variables sont ici présentées sous leurs formes initialisées, le programme se charge de gérer leurs contenus durant l'exécution.

• 'DEPART'

« ENTR COEF MKEO POLAR 'θ' INDEP ERASE DRAX DRAW PICTURE VALEURS

>>

• 'ENTR'

"Coefficients" { { "M" "Masse de la planète" 0 } { "m" "Masse du satellite" 0 } { "r0" "Position initiale" 0 } { "v0" "Vitesse initiale" 0 } { "α" "Angle de départ" 0 0 0 } DUP INFORM IF NOT THEN KILL END LIST-> DROP 'a' STO 'v0' STO 'r0' STO 'm' STO G * 'k' STO

• 'COEF'

 \ll r0 v0 * α sin * 'o' sto o sq k / 'p' STO m v0 SQ 2 / k r0 / - * 'E' STO **p** σ / **v0** * α cos α $SIN R \rightarrow C * (0,-1) *$ 1 - DUP ARG 'θ0' STO ABS 'ee' STO p 1 ee SQ - ABS DUP2 * 'a' STO √ * 'b' STO a e * 'c' STO π

```
a * b * 'S' STO 0 2
          / S / 'T' STO p 1
          ee + / 'RP' STO p 1
          ee - / 'RA' STO
• 'MKEQ'
              « p 1 ee '\theta' \theta0
          - COS * + / STEQ
• 'VALEURS'
                 CASE ee 0 ==
                   THEN
          "Cercle"
                   END ee 1 <
                   THEN
          "Ellipse"
                   END ee 1 ==
                   THEN
          "Parabole"
                   END
          "Hyperbole"
                 END
          1 DISP ""
          2 DISP
          1 FREEZE
          q }
          { "e" ee } \theta0 a b c
          RA RP }
                 IF ee 1 <
                 THEN { S T }
                 END \{ \sigma E \} +
          TMENU
• 'EQ'
          9.37031484258E20/(1
          +1.87406296852E15*
          COS(θ-60))'
```

• 'r0'

0

• 'v0'

0

• 'α'

0

• 'p'

0

• 'ee'

0

• '00'

0

• '0'

0

'σ'

0

• 'E'

0

• 'm'

0

• 'k'

0

• 'G'

6.67E-11

```
• 'a'
              0
• 'b'
              0
• 'c'
              0
• 'S'
              0
• 'T'
              0
• 'RA'
              0
• 'RP'
              0
• 'PPAR'
            {
(-6.5,-3.1)
             (6.5,3.2) \theta 0 (0,0)
            POLAR Y }
```



Oscillateurs harmoniques

Ce chapitre est consacré à l'étude des oscillateurs mécaniques harmoniques (le mouvement est une fonction circulaire du temps) amortis (une force de frottement intervient) à une seule dimension.

1

Rappels de cours

Nous considérerons deux types d'oscillateurs : les oscillateurs mécaniques et les oscillateurs "électriques" plutôt appelés "circuits oscillants.

• Mécanique

L'équation du mouvement est :

$$d^2x/dt^2 + 2 \times \lambda \times dx/dt + \omega_0^2 x = 0$$

avec λ , coefficient d'amortissement et ω_0 , pulsation.

En cas d'amortissement, lors de la résolution de l'équation différentielle, trois cas peuvent se présenter :

- Δ <0 : mouvement oscillatoire amorti,
- Δ>0 : mouvement apériodique
- Δ=0 : mouvement apériodique critique

• Electricité

L'équation du mouvement est :

$$d^2Y/dt^2 + 2 \times \lambda \times dY/dt + \omega_0^2x = f(t)$$

avec λ , coefficient d'amortissement, ω_0 , pulsation et f(t), terme d'excitation non nul en régime forcé.

En cas d'amortissement, lors de la résolution de l'équation différentielle, trois cas peuvent se présenter :

• Δ<0 : régime pseudo-périodique,

Δ>0 : régime apériodique,

• Δ =0 : régime critique.

2

Le programme

1

Présentation

Ce programme permet de tracer, à partir des coefficients d'une équation différentielle et des conditions initiales, la courbe représentant le régime transitoire ainsi que certaines de ses caractéristiques : l, ω , T, d, A, ϕ . Vous en trouverez des applications aussi bien en mécanique (pendules, etc.) qu'en électricité (circuits oscillants, etc.).

Utilisation du programme

- Placez-vous dans le répertoire OSCIL et affichez les variables de celui-ci en appuyant sur [VAR],
 - sélectionnez l'option 'ENTR' du menu,
- saisissez les coefficients de l'équation différentielle, utilisez les flèches horizontales pour changer de champ et n'utilisez [ENTER] que pour valider tout le contenu de l'écran,

- saisissez les conditions initiales, utilisez les flèches horizontales pour changer de champ et n'utilisez [ENTER] que pour valider tout le contenu de l'écran,
- la courbe est tracée, appuyez sur [ON] pour revenir à la pile, le menu qui vous sera alors proposé présente les différentes variables calculées et disponibles.

```
RAD

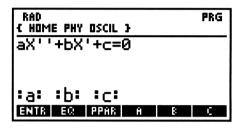
L HOME PHY OSCIL 3

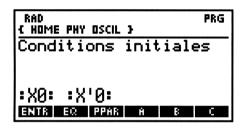
Entrez les coefficients de l'équation différentelle

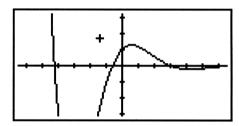
AX''+bX'+c=0

Appuyez sur une touche

ENTR EX PPAR A B C
```







```
Oscillatoire amorti
4:
3:
2:
1:
```

Après le tracé, appuyez sur [ON], sur la première ligne de l'écran, vous pourrez lire le type de régime auquel est soumis l'oscillateur :

- oscillatoire apériodique,
- oscillatoire apériodique critique,
- oscillatoire amorti.

Comme nous allons maintenant le voir, les résultats proposés dépendent du régime oscillatoire.

• Cas du régime oscillatoire amorti

Dans ce cas, on nous propose, entre autres, λ et δ .

• Cas des régimes apériodiques et apériodiques critiques

Vous pourrez obtenir la valeur de la seconde constante "B" mais d'autres constantes (comme la période....) n'existeront pas et n'apparaîtront donc pas sur le menu. Quelques résultats proposés :

- λ : coefficient d'amortissement,
- ω : pseudo-pulsation,
- T : pseudo période,
- d : décrément logarithmique,
- A, B : constante de l'équation,
- φ : phase.

• Principe

Le programme calcule les racines de l'équation caractéristique et, selon le signe du discriminant, donne le type de régime et calcule différents coefficients en fonction des conditions initiales.

Le seul programme du répertoire est 'ENTR'. Il demande l'équation différentielle et les conditions initiales, calcule les coefficients et trace l'équation correspondante.

• Les objets du répertoire

- 'EQ', 'PPAR'... classiques! L'expression algébrique utilisée par PLOT et les paramètres de la fenêtre d'affichage graphique,
- 'a', 'b', 'c', 'x0', 'v0' : données saisies par l'utilisateur (coefficients de l'équation différentielle et conditions initiales),
- ' Δ ', 'r1', 'r2', 'A', 'B', ' ω ', 'PHI', 'T', ' δ ', ' λ ' : résultats calculés par le programme.

• Exemple (oscillateur mécanique)

Soient deux ressorts identiques de raideur k attachés à un solide de masse m qui coulisse sans frottements. On écarte de 15 cm le solide de sa position initiale et on le lâche sans vitesse initiale. Calculer la pulsation propre ainsi que la période propre du mouvement. On donne :

- $k = 0.5 \text{ N/m}^2$
- m=2 kg

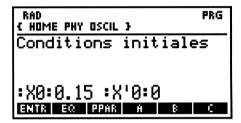
On trouve, en appliquant la relation fondamentale de la mécanique :

$$2 \times d^2X/dt^2 + 1 \times X = 0$$

Utilisons le programme :

- Placez-vous dans le répertoire OSCIL et affichez les variables de celui-ci en appuyant sur [VAR],
 - sélectionnez l'option 'ENTR' du menu.
- saisissez les coefficients de l'équation différentielle, utilisez [ENTER] pour valider tout le contenu de l'écran (ici, a=2, b=0 et c=1),
- saisissez les conditions initiales, , utilisez [ENTER] pour valider tout le contenu de l'écran (ici, $x_0=0,15$ et $x_0'=0$),
- sans attendre la fin du tracé, appuyez sur [ON]. Sur la première ligne de l'écran, vous pouvez lire "Oscillatoire amorti". En fait, il n'y a pas de terme d'amortissement dans cette équation différentielle mais de toutes façons, on ne peut considérer un mouvement perpétuel non amorti.





```
RAD
4 HOME PHY OSCIL 3
4:
3:
2:
1: '2*π/.707106781188'
```

Vous pouvez maintenant vous servir du menu du programme :

- sélectionnez l'option 'T' du menu pour obtenir la période propre du mouvement, vous obtiendrez ' $2*\pi/.707106781188$ ', évaluez cette expression algébrique à l'aide de \rightarrow NUM accessible par [\leftarrow] [EVAL]. Vous obtenez finalement 8.8857658763... (s),
- de même, en sélectionnant l'option ω du menu, vous afficherez la pulsation propre du mouvement : .707106781188... (rad/s).

• Exemple, d'après oraux Mines et Ponts

On ferme l'interrupteur K à l'instant t=0, le condensateur étant initialement non chargé. Calculer l'intensité i du courant traversant l'inductance au cours du temps et tracez précisément i(t).

On donne: R=1000 W, L=10 mH, C=10-6 et E=5 V.

Utilisant la loi des mailles, on pose :

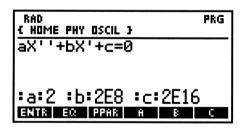
$$(R \times C)^2 \times d^2i/dt^2 + 2 \times RC \times di/dt + 2 \times i = E/R$$

avec i(0)=0 et (di/dt)0=E/L=500.

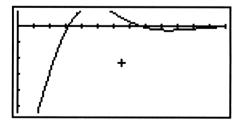
Utilisons le programme :

- utilisez PLOT pour définir les intervalles sur lesquels les axes seront représentés :
 - l'axe des abscisses sur l'intervalle [0, 1.10-7],
 - l'axe des ordonnées sur l'intervalle [-1,7.10-3, 3.10-4],
- placez-vous dans le répertoire OSCIL et affichez les variables de celui-ci en appuyant sur [VAR],
 - sélectionnez l'option 'ENTR' du menu,
- saisissez les coefficients de l'équation différentielle, utilisez [ENTER] pour valider tout le contenu de l'écran (ici, a=2, b=2.108 et c=2.1016),
- saisissez les conditions initiales, utilisez [ENTER] pour valider tout le contenu de l'écran (ici, x_0 =-0,0025 et x'_0 =500),
- observez la courbe puis appuyez sur [ON] pour afficher les paramètres qui vous intéressent.

Bien entendu utilisez la touche [EEX] pour saisir un facteur 10 élevé à une puissance donnée.



{ HOME PHY OSCIL }	RG
Conditions initiales	
:X0:-0.0025 :X'0:500	<u>+</u>



La courbe de i(t) s'obtient en s'éloignant de l'axe des ordonnées de E/2R.

Remarque : pour ne pas trop tâtonner avant de trouver une fenêtre d'affichage graphique satisfaisante, il convient de s'aider des paramètres 'A' (et 'B' dans le cas d'un régime critique), vous obtiendrez ainsi les asymptotes.

Les listings

11

Version HP-48 S et SX

• 'ENTR' (#E6EA)

```
"Entrez les coeffi-
cients de l'équation
différentelle
aX''+bX'+c=0
Appuyez sur une touche"
3 DISP 0 WAIT DROP
"aX''+bX'+c=0" {
":a: :b: :c:" V 4 }
INPUT OBJ - 'c' STO
'b' STO 'a' STO
"Conditions initiales"
{ ":X0: :X'0: " V 5
} INPUT OBJ→ 'v0'
STO 'x0' STO b SQ 4
a * c * - '\D' STO
ERASE DRAX 'T'
INDEP
      CASE \Delta 0 ==
        THEN b NEG
2 a * / 'r1' STO v0
r1 x0 * - 'A' STO
x0 'B' STO '(A*T+B)
*EXP(r1*T)' STEQ
DRAW GRAPH
"Apériodique critique"
1 DISP ** 2 DISP 1
FREEZE { r1 A B }
TMENU
```

END Δ 0 >

• 'EQ'

• 'a'

```
THEN b NEG
          \Delta \sqrt{-2 a * / !r1!}
           STO b NEG \Delta \sqrt{+2} a
           * / 'r2' STO r2 x0
           * v0 - r2 r1 - /
           'A' STO v0 r1 x0 *
           - r2 r1 - / 'B' STO
           'A*EXP(r1*T)+B*EXP(
           r2*T)' STEQ DRAW
           GRAPH "Apériodique"
           1 DISP "" 2 DISP 1
           FREEZE { r1 r2 A B
           } TMENU
                    END b NEG 2
           a * / '\Delta' STO \Delta NEG
           \sqrt{2 a * / \omega'} STO 2
           \pi * \omega / 'T' STO \lambda
           NEG T * '\Delta' STO x0
           i \lambda x0 * v0 - * \omega /
           + DUP ARG 'PHI' STO
           ABS 'A' STO 'A*EXP(
           \lambda*T)*COS(\omega*T+PHI)'
           STEQ DRAW GRAPH
           "Oscillatoire amorti"
           1 DISP "" 2 DISP 1
           FREEZE { \lambda \omega T \Delta A
           PHI } TMENU
                  END
            'A*EXP(r1*T)+B
           *EXP(r2*T)'
• 'PPAR'
            {
           (-6.5, -3.1)
           (6.5,3.2) T 0 (0,0)
           FUNCTION Y }
```

• 'b'

0

• 'c'

0

• 'δ'

0

• 'r1'

0

• 'r2'

0

• 'x0'

0

• 'v0'

0

• 'A'

0

• 'B'

0

• 'w'

0

• 'PHI'

0

• 'T'

0

'δ'

0

'λ'

0

2

Version HP-48 G et GX

• 'ENTR'

"Entrez les coefficients de l'équation différentelle aX''+bX'+c=0Appuyez sur une touche" 3 DISP 0 WAIT DROP "aX''+bX'+c=0" { ":a: :b: :c:" V 4 } INPUT OBJ→ 'c' STO 'b' STO 'a' STO "Conditions initiales" { ":X0: :X'0:" V 5 } INPUT OBJ→ 'v0' STO 'x0' STO b SQ 4 a * c * - '∆' STO ERASE DRAX 'T' INDEP CASE Δ 0 == THEN b NEG 2 a * / 'r1' STO v0 r1 x0 * - 'A' STO x0 'B' STO '(A*T+B) *EXP(r1*T)' STEQ DRAW PICTURE "Apériodique critique" 1 DISP "" 2 DISP 1

```
FREEZE { r1 A B }
TMENU
         END \triangle 0 >
         THEN b NEG
\Delta \sqrt{-2 a * / r1'}
STO b NEG \Delta \sqrt{+2} a
* / 'r2' STO r2 x0
* v0 - r2 r1 - /
'A' STO v0 r1 x0 *
- r2 r1 - / 'B' STO
'A*EXP(r1*T)+B*EXP(
r2*T)' STEO DRAW
PICTURE
"Apériodique" 1
DISP "" 2 DISP 1
FREEZE { r1 r2 A B
} TMENU
         END b NEG 2
a * / '\lambda' STO \Delta NEG
\sqrt{2 a * / '\omega'} STO 2
\pi * \omega / 'T' STO \lambda
NEG T * '\Delta' STO x0
i \lambda x0 * v0 - * \omega /
+ DUP ARG 'PHI' STO
ABS 'A' STO 'A*EXP(
\lambda*T)*COS(\omega*T+PHI)'
STEO DRAW PICTURE
"Oscillatoire amorti"
1 DISP "" 2 DISP 1
FREEZE { \lambda \omega T \Delta A
PHI }
 TMENU
      END
 'A*EXP(r1*T)+B
*EXP(r2*T) '
(-6.5, -3.1)
(6.5,3.2) T 0 (0,0)
FUNCTION Y }
```

• 'EQ'

• 'PPAR'

• 'a' 0 • 'b' 0 • 'c' 0 'δ' 0 • 'r1' 0 • 'r2' 0 • 'x0' 0 • 'v0' 0 • 'A' 0

• 'Β'

0
• 'ω'

0
• 'PHI'

0

• 'T'

0

'δ'

0

'λ'

0



Circuits électriques

Ce chapitre est consacré à l'étude des courants continus ou sinusoïdaux (régime permanent). Les programmes utilisés sont ceux du répertoire ELEC.

1

Rappels de cours

- Régime continu
- Un dipôle est un système électrique relié au circuit en deux points. Il est caractérisé par :
 - l'intensité qui le parcourt,
- la tension entre ses deux bornes. Notons que l'orientation est arbitraire dans ces deux cas.
- Lois fondamentales de l'électrocinétique :
- Loi des nœuds, un nœud étant un point d'interconnexion relié à au moins trois dipôles, on a :

$$\Sigma I_{k} = 0$$

 $I_k>0$ si le fil de connexion contenant I_k est orienté vers le nœud et $I_k<0$ dans le cas contraire.

• Loi des mailles, une maille étant l'ensemble des branches de circuit formant une boucle fermée passant une fois au moins par un nœud de mailles. La somme des tensions U_k aux bornes des branches successives d'une maille parcourue dans un sens déterminé est nulle. On a :

$$\sum U_k = 0$$

- Régime sinusoïdal permanent
 - Préliminaires :
 - étude des dipôles linéaires,
- l'application des sources de tension et de courant sinusoïdales engendrent des courants sinusoïdaux après disparition des régimes transitoires, ces courants étant de même pulsation que les sources,
- la fréquence doit être telle que l'on puisse appliquer l'approximation des régimes quasi-stationnaires.
- Représentation complexe : on associe à chaque grandeur sinusoïdale un nombre complexe. Les lois de Kirchoff restent valables.
 - Impédances complexes :

- en série : Z_{eq.} = ΣZ_k
 en parallèle : 1/Z_{eq.} = Σ1/Z_k
- Quadripôles : réseau de quatre bornes caractérisé par une tension d'entrée U_e, une tension de sortie U_s, une intensité d'entrée I_e et une intensité de sortie I_s.
 - Gain de tension (en décibels) :

$$G_{db} = 20 \times log(U_s/u_e)$$

• Gain d'intensité (en décibels) :

$$G_{db} = 20 \times \log(I_s/I_e)$$

Diagrammes de Bode :

Ils représentent G_{db} et φ en fonction de $log(\omega_0)$.

Le programme

1

Présentation

• Deux utilisations possibles du contenu du répertoire 'ELEC'

Vous pouvez utiliser le contenu du répertoire 'ELEC' de deux façons différentes :

- en commençant par évaluer l'objet 'DEPART' du répertoire, vous pourrez dessiner votre circuit puis vous obtiendrez automatiquement dans la pile les tensions entre chaque nœud,
- en commençant par évaluer l'objet 'ENTR', vous dessinerez uniquement votre circuit. Il vous faudra ensuite appeler un autre programme suivant les résultats souhaités.

Dans les deux cas, vous activez la fonction de tracé des circuits:

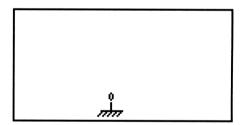
Utilisation du programme

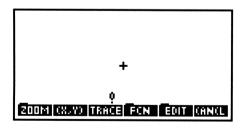
Utilisons le programme en évaluant l'objet 'DEPART' du répertoire 'ELEC' :

- placez-vous dans le répertoire 'ELEC' et affichez ses variables,
- sélectionnez l'option de menu correspondant à l'objet 'DEPART',
- définissez les dimensions de la représentation graphique, l'écran "normal" possède 131×64 pixels, cela dit, vous pouvez saisir des valeurs supérieures (il vous faudra alors faire défiler l'objet pour le visualiser dans son intégralité),
- le circuit est maintenant représenté, sa seule partie toujours visible est la masse, placée en bas de l'écran. Le menu vous propose alors :
- VOIR fait disparaître le menu afin de mieux visualiser le circuit, une pression sur [ON] réaffichera le menu,
 - NOEUD sert à la construction d'un nœud, pour cela :
 - sélectionnez l'option NOEUD du menu,
- à l'aide des flèches de déplacement, placez l'index à l'endroit où vous souhaitez créer un nœud, marquez cette position en appuyant sur [ENTER], appuyez ensuite sur [ON],

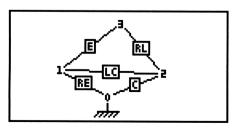
- le numéro 1 qui marque la position du nœud indique qu'il s'agit du premier nœud. Introduisez ensuite tous les nœuds nécessaires,
- BRAN établi une branche de circuit entre deux nœuds préalablement définis, pour cela :
 - sélectionnez l'option BRAN du menu,
- les extrémités d'une branche est marquée par deux nœuds. A l'aide des flèches de déplacement, placez l'index sur le premier nœud, marquez cette position en appuyant sur [ENTER], de même, placez l'index sur le second nœud et marquez sa position en appuyant sur [ENTER], appuyez ensuite sur [ON],
- il va maintenant vous falloir introduire les grandeurs caractérisant le contenu de la branche considérée. On passe d'un champ de saisie à l'autre en utilisant les flèches de déplacement ou en sélectionnant l'option OK du menu (selon le type de votre HP-48), on valide un écran en appuyant sur [ENTER]. Pour chaque branche, saisissez la capacité, l'inductance, la résistance et la f.e.m. des dipôles constituant la branche, une valeur nulle indique que le dipôle n'existe pas (par exemple, une capacité nulle indique que la branche ne comporte pas de condensateur, par suite, si une branche ne comporte pas de générateur, répondez 0 pour e, etc.). Notez que vous pouvez "inverser les pôles" d'un générateur en saisis-













sant une f.e.m. négative. Les générateurs de Norton devront de toutes façons être modélisés à l'aide du modèle de Thévenin,

- le circuit étant terminé, sélectionnez l'option EXIT du menu, deux possibilités sont envisageables :
- vous aviez évalué l'objet 'DEPART' du répertoire. Dans ce cas, l'affichage de la pile entraînera l'affichage des tensions entre chaque nœud (sous forme complexe si le circuit comporte une bobine ou un condensateur),
- vous aviez évalué l'objet 'ENTR' Dans ce cas, vous quittez simplement l'affichage du circuit,
 - ce que vous propose alors le menu :
- SMART fait varier la fréquence des oscillations d'un circuit, validez votre choix par [ENTER],
- DRW permet de tracer l'un des diagrammes de BODE. Après avoir précisé le nœud de sortie du quadripôle, il sélectionnera les deux nœuds de part et d'autre du générateur, puis, pour la sortie, le nœud 0 (masse) et celui que vous avez précisé,
- avant de tracer le diagramme de Bode, vous pouvez choisir de tracer le gain en *décibels*.

• Le principe du programme

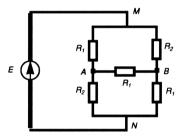
Le programme forme n équations linéaires dont les n inconnues sont les tensions au n nœuds du circuit par rapport à la masse. On construit donc le circuit en indiquant les nœuds et les composants dans les branches reliant ces nœuds. Pour tracer le diagramme de Bode, on donne différentes valeurs à la pulsation ω et on trace le logarithme de la tension à la sortie en fonction de $log(\omega)$.

• Les objets du répertoire 'ELEC'

- 'DEPART' : demande la saisie des éléments nécessaires à la constitution d'un circuit et calcule les tensions aux différents nœuds,
- 'BODE' : demande la saisie des éléments nécessaires à la constitution d'un circuit et trace le diagramme de Bode correspondant,
- 'SMART' : calcule les tension aux nœuds et les présente dans la pile,
- 'DRW' : trace le diagramme de Bode pour le dernier circuit introduit,
 - 'CALC': calcule les tensions au nœuds,
- 'ENTR' : demande la saisie des éléments nécessaires à la constitution d'un circuit,
 - 'CIRCUIT': variable contenant le dernier circuit introduit,
 - 'BODE.EQ' : équation utilisée pour tracer le diagramme de Bode,

- 'PHI.EQ' : équation utilisée pour le tracé du diagramme de Bode relatif à la phase,
 - 'ω': pulsation du circuit,
- 'NS' : contient le numéro du nœud correspondant à la sortie (pour le diagramme de Bode),
 - 'MASSE': dessin de la masse du circuit,
 - 'GR': trace une branche du circuit,
 - 'C0': contient les coordonnées des nœuds,
 - 'X': contient log(ω) lors du tracé,
 - 'EQ': contient 'BODE.EQ' ou 'PHI.EQ' selon le cas,
 - 'PPAR' : contient les paramètres de la fenêtre graphique.

• Premier exemple (d'après Mine de Douai, 1991)



On considère un générateur de tension continue de f.e.m. E et de résistance interne négligeable. On réalise, avec ce générateur, trois résistances R_1 et deux résistances R_2 , le montage ci-dessus.

Déterminez numériquement le courant I_1 qui circule de A vers B.

Données numériques :

$$E = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 3 \Omega$$

Résolution:

On construit tout d'abord un nouveau circuit en lançant 'DEPART'. Le programme demande les dimensions de l'écran : le circuit étant de taille raisonnable on peut se contenter de 100 par 100, appuyez ensuite sur [ENTER].

Ensuite apparaît la masse en bas de l'écran ainsi que les menus. Placez le premier nœud correspondant à M dans l'énoncé (la masse correspondant ici à N); choisissez la touche de menu 'NOEUD', vous vous trouvez alors dans l'environnement GRAPH (Attention le curseur étant au milieu et la

masse tout en bas, celle-ci peut ne pas être visible ; il suffit de descendre pour l'afficher) ; déplacez le curseur à l'endroit souhaité puis appuyez sur [ENTER] puis sur [ON] pour revenir au programme.

Pour placer le générateur, appuyez sur 'BRANCHE'. Vous vous trouvez de nouveau dans GRAPH. Placez le curseur près du 1 de la masse, appuyez sur [ENTER], placez le curseur près du 0, appuyez sur [ENTER] puis sur [ON] pour revenir au programme qui vous demande confirmation.

Appuyez sur «O» ([EVAL]), ou sur «N» ([STO]) selon le cas ; dans ce dernier cas, il faudra alors recommencer l'opération en sélectionnant l'option (BRANCHE). Le programme demande alors les dipôles présents sur la branche. Il faut répondre 0 pour les trois dans le cas de l'exercice, puis appuyez sur [ENTER].

Ensuite, le programme demande la valeur de la f.e.m. du générateur sur la branche, répondez 12 pour l'exercice. Puis le programme revient au menu après avoir dessiné la branche. Ensuite placez le nœud 2 (pour B) et la resistance R2 (mettre 0 pour E).

Placez de même le nœud 3 (pour A) et les resistances R1 et R2 restantes, pour obtenir le circuit. Appuyez alors sur 'EXIT' pour lancer les calculs (mettre 0 pour la fréquence). Vous obtiendrez alors les tensions aux différents nœuds dans la pile :

V1:12 V2:7.2 V3:4.8

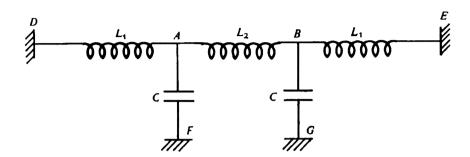
L'intensité traversant AB est donc i = (4,8-7,2)/6 = -0,4 A. Le courant circule donc de B vers A $(V_B > V_A)$ avec une intensité de 0,4 Ampères.

Remarques:

- à tous moments, vous pouvez appuyer sur 'VOIR' pour visualiser l'ensemble du circuit si ses dimensions sont plus grandes que celles de l'écran de la machine (131 par 64),
- dans cet exemple, on a placé les nœuds et immédiatement après les dipôles sur chaque branche. On peut aussi placer tout les nœuds d'abord, puis les branches dans un ordre quelconque.

• Deuxième exemple (d'après polytechnique P' 1976)

Tracer les tensions V_A et V_B , ainsi que les phases φ_A et φ_B en fonction de ω . On prendra par exemple U=5V, $C=5\times10^{-6}F$, $L_1=0.02H$ et $L_2=0.0002H$. On construit tout d'abord le circuit en lançant 'BODE'.



On peut mettre 100 et 60 pour les dimensions de l'écran. On place le premier nœud et sur la branche 1-0 on place un condensateur (5E-6) et un générateur (5).

Puis, pour placer une bobine en dérivation on choisit (à nouveau) la branche 1-0 en plaçant une inductance (0,02). La deuxième branche se superpose à la première mais le programme l'interprète bien comme un dérivation. On fait ensuite de même avec la branche 2-0 en plaçant une première fois un condensateur et une deuxième fois une inductance. Puis on place la branche 1-2. Enfin on lance les calculs en appuyant sur 'EXIT'. On peut par exemple changer l'échelle avec un zoom box pour mieux étudier les deux pics comme avec une équation normale.

On trace ensuite la phase de V_A en passant dans le catalogue d'équation ([Γ] [9]) et en choisissant 'PHI.EQ'. Pour tracer V_B et sa phase, on lance simplement 'DRW' car le circuit est déjà saisi.

2

Les listings

1

Version HP-48 S et SX

'DEPART'

« ENTR SMART

>>

• 'BODE'

« ENTR DRW

• 'SMART' (#B5AC)

"Fréquence des oscillations (0 si courant continu)" $\{V\}$ INPUT OBJ $\rightarrow 2$ * π * ' ω ' STO CALC FOR J "V" J + \rightarrow TAG CIRCUIT 1 GET ROLLD -1 STEP

• 'DRW' (#BB48)

"Noeud de sortie ?" $\{V\}$ INPUT OBJ \rightarrow 'NS' STO 'BODE.EQ' STEQ # 83h # 40h PDIM # 4h RES 0 6 XRNG -5 5 YRNG ERASE DRAX DRAW GRAPH 33 MENU

• 'CALC' (#CE23)

IF ω 0 == THEN .0000000001 'w' STO END CIRCUIT LIST - DUP 1 - SWAP 1 + ROLL DUP DUP2 2 \rightarrow LIST (0,0) CON SWAP 1 \rightarrow LIST (0,0) $con \rightarrow n m e$ « 1 SWAP

START LIST \rightarrow

DROP 4 ROLLD ω *
(0,1) * INV SWAP ω
* (0,1) * + +

IF DUP 0

==

THEN DROP

.0000001

END SWAP

OVER / SWAP INV 4 ROLL 4 ROLL

CASE DUP

0 ==

THEN

END

OVER 0 ==

THEN

SWAP DROP 'M' OVER
DUP 2 ->LIST DUP2
GET 5 ROLL + PUT
'E' SWAP DUP2 GET 4
ROLL + PUT

 $\mathtt{END} \rightarrow \mathtt{j}$

k

« 'M' j

k 2 \rightarrow LIST DUP2 GET

4 PICK - PUT 'M' k

j 2 \rightarrow LIST DUP2 GET

4 PICK - PUT 'M' j

GET 4 PICK + PUT

'M' k DUP 2 →LIST

DUP2 GET 4 ROLL +

PUT 'E' j DUP2 GET

4 PICK + PUT 'E' k DUP2 GET 4 ROLL -

PUT

>>

END

NEXT E M / IF DUP IM

```
ABS .00000001 ≤
                   THEN RE
                   END
• 'ENTR' (#EABA)
              « RCLMENU -22
          SF # 83h # 40h PDIM
          0 130 XRNG 0 63
          YRNG (0,0)
          "Dimensions de l'écran"
          { ":X:
          :Y:" V 4 }
          INPUT OBJ\rightarrow 1 - 63
          MAX SWAP 1 - 130
          MAX SWAP R-C PDIM
          PICT SIZE DUP2
          # 40h - SWAP # 83h
          - SWAP 2 →LIST DUP
          PVIEW 3 ROLLD 15 -
          SWAP 2 / 15 - SWAP
          2 →LIST PICT OVER
          MASSE REPL PX\rightarrowC 7 +
          1 \rightarrowLIST 'C0' STO 0
          \rightarrow m C N
                « { }
          'CIRCUIT' STO {
          "NOEUD" "BRANCHE"
          "" "VOIR" "" "EXIT"
          } TMENU
                   WHILE -1
          WAIT IP DUP 16 #
                   REPEAT
                     CASE DUP
          11 ==
                       THEN
          DROP GRAPH 'CO'
          OVER STO+ PICT SWAP
          'N' INCR 1 →GROB
          REPL C PVIEW
                       END DUP
```

THEN

DROP GRAPH 0 0 MAXR

12 ==

```
MAXR \rightarrow C1 C2 N1 N2
M1 M2
              « 0 N
FOR J CO J 1 + GET
  IF C1 OVER - ABS
DUP M1 ≤
  THEN J 'N1' STO
'M1' STO
  ELSE DROP
  END
  IF C2 - ABS DUP
M2 ≤
  THEN J 'N2' STO
'M2' STO
  ELSE DROP
  END
NEXT "" 4 DISP "" 5
DISP "" 6 DISP "" 7
DISP "Branche " N1
+ "-" + N2 +
" ? (O/N)" + 3 DISP
WHILE 0 WAIT IP {
32 33 } OVER POS
NOT
REPEAT DROP
END
IF 33 ==
THEN N1 N2
"Branche " N1 + "-"
+ N2 + DUP {
":R:
:L:
:C:" V 4 }
INPUT OBJ -> DTAG ROT
DTAG ROT DTAG ROT 4
ROLL " Générateur"
+ { ":E:" V 4 }
INPUT OBJ→ DTAG GR
  IF OVER 0 ==
  THEN SWAP INV
  END 6 →LIST 1
→LIST 'CIRCUIT'
SWAP STO+
END C PVIEW
```

```
END DUP
          14 ==
                       THEN
          DROP { } PVIEW C
          PVIEW
                       END
          DROP 380 .1 BEEP
                     END
                   END DROP m
          MENU N 'CIRCUIT'
          STO+
• 'CIRCUIT'
           {}
• 'BODE.EQ' (#8D4E)
              « X ALOG 'ω'
          STO CALC NS GET ABS
          LOG
• 'PHI.EQ' (#877C)
              « X ALOG
          'ω'
          STO CALC
           NS GET ARG
              >>
'ω'
           0
• 'NS'
           2
• 'MASSE' (#9FBF)
          GROB 16 15
```

F429429429421

```
• 'GR' (#E9C0)
```

```
« 6 →LIST ""
SWAP 3
      DO GETI
         IF 0 ≠
         THEN
"E00RLC" OVER DUP
SUB 4 ROLL SWAP + 3
ROLLD
         END
      UNTIL -64 FS?
      END DROP CO
OVER 1 GET 1 + GET
(1,-2) + C0 3 PICK
2 GET 1 + GET
(1,-2) + DUP2 + 2 /
3 ROLLD DUP2 - SIGN
4 * ROT OVER - 3
ROLLD + LINE PICT 4
ROLL
      IF "" OVER ==
      THEN 3 DROPN
      ELSE 1 →GROB
DUP SIZE 1 + SWAP 1
+ SWAP BLANK { # 1h
# 1h } ROT
REPL DUP
SIZE 2 + SWAP 2 +
SWAP BLANK NEG {
# 1h # 1h } ROT
REPL DUP SIZE B \rightarrow R 2
/ SWAP B\rightarrowR -2 /
SWAP R-C 4 ROLL +
SWAP REPL
      \textbf{END LIST}{\rightarrow}
DROP
```

• 'C0'

{}

• 'X'

• 'EQ'

PHI.EQ

• 'PPAR'

```
{
(0,-3.14159265359)
(6,3.14159265359) X
# 4h (0,0) FUNCTION
Y }
END
```

2

Version HP-48 G et GX

• 'DEPART'

« ENTR SMART

>>

• 'BODE'

« ENTR DRW

>>

'SMART'

"Fréquence des oscillations (0 si courant
continu)"
{ V } INPUT OBJ → 2
* π * 'ω' STO CALC
ARRY → LIST →
FOR J "V" J +
→TAG CIRCUIT 1 GET
ROLLD -1
STEP
»

• 'DRW'

*

"Noeud de sortie ?"
{ V } INPUT OBJ →
'NS' STO 'BODE.EQ'
STEQ # 131d # 64d
PDIM # 4d RES 0 6
XRNG -5 5 YRNG
ERASE DRAX DRAW
PICTURE 33 MENU

>>

'CALC'

≪

IF ω 0 == THEN

.000000001 'w' STO

END CIRCUIT

LIST \rightarrow DUP 1 - SWAP 1 + ROLL DUP DUP2 2 \rightarrow LIST (0,0) CON

SWAP 1 \rightarrow LIST (0,0)

 $con \rightarrow n m e$

« 1 SWAP

START LIST-

DROP 4 ROLLD (0 * (0,1) * INV SWAP (0 * (0,1) * + +

IF DUP 0

==

THEN DROP

.0000001

END SWAP

OVER / SWAP INV 4 ROLL 4 ROLL

CASE DUP

0 ==

THEN

DROP 'M' OVER DUP 2

→LIST DUP2 GET 5

ROLL + PUT 'E' SWAP

DUP2 GET 4 ROLL
PUT

END

```
OVER 0 ==
             THEN
SWAP DROP 'M' OVER
DUP 2 →LIST DUP2
GET 5 ROLL + PUT
'E' SWAP DUP2 GET 4
ROLL + PUT
             END \rightarrow j
k
             « 'M' i
k 2 →LIST DUP2 GET
4 PICK - PUT 'M' k
j 2 \rightarrowLIST DUP2 GET
4 PICK - PUT 'M' j
DUP 2 →LIST DUP2
GET 4 PICK + PUT
'M' k DUP 2 →LIST
DUP2 GET 4 ROLL +
PUT 'E' j DUP2 GET
4 PICK + PUT 'E' k
DUP2 GET 4 ROLL -
PUT
             >>
           END
        NEXT E M /
         IF DUP IM
ABS .00000001 ≤
```

'ENTR'

THEN RE END

```
130 MAX SWAP R→C
PDIM PICT SIZE DUP2
# 64d - SWAP # 131d
- SWAP 2 →LIST DUP
PVIEW 3 ROLLD 15 -
SWAP 2 / 15 - SWAP
2 →LIST PICT OVER
MASSE REPL PX\rightarrowC 7 +
1 →LIST 'CO' STO 0
\rightarrow m C N
      « { }
'CIRCUIT' STO {
"NOEUD" "BRANCHE"
"" "VOIR" "" "EXIT"
} TMENU
        WHILE -1
WAIT IP DUP 16 #
        REPEAT
           CASE DUP
11 ==
DROP PICTURE 'CO'
OVER STO+ PICT SWAP
'N' INCR 1 →GROB
REPL C PVIEW
             END DUP
12 ==
             THEN
DROP PICTURE 0 0
MAXR MAXR \rightarrow C1 C2
N1 N2 M1 M2
               ≪ 0 N
FOR J CO J 1 + GET
  IF C1 OVER - ABS
DUP M1 ≤
  THEN J 'N1' STO
'M1' STO
  ELSE DROP
  END
  IF C2 - ABS DUP
M2 ≤
  THEN J 'N2' STO
'M2' STO
  ELSE DROP
  END
NEXT N1 N2
```

```
"Branche " N1 + "-"
         + N2 + { "R" "" 0
         } { "L" "" 0 } {
         "C" "" 0 } { "E" ""
         0 } } 1 { 0 0 0 0 }
         DUP INFORM
         IF NOT
         THEN DROP2
         ELSE LIST\rightarrow DROP GR
           IF OVER 0 ==
           THEN SWAP INV
         SWAP
           END 6 →LIST 1
         →LIST 'CIRCUIT'
         SWAP STO+
         END C PVIEW
                      END DUP
         14 ==
                      THEN
         DROP { } PVIEW C
         PVIEW
                      END
         DROP 380 .1 BEEP
                    END
                  END DROP m
         MENU N 'CIRCUIT'
         STO+
• 'CIRCUIT'
          { }
• 'BODE.EQ'
             « X ALOG 'ω'
         STO CALC NS GET ABS
         LOG »
• 'PHI.EQ'
             « X ALOG 'ω'
         STO CALC NS GET ARG
```

>>

```
• 'w'
```

6283.18530718

• 'NS'

2

• 'MASSE'

• 'GR'

END DROP CO
OVER 1 GET 1 + GET
(1,-2) + CO 3 PICK
2 GET 1 + GET
(1,-2) + DUP2 + 2 /
3 ROLLD DUP2 - SIGN
4 * ROT OVER - 3
ROLLD + LINE PICT 4
ROLL

IF "" OVER ==
THEN 3 DROPN
ELSE 1 ->GROB
DUP SIZE 1 + SWAP 1
+ SWAP BLANK { # 1d
1d } ROT REPL DUP
SIZE 2 + SWAP 2 +
SWAP BLANK NEG {
1d # 1d } ROT
REPL DUP SIZE B->R 2
/ SWAP B->R -2 /

```
SWAP R-C 4 ROLL +
            SWAP REPL
                    {\color{red}\textbf{END LIST}}{\rightarrow}
            DROP
• 'C0'
             { (57,14)
            (27,31) (92,29)
            (65,60) }
• 'X'
             6
• 'EQ'
             PHI.EQ
• 'PPAR'
             { (0,0)
            (130,63) \times # 4d
            (0,0) FUNCTION Y }
```



Résonance d'un circuit RLC

1

Rappels de cours

En faisant varier la **fréquence de la tension d'entrée** aux bornes d'un circuit RLC série, on étudie l'intensité qui traverse le circuit. On appelle **bande passante**, l'intervalle de fréquences tel que l'intensité soit supérieure à $I_{max}/\sqrt{2}$. Le **facteur de qualité** est une quantité propre au circuit qui traduit sa capacité à filtrer une certaine fréquence.

Soit un circuit RLC série (une résistance, une inductance et un condensateur sont montés en série), la bobine ayant une inductance L et le dipôle RLC ayant une résistance R, l'impédance complexe du dipôle RLC est :

$$\underline{Z} = R + j(L\omega - (1/C\omega))$$

Il vient:

$$\omega_0 = 1/(\sqrt{LC}),$$
 $2.\lambda = R.\sqrt{(C/L)} = RC\omega_0 = R/(L\omega_0)$

et:

$$h = \omega/\omega_0$$

Pour h=1 (c'est-à-dire $\omega=\omega_0$), Z est minimale et vaut R. En notant $\Delta\omega$ la largeur de la bande passante, l'intervalle de pulsations à l'intérieur duquel on a Z < $Z_{min}\sqrt{2}$, on obtient le rapport :

$$\Delta\omega/\omega_0 = 2.r = 1/Q_0$$

On appelle facteur de qualité du circuit RLC série la quantité :

$$Q_0 = 1/2.r = 1/R.C.\omega_0 = L.\omega_0/R$$

2

Le programme

1

Présentation

• Ce que fait le programme

Le programme permet de :

- représente graphiquement l'intensité en fonction de la fréquence,
- calcule les fréquences de coupure,
- calcule la largeur de la bande passante,
- calcule le facteur de qualité.

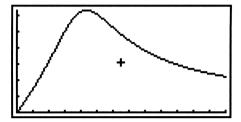
• Utilisation du programme

Pour utiliser le programme :

- placez-vous dans le répertoire 'RESONANC' et affichez ses variables en appuyant sur [VAR],
 - sélectionnez l'option du menu correspondant à l'objet 'ENTR',
- saisissez les valeurs de la résistance, de l'inductance et de la capacité, validez l'écran de saisie par [ENTER],
 - saisissez ensuite la f.e.m. e du générateur et validez par [ENTER],
- le programme trace ensuite $i=\tilde{f}(\omega)$, notez qu'il détermine lui-même les caractéristiques de la fenêtre graphique,
- une fois la courbe tracée, vous pouvez appuyez sur [ON], la pile est alors affichée, le menu présente plusieurs valeurs :
 - ω_0 : pulsation pour laquelle l'intensité est maximale,
 - \bullet $\Delta\omega$: largeur de la bande passante,
 - ω_1 et ω_2 : pulsations limites de la bande passante,
 - **Q** : facteur de qualité ($Q = \omega_0/\Delta\omega$).

```
RAD PRG { HOME PHY RESONANC }

Entrez les coef : R: 
: L: 
: C: PPAR EQ E Q
```



Les objets du répertoire 'RESONANC'

Vous y trouverez les variables suivantes :

- 'ENTR' est le programme principal,
- 'EO' est l'équation utilisée pour le tracé (application PLOT),
- 'PPAR' sont les paramètres de la fenêtre d'affichage,
- 'ω': variable utilisée pour le tracé,
- 'E', 'R', 'L' et 'C' sont les valeurs introduites par l'utilisateur,
- 'Q', 'ω0', 'ω1', 'ω2', 'Δω' sont les résultats calculés.

• Exemple d'utilisation

On construit un circuit comportant les éléments suivants montés en série :

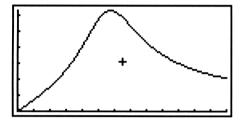
- un générateur basse fréquence (GBF),
- une bobine d'impédance 100 mH et de résistance 200 ohms,
- un condensateur de capacité 10-6 F.

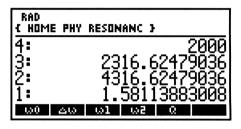
On règle le générateur sur 20 V et on fait varier la fréquence. On mesure la tension aux bornes de la résistance (la tension étant proportionnelle à l'intensité). Introduisez les coefficients demandés par le programme puis celuici trace la courbe (centrée automatiquement). Appuyez sur [ON] pour afficher le menu. En sélectionnant les options correspondantes du menu, on affiche:

- ω_0 : 3162 *U.S.I.*,
- $\Delta \omega$: 2000 *U.S.I.*,
- ω_1 : 2316 *U.S.I.*,
- ω_2 : 4316 U.S.I.,
- Q: 1.581 *U.S.I.*









2

Les listings

Ces listings sont utilisables avec les HP-48 S, SX, G et GX.

'ω'

0

• 'PPAR'

```
{ (0,0)
(13177.9775769,.005)

ω 0 (0,0) FUNCTION

Y }
```

• 'EQ'

$$'E/\sqrt{(SQ(R)+SQ(L*\omega-INV(C*\omega)))'}$$

• 'E'

0

```
• 'Q'
              0
• 'ω1'
              0
• 'ω2'
              0

    'Δω'

              0
• 'w0'
              0
• 'R'
              0
• 'L'
              0
• 'C'
              0
• 'ENTR' (#E92B)
             "Entrez les coef" {
             ":R:
             :L:
             :C:" V 4 }
             INPUT OBJ - 'C' STO
             'L' STO 'R' STO L C
             * \sqrt{\ \text{INV}\ '\omega \text{O'}} sto R
             L / '\Delta\omega' STO R C *
             SQ 4 L * C * + \sqrt{2}
```

/ L / C / $\Delta\omega$ 2 / OVER + ' ω 2' STO $\Delta\omega$

2 / - ' ω 1' STO ω 0 $\Delta\omega$ / 'Q' STO "Tension d'entrée" { ":E:" V } INPUT OBJ \rightarrow 'E' STO 'E/ \sqrt (SQ(R)+SQ(L* ω -INV(C* ω)))' STEQ ' ω ' INDEP 0 ω 0 $\Delta\omega$ 2 * + XRNG 0 E R / YRNG ERASE DRAX DRAW GRAPH { ω 0 $\Delta\omega$ ω 1 ω 2 Q } TMENU



¶ 7 Optique

Le programme présenté sert à la recherche d'une image obtenue à l'aide d'un système optique centré formé de lentilles, dioptres et miroirs.

1

Rappels de cours

Les formules de conjugaison sont les formules qui relient les positions de l'objet p et de l'image p' en fonction des caractéristiques du dispositif utilisé. Par exemple, pour la lentille mince, on a :

$$1/p' - 1/p = 1/f$$

avec f, distance focale.

Pour les dioptres, on a :

$$n'/p' - n/p = (n'-n)/R$$

où R est le rayon du dioptre (positif si le centre est vers la droite, négatif s'il est vers la gauche et infini si le dioptre est plan), n et n' sont les indices des milieux situés respectivement à gauche et à droite (la lumière se propageant de la gauche vers la droite).

On remarquera qu'on peut considérer qu'un miroir est un dioptre à condition de poser n' = -n.

2

Le programme

1

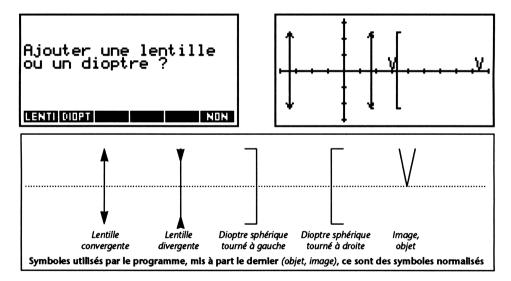
Présentation

• A quoi sert le programme ?

Ce programme permet de trouver la position de l'image produite par tout système optique centré constitué de lentilles, de dioptres et de miroirs.

• Utilisation du programme

Il faut introduire les éléments dans l'ordre dans lequel la lumière les traverse (de gauche à droite, convention utilisée pour la plupart des exercices).



Utilisation du programme :

- placez-vous dans le répertoire 'OPTIQUE' et affichez ses variables en appuyant sur [VAR],
 - évaluez l'objet 'DEPART' de ce répertoire,

- le programme vous propose alors de construire votre système optique, le menu propose les options :
 - LENTI ajoute une lentille, il va vous être demandé :
 - l'abscisse de la lentille,
 - la distance focale de la lentille.
- DIOPT ajoute un dioptre (comme nous l'avons dit, un miroir est assimilable, à certaines conditions, à un dioptre), il va vous être demandé :
 - l'abscisse du dioptre,
 - le rayon du dioptre,
 - l'indice à gauche du dioptre (premier milieu traver-

sé par la lumière),

• l'indice de droite (second milieu traversé par le

lumière),

- NON est l'option de menu à sélectionner lorsque votre système optique est complètement défini, on vous demande alors de saisir l'abscisse de l'objet,
 - le programme représente ensuite le système optique.

Principe

Le programme, après la saisie des caractéristiques des différents dispositifs optiques du système optique, calcule les positions de toutes les images intermédiaires à l'aide des formules de conjugaison puis représente graphiquement les différents élément.

• Les objets du répertoire 'OPTIQUE'

Vous trouverez dans ce répertoire :

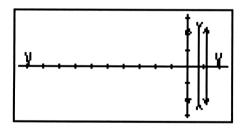
- 'DEPART' lance le programme principal,
- 'ENTR' saisit les éléments constituant le système optique,
- 'CALC' calcule la position de chaque image intermédiaire,
- 'SYSTEME' contient les données relatives à chaque élément,
- 'GR' se charge du dessin,
- 'X0°' est l'abscisse de l'image,
- 'X0' est l'abscisse de l'objet,
- 'X' contient les abscisses des images intermédiaires,
- 'D' est un paramètre de tracé,
- 'PPAR' rassemble paramètres de la fenêtre graphique.

• Premier exemple

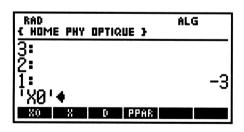
Trouvez l'image d'un objet situé à 7 m, à 3 m et à 1 m de L1 avec les distances focales respectives des lentilles L1, L2 et L3 : 1, -2 et 2. Les distances relatives sont 0,50 et 0,30

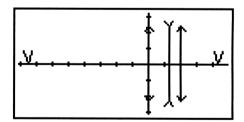
Exploitons notre programme:

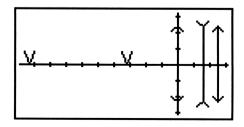
- placez-vous dans le répertoire 'OPTIQUE' et affichez ses variables en appuyant sur [VAR],
 - évaluez l'objet 'DEPART' de ce répertoire,
 - introduisez L1, donc, sélectionnez l'option LENTI du menu,
- introduisez 0 et validez par [ENTER]. Ici, les abscisses des objets sont mesurées à partir de L1
 - la distance focale vous est demandée, introduisez 1 et validez,
 - pour saisir L2, sélectionnez l'option LENTI du menu,
 - introduisez 0.5 et validez (abscisse de L2),
 - introduisez -2 et validez (distance focale de L2),
 - pour saisir L3, sélectionnez l'option LENTI du menu,
 - introduisez 0.8 et validez (abscisse de L3),
 - introduisez 2 et validez (distance focale de L3),
- tous les éléments constituant le système optique ayant été introduits, sélectionnez l'option NON du menu,
 - introduisez -7 et validez (abscisse de l'objet),
 - le système optique est représenté graphiquement,
- appuyez sur [ON], la pile est affichée, au niveau 1 de celle-ci est placée l'abscisse de l'image, ici 1,318... m.



RAD { HOME PHY	OPTIQUE 3
4:	2.01
3:	"Abscisse?"
1:	1.31851851852
OBEMB ENTR	ទមនាម ពេល ចន្ទ ១៣







Pour les deux autres calculs il est inutile de "reconstruire" intégralement le système ; il suffit de placer l'abscisse de l'objet -3 (puis -1) dans la variable 'X0' pour cela :

- introduisez la valeur (ici, -3 ou -1) à affecter à 'X0' dans la pile,
- affichez les variables du répertoire 'PERIODIQ' (appuyez sur [VAR]),

appuyez sur ['],

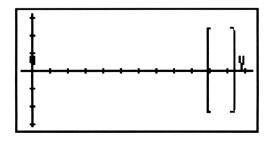
- sélectionnez l'option du menu correspondant à 'X0',
- appuyez sur [STO], la nouvelle valeur est alors affectée à la variable,
- évaluez maintenant l'objet CALC du menu pour relancer les calculs,
- évaluez ensuite l'objet GR du menu pour obtenir la représentation graphique,
- en appuyant sur [ON], vous afficherez la pile, en sélectionnant l'option 'X0°' du menu, vous obtiendrez au niveau 1 de la pile l'abscisse de l'image (1,7189... m et -2,914... m dans le cadre de notre exemple).

• Second exemple : cas du miroir épais

Un miroir épais est un miroir formé d'une bille dont l'un des hémisphère est argenté. Calculez la position d'un objet situé à 10 cm du bord sachant que le diamètre de la bille est 1,5 cm et que l'indice du verre est 1,33.

Plaçons-nous, dans les conditions de l'optique de Gauss, le système est alors constitué d'un dioptre et d'un miroir sphériques. Exploitons notre programme :

- placez-vous dans le répertoire 'OPTIQUE' et affichez ses variables en appuyant sur [VAR],
 - évaluez l'objet 'DEPART' de ce répertoire,
 - sélectionnez l'option DIOPT du menu,
- introduisez 10 (dans le cadre de cet exercice, les longueurs sont exprimées en centimètres) et validez par [ENTER],
 - introduisez 0,75 pour le rayon et validez,
 - introduisez 1 pour l'indice de gauche (indice de l'air) et validez,
 - introduisez 1,33 pour l'indice de droite (indice du verre) et validez,
 - sélectionnez l'option DIOPT du menu (on introduit le miroir),



- introduisez 11,5 et validez par [ENTER],
- introduisez 0,75 pour le rayon et validez,
- introduisez 1,33 pour l'indice de gauche (indice de l'air) et validez,
- introduisez -1,33 pour l'indice de droite (indice du verre) et validez,
- tous les éléments du système optique étant introduits, sélectionnez l'option NON du menu,
 - introduisez 0 et validez par [ENTER] (position de l'objet),
 - on obtient la représentation graphique,
- appuyez sur [ON], au niveau 1 de la pile est affiché 11,944, abscisse de l'image, qui se trouve donc 0,444 cm derrière la bille.

lci, l'objet et l'image sont indiqués par un signe en V car le programme ne peut pas déterminer leur taille réelle.

Remarquez que la variable 'X' contient la liste des abscisses des images intermédiaires.

2

Les listings

Ces listings sont utilisables avec les HP-48 S, SX, G et GX.

• 'DEPART' (#C1F0)

« ENTR
"Abscisse de l'objet"
{ V } INPUT OBJ→
'X0' STO CALC GR
X0°

• 'ENTR' (#FA77)

« RCLMENU { }
'SYSTEME' STO
WHILE CLLCD
"Ajouter une lentille
ou un dioptre ?"
3 DISP { "LENTILLE"

```
"DIOPTRE" "" ""
          "NON" } TMENU
                  WHILE -1
          WAIT IP { 11 12 16
          } OVER POS NOT
                  REPEAT DROP
                  END DUP 16
          ≠
                REPEAT
                   IF 11 ==
                  THEN
          "Abscisse ?" { V }
          INPUT OBJ→
          "Distance focale ?"
          { V } INPUT OBJ \rightarrow 2
                  ELSE
          "Abscisse ?" { V }
          INPUT OBJ→
          "Rayon ?" { V }
          INPUT OBJ→
          "Indice de gauche ?"
          \{V\} INPUT OBJ\rightarrow
          "Indice de droite ?"
          \{V\} INPUT OBJ\rightarrow 4
                  END →LIST 1
          →LIST 'SYSTEME'
          SWAP STO+
                END DROP MENU
• 'SYSTEME'
           { }
• 'CALC' (#B2FC)
              « X0 1 →LIST
          'X' STO SYSTEME 1
                DO GETI
                  IF LIST→ 2
          ==
                  THEN OVER X
          DUP SIZE GET SWAP -
          DUP2 * 3 ROLLD + /
                  ELSE X DUP
```

SIZE GET 5 PICK DUP2 * 5 PICK *
SWAP ROT 4 PICK - *
ROT 4 ROLL * + / +
END 'X'

SWAP STO+

UNTIL -64 FS?

END DROP2 X

DUP SIZE GET 'X0°'

STO

>>

• 'GR' (#69B1)

 $\begin{array}{c} \quad \text{ & ERASE MAXR} \\ \rightarrow \text{NUM DUP NEG} \ \rightarrow \ \text{X1} \\ \text{X2} \end{array}$

 $ext{ iny X0 1} o ext{ iny LIST}$

 $x0^{\circ}$ 1 \rightarrow LIST SYSTEME

LIST \rightarrow 1 SWAP 2 +

START 1 GET

DUP X1 MIN 'X1' STO

X2 MAX 'X2' STO

NEXT X1 X2

DUP2 + 2 / 3 ROLLD SWAP - .55 * DUP2 -

3 ROLLD + XRNG -1 1

YRNG DRAX SYSTEME

 $\mathtt{LIST} \rightarrow \mathtt{1} \mathtt{SWAP}$

START DUP 1

GET DUP -.75 R→C

SWAP .75 R-C DUP2

LINE

IF 3 PICK

SIZE 2 ==

THEN ROT

2 GET

IF 0 <

SWAP

END DUP

(1,-1) D * OVER + LINE (-1,-1) D *

OVER + LINE DUP

(1,1) D * OVER +

LINE (-1,1) D *

```
OVER + LINE
                      ELSE ROT
          2 GET
                        IF 0 >
                        THEN D
                        ELSE D
          NEG
                        END
          SWAP DUP2 + LINE
          OVER + LINE
                      END
                   NEXT X0 0
          R\rightarrow C X0 .25 R\rightarrow C DUP2
          D + LINE D NEG +
          LINE X0° 0 R-C X0°
          .25 R→C DUP2 D +
          LINE D NEG + LINE {
          } PVIEW
               >>
• 'X0°1
           0
• 'X0'
           8
• 'X'
            {
             }
• 'D'
            .1
• 'PPAR'
           (-164.475, -1)
           (10.975,1) X 0
           (0,0) FUNCTION Y }
```

Correspondance

Vous avez une remarque à formuler ? un conseil à donner ?

N'hésitez pas à nous contacter pour nous faire part de votre avis !

Pour écrire aux auteurs :

Loïc Fieux - Arnaud Ramboux - Hubert Canon Collection Calculatrices DUNOD tech 11-15 rue Gossin 92543 Montrouge

La disquette du livre

• Compatibilité de la disquette

La disquette 3,5' jointe est au format PC 720 ko. Elle est directement utilisable sur compatible IBM PC. Si vous utilisez un Apple Macintosh doté du lecteur de disquettes Apple FDHD 1,44 Mo :

- la disquette est directement utilisable si vous disposez du tableau de bord "Echange PC/Mac",
- si vous ne disposez pas de ce tableau de bord, il vous faut copier les fichiers sur votre disque dur en utilisant l'option "traduction par défaut" d'Apple File Exchange (AFE). Ce programme est livré avec tous les Macintosh doté du lecteur de disquettes FDHD.

Les Commodore Amiga et Atari ST munis de lecteurs double face seront aussi capables de lire la disquette. Le protocole Kermit est disponible en freeware pour ces deux familles de machines.

Communication

Connectez le câble série reliant votre HP-48 à votre micro-ordinateur. Lancez l'exécution du programme Kermit. Celui-ci se trouve sur la disquette jointe au kit de connexion à un PC (ref. HP 82208C). Il existe une version freeware de Kermit pour Macintosh (Columbia University).

Si vous disposez d'une HP-48 G/GX, vous pouvez aussi utiliser le protocole *XModem*, mais nous ne décrivons ici que l'utilisation de *Kermit*.

Configuration du PC ou du Macintosh

Sur PC:

- choix du port série : SET PORT 1 (ou autre port de votre choix),
- choix de la vitesse de transfert : SET BAUD 9600,
- choix du type de parité : SET PARITY NONE.

Votre logiciel sur Macintosh permet des réglages équivalents (menu et feêtres *SETTINGS* et *COMMUNICATIONS*). Faites du répertoire où se trouvent les fichiers à transférer le répertoire courant.

Configuration de votre HP-48

A l'aide de l'écran I/O, saisissez les paramètres de transfert suivants :

IR/WIRE: WIRE (transfert par câble),

ASCII/BINARY: ASCII (type de données),

BAUD: 9600 (vitesse de transfert),

PARITY: none (0).

• Répertoires

D'une façon générale, les fichiers sur la disquette correspondent à des répertoires de la HP-48. Il convient de placer les fichiers importés dans un répertoire 'PHY' crée sur votre HP-48.

Contenu de la disquette

Pour des raisons de sécurité, la disquette contient deux répertoires nommés «1» et «2». Ces deux répertoires contiennent les mêmes fichiers. Normalement, vous n'aurez à utiliser que le répertoire «1».

Transfert de fichiers

Sur PC, KERMIT étant en cours d'exécution, faites suivre le nom du fichier de KGET. Utilisez l'option SEND FILE sur Macintosh.

Les livres de votre HP-48!

• pour bien débuter

HP-48: Permis de conduire

Acquérir "l'esprit HP-48" facilement et en quelques instants... C'est possible avec ce nouveau livre permettant au débutant de maîtriser sa HP-48 G/GX très rapidement. Oubliez les épais manuels! En 192 pages, ce livre très illustré (plus de 300 copies d'écrans!) vous présente tous les grands principes pour dompter et exploiter votre HP-48 G/GX.

192 pages, 98 FF

• au lycée

HP-48 pour le bac

Trois livres en un:

- pour le débutant, quelques notions pour exploiter facilement les capacités de base de la HP-48,
- un véritable concentré du cours de maths de Terminale scientifique, chapitre par chapitre, avec toutes les notions nécessaires à une bonne compréhension des problèmes que vous devrez savoir traiter à l'examen,
- un recueil d'annales du bac scientifique, avec de nombreux sujets très récents, accompagnés de leurs solutions rédigées comme vous aurez à le faire à l'examen. Et avec, en plus, tout ce que va vous permettre votre HP-48 pour gagner des points!

256 pages, 125 FF

en prépa

HP-48 en prépa

- 500 pages de solutions rapides et efficaces, mais surtout exactes (fractions rationnelles, développements limités, racines de polynômes, matrices et polynômes symboliques et rationnels), à vos problèmes. Tous les programmes clés pour les concours, prêts à l'emploi...
 - des sujets de concours corrigés "HP-48 en main",
 - initiation à l'assembleur, trucs et astuces, utilitaires...

512 pages, 1 disquette 3'1/2, 175 FF

Vous le trouverez dans... HP-48 en prépa

par M. Cornillault, M. de Courville et E. Lesueur (DUNOD), 512 pages avec disquette.

- **Programmes de base** : viewer, recherche de chaîne, décomposition et recomposition de programme, rappel d'un objet en mémoire, assembleur, désassembleur, gestion de l'aide en ligne, redéfinition du clavier...
- Arithmétique : décomposition en facteurs premiers, PGCD, PPCM, transformation en fraction, transformation de deux nombres en fraction, addition, différence, produit et quotient de deux fractions, réduction au même dénominateur, exponentiation d'une fraction, fraction opposée, recherche du plus grand nombre, carré d'une fraction rationnelle...
- Calculs sur les polynômes : simplification, valuation, valeur, addition, soustraction, produit, division, produit par une constante, puissance, division par puissances croissantes, PGCD de deux polynômes, composée de deux polynômes, translation d'un polynôme, dérivée d'un polynôme, intégration d'un polynôme, conversion des coefficients d'un polynôme...
- Racines : décomposition en diviseurs, racines d'un polynôme...
- Algorithmes : Bezout, Newton, tri par insertion de liste...
- Développements limités (DL) à coefficients algébriques : opposé d'un DL, calcul de développements limités (Taylor), addition, différence, produit, quotient de deux DL, valuation d'un DL, DL de (1+X)^a en zéro, simplification d'un DL, composée de deux DL, exponentiation d'un DL, DL de fonctions (sinus, cosinus, sinus hyperbolique, cosinus hyperbolique, exponentielle, logarithme népérien, arc sinus, arc sinus hyperbolique, arc tangente, arc tangente hyperbolique, tangente, tangente hyperbolique) en zéro ou en un selon le cas...
- Calculs matriciels: trace d'une matrice rationnelle, transformation d'une matrice entière et son dénominateur en une matrice rationnelle, transformation d'une matrice rationnelle en une matricé entière et son dénominateur, addition, différence, multiplication de deux matrices, algorithme de Leverrier, inversion d'une matrice, comatrice, polynôme caractéristique...
- Matrices algébriques: transformation d'une matrice classique en matrice algébrique, transformation d'une matrice algébrique en matrice classique, dimensions d'une matrice, opérations sur les matrices, somme de deux matrices, différence de deux matrices, produit d'un matrice par une constante, produit de deux matrices, trace d'une matrice carrée, transposée d'une matrice...

- Applications des matrices: Jordanisation, *n-ième* ligne d'une matrice, PGCD des éléments d'une matrice, transformation d'une liste de vecteurs en matrice, fabrication d'un famille de vecteurs libres, fabrication d'une matrice d'après une formule générique donnée, algorithme de Gauss, résolution symbolique d'un système quelconque, équations des espaces propres d'une matrice, etc.
- Equations différentielles : résolution graphique des équations différentielles du premier et du deuxième ordre scalaire, etc.
- **Géométrie et trigonométrie** : traceur d'enveloppes de droites, traceur de développée, décomposition de coniques, linéarisation d'une expression trigonométrique...
- Physique : tracé et étude de fonctions de transfert, calcul de l'enthalpie...
- Chimie : calcul du pH d'une solution, calcul de la masse moléculaire d'une molécule donnée...

Mais aussi...

- sujets des concours corrigés avec les programmes du livre,
- Trucs et astuces : remplacement des messages d'erreurs, menus, ports, la commande PKT, programme PEEK, répertoires cachés, la commande WSLOG, fonctionnement du calculateur, version de votre HP-48, etc.
- assembleur : introduction à l'assembleur, visite des registres, les types, les mnémoniques, etc.
- internals : la programmation par internals, liste d'internals par familles, etc.
- extensions : fabrication de bibliothèques, décomposition de bibliothèques, fabrication de matrices, fabrication d'un affichage, compression de données, décompression de données, etc.

Collection

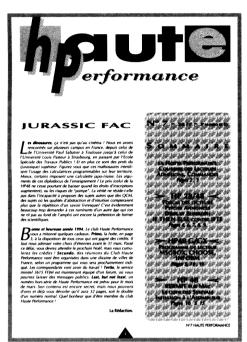
CALCULATRICES EFFICACES

Les grands atouts de la "petite informatique"

- Votre CASIO fx 6800 G
- CASIO fx pour le bac! (jusqu'aux fx 7900 et 9900)
- CASIO fx : programmez votre succès !
- CASIO fx: 300 programmes
- CASIO fx : faites vos jeux !
- CASIO fx: jeux & graphisme
- CASIO fx : maths au lycée
- Programmation efficace sur CASIO fx
- Trucs et astuces pour CASIO fx
- TI 81 : programmez votre succès !
- 300 programmes TI-81
- Jeux et graphisme sur TI-81
- TI 81 : le "top" des ieux !
- TI 82 : permis de conduire
- TI 82 : mathématiques au lycée
- TI 82 : programmes pour le lycée
- TI 82 : le "top" des jeux ! (avec ou sans disquette)
- TI 82/85 pour le bac!
- TI 85 : permis de conduire
- TI 85 par l'exemple
- TI 85 du lycée à la prépa (avec disquette)
- TI 85 : le "top" des jeux ! (avec ou sans disquette)
- HP 48 G/GX : permis de conduire
- HP 48 G/GX pour le bac!
- HP 48 G/GX/S/SX en prépa (avec disquette)
- HP 48 G/GX/S/SX physique-chimie en prépa (avec disquette)
- SHARP EL 9200/9300 : faites vos jeux !
- Finance et gestion sur calculatrices

DUNOD

Haute Performance Le club des utilisateurs de HP 48



Ladhara au Club Hauta Parformanca I

Les utilisateurs des calculatrices les plus performantes du moment disposent aujourd'hui d'un club répondant à leur attente, le club Haute Performance. Pour une adhésion de 75 FF, ils reçoivent cinq numéros (dont un hors série) d'une publication de qualité, à laquelle collaborent les meilleurs spécialistes actuels de cette machine : Jean-Michel Ferrard, Paul Courbis, Robert Pulluard, Christophe Nguyen, etc.

Les membres du club Haute Performance ont de plus droit à un cadeau de bienvenue ainsi qu'à une petite annonce gratuite. Ils peuvent en outre échanger informations et dialogues sur le serveur minitel 3615 HPERF. Ils peuvent enfin recevoir pour 48F une disquette annuelle pleine de programmes à transférer sur leur calculatrice.

3615 HPERF

Le service minitel des utilisateurs de calculateurs de poche HP. Support technique, banque d'informations, téléchargement, BAL

BULLETIN D'ADHÉSION/ABONNEMENT

à adresser à : FFJM, Club Haute Performance, Châteaugaillard, 1 av Foch, 94700 Maisons Alfort

Jaunete au Club Haute l'enormance :		
☐ Année 1 (rétroactivement) : 48 F. Cette adhésion me donne droit aux numéros	3 1 à	4
de Haute Performance.		
☐ Année 2 (rétroactivement): 58 F. Cette adhésion me donne droit aux numéros	s 5 à	8

□ Année en cours : 75 F . Cette adhésion me donne droit aux numéros 9 à 12 de Haute Performance, à un numéro spécial, à une petite annonce gratuite, et à un cadeau.

NOM:	Prénom :	N°FFJM	:
Adresse :	•••••	•••••	••••••
Data at algratus			

Date et signature

de Haute Performance.

VOTRE CALCULATRICE A TROUVE SON MAÎTRE!

- Plus de 12.000 écrans!
- Des milliers de programmes!
- Informations, Scoops...
- Trucs et Astuces
- Messagerie et Contacts
- Petites Annonces
- Echanges, Achats, Ventes
- Micro-Informatique
- HPTM, CasioTM, TITM, SharpTM, etc.



Le CLUB CALCULATRICES

Vous avez des idées, vous trouvez des astuces, vous programmez et vous souhaitez savoir ce que d'autres ont pu découvrir... Alors sachez qu'il existe un club d'utilisateurs de calculatrices graphiques (fx, TI, hp, EL...). Le principe est simple : vous envoyez vos éventuelles découvertes et nous vous faisons parvenir la "Lettre du Club Calculatrices" qui rassemble les trouvailles de nos membres. Envoyez-nous dès aujourd'hui le coupon ci dessous, vous recevrez gratuitement la "Lettre du Club Calculatrices"!

N	Oui, je souhaite recevoir g prends aucun engagement e] je vous envoie des astuces "Lettre du Club Calculatrica Nom:	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	" Lettre du Club Calculatrices ", je ne coupon. grammes afin qu'ils soient publiés dans la us envoie ni programme ni astuce. .Prénom:	Pa, ve.
<u>ح</u>			Pays :	

Complétez le coupon ci-dessus et envoyez-le à : SETORGA • CLUB CALCULATRICES • BP 203-16 • 75765 Paris Cedex 16

CATALOGUES ET "LIVRES MICRO"

Je désire recevoir gratuitement	t :
□ les catalogues DUNOD su	
	□ Photo-Vidéo □ Electronique
☐ la revue "Livres Micro" sui	r les nouveautés en micro-informatique
☐ le(s) catalogue(s) DUNO	
☐ Management, Marketing	Sciences
☐ Economie, Gestion	☐ Sciences humaines
□ Lettres	Enseignement technique
QU'EN	PENSEZ-VOUS ?
davantage à vos besoins, me suggestions sur : <i>HP 48 : ph</i> Ce livre vous donne-t-il toute Avez-vous des commentaires Avez-vous déjà acquis des liv	us proposer des livres répondant toujours erci de nous faire part de vos remarques et vsique-chimie en prépa (042341) e satisfaction ?
•	
Qu'en pensez-vous ?	
Où les avez-vous acquis ? a l	Librairie - Par correspondance Boutique micro - Stage de formation
Votre centre d'intérêt ? a PC	C (ou compatibles) - Macintosh utre
□ Mr □ Mme □ Mlle	Prénom
	Profession
Code Postal LLLL Vil	lle
Merci de renvoyer à :	DUNOD/MICRO
WEICH WE TEHNOYER W.	Courrier des lecteurs
	BP 20
021	22 MONTROUGE Cedex
721.	ZZ WIOTATROOGE CCCCX

HP 48 physique-chimie en prépa





Disquette 3,5"
PC/Mac incluse,
pour charger
directement
les programmes
du livre sur votre
HP 48, à l'aide du
kit de connexion
disponible chez
votre revendeur
Hewlett-Packard.

Les sciences physiques sans stress!

Conçu pour des étudiants en premier cycle universitaire ou en classes préparatoires scientifiques, ce livre présente des outils de base qui pourront, en fait, être utilisés dès le bac et pour traiter des problèmes rencontrés tout au long d'un cursus scientifique. Au programme :

• en chimie:

équilibres chimiques en solution aqueuse, dosages acidobasiques, dosages acidobasiques par conductimétrie, diagrammes de prédominance acidobasique, pouvoir tampon d'une solution, dosage de complexes, dosage de complexes par conductimétrie, piles et couples d'oxydoréduction, cinétique : ordre d'une réaction, tableau périodique des éléments,

• en physique :

- satellites, oscillateurs harmoniques, circuits électriques, résonance d'un circuit RLC, optique.

Sur l'écran de sa HP-48, l'utilisateur pourra construire son circuit électrique ou son système optique!

Les débutants trouveront également au début de cet ouvrage une initiation succincte aux principes de base de la HP-48. Enfin, divers programmes utilitaires sont aussi proposés : viewer, codeur de données, calcul du temps d'exécution d'un programme, équations différentielles, tracés polaires et paramétriques, ces derniers tout particulièrement utiles pour les HP-48 S et SX.



Environnement : Calculateurs Hewlett-Packard HP 48 S, SX, G ou GX

Thème : Programmes de sciences physiques

Utilisateurs : Etudiants

