Utilisation de la Graphique (méthode visuelle de traitement de l'information) dans l'enseignement de la chimie *

par Irène Arditi, Denise Devèze et Danielle Marbach
(Département audio-visuel, tour 24-34, 1er étage, Université Paris VII, 2, place Jussieu, Paris Ve).

I. Arditi

Dans le monde actuel, nous sommes de plus en plus submergés par des multitudes d'informations, de messages, de données. Le domaine scientifique n'échappe pas à cette marée.
Apprendre à rechercher les données, à s'interroger sur leur validité, à classer, traiter l'information constitue une étape nécessaire à l'acquisition d'un savoir scientifique.
Nous pensons que l'enseignement supérieur, sans négliger son rôle moteur au niveau de l'évolution des concepts enseignés, doit aussi promouvoir l'accès à des outils méthodologiques.
L'utilisation des méthodes de traitement

D. Marbach

faisant appel à l'Informatique est limitée par de sérieuses contraintes financières. De plus la calculatrice reste trop souvent une « boîte noire » si bien que, même auprès d'un public scientifique, les risques de mystification ne sont pas négligeables.
Il existe, des méthodes visuelles de traitement de l'Information, mises au point par J. Bertin au Laboratoire de graphique de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales. Ces méthodes fonctionnent dans le cadre du raisonnement logique et leur accessibilité permet un contrôle permanent du sujet sur les opérations qui les composent. L'investissement financier nécessaire est du même ordre que l'acquisition d'une machine à écrire.
Citons J. Bertin : « *La représentation graphique fait partie des systèmes de signes fondamentaux que l'homme a construits pour retenir, comprendre et communiquer les observations* »...

D. Devèze

« Langage destiné à l'œil, elle bénéficie des propriétés d'ubiquité de la perception visuelle et obéit à ses lois. Elle se définit comme la partie rationnelle du monde des images... Utiliser au mieux la puissance considérable de la vision dans le cadre d'un raisonnement logique, tel est l'objet de la Graphique. »

Nous avons utilisé cette méthode dans plusieurs enseignements de chimie; nous aimerions vous faire partager notre conviction qu'elle présente un intérêt réel en pédagogie. Pour cela nous exposerons brièvement la méthode graphique en précisant ce qu'elle apporte dans un processus pédagogique puis nous relaterons les expériences que nous avons effectuées.

I. Principes de la méthode graphique

Le traitement graphique s'applique à tout domaine d'information dans lequel un ensemble homogène d'éléments est caractérisé par une série de critères différentiels ordonnables.
Cette information peut se mettre sous la forme d'un tableau à double entrée dans

* *Recherche financée par la DAGEFI pour la rénovation pédagogique de l'enseignement supérieur.*

lequel, le jeu des permutations de lignes et de colonnes permet le rapprochement des ressemblances et l'éloignement des dissemblances. C'est ainsi que se dégagent peu à peu, les relations du domaine exposé.
L'originalité du traitement graphique consiste à utiliser les propriétés de la perception visuelle pour effectuer ces opérations. Pour cela, on substitue à l'ensemble des valeurs ordonnables de chacun des critères recensés, un ensemble ordonnable en fonction d'une quantité de noir proportionnelle à ces valeurs *.
Supposons, par exemple, qu'on veuille comparer 7 objets caractérisés par la présence ou l'absence de 10 phénomènes. On visualisera la présence du phénomène pour l'objet considéré par une case noire, son absence par une case blanche. Cela conduit à la figure 1.
La manipulation proprement dite s'effectue

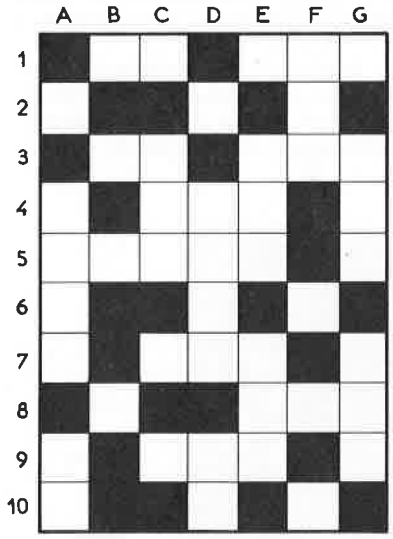

Figure 1.

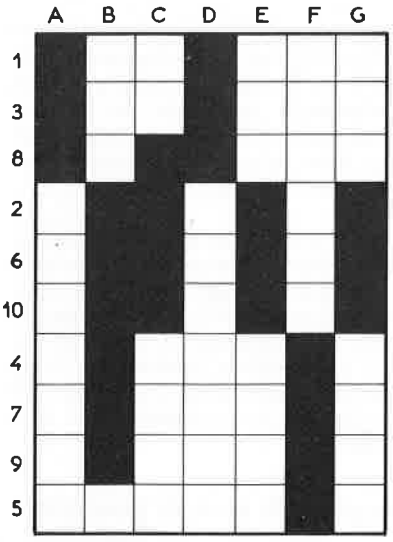

Figure 2.

* *Pour le choix du noir et la nécessité de rester dans une seule couleur, voir J. Bertin, Sémiologie graphique, Gauthiers-Villars-Mouton, 1967, page 60.*

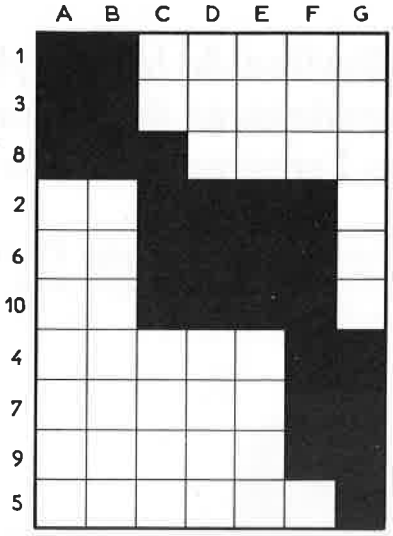

Figure 3.

sur des dominos tringlables dans deux directions orthogonales, par regroupement des taches réparties dans le plan de la matrice. Permutons les lignes de manière à rapprocher celles qui se ressemblent. ce qui revient à les ranger suivant leur centre de gravité. On obtient la figure 2.
Permutons de la même manière les colonnes, nous obtenons la figure 3.
La compréhension qui à l'origine nécessitait la mémorisation de 7 × 10 éléments ne requiert plus que la mémorisation de 3 groupes. L'image ainsi ordonnée accepte tous les niveaux de lecture : aussi bien celui d'ensemble que celui de la tâche élémentaire.
L'optimisation des facteurs intervenants dans un tel traitement (limites de la différenciation visuelle, dimensions de la matrice donc des dominos) a conduit Jacques Bertin à proposer l'utilisation de dominos parallélipipédiques d'une surface visuelle de (10 × 6) mm^2, les problèmes à traiter pouvant contenir jusqu'à 100 × 140 élements. Un tel matériel accepte un maximum de 11 graduations d'intensité entre le blanc et le noir. Cela nécessite donc une partition de l'ensemble des valeurs d'une variable en un ensemble de 11 classes.
Reprenons l'exemple des éléments chimiques caractérisés par une série de propriétés physico-chimiques comme : température de fusion, nombre d'électrons externes. L'amplitude des variations de la température de fusion pour l'ensemble des éléments est d'environ 3 000°. La transposition visuelle de ces valeurs se fera en constituant l'histogramme correspondant et en répartissant les différentes valeurs selon 2 critères : intervalles aussi égaux que possibles, classes aussi également peuplées que possible (figure 4).

Le nombre des électrons de la dernière couche des éléments chimiques varie de 1 à 8 ; dans ce cas, si le nombre de classes proposées est le nombre maximum 11, pour cette variable, certaines classes resterons vides. Si le problème est traité avec 5 classes visuelles l'étudiant pourra faire intervenir ses connaissances en chimie dans le choix des intervalles de classes.

II. Quelles sont les différentes opérations mises en jeu dans le traitement graphique et leur intérêt respectif dans un processus pédagogique

La graphique est à la fois outil de recherche et outil de communication. Les différentes opérations consistent en :

- apprendre à poser un problème : nécessité de délimiter le domaine, apprendre à reconnaitre les redondances, juger de la pertinence des variables répertoriées.

- recueillir l'information et critiquer ses sources : on constate que les manuels comportent rarement d'indications sur les conditions expérimentales dans lesquelles les données ont été établies ; ces données ne sont pas toujours homogènes.

- réduire le problème : c'est-à-dire transformer le tableau à double entrée comportant aussi bien des données chiffrées que des données qualitatives en une matrice visuelle pour laquelle les variations d'amplitude de chacune des variables se ventilent en 11 catégories visuelles. Les étudiants doivent alors s'interroger sur la nécessité de réduire la finesse de l'information ponctuelle pour dégager la structure de l'ensemble. Nous sommes ainsi amenés à clarifier les notions d'ordre de grandeur, d'amplitude absolue et d'amplitude relative.

- traitement visuel : la matrice montée, le traitement visuel consiste à la diagonaliser par permutations successives de lignes et de colonnes. Ces manipulations sont faciles. Tout groupement reste lié à l'ensemble en même temps qu'au détail, si bien que les éléments aberrants qui sont souvent l'objet d'observations utiles apparaissent spontanément. Durant ces manipulations, la réflexion peut se mener ; ainsi à tout moment l'utilisateur peut s'appuyer sur une information non inventoriée = le traitement devient alors découverte. Cette recherche de relations conduit à un savoir construit qui n'a pas l'uniformité d'un savoir reçu.

- instrument de communication : langage universel faisant appel aux propriétés d'ubiquité de l'œil, la Graphique permet donc de communiquer beaucoup plus rapidement un système de relations que le langage écrit (ou parlé) qui est linéaire. Dans les sciences expérimentales où les lois acceptent de nombreuses exceptions, la visualisation facilite tout à la fois la compréhension de la relation d'ensemble et l'analyse plus fine des écarts.

III. Utilisation de la graphique dans un enseignement d'éducation permanente :

Le Département d'éducation permanente de l'Université Paris VII organise une préparation à l'examen spécial d'entrée à l'Université. Cette préparation s'adresse aux personnes ayant interrompu leurs études avant le baccalauréat; elle est axée sur une réactualisation et un renforcement des connaissances mais aussi sur l'apprentissage de méthodes de travail. La méthode graphique, où la

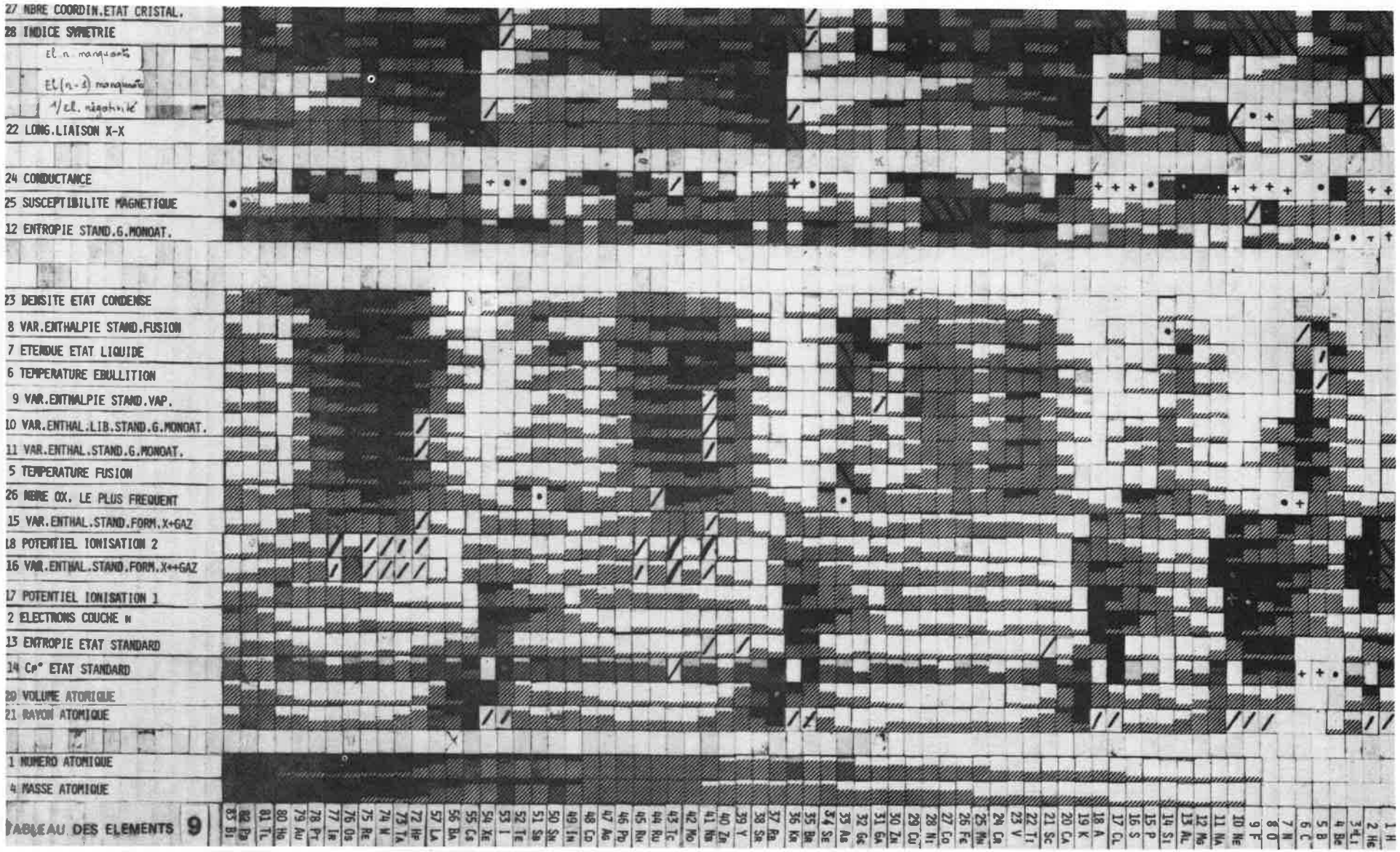

Figure 4. Matrice Mendeleïff.

visualisation de l'information joue un grand rôle, a constitué un moyen d'expression et de communication particulièrement accessible à un public hétérogène et mal adapté aux codes culturels établis.
Nous avons construit les bases du langage scientifique en partant d'observations et de notions du sens commun, s'appuyant sur le vécu des stagiaires. La définition de critères pertinents, l'organisation des objets constituant l'environnement a permis d'élucider les notions :
- matière vivante/non vivante
- corps purs/composés
- corps simples/éléments
- ainsi que la notion de propriété caractéristique.

Une première série de travaux expérimentaux ont permis d'enrichir les propriétés caractéristiques recensées (conductibilité, densité, fusion, etc...). Le traitement d'une première matrice visuelle a dégagé, avec leurs caractéristiques :
- les différents états de la matière
- l'état métallique/non métallique.

Dans un deuxième temps, aidés de films, de travaux expérimentaux portant sur les modèles moléculaires, la réactivité chimique (oxydo-réduction, acides et bases) nous avons pu traiter une matrice visuelle plus élaborée et arriver à la notion de famille chimique.

IV. Intervention dans un enseignement de chimie minérale (2e année de 1er cycle SSM)

Nous disposions d'un module de 4 séances de 4 heures; dans un premier temps les étudiants ont fait l'apprentissage de la méthode graphique en analysant le contenu d'un article de presse portant sur la consommation des eaux minérales. Ces étudiants avaient récemment effectués des travaux expérimentaux portant sur l'analyse quantitative de l'eau. Dans un deuxième temps, nous devions utiliser la Graphique comme « outil de mémorisation » du cours, concernant l'étude des grandes familles chimiques. En fait, les étudiants ont consacré plus de temps que prévu à l'étude de l'article et l'étude du tableau périodique des éléments a été amputée du travail de recherche bibliographique et de celui du choix des paramètres. Si bien que l'intérêt pédagogique de l'expérience s'est situé dans la première partie citée.

L'article considéré comprenait des informations sur la teneur en différents ions d'un échantillon assez large d'eaux minérales; les informations étaient tantôt chiffrées, tantôt sous la forme de représentation graphique; parfois enfin, elles consistaient en appréciations qualitatives. Aux indications chimiques s'ajoutaient diverses considérations économiques ou commerciales.

Les informations que nous venons de décrire appuyaient un texte mettant en garde le consommateur quant au bien-fondé de la consommation systématique des eaux minérales.

La méthode graphique devait permettre aux étudiants de vérifier l'adéquation entre le discours tenu et les informations véhiculées. Une part importante a été consacrée à recueillir puis coder l'information qui était très disparate alors que la construction puis la manipulation de la matrice ont été des opérations assez rapides.

Interprétation des résultats

Au niveau des connaissances chimiques, apparaissent immédiatement trois catégories d'eaux minérales :
- les eaux peu minéralisées.
- les eaux fortement minéralisées avec des dominantes de carbonates, sulfates, de métaux alcalino-terreux.
- les eaux fortement minéralisées en chlorure de métaux alcalins.

Sur le plan économique, il était trivial de constater que le prix était directement lié au contenant.
La plupart des étudiants ont souhaité ajouter aux données de la matrice l'information d'un autre article précisant les effets thérapeutiques des eaux minérales. Ils ont ainsi pu mettre en relation effet thérapeutique, composition minérale, nature du terrain. Ils ont comparé la qualité de l'eau du robinet qu'ils avaient analysée avec celle des eaux minérales.
Ils ont constaté que les auteurs de l'article avaient négligé d'indiquer les méthodes de dosage des ions, négligé d'analyser les eaux de ville et, compte tenu du mal qu'ils ont eu à transcrire en un tableau lisible les informations de l'article, ils ont conclu que celles-ci n'avaient aucune efficacité informationnelle.
Les étudiants ont été intéressés d'entreprendre une étude qui les mettait en relation avec un problème réel : celui de la qualité de l'eau et de sa consommation.
L'outil méthodologique a donc beaucoup fonctionné comme outil de recherche où l'introduction d'informations « extérieures » au domaine initialement défini a été source de découvertes. Il a été beaucoup plus difficile de susciter autant d'initiatives pour l'étude du tableau périodique des éléments.

V. Utilisation de la Graphique dans le cadre des unités de valeurs de didactique de la Maitrise de sciences physiques

Nous avons assuré un enseignement de 40 heures réparties sur un semestre. L'enseignement a porté sur :
- quelques notions relatives aux différents types de langages et moyens de communication.
- l'utilisation de la graphique comme outil permettant la mise en place de connaissances relatives à l'étude du tableau de Mendeleïev en insistant sur la dimension épistémologique.
- utilisation de la méthode à d'autres types de situations, à la demande des étudiants.

Au cours de cet enseignement, les différentes étapes du traitement graphique ont été autant de révélateurs des faiblesses des enseignements traditionnels :
- habitudes de passivité se traduisant par une grande inertie à remettre un savoir en question, savoir censé acquis.
- inhibitions devant le magnétophone ; seul le groupe qui « savait bien » a accepté un enregistrement « non stop » d'une séance de manipulation visuelle. C'est pourtant par ce moyen qu'il a été possible d'analyser la réflexion continue qui se faisait.

Ainsi, à un stade relativement peu avancé de la manipulation, les lignes de forces du rangement s'opère en fonction de la masse des éléments ; le carbone se place au milieu des éléments lourds et cette aberration est aussitôt objet de réflexion ;
- difficultés à admettre que dans tout traitement d'information il y a une part de choix à faire ; admettre qu'il n'y a donc pas une solution absolument unique.

Cependant si cette expérience a été éprouvante pour quelques-uns, la matrice finale visualisant d'un seul coup d'œil le phénomène de la périodicité a constitué un facteur valorisant. D'autant plus que de nouvelles investigations étaient suscitées, au niveau des éléments de transition, ces éléments obéissent mal à la périodicité et un traitement particulier s'est avéré nécessaire pour dégager d'autres relations internes à ce groupe restreint (Fig. 4).
En ce qui concerne la dernière partie du cours, c'est-à-dire l'utilisation de la Graphique à d'autres types de situations, nous avons constaté qu'un très petit nombre d'étudiants a avancé des idées personnelles. Citons l'exemple de la mise en relation des différentes formes d'énergie et leurs caractéristiques. La plupart ont effectué les traitements que nous avions suggéré (analyse de contenu d'un article de revue, analyse de contenu d'un film scientifique).

Conclusions

L'utilisation de la Graphique dans l'enseignement supérieur constitue pour les étudiants comme pour les enseignants une « épreuve de vérité ». Elle exige une réflexion constante et une remise en cause de nos habitudes, elle peut donc dans le contexte présent être taxée « d'élitiste ».

Les possibilités d'utilisation de la graphique sont multiples *. Nous nous sommes volontairement limitées à la décrire comme outil méthodologique dans un processus pédagogique mais rappelons qu'elle tient ses lettres de noblesse en tant qu'instrument de recherche utilisé surtout dans le domaine des sciences humaines.

Nous tenons à la disposition des lecteurs intéressés :
1) des rapports plus détaillés des différentes expériences que nous avons menées,
2) la possibilité d'une initiation à cette méthode sur un problème de leur choix.

* *Pour une approche exhaustive de cette méthode, nous renvoyons le lecteur aux principaux ouvrages de M. Jacques Bertin a) Sémiologie graphique, Gauthiers-Villars-Mouton, Paris* 1967. *b) La Graphique et le traitement graphique de l'information, Flammarion* 1977.