

Une expérience d'enseignement interdisciplinaire

par Gérard PINSON,

Lycée Technique d'Etat La Martinière-Terreaux
9, rue des Augustins, 69001 Lyon.

Résumé.

Une expérience d'enseignement interdisciplinaire ; un exemple de sujet abordé au cours de ces activités : l'étude du vol migratoire de certains oiseaux (fauvettes) et de leurs aptitudes (supposées) à la navigation aux étoiles ; quelques réflexions sur l'interdisciplinarité dans l'enseignement, à propos notamment de ses justifications pédagogiques et neurologiques ; compte rendu général de l'expérience, effectuée en classe de première et terminale (F₅) de lycée technique.

**

Les mots « pluridisciplinarité ou « interdisciplinarité » apparaissent de plus en plus fréquemment dans les ouvrages ou dans les revues traitant de pédagogie. Citons, par exemple, l'article de C. RUHLA paru dans le « Bulletin de l'Union des Physiciens » sur la symétrie [1]. Une évolution semble en effet se dessiner en faveur d'une démarche (intéressant aussi bien l'enseignement que la recherche) qui consiste à marier des disciplines différentes dans l'étude d'un sujet donné ou même à joindre en une synthèse plus ambitieuse des thèmes et des matières variés.

C'est dans cette direction que nous tentons de nous diriger dans un « cours » que nous expérimentons depuis quatre ans en classe de première et terminale de lycée technique (section F₅). Initialement effectué dans le cadre des « 10 % pédagogiques », les textes [2] concernant les « activités éducatives et culturelles » (P.A.C.T.E.) nous ont permis d'asseoir cette expérimentation sur des bases administratives plus solides.

Les sujets abordés au sein de ces activités sont très divers, comme sont divers les moyens utilisés pour les développer. La fin de cet article fera l'objet d'une présentation plus large de ces activités, et des raisons pédagogiques et neurologiques notamment, qu'il y a à tenter une telle démarche globale.

Afin de favoriser la recherche et l'initiative individuelle au sein d'un travail collectif tout en créant au cours de ces activités une ambiance aussi peu « scolaire » que possible, un des modes de travail adopté (outre les exposés, discussions, etc.) est celui du travail par « thèmes », en petite équipe.

On choisit un centre d'activité, selon les intérêts d'un groupe d'élèves et... les possibilités du professeur! La confection d'un « polycop » d'astronomie, l'étude du cerveau (construction notamment d'un petit détecteur d'ondes cérébrales) ont ainsi été proposés. A titre d'exemple, nous allons exposer ici un travail effectué durant l'année scolaire 1979-1980 par un groupe d'élèves de première, après qu'aient été abordés avec toute la classe certains sujets relevant des sciences naturelles. Il s'agit de l'étude de la migration de certains passereaux (fauvette babillarde) qui, d'après les expériences faites par les ornithologues, naviguent aux étoiles au cours de leur voyage [3].

UN EXEMPLE D'ACTIVITE INTERDISCIPLINAIRE.

Le texte ci-après (*) est la reproduction intégrale du document fourni à toute la classe, propre à lancer quelques débats animés sur l'instinct animal, aboutissant à cette inévitable question : ET NOUS ? Qu'en est-il de l'instinct chez l'espèce humaine ?

A la suite de ce texte, nous résumons quelques données concernant la navigation stellaire (coordonnées spatiales et mesure du temps) (**).

Enfin des éléments de programmation permettent de faire les calculs numériques. A ce sujet, tout le monde a pu constater l'extraordinaire progression des calculatrices électroniques dans nos classes, y compris des calculatrices programmables. C'est un phénomène dont il nous a semblé devoir tenir compte, certains élèves étant d'eux-mêmes passés maîtres dans l'exploitation de leurs machines! Des calculs ont d'autre part été effectués sur les micro-ordinateurs d'un club extra-scolaire fréquenté par quelques-uns d'entre eux. A n'en pas douter, le côté futuriste, quelque peu « merveilleux » de l'informatique « grand public » est à l'origine de l'engouement constaté!

Cette étude a fait l'objet d'un article rédigé par les élèves et destiné à une revue d'astronomie, les « Cahiers Clairaut » [11].

(*) L'écriture particulière de ce texte (importance des renvois, utilisation fréquente d'images notamment) exige à la lecture une certaine « gymnastique mentale » qui invite à faire les rapprochements, les *recoupements multiples* nécessaires à la *visualisation* (et donc à la mémorisation) convenable d'un ensemble d'informations (le mot *visualiser* est pris au sens de « se représenter des éléments d'information en une série d'images cohérentes formant un ensemble intelligible »). Voir à la fin de l'article les hypothèses sous-jacentes à une telle démarche.

(**) Cette étude ayant été effectuée, rappelons-le, en classe de première, l'ensemble des travaux et calculs nécessaires ont été volontairement simplifiés, dans un but pédagogique.

De la rédaction d'un article à l'interrogation philosophique, de l'éthologie à l'astronomie en passant par les mathématiques, l'informatique, la géographie et la cartographie, on constatera dans ce qui suit la grande variété des sujets abordés à l'occasion de cette étude !

UNE HISTOIRE DE FAUVETTE

Une histoire qui va nous emporter dans la haute vallée du Nil après nous avoir fait survoler le fabuleux Proche-Orient des Mille et Une Nuits... Mais cette histoire est celle d'une expérience scientifique (1).

Il y a peu de temps encore, le vol migratoire de certains oiseaux chanteurs était un mystère pour les savants. La fauvette, par exemple, voyage de nuit et, le plus souvent, seule. Comment suivre son vol ? Comment étudier son comportement pendant le voyage ?

Gustav KRAMER (2) commença la série des découvertes, en observant que les oiseaux migrateurs choisissent leur direction dès le départ. Ils ne décollent pas contre le vent, comme un avion. Ils ne s'envolent jamais au petit bonheur et n'effectuent aucun « tour de piste » avant de « prendre la route », comme le font parfois les pigeons voyageurs. Avant même le « décollage » ils visent exactement le but à atteindre. Voilà pourquoi les biologistes n'ont pas à les suivre durant leur vol : ils les observent dans une cage spéciale. L'oiseau sautille sur un perchoir circulaire. Le moment venu, il s'oriente. Ses ailes frémissent : il s'envolerait vers les pays ensoleillés s'il en avait la liberté. Lorsqu'on tourne la cage, il sautille de nouveau, recherche sa direction..., la dépasse, tendu et vibrant comme une aiguille aimantée. Cinq degrés à droite, cinq degrés à gauche : c'est ainsi qu'il contrôle son vol.

C'est en 1956 que l'idée vint à un autre chercheur, le Docteur SAUER, de poursuivre ces expériences en planétarium. Eléonore et Franz SAUER avaient observé que, par ciel couvert, les fauvettes arrêtaient leur vol au moment où certaines étoiles

(1) Ce récit est extrait du livre de Vitus DROSCHER, « Le merveilleux dans le règne animal » (R. Laffont éditeur, et collection « J'ai lu » D 48).

(2) En 1948, KRAMER avait déjà découvert la boussole des étourneaux : ils s'orientent sur le soleil. La même année — est-ce par hasard ? — Karl von FRISCH, Prix Nobel 1973, démontrait que les abeilles utilisent aussi une boussole solaire.

— les plus brillantes — disparaissaient. Les étoiles ne seraient-elles pas les mystérieux guides de ces navigateurs infailibles ? (3)

Franz SAUER montra d'abord à ses fauvettes un ciel étoilé identique à celui qu'on peut voir, au-dessus de Brême, à l'époque de leur migration. Elles crurent voir de véritables étoiles et s'envolèrent sans hésitation vers le Sud-Est, en direction de la Turquie.

C'est donc bien en s'orientant sur les étoiles que les fauvettes voyagent (4).

Mais il y a plus surprenant encore : si les étoiles artificielles restent fixes pendant plusieurs heures, les oiseaux changent de direction en fonction du temps écoulé.

Les fauvettes SAVENT (5) que le 15 novembre à 23 heures, telle étoile se trouve au Sud-Est et qu'ensuite elle se déplace, ce qui les oblige à rectifier l'angle, pour pouvoir continuer au Sud-Est (6).

(3) Naturellement, les expériences menées dans le planétarium d'Olbers à Brême, à partir de cette hypothèse de travail, ont exigé des deux savants un amour peu commun de la recherche : chacun à son tour, ils durent s'allonger, le dos au sol, juste au-dessous de la cage, observer l'oiseau à la faible lueur du dôme d'étoiles artificielles, mesurer et noter le nombre de degrés de déclinaison céleste et accomplir toutes sortes d'autres travaux. On peut supporter ce genre de torture pendant quelques nuits. Eléonore et Franz l'ont enduré pendant plusieurs années. En outre, les fauvettes étaient très en colère chaque fois qu'on les sortait de leur cage habituelle pour se livrer, sur elles, à des expériences nocturnes. Si elles reconnaissaient alors Franz, leur ami, elles se fâchaient et refusaient de picorer dans sa main pendant plusieurs semaines. Même les cadeaux les plus fastueux, grillons ou vers de farine fraîchement pelés, dont ces oiseaux sont particulièrement friands, ne suffisaient pas à rétablir leur amitié. Aussi, le Docteur SAUER devait-il se masquer pendant les expériences !

(4) Conformément à la méthode expérimentale, SAUER écouta tous les sceptiques : les fauvettes ne suivaient-elles pas plutôt le champ magnétique terrestre, comme d'autres oiseaux savent le faire, ou de mystérieux rayons cosmiques ? On plaça la cage hors de tout rayonnement. On fit tourner le ciel artificiel jusqu'à l'inverse du ciel réel. Quelles que soient les conditions imposées, les fauvettes s'envolaient vers le sud-est indiqué par les étoiles qu'elles voyaient.

(5) D'autres animaux — notamment les fourmis — savent également s'orienter ainsi. Et ce mécanisme, pourtant secondaire, est plus perfectionné qu'un sextant et une horloge astronomique réunis.

(6) En plus, les petits astronomes emplumés règlent leur vol tant que quelques étoiles restent visibles, même à travers une couche de nuages. Par ciel entièrement couvert, les fauvettes déconcertées volettent encore un instant, sans but, puis s'arrêtent. En pareil cas, dans la nature, elles se posent au sol.

Comment la fauvette a-t-elle hérité de savoirs aussi surprenants ? Sont-ils innés ou enseignés ? C'est à ce stade de leurs expériences qu'Eléonore et Franz SAUER élevèrent une fauvette babillarde nommée « MULLERCHEN » (7) en l'isolant, dès sa sortie de l'œuf, dans une pièce entièrement close. Arrivée à l'âge, elle n'avait jamais vu d'autres fauvettes. Elle n'avait jamais vu le ciel non plus, que ce soit de jour ou de nuit (8). Lorsque, par une nuit de septembre, elle fut saisie du visible désir de partir, le Docteur SAUER la transporta dans le planétarium et alluma brusquement les étoiles... Elle eut d'abord très peur. Puis, rassurée, se mit à sautiller et s'orienta... vers le Sud-Est (9).

C'est alors que les deux savants décidèrent de faire croire à la fauvette babillarde qu'elle suivait la route migratoire normale et s'avancéait toujours plus loin vers le Sud-Est. Ils firent donc apparaître de nouvelles constellations au Sud de la coupole et disparaître les anciennes au Nord. Ils montrèrent ainsi, après la voûte étoilée de Brême, celle de Prague puis celles de Budapest, de Sofia, de la Turquie Orientale... la fauvette maintenant toujours le cap au Sud-Est. Et puis, brusquement, sous le ciel étoilé de la Méditerranée Orientale, tel qu'on peut le voir des mers qui baignent l'île de Chypre et la « Terre Promise », un fait surprenant se produisit. Tel le bateau mettant le cap sur un nouveau phare, l'oiseau changea de direction et prit plein Sud. Le ciel empêchait Müllerchen de continuer vers le désert d'Arabie où elle serait morte misérablement. Il la conduisit, en toute sécurité,

(7) Müllerchen, en allemand, signifie « petite Müller », et Müller est un nom très répandu dans les pays germaniques. Cela correspondrait en français à « la petite Dubois » ou « la petite Durand ». Müllerchen était une fauvette « babillarde » toute simple. Les expériences de SAUER en ont fait une célébrité scientifique.

(8) De tels êtres élevés dans une totale solitude, isolés de leur environnement culturel normal, sont appelés, par les expérimentateurs, « animaux Kaspar Hauser » du nom de cet enfant, trouvé en 1828, qui avait vécu jusqu'à l'âge de 16 ans dans une chambre fermée et qui ne « savait » pratiquement rien. On élève des animaux « K. H » dans le but d'étudier précisément si leur savoir-faire sont innés (enregistrés dans la structure des gènes) ou acquis pendant l'existence (par enseignement).

(9) Cette connaissance du grand atlas céleste et de la course des étoiles, cette science astronomique, la fauvette en a donc hérité dans l'œuf !... Quoique nous n'ayons qu'une faible idée des moyens mis en œuvre par la nature pour réaliser un tel exploit, on ne voit guère d'autres explications. Il se passe d'ailleurs quelque chose d'analogue dans les profondeurs sous-marines chez une espèce de poissons ou de seiches... mais ce serait une autre histoire.

au-dessus de la vallée du Nil, droit sur les « quartiers d'hiver » choisis par son espèce (10).

Lorsqu'on montra à la fauvette le ciel qu'on peut voir au-dessus de la grande chute du Nil, à l'époque de sa migration, elle se crut arrivée. Alors, son inquiétude de solitaire, exposé aux dangers du voyage, la quitta et elle s'endormit. Le but de son vol migratoire est donc également inscrit dans ce qu'il faut bien appeler sa merveilleuse « mémoire » (11).

L'histoire de « Müllerchen » s'achève, comme prévu, dans la haute vallée du Nil, mais la nature n'est pas à un exploit près. D'autres oiseaux migrateurs sont irrésistiblement poussés vers un but précis (12). Ce fantastique instinct d'orientation est plus puissant que la faim ou le besoin de confort, plus impérieux que les besoins et désirs « personnels » de chaque oiseau... ce qui ne laisse pas d'étonner (13). Il y a vingt ans à peine, celui qui aurait prétendu que les oiseaux migrateurs peuvent s'orienter sur les étoiles aurait passé pour fou. Aujourd'hui nous savons que les jeunes fauvettes ont reçu dans l'œuf, en même temps que la vie,

(10) Et chaque fois qu'elle voyait le ciel de Chypre, Müllerchen se dirigeait immanquablement vers le Sud, même si on lui faisait croire, dans le planétarium, qu'elle avait effectué le trajet en 3 semaines ou... en 3 heures !

(11) Observons que ce petit oiseau, sans instruction, est non seulement capable de maintenir un cap à la boussole en suivant les astres, mais encore de reconnaître sa position, donc de naviguer. Pour réaliser ces prouesses, sans aucun instrument, un navigateur devrait être également mathématicien, géographe et astronome de grand savoir : toute une vie de travail !... et même plusieurs existences d'études et de calculs dont les spécialistes connaissent la complexité et l'aridité !...

(12) Les expériences de SAUER bouleversèrent le monde de l'ornithologie. La navigation stellaire des oiseaux migrateurs a fait fortune depuis. Des cas plus étonnants l'un que l'autre sont signalés sans cesse. Le championnat de l'in vraisemblable était détenu en 1975 par un passereau américain dont les calculs sont conçus pour déjouer les effets aberrants du phénomène dit de « précession des équinoxes », oscillation de l'axe terrestre dont le prolongement imaginaire (axé à l'heure actuelle sur l'étoile nommée précisément « polaire ») n'atteint *exactement* aux mêmes points du ciel qu'une fois tous les 26 000 ans [4].

(13) Les fauvettes des jacobins et les fauvettes des ronces partent d'Europe Occidentale, survolent Gibraltar et l'Ouest de l'Afrique, franchissent l'équateur pour gagner l'Afrique du Sud. Elles trouveraient en Angola, par exemple sur les berges du fleuve Okavango, une « résidence secondaire » idéale. Pourtant, après une courte halte, elles quittent ce paradis pour se plonger dans les touffes d'Elocha, 250 km plus loin, au nord du désert de Kalahari et à la limite du désert de Namib : elles subsistent là, à grand-peine.

un plan qui leur décrit exactement la voie qu'elles doivent nécessairement suivre et le but de leur voyage : la nature y a veillé.

La conclusion de cette histoire est une question. Müllerchen avait hérité à sa naissance du patrimoine des savoirs qui constituent le « génie » de son espèce. Et tous les individus qui la composent en sont dotés.

Pourquoi ?

Et pourquoi pas nous ?

L'homme n'est certainement pas, en effet, un déshérité de la nature. Il est doté d'un cerveau énorme, infiniment plus perfectionné que celui de la fauvette. Certaines de ses performances sont plus « prodigieuses » que celle d'aucun être vivant (14). Pourtant, il semble que l'évolution culturelle, et tout particulièrement au vingtième siècle, soit marquée par le règne de la complexité, complexité des techniques, complexité des rapports humains, et que rien n'y soit facilement intelligible. Pire, alors que les choix que fait Müllerchen quant au chemin à suivre sont justes, biologiquement justes car soumis aux ordres d'un instinct infaillible mais tyrannique, les choix des humains peuvent aussi bien s'avérer fabuleux quand les experts de la N.A.S.A. déposent un engin sur la Lune avec une précision de quelques centaines de mètres que désastreux lorsque les physiciens nucléaires, à peine leurs découvertes étayées, font éclater celles-ci au ciel d'Hiroshima. Est-ce la rançon inévitable du succès foudroyant de notre cerveau, qui nous expose gravement aux dangers de nos erreurs, de nos errements, ou bien devons-nous apprendre nous-mêmes à déchiffrer les cartes de notre voyage, mus par des savoir-faire innés fantastiques, aussi déterminants qu'un instinct animal, mais plus élaborés, plus complexes, plus difficiles à observer car masqués par cet attribut spécifique qui nous différencie de nos ancêtres animaux : la conscience, à qui l'on doit le libre-arbitre ?

(14) Par exemple, les experts de la N.A.S.A. ont acquis des connaissances plus vastes, plus fines et plus précises que les oiseaux migrateurs. Selon les estimations récentes des biologistes, le cerveau humain comprend 12 à 16 milliards de neurones (dont chacun constitue déjà, à lui tout seul, par sa complexité et ses possibilités, une vraie usine), reliés entre eux par quelques cent mille milliards de connexions (le terme scientifique est « synapse »)!... Les neurologues modernes, qui commencent à explorer ce monde, sont ébahis : c'est l'infini ! un infini de possibilités, un *univers intérieur* ! L'un de ces spécialistes compare le cerveau humain à la complexité des étoiles dans le cosmos, c'est tout dire !

NAVIGATION STELLAIRE.

On cherche à représenter le ciel nocturne vu par les oiseaux au cours de leur migration. La position des étoiles dépend de l'heure, de la date, de la longitude et de la latitude du lieu d'observation.

Le plan de travail adopté fut le suivant :

1) reconnaître sur un atlas la route migratoire des oiseaux. La durée du voyage étant un peu supérieure à un mois, on partage le vol en huit étapes de cinq jours (ce qui correspond environ à deux nuits de vol proprement dit, le reste du temps étant consacré à la recherche de nourriture et au repos); plus une étape intermédiaire vers Chypre, où la route migratoire s'infléchit du Sud-Est vers le Sud. On repère la latitude φ et la longitude λ des lieux survolés, ainsi que la date de passage supposée. Le début de la migration a été fixé au 15 septembre à Brême, la fin au 25 octobre aux environs du lac Victoria (Entebbe);

2) choisir les étoiles les plus brillantes du ciel (c'est à ces étoiles, semble-t-il, que les oiseaux s'orientent), au nombre de vingt-deux, dont sept resteront invisibles durant tout le trajet. Prendre leurs coordonnées équatoriales dans des tables d'éphémérides (année 1979) [5]. Calculer leurs coordonnées horizontales afin de représenter le ciel tel que le voient les fauvettes à chacune des étapes choisies. Arbitrairement, l'heure choisie pour chaque carte est 0 h TU ;

3) réaliser un montage sur diapositives représentant les dix configurations stellaires ainsi calculées. Ce montage permet de visualiser très précisément l'évolution du ciel nocturne entrevu durant la migration : on prend ainsi toute la mesure du « génie » extériorisé par le minuscule encéphale de ces oiseaux !

4) en projet : calculs avec un plus grand nombre d'étoiles, Visualisation sur écran de micro-ordinateur.

LES SYSEMES DE COORDONNEES.

1) Coordonnées horizontales (fig. 1).

Ce sont des coordonnées locales. Le plan de référence est celui de l'horizon : il peut être matérialisé par une surface horizontale, celle d'un liquide par exemple. Perpendiculaire à ce plan, la verticale du lieu d'observation. L'axe Nord-Sud et cette

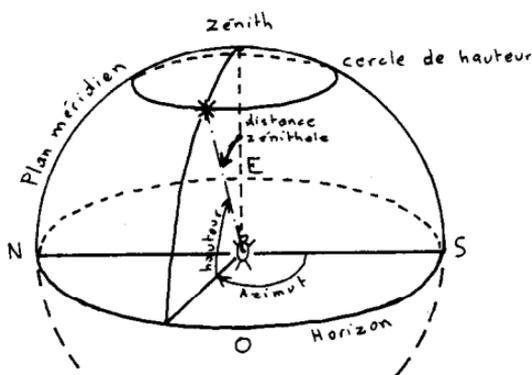


Fig. 1

verticale définissent le plan méridien du lieu. Sur la sphère céleste (*), une étoile est repérée par :

— son azimut AZ (ou site) :

origine au plan méridien,
0-360°,

compté positivement du Sud vers l'Ouest (sens rétrograde);
céleste Sud.

— sa hauteur h :

origine au plan de l'horizon,
0-90° (positivement) vers le Zenith,
0-90° (négativement) vers le Nadir ;

ou :

sa distance zénithale DZ définie par : $DZ = 90^\circ - h$,
donc variable entre 0 et 180°.

Inconvénient de ce système de coordonnées : du fait de la rotation terrestre, les axes ne sont pas fixes dans ce système. DZ et AZ varient au cours du temps. De plus, elles dépendent du lieu d'observation.

Néanmoins, elles repèrent la position d'un astre tel que le voit l'observateur pour un instant et un lieu donnés. C'est donc dans ce système de coordonnées qu'il faut s'exprimer pour représenter le ciel réellement vu par les oiseaux.

(*) Sphère céleste : sphère de centre et de rayon quelconques, dont les points repèrent les directions dans l'espace. La direction du champ de pesanteur (verticale) définit sur cette sphère deux points, le Zenith (vers le haut) et le Nadir (vers le bas). L'axe de rotation terrestre définit le pôle céleste Nord (indiqué par l'étoile polaire) et le pôle céleste Sud.

2) Coordonnées horaires (fig. 2).

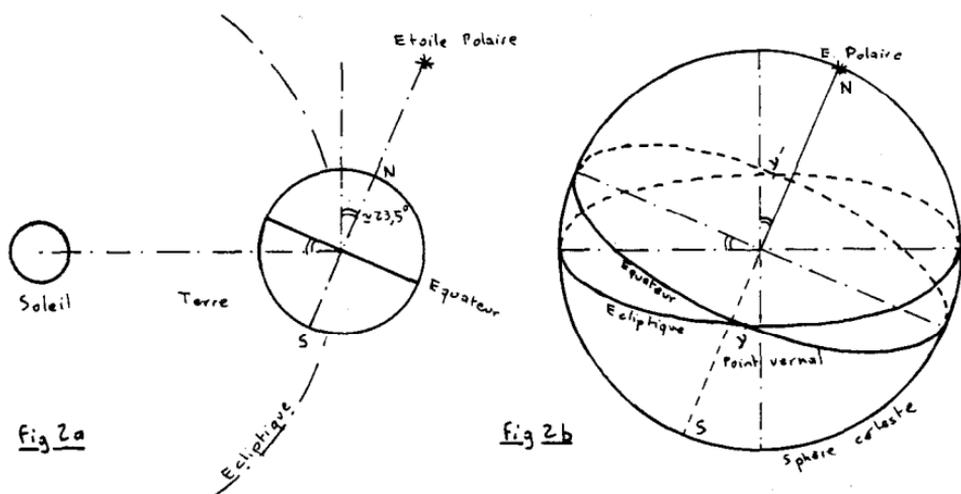


Fig. 2

Ce sont aussi des coordonnées locales. Le plan de référence est le plan de l'équateur céleste (prolongement imaginaire du plan équatorial terrestre sur la sphère céleste). Perpendiculaire à ce plan, une droite dont la direction est donnée par l'étoile Polaire (pôle Nord céleste). Une étoile est repérée par :

- son angle horaire AH :
 - origine au plan méridien,
 - compté dans le sens rétrograde (vers l'Ouest),
 - exprimé en unités de temps (de 0 à 24 h) ;
- sa déclinaison δ :
 - origine au plan de l'équateur céleste,
 - 0-90° (positivement) vers le pôle Nord,
 - 0-90° (négativement) vers le pôle Sud.

Le plan de l'équateur céleste est le même, quel que soit le lieu d'observation : la déclinaison est indépendante de ce lieu. Mais l'angle horaire est à la fois un élément local et variable avec le temps.

3) Coordonnées équatoriales (fig. 3).

Plan de référence : l'équateur céleste. Une étoile est repérée par :

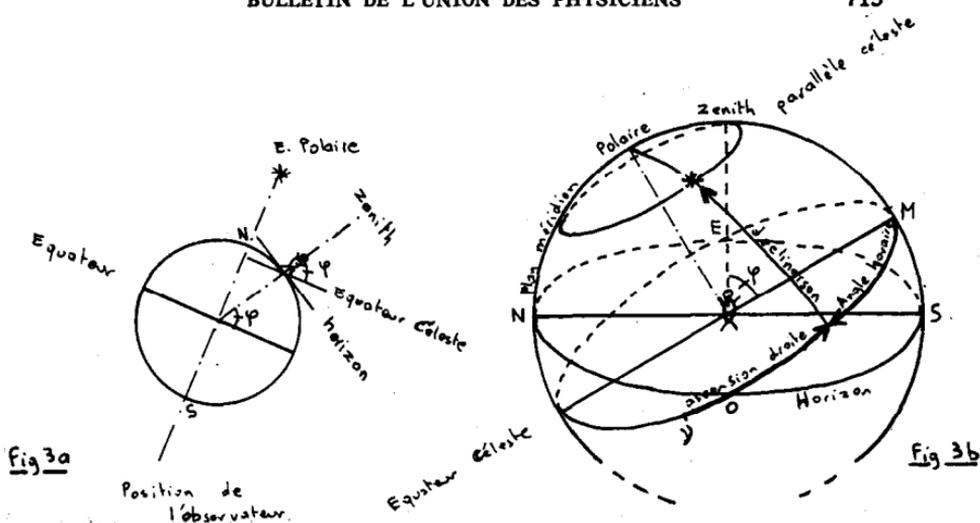


Fig. 3

— son ascension droite α :

origine au point vernal (*),
comptée dans le sens direct (vers l'Est),
de 0 à 24 h ;

— sa déclinaison δ :

définie précédemment.

L'ascension droite est comptée à partir d'une origine (le point vernal) indépendante du lieu d'observation et du temps, au contraire de l'angle horaire compté à partir du plan méridien.

Le passage du système de coordonnées horaires au système de coordonnées équatoriales est immédiat dès qu'on connaît l'angle horaire T du point vernal, qui est aussi l'ascension droite du Zenith. On a la relation :

$$T = AH + \alpha.$$

Cet angle T porte le nom de temps sidéral. C'est un élément local et variable avec le temps.

(*) Point vernal : La direction du plan de l'orbite terrestre, autour du Soleil, définit sur la sphère céleste un grand cercle dit écliptique. Par extension, le même nom est donné au plan de l'orbite terrestre lui-même. L'axe de rotation de la Terre est incliné sur l'écliptique d'un angle qui vaut $23^{\circ}5'$ environ. Le point vernal est le point d'intersection de l'équateur céleste et de l'écliptique que le Soleil franchit en traversant l'équateur céleste du Sud au Nord (sa déclinaison est alors nulle), vers le 21 mars (équinoxe de printemps). Cf. fig. 2.

Les coordonnées équatoriales ne font pas intervenir d'éléments liés au lieu d'observation, et ne connaissent que des modifications à long terme, dues notamment au phénomène de précession des équinoxes (dont on ne tiendra pas compte ici). Ce sont ces coordonnées que l'on utilise pour établir les éphémérides et les cartes célestes.

On passe des coordonnées horaires aux coordonnées horizontales par les relations :

$$DZ = \text{arc cos} (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos AH)$$

$$AZ = \text{arc tg} \left(\frac{\sin AH}{\sin \varphi \cdot \cos AH - \cos \varphi \cdot \text{tg } \delta} \right)$$

4) Définition du temps.

Le temps sidéral est, en quelque sorte, l'heure des étoiles, qui diffère de l'heure de nos montres, fondée sur l'heure solaire moyenne (temps universel TU : origine à Greenwich). A cause de la rotation de la Terre autour du Soleil, le mouvement de ce dernier dans le ciel est plus lent que celui des étoiles : il lui faut 24 h pour repasser au méridien du lieu, alors que les étoiles mettent 23 h 56 mn. Temps solaire et temps sidéral sont identiques le 22 septembre de chaque année ; après quoi, l'heure sidérale prend 3 mn 56 s d'avance par jour.

Soit :

T_0 : temps sidéral de Greenwich à 0 h TU (lue dans l'éphéméride des positions du Soleil),

T_1 : temps sidéral de Greenwich à l'instant t ,

T_t : intervalle de temps sidéral équivalent à t (lu sur une table de conversion de temps moyen en temps sidéral),

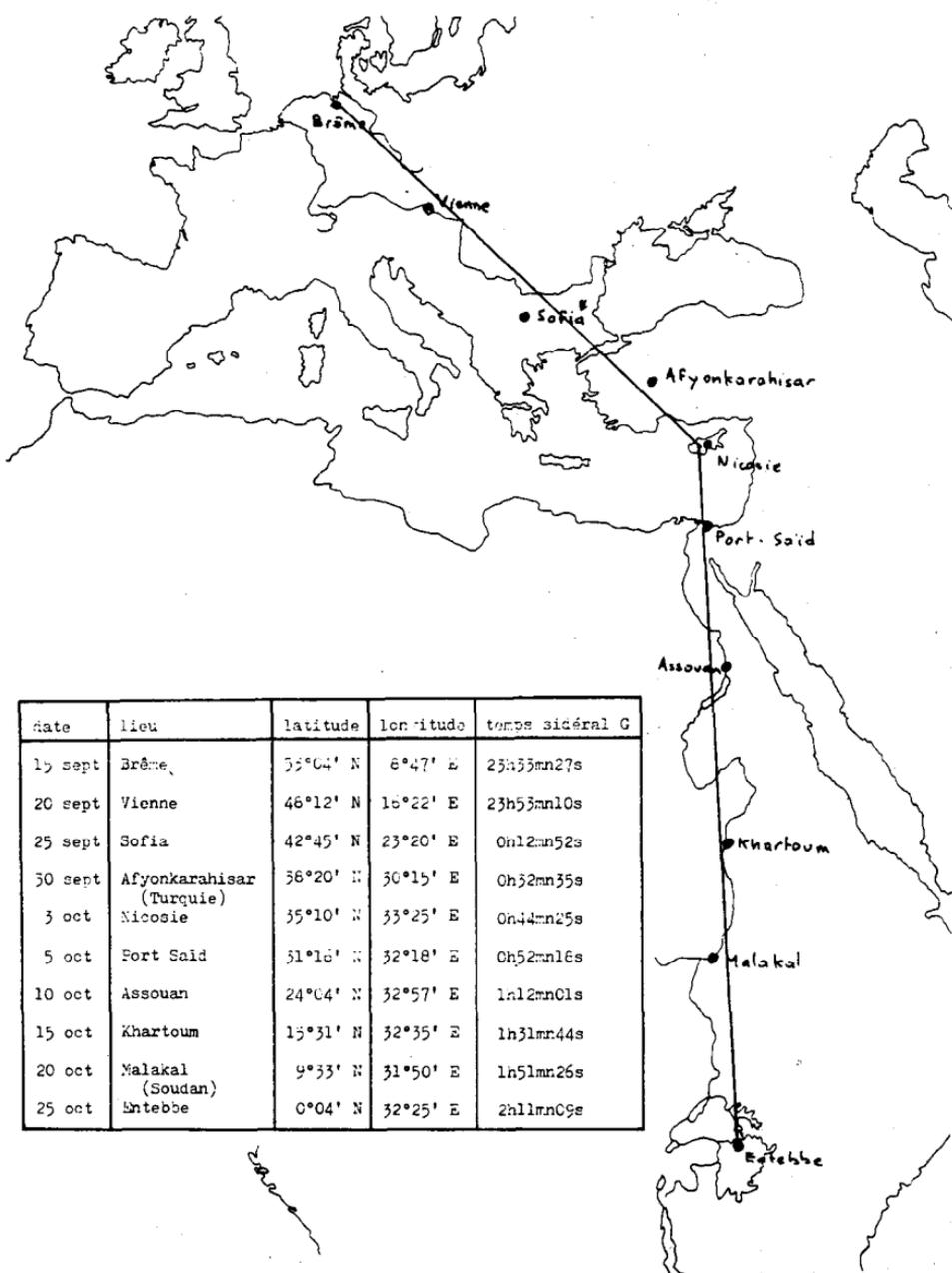
$$\Rightarrow T_1 = T_0 + T_t \text{ (à 24 h près),}$$

TSL : temps sidéral local :

$$TSL = T_1 - \lambda \quad (\lambda \text{ longitude comptée positivement vers l'Ouest}).$$

ETABLISSEMENT DES CARTES.

Le tableau 1 indique les lieux et les dates choisis pour le calcul des cartes. L'heure adoptée pour toutes les cartes est 0 h TU, soit deux heures du matin environ à partir de la Turquie ($\Rightarrow T_t = 0$ partout). Ceci est arbitraire, et des calculs plus complets des variations du ciel nocturne en fonction de l'heure pour un lieu donné sont projetés.



Date	lieu	latitude	longitude	temps sidéral G
1 ^y sept	Brême	55°04' N	8°47' E	23h35mn27s
20 sept	Vienne	46°12' N	16°22' E	23h53mn10s
25 sept	Sofia	42°45' N	23°20' E	0h12mn52s
30 sept	Afyonkarahisar (Turquie)	38°20' N	30°15' E	0h32mn35s
3 oct	Nicosie	35°10' N	33°25' E	0h44mn25s
5 oct	Port Saïd	31°16' N	32°18' E	0h52mn16s
10 oct	Assouan	24°04' N	32°57' E	1h12mn01s
15 oct	Khartoum	15°31' N	32°35' E	1h31mn44s
20 oct	Malakal (Soudan)	9°33' N	31°50' E	1h51mn26s
25 oct	Entebbe	0°04' N	32°25' E	2h11mn09s

Tableau 1

La figure 4 donne un exemple de carte obtenue (ici, Port-Saïd). Ces cartes sont ensuite reportées sur papier blanc avant photographie, le ciel ne présentant évidemment aucun réseau gradué ! La projection adoptée en distance zénithale sur la sphère céleste est une projection conventionnelle la plus simple possible, linéaire.

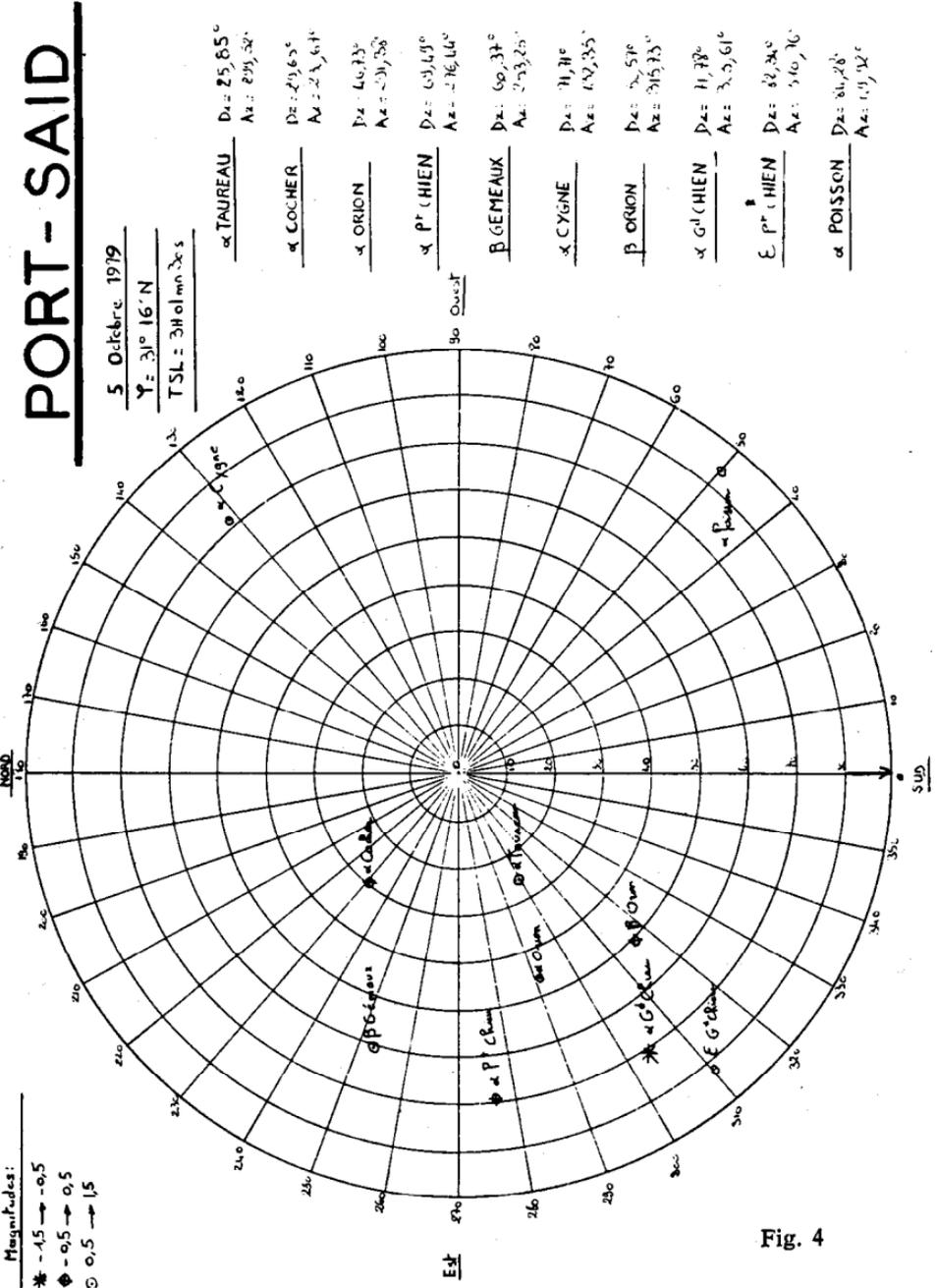


Fig. 4

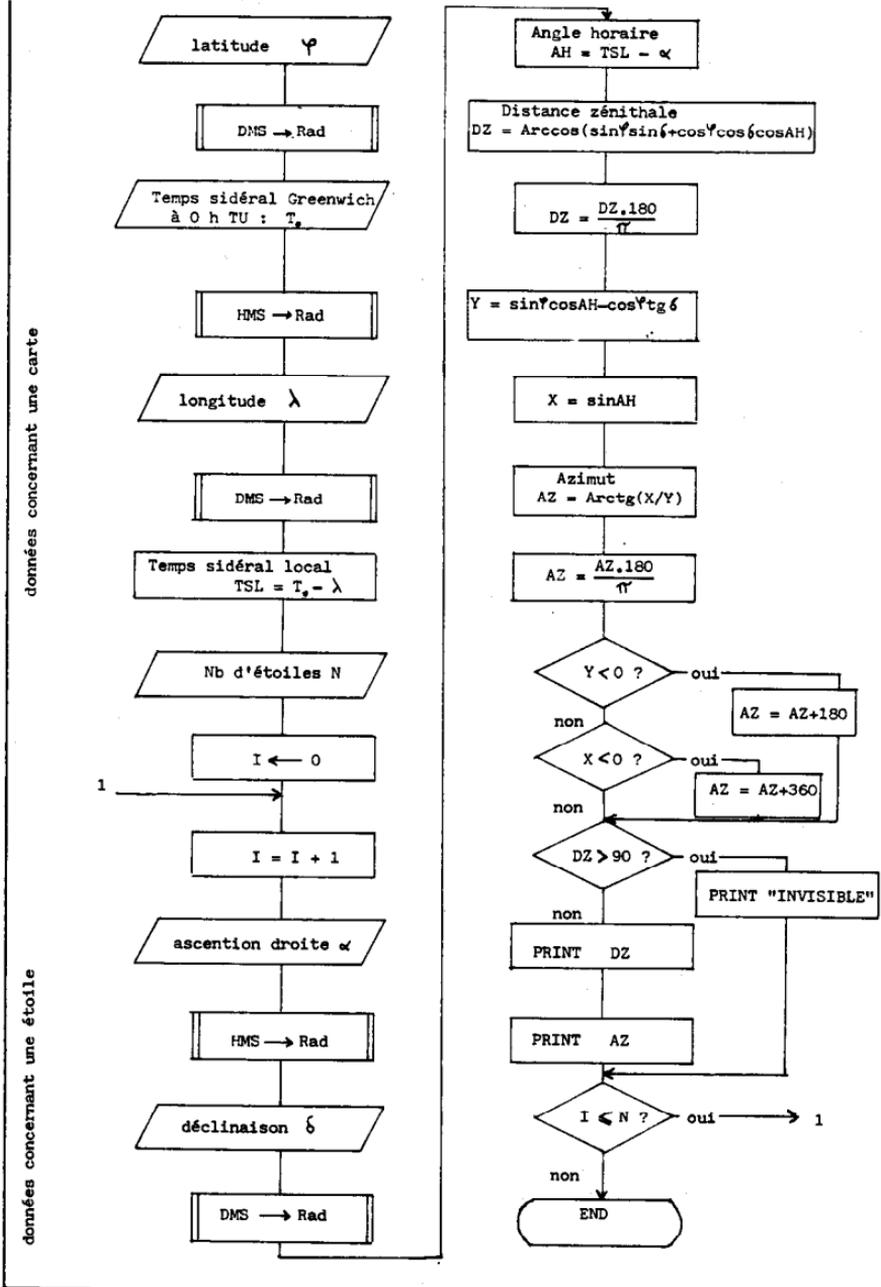


Tableau 2

Le tableau 2 donne l'organigramme de calcul, pour une carte. Le tableau 3 indique un exemple de programme possible, en BASIC. Notons que le grand nombre de calculs nécessaires rend laborieuse l'utilisation de calculatrices programmables, même évoluées, et fait préférer l'emploi d'un micro-ordinateur avec sortie sur imprimante.

```

10 PRINT "C" : PRINT TAB(5) "COORDONNEES HORIZONTALES"
20 PRINT PRINT PRINT
30 INPUT "NOMBRE D'ETOILES" : N
40 DIM STR(N,2) : DIM NAME$(N)
50 PRINT PRINT "NOM, ASCENSION DROITE, DECLINAISON ?"
60 FOR I=1 TO N
70 PRINT PRINT "ETOILE " I : INPUT NAME$(I), STR(I,0), STR(I,1)
80 A=STR(I,2) : J=1 : GOSUB 1000 : STR(I,2)=A
90 A=STR(I,1) : GOSUB 1000 : STR(I,1)=A
100 NEXT I
110 PRINT "C" : PRINT PRINT PRINT INPUT "LATITUDE DU LIEU" : LAT
120 A=LAT : GOSUB 1000 : LAT=A
130 PRINT INPUT "TEMPS SIDERAL LOCAL" : TSL
140 A=TSL : J=1 : GOSUB 1000 : TSL=A
150 FOR I=1 TO N
160 STR(I,0)=TSL-STR(I,0)
170 DZ=SIN(LAT)*SIN(STR(I,1))+COS(LAT)*COS(STR(I,1))*COS(STR(I,0))
175 IF DZ=0 THEN DZ=99 : GOTO 190
180 DZ=ATN(SQR(1-DZ^2)/DZ)*180/PI
190 X=SIN(STR(I,0))
200 Y=SIN(LAT)*COS(STR(I,0))-COS(LAT)*TAN(STR(I,1))
210 AZ=ATN(X/Y)*180/PI
220 IF X<0 THEN AZ=AZ+180 : GOTO 240
230 IF X<0 THEN AZ=AZ+360
240 PRINT PRINT "ETOILE " : NAME$(I)
250 IF DZ>99 OR DZ<0 THEN PRINT "INVISIBLE" : GOTO 270
260 PRINT "AZIMUT" : INT(AZ*10+.5)/10
270 PRINT "DISTANCE ZENITALE" : INT(DZ*10+.5)/10
280 NEXT I
290 PRINT PRINT "UNE AUTRE CARTE?"
295 GET A$ : IF A$="" THEN 295
300 IF A$="O" THEN 110
310 END
1000 MM=INT((A-INT(A))*100)
1010 SS=INT((A-INT(A))*10000)-MM*100
1020 A=INT(A)+(60*MM+SS)/3600
1030 IF J=1 THEN A=A*PI/180 : J=0 : RETURN
1040 A=A*PI/180 : RETURN
READY.

```

Tableau 3

La figure 5 montre les dix cartes obtenues. La figure 6 montre la variation globale de la carte stellaire au cours de la migration.

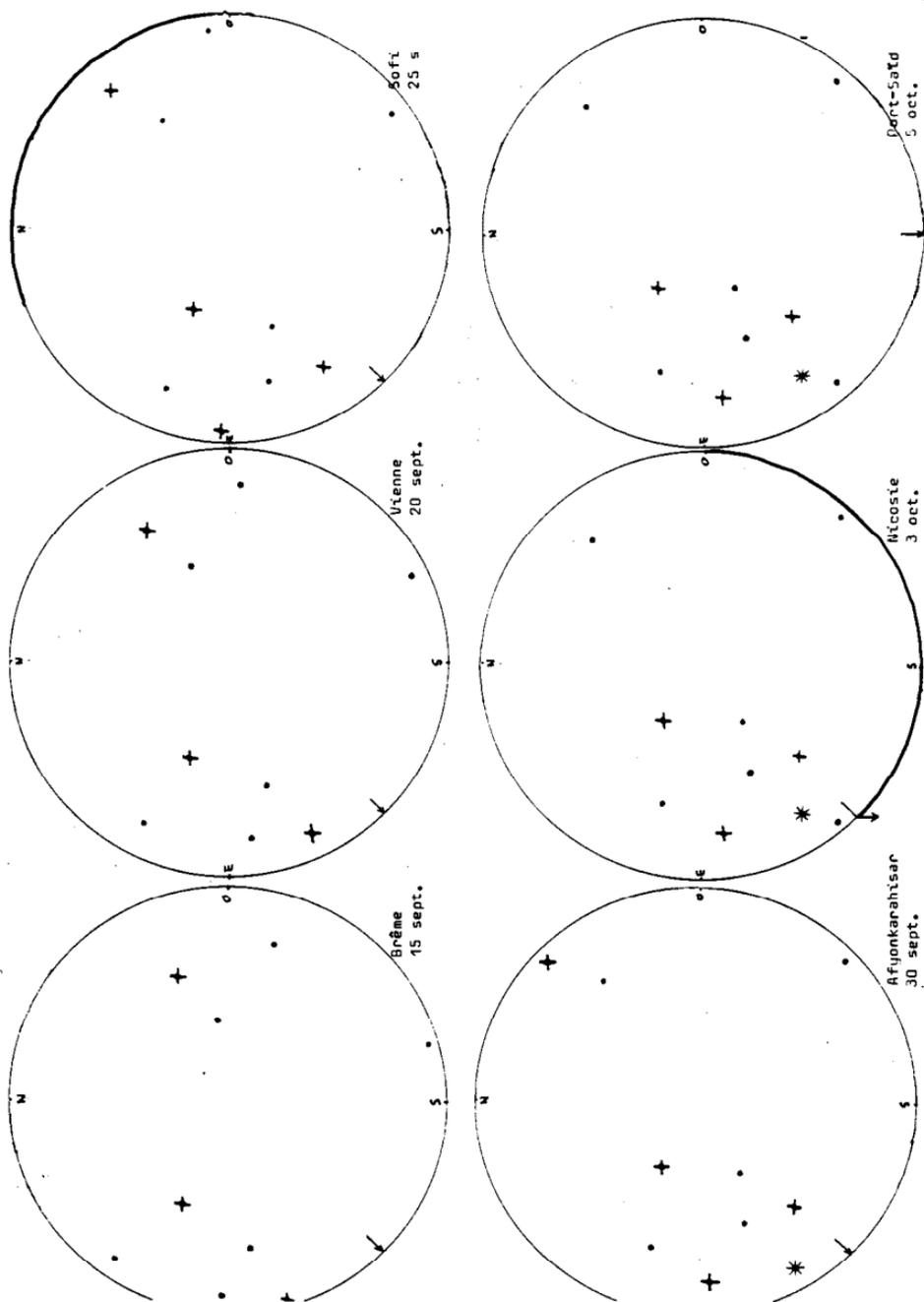


Fig. 5

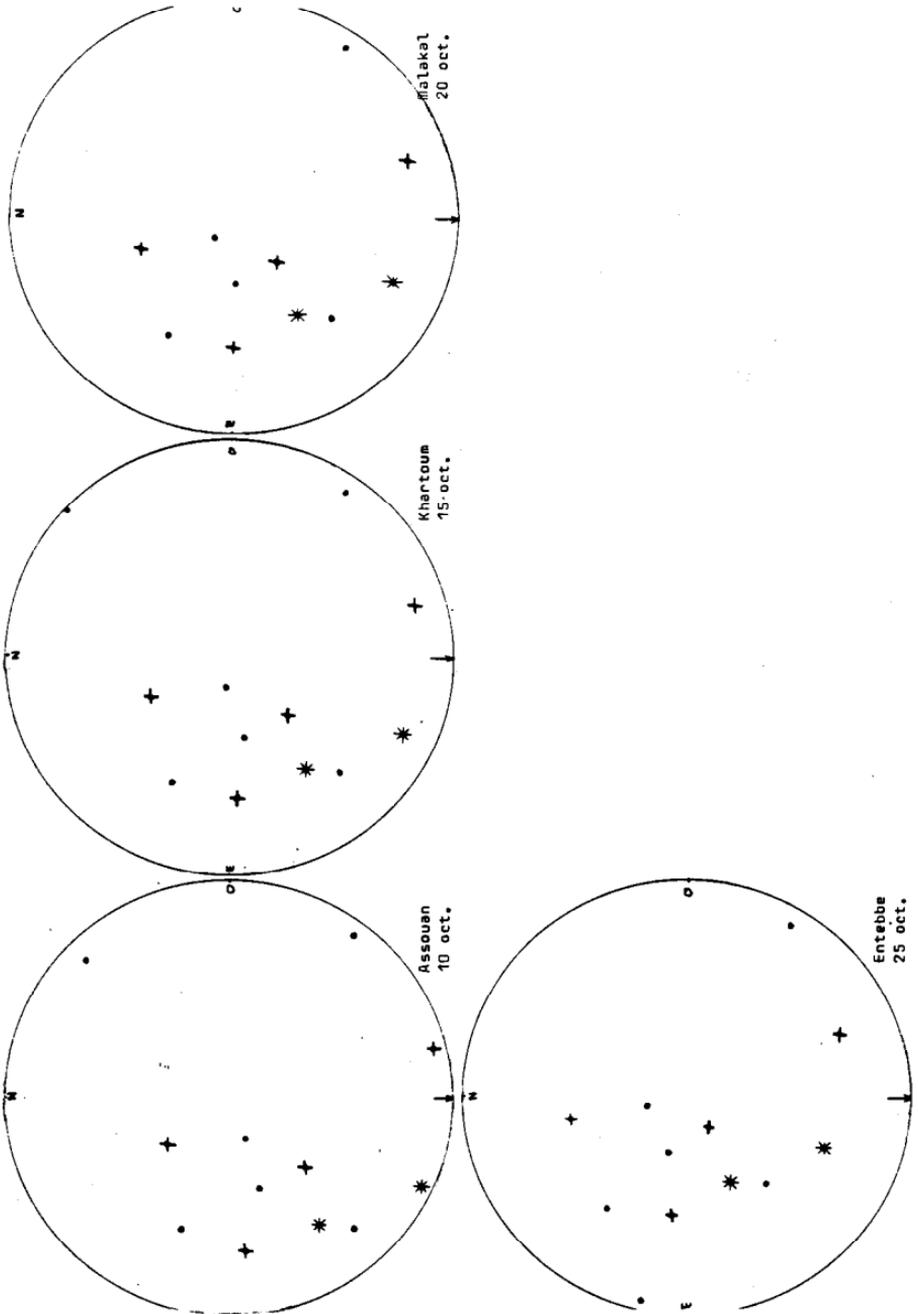
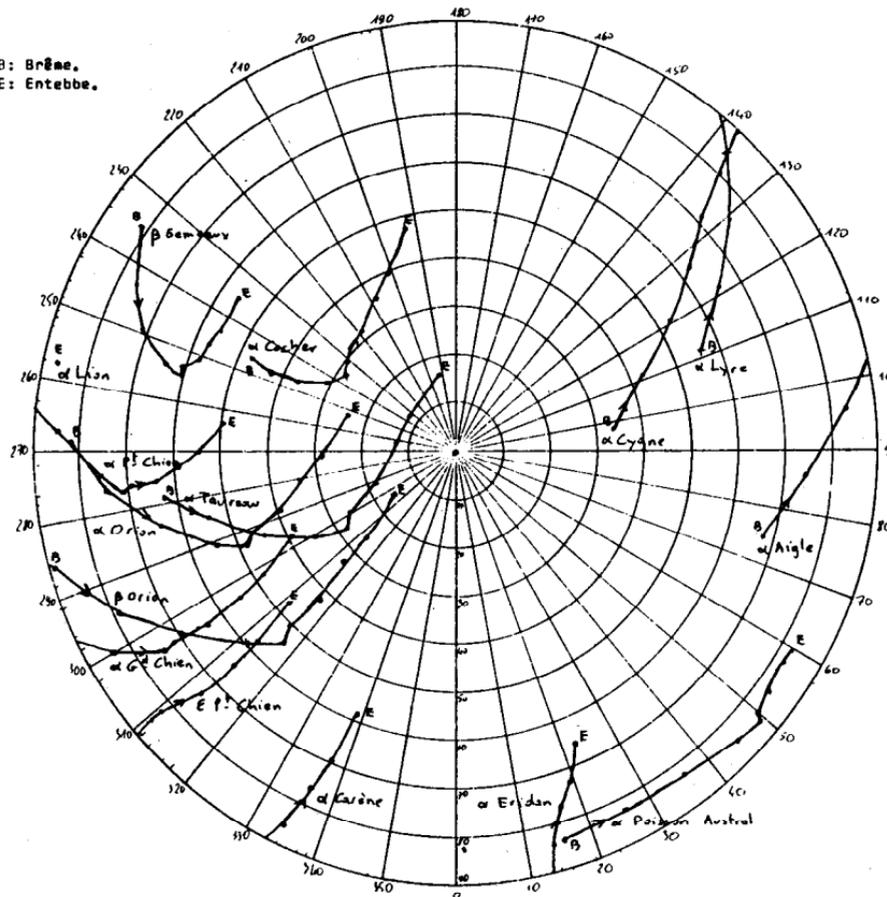


Fig. 5 (suite)

B: Brème.
E: Entebbe.

Fig. 6



LISTE DES ÉTOILES

« Taureau (Aldébaran)	magn. 0,8
« Cocher (Chèvre)	0,1
« Orion (Betelgeuse)	0,8
« P. Chien (Procyon)	0,4
β Gémeaux (Pollux)	1,1
« Lion (Régulus)	1,4
« Bouvier (Arcturus)	0
« Lyre (Véga)	0
« Aigle (Altir)	0,7
« Cygne (Deneb)	1,3
« Eridan (Achernar)	0,5
β Orion (Rigel)	0,2
« Carène (Canopus)	-0,6
« Gd Chien (Sirius)	-1,4
« Pt Chien (Adhara)	1,5
β Croix (Mimosa)	1,2
« Vierge (L'Épi)	1
β Centaure (Agena)	0,6
« Centaure (Rigel Hentarus)	0,1
« Scorpion (Antares)	0,9
« Poisson Austral (Fomalhaut)	1,1
« Croix (Acrux)	1,5

CONCLUSION.

L'orientation stellaire des oiseaux migrateurs est apparemment un fait bien établi, en planétarium notamment (privant ainsi l'oiseau de toute information autre que celle fournie par le ciel nocturne : position du Soleil, géographie des sites survolés, champ magnétique terrestre n'interviennent pas). Quand on considère par exemple la faible différence entre les ciels de Turquie, de Chypre et d'Égypte septentrionale (à quelques jours d'intervalle), on reste perplexe devant l'étonnant savoir-faire du migrateur. D'autant plus que le problème de la connaissance du temps par l'oiseau, indispensable pour naviguer, n'est pas résolu (possède-t-il une horloge biologique interne ? Si oui, comment l'utilise-t-il ?) Il sait reconnaître la configuration stellaire telle qu'on peut la voir au-dessus de Chypre, et en déduire qu'il faut changer de cap, du Sud-Est au Sud ! Quels sont les mécanismes mentaux qui résident dans l'encéphale de ces animaux ? La logique qui les régit est-elle analogue à la logique binaire, aristotélicienne, employée par nos machines électroniques ? La précision, la rapidité, la quantité des « calculs » nécessaires dépassent les possibilités de nos automates électroniques, aussi miniaturisés soient-ils. Si non, existe-t-il une logique « biologique », comme le suggèrent ANDERSON et COOPER [8], propre aux mécanismes cérébraux, et vraie pour toutes les espèces, y compris l'espèce humaine ? Autant de questions qui commencent seulement à être posées...

QUELQUES ELEMENTS DE REFLEXION SUR L'INTERDISCIPLINARITE ET L'EXPERIENCE PRESENTEE.

Après avoir présenté un exemple d'activité interdisciplinaire au travers de l'étude de la navigation stellaire chez certains oiseaux migrateurs, nous allons maintenant traiter de façon plus générale de ces activités et proposer quelques réflexions sur l'« interdisciplinarité » et les mécanismes de l'apprentissage qui lui seraient liés.

La spécialisation croissante des études est un phénomène bien connu. Au cours de sa scolarité, l'élève suit d'abord la voie « littéraire » ou « scientifique » ; ou la « filière » (le mot est révélateur !) « classique » ou « technique ». S'il opte pour cette dernière, il faut encore qu'il choisisse entre sciences naturelles et sciences physicochimiques ; puis, par exemple, de la physique extraire l'électricité, elle-même bien trop vaste. Il se restreint à l'électronique, qui lui fournit un travail dans un de ses innombrables — mais encore très étendus — domaines d'utilisation : il finit par se spécialiser dans la fabrication d'un appareillage donné, dans la conduite d'un type de mesure ou dans la vente d'une seule sorte de machine !

Double spécialisation, donc : « verticale », car les études s'effectuent chaque année à l'intérieur d'un domaine chaque fois plus borné. « Horizontale », car chaque morceau du réel étudié est soigneusement disjoint des autres morceaux.

Devant un tel morcellement, il nous semble opportun de tenter de présenter aux élèves une image globale de l'ensemble des données — notamment scientifiques — qu'ils sont amenés à rencontrer au cours de leur scolarité, de leur profession, ou de leur vie sociale. Il nous paraît important de leur fournir quelques éléments propres à les aider à comprendre non seulement le monde dans lequel ils pénètrent, mais aussi son évolution. Face au risque d'une pulvérisation de leurs savoirs, n'est-il pas devenu urgent, au contraire, d'élargir leur horizon, ne serait-ce que pour leur permettre de communiquer avec le monde qui les entoure, avec leurs semblables, avec eux-mêmes ?

En outre, tout en restant dans le domaine qui est le nôtre, celui des sciences, nous cherchons, au-delà de la simple description des phénomènes, à mettre en évidence les différents modes de raisonnement qui président à l'acquisition des connaissances : expérimental, déductif, inductif... Cela peut se montrer sur des faits tirés de l'histoire des sciences notamment. Ou bien encore dégager le formalisme logique qui les sous-tend : description, classification, logique déductive, analogie, recoupements. En regardant sur des exemples comment l'individu ou l'humanité acquiert un savoir, on peut, en quelque sorte, apprendre à apprendre.

INTERDISCIPLINARITE ET PROCESSUS COGNITIFS.

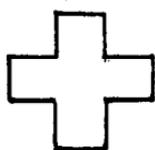
Nous étayons ce souci d'interdisciplinarité d'une part, de mise en évidence des mécanismes mentaux d'acquisition des connaissances d'autre part sur certaines données récentes issues de la psychologie, de l'épistémologie et, tout particulièrement, de la neurophysiologie.

Tout d'abord, les résultats de l'exploration du cerveau humain suggèrent, parmi les différents processus mentaux de traitement de l'information, l'importance de l'ensemble des formes de raisonnements que l'on pourrait appeler « synthétiques » ou de « visualisation » : la possibilité qu'a le cerveau de procéder par recoupements multiples, de « faire des rapprochements », de façonner ou de discerner des images mentales, conceptuelles, bref, de *synthétiser de façon cohérente des données apparemment séparées en une représentation ordonnée pourvue de signification* [12].

On sait, par exemple, que les deux hémisphères cérébraux jouent des rôles différents et complémentaires dans les proces-

sus cognitifs. Le « cerveau gauche » qui contrôle des activités mentales comme la lecture, l'élocution et le calcul, est le support de la pensée analytique et de l'abstraction. La reconnaissance des formes est par contre une activité propre au « cerveau droit », qui sait manier les symboles et les représentations imagées. Il est le support de l'intuition.

[6] Ceci est mis en évidence par exemple par le test de la reconnaissance d'une croix, chez des sujets ne disposant, par suite d'accident ou de maladie, que d'une moitié de leur cerveau. La croix à reproduire devient respectivement :



CG (analyse)



CD (reconnaissance des formes)

« Notre éducation semble favoriser de manière tout à fait disproportionnée le cerveau gauche sur le cerveau droit ; c'est-à-dire la pensée analytique sur la pensée systématique ; la pensée rationnelle sur la pensée intuitive. » J. DE ROSNAY, de l'Institut Pasteur [7].

Des recherches sur la mémoire ont d'autre part démontré [8] que les informations mémorisées dans le cerveau ne sont pas localisées (au contraire de ce qui se passe dans une mémoire d'ordinateur) : votre date de naissance par exemple n'est pas engrammée dans tel ou tel neurone de la septième circonvolution droite de notre cerveau. De larges lésions, du néo-cortex notamment, n'ont pas d'effet décisif sur la fonction de mémorisation, et il faut une atteinte particulièrement grave des hémisphères pour provoquer l'amnésie. On conçoit dans ces conditions que cette distribution de chaque information sur de larges zones du cerveau favorise le brassage des éléments d'information entre eux, leurs recouvrements multiples, leur « multicrucialité ». Ceci a conduit certains auteurs à postuler l'existence d'une « logique biologique » particulière aux processus mentaux, différente du type de logique qu'utilise le calcul électronique par exemple.

Citons encore les expériences de RENSHAW, reprises par ERDELY [9], sur les mécanismes de remémoration des images et des mots, qui tendent à prouver que le cerveau enregistre plus facilement (ceci peut aller jusqu'à l'hypermnésie, où le taux de souvenirs augmente au cours du temps) les images que les éléments séparés.

Notons, pour terminer, l'importance qu'il semble falloir attacher à la compréhension de nos mécanismes mentaux et des modes de cognition qui en résultent : c'est en fin de compte à une découverte de lui-même qu'est convié l'individu lorsqu'il lui est proposé de réfléchir sur ses modes de réflexion.

UN ESSAI D'INTERDISCIPLINARITE : L'HOMME ET L'UNIVERS.

Nous reproduisons ci-après les principaux thèmes abordés au cours de ces activités. Comme on peut le constater, ce tableau de présentation est organisé en deux colonnes parallèles, correspondant aux deux directives que nous nous sommes données au départ : 1° description des faits ; 2° discussion.

Afin de favoriser le plus possible la dimension interdisciplinaire, tout en évitant par une classification adéquate un désordre qui serait néfaste, ce « cours » se présente sous forme d'une information didactique et de discussions orientées autour de six thèmes différents : voir tableau 4.

Remarque 1.

Il est bien évident, face à l'ampleur des thèmes évoqués, qu'on ne peut, même dans le cadre d'un horaire pléthorique — ce qui n'est pas le cas — approfondir les sujets abordés. Au contraire, certains seront carrément laissés de côté, d'autres mis en exergue, selon l'intérêt manifesté dans chaque classe. Il est d'ailleurs notable, à cet égard, que chaque groupe d'élèves, d'une année sur l'autre, présente sa « coloration » propre, qu'il convient de respecter ! Des discussions, des diapositives, des exposés d'élèves, peuvent et doivent faire les choux gras de ces heures. Mais, par-dessus tout, il s'agit plus de créer une « atmosphère » favorable à l'expression et à l'extériorisation spontanées des talents originaux, des curiosités, des intérêts de chacun. Nous avons ainsi pu noter (non sans satisfaction !) des initiatives diverses (recherches personnelles, rédactions de textes et même d'articles, expérimentations) portant sur des sujets variés (astronomie, biologie, holographie, informatique). Quant à l'aspect philosophique des discussions entamées, on peut dire qu'il est le principal sujet d'intérêt d'élèves dont la voracité en la matière nous paraît assez significative !

Remarque 2.

Nous avons ordonné les six thèmes selon un critère historique (évolution) et logique. Ceci est un choix parmi d'autres possibles.

Remarque 3.

On peut constater, au travers de ces thèmes, les différents buts que nous nous sommes assignés :

1° Tenter de favoriser, par la présentation d'une information globale et synthétique, une *vision cohérente* de l'ensemble des savoirs que l'élève de 1980 est amené à acquérir dans ou en dehors du cadre scolaire.

Notons l'importance que nous accordons aux faits d'évolution. Nous renvoyons à ce propos le lecteur au rapport F. GROS - F. JACOB - P. ROYER : « Sciences de la vie et société » [10] :

Voici, en substance, ce qu'ils écrivent : « ...La théorie de « l'évolution n'est pas enseignée. Or, celle-ci représente la théorie « de base de la biologie. Sur elle repose toute l'unité du monde « vivant. Dans les programmes actuels de sciences naturelles en « classe terminale, c'est le sujet à traiter lors de la dernière « séance. Autant dire qu'on n'en parle jamais. L'idée même que « les êtres vivants sont tous apparentés, qu'ils dérivent les uns « des autres, qu'ils sont formés des mêmes matériaux et fonc- « tionnent de la même façon, qu'ils participent tous d'une même « vie et d'une même histoire de la terre, tout cela reste à peu « près totalement étranger à la majorité des Français (...). Mais « la conscience de la nature ne s'invente pas. C'est le fruit d'une « éducation qui commence dès le plus jeune âge (...). Bien évidem- « ment, il n'est pas question de transformer les citoyens en « naturalistes ou en biologistes. Il s'agit seulement de leur don- « ner le *sens de la nature*. »

2° Corollairement, lui permettre de mieux se situer dans son contexte universel, dans son environnement extérieur ET intérieur. Comme disent F. GROS, F. JACOB et P. ROYER, de se *REnature*rer.

L'astronomie est un exemple d'un domaine qui permet à l'individu de préciser son rapport à un certain environnement extérieur. L'étude du cerveau, des instincts, de la pensée semble jouer le même rôle quant à son environnement intérieur.

3° Introduire une réflexion sur les sciences, conduisant à s'interroger sur des problèmes d'ordre épistémologique : comment appréhendons-nous le réel ? Comment raisonnons-nous ? Autrement dit, *apprendre à penser*.

4° Enfin, permettre à l'élève, dans le cadre des discussions introduites, de renouer avec une certaine forme de *subjectivité* malheureusement de plus en plus absente de notre enseignement : songeons qu'en terminale F, il n'y a pas d'enseignement de philosophie, et que l'enseignement du français y est facultatif. Songeons aussi au récent débat sur l'enseignement de l'histoire.

Remarque 4.

Bien évidemment, la conception même de ces activités non seulement autorise mais nécessite une collaboration, sous des formes diverses, entre professeurs de spécialités différentes.

Tableau 4

L'HOMME ET L'UNIVERS

Thème 1 : LE COSMOS.

- * Astronomie : objets et moyens d'observation. Les échelles astronomiques.
- * Cosmologie : modèles d'univers.
- * Formation du système solaire : la Terre aux origines.
- * Qu'est-ce que la méthode scientifique (première partie) ?
- * Un exemple : les modèles de PTOLÉMÉE et COPERNIC.
- * Observation des faits ; formulation d'une hypothèse ; expérimentation.
- * Exemples de critères de vérité : lapalissades ; déductions logiques...

Thème 2 : LES ELEMENTS.

- * La chimie de la vie : protéines, ADN, code génétique.
- * Les origines de la vie : quelques hypothèses, des nuages de poussières interstellaires à la « soupe primitive ».
- * La découverte des éléments simples avant MENDELEÏEV (de THALÈS de Milet à PARACELSE).
Opinions et savoirs. Les « Règles d'Or » de la pensée : substitution des hypothèses aux opinions ; substitution de la critique à la systématique.
- * La table de MENDELEÏEV comme exemple d'induction. La méthode scientifique (deuxième partie) : idéation ; critique ; critères de vérité multicruciaux.

Thème 3 : L'EVOLUTION.

- * Panorama de l'évolution. Parallèle avec l'évolution des systèmes électroniques (notamment du point de vue du logiciel et du matériel).
- * Les lois de l'évolution : orthogénèse, complexification-émergence ;... son sens apparent : autonomie croissante.
- * Discussion générale des problèmes soulevés par le fait évolutif. Les mécanismes de l'évolution : individualisation/spéciation.
- * Hasard, nécessité, anti-hasard ? Le hasard en physique et en biologie.
- * Un sens à la vie ? L'avenir de l'homme.

Thème 4 : LE CERVEAU.

- * Structure et fonctionnement du système nerveux : faits et hypothèses.
- * Intellection et biochimie. Les expériences de Mc CORNELL, UNGAR, OLDS, PENFIELD, etc.
- * Asymétries du cerveau. Différences fonctionnelles entre hémisphères, entre sexes.

- * Cerveau archaïque et néocortex : pensée instinctuelle et pensée consciente.
- * Les hologrammes. L'holographie, un modèle possible du fonctionnement de la pensée. Multiracialité.
- * Application à l'éducation.

Thème 5 : L'INSTINCT.

- * Un exemple de pensée instinctuelle particulièrement étonnant : la navigation stellaire de certains oiseaux migrateurs.
L'instinct animal : pulsions et savoir-faire. Autres histoires d'animaux.
- * Les enfants sauvages. Histoire de VICTOR de l'Aveyron.
- * Convergences et divergences entre espèces animales et espèce humaine.
- * Le cerveau humain, à la naissance, est-il une « cire vierge » ?
Qu'est-ce que l'instinct chez l'homme ?
- * L'infailibilité de l'instinct.
Espèce humaine, espèce faillible ?

Thème 6 : LA PENSEE.

- * L'évolution culturelle. Un exemple : l'histoire des idées en astronomie.
 - * Différentes formes de pensée.
Qu'est-ce que l'inconscient ?
 - * Les mécanismes de l'évolution culturelle : instinct de conservation, d'évolution ?
 - * Emergence du psychisme.
 - * La subjectivité : qu'est-ce que le moi ?
 - * Symbiose consciente et communication.
-

BIBLIOGRAPHIE

-
- [1] C. RUHLA. — « Comment faire de la pluridisciplinarité : l'asymétrie droite-gauche de Néanderthal jusqu'à Lee et Yang ». Bull. de l'Union des Physiciens, 620, janvier 1980, 409-438.
- [2] Bulletin Officiel du Ministère de l'Education n° 33 (20-9-1979), p. 2001. Circulaire n° 79-289 du 11-9-1979.
- [3] F. et E. SAUER. — « Zugvögel als navigatoren », Naturwiss. Rundschau, 13, 1960.
- [4] S.-T. EMLEN. — « The stellar-orientation system of a migratory bird ». Scientific American, vol. 233, n° 2, p. 102-111, août 1975.
- [5] Annuaire du Bureau des Longitudes, éphémérides 1979. Ed. Gauthier-Villars, 1978.
- [6] V.-L. DEGLIN. — « Nos deux cerveaux », Courrier de l'U.N.E.S.C.O., janvier 1976.
- [7] J. DE ROSNAY. — « Le Macroscopie », éd. Seuil, 1975.
- [8] J. ANDERSON et L. COOPER. — « Les modèles mathématiques de l'organisation biologique de la mémoire », in Plurisciences, ed. Flammarion et Universalis, 1978, p. 168-175.
- [9] N. PERUCHET. — « L'hypermnésie : des souvenirs qui reviennent », La Recherche, n° 82, octobre 1977, p. 891.
S. KOSSLYN. — « Les images mentales », La Recherche, n° 108, février 1980, p. 156.
- [10] F. GROS, F. JACOB, P. ROYER. — « Sciences de la vie et société », ed. La Documentation Française, 1979.
- [11] A. CHARED, B. DIMEGLIO, P. DONSBACK, F. VINCENT et G. PINSON. — « Raid sur Entebbe : l'histoire de Müllerchen, la petite fauvette babillarde », in Les Cahiers Clairaut, bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants à paraître printemps 1981.
- [12] G. PINSON, D. FAVRE. — « Hologrammorphisme cérébral et logique holoscopique ». Colloque sur la Logique holoscopique, Montpellier, 7 et 8 novembre 1980.
-