

L'utilisation de la théorie de l'information en psychologie (*)

par Paul BERTELSON,

Université de Bruxelles,
Laboratoire de Psychologie.

RESUME.

Après un rappel sommaire des bases de la théorie des communications, l'auteur décrit les applications qui ont été faites du langage et des procédés de quantification propres à cette théorie dans deux domaines de la psychologie expérimentale : celui des temps de réaction et celui des jugements absolus. Il constate que de part et d'autre, des hypothèses d'invariance particulièrement simples ont d'abord reçu des confirmations partielles, qui ont provoqué un véritable engouement, mais qu'ensuite, lorsque ces hypothèses se sont révélées trop simples, on a assisté à un mouvement de désaffection pour la théorie elle-même. Il rappelle qu'il s'agit d'une théorie formelle, dont la valeur n'est pas liée à la validité d'hypothèses particulières formulées dans son langage, et qu'en fait, elle permet de formuler des hypothèses plus générales que celles qui ont d'abord été mises à l'épreuve.

SAMENVATTING.

Na een korte herhaling van de basis van de theorie der communicaties, beschrijft de auteur de toepassingen die gemaakt werden met de taal en de procedes van kwantificering eigen aan deze theorie, op twee gebieden van de experimentele psychologie; deze van de reactietijden en deze van de absolute beoordeling.

Hij stelt vast dat in het ene en het andere geval, speciaal eenvoudige invariantie hypothesen oorspronkelijk gedeeltelijk bevestiging gekregen hebben, wat een werkelijk drang naar deze theorie deed ontstaan. Achteraf nochtans werden deze hypothesen te eenvoudig bevonden en werd een werkelijke afkeer voor deze theorie vastgesteld.

Hij herinnert er aan dat het gaat over een formele theorie, waarvan de waarde niet gebonden is aan de geldigheid van speciale hypothesen geformuleerd in zijn taal en dat zij in werkelijkheid toelaat meer algemene hypothesen te formuleren dan deze die oorspronkelijk beproefd werden.

La théorie de l'information a été développée par les ingénieurs pour résoudre les problèmes que pose l'utilisation efficace des systèmes de communication. Le « schéma de Shannon » représente le système le plus simple auquel s'applique la théorie. Rappelons qu'il est constitué par :

- une *source*, susceptible de prendre plusieurs états, qui sont les *messages* à l'entrée du système ou *input* ;
- un *codeur* ou *émetteur*, qui transforme les messages en signaux ou séquences de signaux ;
- une *voie de transmission*, dont les signaux constituent les différents états ;
- un *décodeur* ou *récepteur* qui retransforme les signaux en messages ;
- un destinataire qui reçoit les *messages* à la sortie du système ou *output*.

Eventuellement, on considère que sur la voie est branchée une *source de bruit* dont l'effet est de modifier les signaux de façon aléatoire.

Quand on utilise le schéma de Shannon, il importe de se rappeler que les divers chaînons qui y figurent n'ont qu'une signification fonctionnelle. Il n'est pas nécessaire qu'ils correspondent à des éléments matériellement distincts et localisables du système qu'on étudie. D'une façon générale le langage de la théorie de l'information (on dit aussi : langage des communications) s'applique à tout système dont le fonctionnement se traduit par la mise en relation d'un output avec un input — ou, si l'on préfère, peut se représenter par une table de contingence — quel que soit le moyen particulier par lequel la relation est établie.

* Conférence faite à la Société belge de Statistique, le 13 juin 1960.

Les créateurs de la théorie de l'information se sont préoccupés principalement du problème pratique de la durée d'utilisation de la voie pour la transmission d'un ensemble de messages, étant donné que chaque signal occupe la voie pendant un temps déterminé. L'idée centrale de toute la théorie est qu'on peut améliorer l'utilisation de la voie en adaptant le codage aux caractéristiques statistiques de la population des messages à transmettre. Nous allons illustrer cette idée en prenant l'exemple simple d'une voie où peuvent circuler seulement deux signaux de même durée, 0 et 1. Un codage efficace pourra être obtenu en appliquant quelques principes simples.

- a) Ne pas employer une séquence de signaux longue là où une séquence plus courte ne pourrait être confondue avec aucune autre. Par exemple, si les messages sont A, B, C, le code

A	B	C	
00	10	11	est coûteux

et peut être remplacé par :

A	B	C
0	10	11

- b) Quand tous les messages ne sont pas équiprobables, réserver les signaux ou les séquences de signaux les plus courts aux messages les plus fréquents. Si dans le cas précédent, le message B vient 2 fois sur 4, et A et C une fois sur 4 chacun, le code indiqué n'est pas optimal, et on obtiendra une amélioration en adoptant le suivant :

A	B	C
10	0	11

- c) On peut souvent faire une application plus complète du principe b) en codant des séquences de messages au lieu de coder chaque message isolément. Si l'on a par exemple 2 messages, A et B, auxquels sont associées les probabilités .8 et .2, en codant message par message, nous aurons par exemple :

A	B
0	1

et il faudra en moyenne 1 signal par message.

Par contre, si nous codons par séquences de 2 messages, nous pourrions adopter le code suivant :

AA	AB	BA	BB
0	10	110	111

et un calcul simple montre qu'il faudra en moyenne 0,78 signal par message.

D'autres exemples peuvent être trouvés dans l'article de Baudoux (1953), et le problème de la construction des codes optimaux a été abordé dans son ensemble par Fano (1949).

Les mesures d'information — entropie, ambiguïté, information transmise — permettent essentiellement de prédire la limite des améliorations possibles par manipulation du codage.

Le débit de la source peut être mesuré par l'entropie ou information moyenne par message,

$$H(x) = - \sum_i p(i) \log_2 p(i)$$

où $p(i)$ désigne la probabilité du message x_i ($\sum_i p(i) = 1$).

L'unité d'information est le *bit*. Elle correspond à l'entropie d'une source susceptible de deux états équiprobables.

La capacité de transmission d'information de la voie s'exprime en nombre de bits par unité de temps. Pour une voie occupée par des signaux binaires de même durée, c'est simplement l'inverse de la durée de chaque signal.

Shannon a démontré (théorème 9) que la vitesse à laquelle des messages d'entropie H sont transmis à travers une voie non-bruyante de capacité C , a pour limite supérieure C/H messages par seconde. On peut, par des améliorations de codage, s'approcher

autant qu'on le veut de cette limite. On voit donc apparaître le lien entre la mesure d'entropie et la notion de codage : l'entropie d'une source nous indique le nombre de signaux binaires qu'il faut en moyenne pour coder un message de cette source dans le cas limite du codage optimal.

Quand la transmission s'accompagne de bruit, l'incertitude relative à la nature du message à l'entrée, quand on ne connaît que le message à la sortie, peut se mesurer par l'*ambiguïté*, ou *équivocation*

$$H_e(x) = - \sum_{ij} p(i,j) \log_2 p_j(i)$$

où $p(i,j)$ représente la probabilité conjointe du message à l'entrée x_i et du message à la sortie y_j , et $p_j(i)$ la probabilité conditionnelle de x_i étant donné y_j .

La différence $R = H(x) - H_e(x)$ est appelée *information transmise*.

Dans le cas d'une voie bruyante, on définira la capacité de la voie comme la valeur maximale de R/t . Shannon a montré (théorèmes 10 et 11) qu'à condition que les messages ne soient pas introduits dans le système à une vitesse supérieure à C , il est possible de trouver un codage tel que le taux d'erreur, ou l'équivocation, soient arbitrairement petits. Si $H/t > C$, l'équivocation ne pourra être inférieure à $(H/t - C)$. En pratique le taux d'erreur pourra être réduit en adoptant un codage redondant, c'est-à-dire en utilisant une partie de la capacité de la voie pour assurer la détection et la correction des erreurs dues au bruit. Un procédé grossier serait par exemple celui qui consisterait à coder chaque message plusieurs fois. Les méthodes pour l'établissement de codes détecteurs et de codes correcteurs d'erreurs ont fait l'objet de beaucoup d'attention dans les dernières années, à la suite notamment des travaux de Hamming (1950).

Après ce rappel rapide des bases de la théorie, venons-en à notre sujet qui est l'utilisation de cette théorie en psychologie.

D'une façon très générale, on peut dire que la théorie de l'information apporte un langage et des procédés de quantification qui s'appliquent immédiatement au genre de situation que les psychologues étudient. La psychologie contemporaine se définit comme la science du comportement. Elle se propose essentiellement d'établir de façon empirique les relations entre d'une part les états actuels de l'environnement, les états antérieurs de l'environnement ou éventuellement les actions antérieures de l'organisme et d'autre part les réactions actuelles de cet organisme. Pour elle, l'organisme est une boîte noire qu'il s'agit de définir à partir de ce qu'elle fait. L'approche de la psychologie se distingue par là de celle de la physiologie, qui étudie directement les mécanismes intérieurs à l'organisme.

Les relations entre les actions d'un organisme et les conditions antécédentes auxquelles on s'intéresse peuvent se représenter par une table de contingence. Or nous avons dit que la théorie de l'information s'applique à tout système dont le fonctionnement peut se résumer en une table de contingence. (1). Le comportement pourra être considéré comme une transmission d'information dans la mesure où il est en relation significative avec les événements antécédents qu'on envisage. On aura noté que la possibilité d'appliquer la théorie de l'information n'appelle pas de démonstration. Comme il s'agit d'une théorie formelle, il suffit de constater que les phénomènes comportementaux sont décrits dans une forme qui peut être traduite dans le langage de cette théorie. La seule question qui se pose est de savoir si cette traduction est commode, c'est-à-dire si elle permet de manipuler les faits plus aisément, et si elle est féconde, c'est-à-dire si elle suggère des hypothèses à tester expérimentalement.

Depuis une dizaine d'années, on a appliqué le langage et les procédés de quantification de la théorie de l'information à un grand nombre de problèmes psychologiques : seuils sensoriels, discrimination, jugements absolus, identification de configurations perceptives, mémoire, temps de décision, contrôle moteur, langage, etc. Dans les pays de langue française, un des premiers à signaler les possibilités offertes par cette théorie fut notre maître regretté le Professeur André Ombredane qui, dans une communication

(1) Cette formulation pourrait être considérée comme simpliste et peut-être fera-t-on remarquer que la théorie de Shannon s'applique à des suites infinies de messages. Cela revient à poser le problème de l'estimation des paramètres d'une population parent à partir d'un échantillon. Ce problème n'est pas particulier à la théorie de l'information.

à l'Association de Psychologie scientifique de Langue française, à Louvain, en 1953, montra comment elle permettait une nouvelle formulation des problèmes de la perception.

Nous n'entreprendrons pas de revue systématique des utilisations de la théorie de l'information en psychologie. Nous allons plutôt discuter quelques problèmes que posent ces utilisations en examinant quelques applications typiques.



La première application que nous allons envisager concerne le *temps de réaction de choix* humain. Nous considérons ici une situation expérimentale où le sujet est confronté avec un ensemble de stimuli possibles. On lui a appris à associer une réponse particulière à chaque stimulus. Chaque fois qu'un stimulus apparaît, il doit donner le plus rapidement possible la réponse correspondante. On mesure le temps qui sépare l'apparition du stimulus du début de la réponse. Cette situation a été beaucoup étudiée dans les laboratoires de psychologie, en partie parce qu'on peut la considérer comme une première approximation de beaucoup de tâches rencontrées dans la vie courante. Le comportement du sujet dans cette situation peut être représenté par une matrice de probabilités conditionnelles, les stimuli constituant l'input et les réponses, l'output. A partir des résultats expérimentaux, on peut mesurer l'entropie des stimuli $H(s)$, l'entropie des réponses $H(r)$, l'équivocation $H(s)$ (qui est nulle quand le sujet ne fait pas d'erreurs et que par conséquent à chaque stimulus ne correspond jamais qu'une seule réponse) et l'information transmise R . Chaque réponse peut ainsi être considérée comme une transmission d'information à partir de stimulations.

Dès les débuts de la psychologie expérimentale, Merkel (1883) avait étudié l'influence du nombre de stimuli possibles sur le temps de réaction de choix. Dans son expérience, le sujet devait relâcher le plus rapidement possible l'une de n clefs morses au moment où s'allumait devant lui l'une de n lampes. n variait de 1 à 10. Pour chaque essai on mesurait le temps entre l'apparition du stimulus et le relâchement de la clef. Merkel avait constaté que le temps de réaction augmentait de façon monotone avec le nombre de catégories, n . C'est à ces résultats de Merkel que Hick en 1952 eut l'idée d'appliquer les mesures d'information. Il constata qu'on pouvait y ajuster une fonction logarithmique de forme

$$TR_n = A + B \log n \quad (1)$$

ou

$$TR_n = b \log (n + a) \quad (2)$$

Il faut une constante, A ou a , parce que TR_1 , le temps de réaction « simple » correspondant au cas d'un seul stimulus, n'est pas nul. Du point de vue psychologique, il n'est pas indifférent d'adopter la formule 1 ou la formule 2, mais il serait fort difficile de déterminer expérimentalement laquelle s'ajuste le mieux aux faits, étant donné la variabilité considérable des mesures auxquelles on procède.

Hick refit sur 2 sujets l'expérience de Merkel. Il trouva de nouveau qu'un ajustement logarithmique permettait une bonne prédiction des résultats.

Ces constatations pouvaient s'interpréter en écrivant :

$$TR = A + BH \text{ (puisque, quand } p(i) = \frac{1}{n}, H = \log n \text{).}$$

Autrement dit, le temps de réaction moyen serait une fonction linéaire de l'entropie de la série des stimuli. Tout se passerait comme si l'information apportée par la stimulation devait passer au travers d'une voie de transmission à capacité limitée, qu'elle occuperait d'autant plus longtemps qu'il y aurait plus d'information à transmettre.

L'existence d'une relation linéaire entre temps de réaction et entropie de la série des stimuli, dans le cas où tous les stimuli sont équiprobables et où, comme c'est le cas chez Hick, le pourcentage d'erreurs est négligeable (de sorte que $R = H(s)$) a été rapidement vérifiée par deux autres auteurs. Hyman (1953) l'a fait pour des TR vocaux à des signaux constitués par des configurations de lampes et Crossman (1953) en utilisant une tâche de tri de cartes. Le sujet trie les cartes en n paquets. Dans cette situation, la réponse relative à chaque carte peut être considérée comme une réaction de choix.

Si l'on ne considère que les données expérimentales que nous avons envisagées jusqu'ici, le seul argument en faveur de l'utilisation de la mesure de l'information est l'existence de relations logarithmiques entre TR et nombre d'alternatives, et ce n'est peut-être pas un argument très convaincant. Toutefois, on peut faire varier l'entropie autrement qu'en modifiant le nombre d'alternatives. Pour un certain nombre d'alternatives, n , l'entropie est maximale quand toutes les alternatives sont équiprobables. Si on s'écarte de cette condition d'équiprobabilité, on introduit de la redondance et on diminue l'entropie. On pouvait se demander si, dans ces conditions, le temps de réaction demeurerait prédictible à partir de H . La question a été envisagée par Crossman (1953) qui fait trier des cartes en respectivement 2, 3 ou 4 paquets, et pour chaque nombre de catégorie de tri, considère différentes répartitions de fréquences. Les résultats confirment l'hypothèse. Quand on réduit l'entropie en s'écartant de la condition d'équiprobabilité, le temps de tri diminue en suivant la droite correspondant à l'influence du nombre de catégories. Par exemple, il faut sensiblement le même temps pour trier en trois classes équiprobables (1.58 bit par carte) ou en 4 classes se répartissant selon une proportion 60-20-10-10 (1.57 bit par carte). Hyman (1953) a obtenu des résultats analogues.

On peut aussi réduire l'information apportée par les stimuli en introduisant de la redondance séquentielle, c'est-à-dire en faisant dépendre la probabilité de chaque signal de la nature du signal précédent. Seul Hyman (1953) a envisagé cette source de variation et il a montré que le temps de réaction diminuait avec la redondance séquentielle. La réduction est assez bien prédite par la réduction de l'entropie.

Il apparaît donc que la quantité d'information à transmettre permet une bonne prédiction du temps nécessaire à la transmission. L'intérêt de la mesure d'information semble net puisqu'elle fournit un invariant pour trois formes de variations différentes.

Dans les expériences précédentes, comme il a été dit, le pourcentage d'erreurs était très faible et on pouvait probablement admettre en première approximation que

$$R = H(s) = H(r).$$

On pouvait se demander ce qui se passerait si on permettait au sujet de faire un certain pourcentage d'erreurs. Dans un canal bruyant, un codage moins redondant permet de faire passer plus de messages en un même temps au prix d'une augmentation du taux d'erreurs. La relation entre l'augmentation de vitesse et l'augmentation du taux d'erreurs sera telle que R demeure constant. Hick s'est demandé ce qu'il en serait pour l'opérateur humain. Dans une de ses expériences, les sujets ont été invités à sacrifier dans une certaine mesure l'exactitude à la vitesse. En considérant des séries de réponses correspondant à différents pourcentages d'erreurs, il apparaît que la relation erreurs-vitesse est bien celle que prédit la théorie. Il est dommage que ce résultat ait été obtenu sur deux sujets seulement et que personne depuis n'ait cherché à le vérifier. La possibilité de combiner en un seul score d'information transmise la vitesse et la précision du travail — possibilité que semble suggérer le résultat de Hick — constituerait un progrès considérable.

Les données que nous venons de voir constituent ce qu'on pourrait appeler les résultats classiques. A l'époque, ils ont provoqué un véritable enthousiasme. On a cru qu'on avait enfin trouvé une mesure générale de la difficulté des tâches. Chaque tâche pourrait être définie par un certain nombre de bits d'information à transmettre. Connaissant la capacité de transmission d'information d'un individu (il est entendu que cette capacité peut varier d'un individu à un autre) on allait pouvoir prédire la vitesse maximale à laquelle cet individu pourrait effectuer cette tâche en faisant $x\%$ d'erreurs, ou, vice-versa, combien d'erreurs il ferait si on l'obligeait à accomplir cette tâche en un temps t . Si on songe que depuis longtemps la psychologie cherche le moyen de ramener la diversité des tâches réelles à quelques mesures simples, il semble que l'enthousiasme dont il est question était parfaitement justifié et que l'hypothèse d'invariance du taux de transmission d'information méritait toute l'attention qu'on y a consacré.



Malheureusement, les choses n'étaient pas aussi simples qu'il a semblé à cette époque. Depuis, de nouveaux résultats difficilement compatibles avec l'hypothèse d'invariance ont été obtenus.

a) Même si pour une tâche déterminée, une certaine invariance peut être obtenue au travers de modifications du nombre des signaux et de la structure statistique de la

série des signaux, les taux de transmission peuvent varier fortement quand on passe d'une tâche à une autre. Dans les expériences classiques de temps à réaction de choix dont nous venons de parler, où l'entraînement des sujets est généralement faible, on obtient des taux qui varient de 3 à 7 bits par sec. Mais pour des tâches hautement apprises, on obtient des taux beaucoup plus élevés. Un pianiste tapant au piano des notes dont l'ordre a été déterminé à l'aide d'une table de nombre au hasard, peut transmettre 25 bits/sec. et la lecture à haute voix de mots au hasard permet d'atteindre des taux de 25 à 30 bits/sec.

- b) De plus, il semble que dans les tâches hautement apprises, le taux de transmission d'information ne soit plus invariant quand on modifie la fréquence des signaux. Si par exemple on réduit le vocabulaire dans lequel sont choisis les mots qu'on fait lire, chaque mot apporte moins d'information, mais la vitesse de lecture n'augmente pas en conséquence. Il semble qu'ici il y ait une certaine taille de vocabulaire pour laquelle le taux de transmission d'information est maximum.

En général, le taux de transmission d'information semble plus élevé quand les relations stimulus-réponse sont plus « naturelles », ou, pour employer un terme introduit par Fitts, quand il y a une plus forte « compatibilité » signal-réponse. Crossman (1955), a comparé deux tâches de réaction de choix. Dans les deux tâches, le sujet avait à choisir une touche réponse dans une rangée horizontale de 10 touches. Mais, dans l'une, les signaux étaient constitués par 10 lampes disposées également sur une rangée horizontale, avec correspondance directe entre lampes et touches. Dans l'autre, les signaux étaient disposés verticalement, les uns en-dessous des autres, la lampe du haut appelant la réponse sur la touche extrême de gauche, et la lampe du bas appelant la réponse sur la touche extrême de droite. Le deuxième type de relation donne des taux de transmission de l'ordre de 6-7 bits/sec. tandis que la première permet d'atteindre de 15 à 30 bits selon les sujets. La différence vient probablement de ce que la première relation est une relation que nous avons rencontrée et expérimentée beaucoup plus fréquemment que la seconde.

Que l'expérience d'une relation entre un ensemble de stimuli et un ensemble de réponses puisse amener une augmentation du taux de transmission d'information vient d'être montré par Mowbray et Rhoades (1960). Ces auteurs ont entraîné un sujet pendant plusieurs mois sur une tâche de réaction de choix avec 2 et 4 couples signal-réponse. La différence entre le temps de réaction dans les deux conditions a pratiquement disparu à la fin de l'expérience (le sujet avait à ce moment donné plus de 40.000 réponses).

Leonard (1960) a étudié l'influence du nombre de catégories de choix sur le temps de réaction dans une des situations les plus compatibles qu'on puisse envisager : le sujet pose les doigts sur les bras de relais électromagnétiques ; quand un des bras de relais se met à vibrer (on y lance du courant alternatif) il doit le plus rapidement possible exercer une pression à l'aide du doigt ainsi stimulé. Il est apparu une différence nette entre le temps de réaction simple (un seul stimulus : $TR_1 = 182$ msec. en moyenne) et les temps de réaction dans les conditions avec choix (en moyenne 225 msec.). Mais il n'y a pas de différence appréciable entre les différents degrés de choix envisagés (2, 4 et 8). Tout se passe donc comme si dans une situation de ce genre, le sujet, pourvu qu'il y ait choix, était incapable de tirer profit d'une réduction du nombre des possibilités, et travaillait toujours en tenant compte de l'ensemble des possibilités.



En somme, les applications de la théorie de l'information dans le domaine des temps de réaction ont été stimulées principalement par l'espoir que les mesures d'information permettraient d'expliquer la grande masse des données à partir d'une loi simple, celle de la constance du taux de transmission d'information. Cet espoir a été déçu. Le problème est maintenant de savoir si la théorie perd par là tout intérêt dans ce domaine, comme d'aucuns le pensent.

L'hypothèse d'une constance universelle du taux de transmission d'information revenait à supposer que l'homme, quelle que soit la tâche à laquelle il s'occupe, pouvait être considéré comme un canal de communication unique, fonctionnant toujours avec codage optimal. Ce que nous voudrions montrer maintenant est que le langage de la théorie de l'information demeure utile, à condition d'être prêt à considérer

1) que l'homme n'est pas une seule voie, mais un ensemble de voies connectées entre elles de diverses façons ;

2) que ces voies peuvent fonctionner avec codage sub-optimal.

1) Dans ses expériences de tri de cartes, Crossman (1953) a montré que si on demandait au sujet de trier des cartes en 2 paquets comportant respectivement les images rouges et les numéros noirs, et les images noires et les numéros rouges, la vitesse de tri était celle qui correspond normalement à quatre paquets et non celle qui correspond à deux paquets. Autrement dit, bien que la réponse n'apporte qu'un bit par choix, le temps de tri est celui qui correspond à 2 bits. Une constatation parallèle est celle de Gregg (1954) qui fait choisir à ses sujets l'une de deux réponses pour des stimuli qui varient selon respectivement 1, 2, 3 ou 4 dimensions. Les stimuli sont des ellipses qui, dans la condition à 4 dimensions, peuvent être grandes ou petites, brillantes ou obscures, situées vers le haut ou vers le bas, et vers la gauche ou la droite. Autrement dit, il n'y a jamais que deux catégories de réponses, mais il y a respectivement 2, 4, 8 ou 16 stimuli différents. Les résultats montrent que le temps de réaction subit l'influence du nombre de catégories de stimuli. Ces résultats sont difficiles à interpréter si on veut absolument considérer l'opérateur humain comme une seule voie de transmission. Par contre, si on admet de considérer deux voies en séries, les choses deviennent simples. Toute l'information apportée par les stimuli est transmise à travers une première voie jusqu'à un stade où l'information utile, nécessaire au seul choix binaire demandé, est extraite. Cette information utile est alors transmise à travers une deuxième voie. Les résultats montrent que les capacités respectives des deux voies sont telles que la limite est imposée par la première.

2) Pour obtenir une transmission optimale, le codage doit être adapté aux caractères statistiques de la source. Beaucoup de données expérimentales peuvent s'interpréter en disant que ce n'est pas toujours le cas.

Krulse et Sinclair (1953) ont fait trier des fiches portant des numéros entre des espèces de boîtes postales qui soustrayaient les fiches triées au regard. Dans une de leurs conditions, on annonçait aux sujets qu'ils auraient à trier entre 12 boîtes. En fait, 8 numéros différents seulement apparaissaient. Le temps de tri obtenu dans cette condition est celui qui correspond à 12 catégories, non celui qui correspond à 8 catégories. Cet exemple simple montre clairement que le codage est essentiellement fonction des renseignements que le sujet a pu obtenir au sujet du vocabulaire possible. Or, il semble que même lorsqu'on donne au sujet des informations convenables au sujet de ce vocabulaire, il ne soit pas toujours capable de les utiliser pour modifier son codage. C'est ce qui se passe pour la lecture : même si les mots à lire sont choisis dans un vocabulaire plus restreint que celui auquel le sujet est habitué, celui-ci continue à tenir compte des mots exclus.

L'impossibilité de s'adapter aux réductions de vocabulaire semble, comme nous l'avons vu, se manifester surtout pour des tâches hautement apprises, celles où par ailleurs on observe les taux de transmission les plus élevés, pour des vocabulaires déterminés. En termes de codage, ces faits peuvent s'exprimer de la façon suivante : sans entraînement, les sujets utilisent un code très redondant (d'où la faiblesse du taux de transmission) mais qu'ils adaptent facilement aux variations de vocabulaire ; avec entraînement, ils adoptent un codage beaucoup plus efficace pour le vocabulaire habituel, mais qu'ils ne peuvent plus modifier, — ou qu'ils ne peuvent modifier que dans une mesure très faible — pour tirer parti de réductions momentanées du vocabulaire. Prenons le cas très simple d'un vocabulaire de quatre messages, réductible parfois à deux, et d'un codage en signaux binaires. Sans entraînement, le code pour quatre messages serait, par exemple :

A	B	C	D
000000	010101	101010	111111

mais pour deux messages, il deviendrait :

A	B
000	111

Après entraînement, on aurait pour quatre messages :

A	B	C	D
00	01	10	11

et pour deux :

A	B
00	01

Ce que nous venons de proposer n'est évidemment qu'une façon d'exprimer les faits observés. Le vrai problème pour le psychologue est de savoir pourquoi l'entraînement a de tels effets. Mais tout ce que nous voulons suggérer, c'est que le langage des communications permet ici encore une description commode des faits.



Une autre situation classique de psychologie expérimentale à laquelle on a appliqué le langage des communications est celle dite des *jugements absolus*. Dans cette situation, on présente à un sujet une série d'objets différant entre eux par une caractéristique, la taille par exemple. A chaque objet on associe un nom, ou un numéro d'ordre. Après avoir appris au sujet l'association entre les noms et les objets, on lui présente ceux-ci un à un et on lui demande chaque fois de fournir le nom correspondant. On imagine sans peine que lorsque le nombre d'objets devient grand, des confusions commencent à se produire.

Les réponses fournies par un sujet dans une expérience de ce genre peuvent se ranger dans une table de contingence, à partir de laquelle on peut procéder au calcul de l'information transmise. Pour une gamme de stimuli, on peut étudier expérimentalement l'évolution de la variable R quand on augmente l'entropie des stimuli, en faisant croître le nombre de stimuli différents présentés. Cela a été fait pour diverses catégories de stimuli — sons variant par la hauteur tonale, par l'intensité, formes géométriques variant par la taille, surfaces variant par l'intensité de la couleur, solutions salines de concentrations variables à apprécier par le goût, etc. De façon générale, on a constaté que lorsque le nombre des échelons à distinguer dans une même gamme de stimuli augmente, R augmente avec H jusqu'à une certaine valeur maximale, où il se maintient ensuite. Autrement dit, une certaine quantité d'information peut être extraite des stimuli. Si l'information présentée est inférieure à ce maximum, elle est transmise intégralement. Si elle le dépasse, des erreurs apparaissent, et en proportion telle que R demeure constante et égale à $R_{\max}$.

Sur la base des premiers résultats obtenus dans ce domaine, Miller (1956) avait émis l'hypothèse que la limite était indépendante de la modalité sensorielle intéressée et de l'étendue de la gamme des stimuli, et qu'en général, notre capacité d'identification se situait au niveau du « nombre magique sept, plus ou moins deux ». Ceci, du moins, aurait été valable pour des stimuli variant par une seule « dimension ». Pour des stimuli variant par plusieurs dimensions, le plafond correspondant au nombre 7 pourrait être dépassé — ce qui expliquerait que pour les stimuli multi-dimensionnels que sont les objets que nous rencontrons dans la vie courante, notre capacité d'identification dépasse considérablement cette limite. Pour des sons variant par la hauteur tonale uniquement, l'information transmise maximum est de 2,5 bits ; pour des sons variant par l'intensité uniquement, elle est de 2,3 bits ; pour des sons variant selon les deux dimensions, elle est de 3,1 bits. Il y a donc combinaisons des informations apportées par les deux dimensions, mais la combinaison n'est pas additive.

Un examen plus attentif de l'ensemble des données maintenant disponible rend l'hypothèse de Miller peu vraisemblable. En fait, l'information transmise maximale semble bien dépendre de la modalité sensorielle considérée et aussi de l'étendue de la gamme (Alluisi, 1957). On voit qu'ici aussi l'espoir que l'emploi de mesures d'information fournirait un invariant général a été déçu.

Mais, même indépendamment de cette constatation, se posait ici un problème qui a reçu trop peu d'attention : peut-on intégrer cette application de la théorie de l'information et celle qui a été faite aux temps de réaction ? On a affaire ici à une limite indépendante du temps. Les stimuli sont présentés pendant un temps indéfini et le sujet peut prendre tout le temps qu'il veut pour donner sa réponse. Le système qu'on considère n'a donc pas les mêmes propriétés que celui qu'on considère dans le cas des temps de réaction.

Il semble bien que la limite au nombre de réponses dans le cas des jugements absolus vienne de l'information mise en réserve au sujet de l'échelle de référence. On peut montrer très facilement — par exemple en faisant procéder à des comparaisons simultanées — que beaucoup plus d'information peut être extraite des stimuli présentés que celle qui apparaît dans les jugements. Mais quand la comparaison doit être faite avec un ensemble de stimuli présentés antérieurement, c'est la trace de cette présentation antérieure qui fixe la limite.

On doit donc considérer ici un système dont l'output dépend de deux input différents : les stimuli présentés actuellement, et la réserve, ou mémoire, où est stockée l'information relative à l'échelle de référence.

Ceci nous amène à une troisième modification qu'il faut faire subir aux utilisations classiques de la théorie de l'information pour aborder les problèmes comportementaux. A côté de la transmission d'information à travers une voie, représentée par le schéma du Shannon, il faut considérer le stockage d'information dans une mémoire. Ici la limite dépend du nombre d'états dans lesquels peut se trouver cette mémoire. Elle s'exprime par un nombre absolu de bits et non plus par un nombre de bits par unité



Pour conclure, il nous suffira de rassembler quelques idées qui ont déjà été exprimées dans ce qui précède.

Il ne fait pas de doute qu'après la flambée d'enthousiasme qui a accompagné son introduction en psychologie, la théorie de l'information est maintenant l'objet d'une réelle désaffection. Nous pensons qu'elle ne méritait pas cet excès d'honneur, et qu'elle ne mérite pas non plus son indignité actuelle.

L'un et l'autre ont été liés au fait qu'on a identifié la théorie de l'information avec quelques hypothèses particulières formulées dans le langage de cette théorie : constance des taux de transmission d'information dans le cas des temps de réaction, constance de l'information transmise maximale, dans le cas des jugements absolus. Des hypothèses d'invariance du même genre ont été formulées pour d'autres situations expérimentales dont nous n'avons pas parlé, comme la capacité de la mémoire immédiate, ou la vitesse de reconnaissance de configurations visuelles. D'une façon générale, ces hypothèses apparaissent comme les plus simples qu'on pût envisager, une fois décidée une analyse à l'aide de statistiques empruntées à la théorie de l'information. Après quelques confirmations dans quelques cas particuliers — d'où le mouvement d'enthousiasme — ces hypothèses se sont révélées trop simples — d'où le mouvement de désaffection —. Il est pourtant évident que lorsque une hypothèse n'arrive pas à rendre compte de tous les faits, la démarche à accomplir consiste à en formuler d'autres, plus générales. Nous avons essayé de montrer que de telles hypothèses pouvaient être formulées dans le langage de la théorie de l'information pour des situations où les hypothèses d'invariance formulées auparavant se sont révélées fausses.

REFERENCES

- ALLUISSI, E.A., Conditions affecting the amount of information in absolute judgments. *Psychol. Rev.* 64, 1957, 97-103.
- BAUDOUX, P., La théorie de l'information. *Rev. Gén. Sc. Appl.* 1, 1953, 1-9.
- BROADBENT, D.E., *Perception and Communication*. Pergamon, London, 1958.

- CROSSMAN, E.R.F.W., Entropy and choice time: the effect of frequency unbalance on choice-responses. *Quart. J. Exp. Psychol.* 5, 1953, 41-51.
 - CROSSMAN, E.R.F.W., The information capacity of the human operator in symbolic and non-symbolic control processes, in J. DRAPER (éd.) *The application of information theory to human operator problems*. Ministry of Supply, Londres, 1955.
 - FANO, R.M., *Transmission of Information*. Mass. Inst. Techn. Res. Lab. Electron. Rep. 65, 1949.
 - FAVERGE, J.M., Le modèle de la théorie de l'information en psychologie. Actes XV^e Cong. Int. Psychol. (Bruxelles 1957), Amsterdam, 1958.
 - GREGG, L.W., The effect of stimulus complexity on discriminative responses. *J. Exp. Psychol.*, 48, 1954, 289-297.
 - HAMMING, R.W., Error detecting and error correcting codes, *Bell System techn. J.*, 29, 1950, 147-160.
 - HICK, W.E., On the rate of gain of information. *Quart. J. Exp. Psychol.*, 4, 1952, 11-26.
 - HYMAN, R., Stimulus information as a determinant of reaction time. *J. Exp. Psychol.*, 45, 1953, 188-196.
 - KRULEE, G.K. & SINCLAIR, E.J., Some behavioral implications of information theory. *Naval Res. Lab. Rep. n° 4119*, 1953.
 - LEONARD, J.A., Tactual choice reactions. *Quart. J. Exp. Psychol.*, XI, 1959, 76-83.
 - MILLER, G.A., The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol. Rev.*, 63, 1956, 81-97.
 - MOWBRAY, G.H., & RHOADES, M.V., On the reduction of choice reaction times with practice. *Quart. J. Exp. Psychol.*, XI, 1959, 16-23.
 - OMBREDANE, A., Perception et Information, dans : *La Perception*, P.U.F., Paris, 1955, pp. 85-99.
 - OMBREDANE, A. et FAVERGE, J.M., *L'Analyse du Travail*, Facteur d'économie humaine et de productivité. P.U.F., Paris, 1955.
 - QUASTLER, H. (ed), *Information theory in Psychology*. Problems and methods, The Free Press, Glencoe, Ill., 1955.
 - SHANNON, C.E. & WEAVER, W., *The mathematical theory of communication*. Univ. Ill. Press, Urbana, 1949.
-

Les ordinateurs et le traitement des informations

L'Organisation Européenne de Coopération Economique, par le truchement de l'Agence Européenne de Productivité, a organisé, pendant la période d'avril à juin 1960, une mission d'experts européens aux Etats-Unis, dont l'objet était de faire le point des réalisations américaines dans le domaine du traitement des informations par ordinateur.

Le rapport de cette mission est sorti de presse récemment et sera complété par une série d'annexes comportant notamment les textes des conférences qui ont été faites à l'intention des membres de la mission et des comptes rendus des visites de certaines installations.

1. *Composition de la mission.*

Président : M. Brian A. Maynard, Partner de Cooper Brothers and Company - Londres ;

Responsable du programme : M. Carl Seelmayer (O.E.C.E./A.E.P.)

Les membres étaient au nombre de 25, représentant dix pays : Allemagne, Autriche, Danemark, France, Grande-Bretagne, Irlande, Italie, Pays-Bas, Norvège et Suède.

2. *Considérations extraites du rapport de la mission.*

1. Les enquêtes de la mission ont porté sur une cinquantaine de firmes industrielles ou commerciales, trente services publics, treize universités et établissements d'enseignement, cinq firmes pratiquant le « service bureau » et les principaux fabricants d'équipements électroniques. En dehors de ce programme officiel, plusieurs membres ont visité individuellement d'autres installations.

2. Le traitement intégré des données peut être défini comme la mise en place du cheminement et du traitement les plus adéquats et les plus automatiques des informations de base. Cela nécessite une approche globale (souvent à l'échelle de l'entreprise) et la connaissance de toutes les interconnexions des activités administratives, de telle sorte que le traitement des informations soit préparé en tenant compte des exigences de tous les utilisateurs finaux connus.

Une bonne intégration implique l'enregistrement initial de toutes les informations de base intervenant dans un processus quelconque, sous une forme qui puisse être lue automatiquement et ensuite traitée de façon à rendre minima, et les interventions humaines subséquentes et la répétition d'opérations similaires à partir des mêmes informations.

3. Dans la grande entreprise, où la direction contrôle sur base des rapports, les avantages principaux de l'intégration résident dans l'amélioration de ces rapports.

4. Tout le travail de routine doit être centralisé par suite de l'introduction d'un ordinateur. Les activités restant l'apanage exclusif des différents départements sont la collection et la vérification des informations, les cas spéciaux et l'étude de rapports.

5. De nombreux rapports, dont l'élaboration n'aurait pas été rentable avant l'introduction de l'ordinateur, peuvent être réalisés comme sous-produits des travaux principaux.

6. Un domaine où les ordinateurs se sont montrés particulièrement précieux, est le secteur commercial. Plusieurs entreprises ont souligné qu'une meilleure connaissance des écarts entre prévisions et réalisations et de leurs causes a permis de mieux définir les points d'impact de l'effort de vente.

Une entreprise, en particulier, a pu accroître ses débouchés par le fait qu'elle se trouvait en mesure de suggérer à ses clients, à titre de service, les quantités qu'ils devraient commander.

Dans beaucoup de cas, la capacité qu'ont les ordinateurs de passer en revue de grandes quantités d'informations à très grande vitesse, sans risque d'omission, a été mise à profit pour accroître l'efficacité des méthodes de gestion.

7. Les membres de la mission ont été un peu déçus des réalisations pratiques aux Etats-Unis. Beaucoup d'entreprises hésitent à travailler en pionniers. Les plus progressives d'entre elles ont tenté des applications limitées à des domaines déterminés comme :

a) *Le secteur commercial :*

--- Enquêtes, remises de prix, facturation, états des stocks, contrôles des crédits et des comptes, statistiques commerciales.

b) *Le secteur production :*

Planning en cours de fabrication, techniques de production, états d'avancement, paie et prix de revient.

c) *Le secteur approvisionnements :*

Matières premières, réquisitions, bons de commandes, livraisons, réceptions, comptabilité.

8. Dans plusieurs applications, une certaine méconnaissance de la part de la Direction des possibilités des ordinateurs, combinée avec l'enthousiasme de l'équipe chargée de démarrer le nouveau système, a conduit à la mise en application de systèmes isolés comme la paie ou la facturation, sans tenir compte de leur relation avec d'autres systèmes ou sans entreprendre une réévaluation des méthodes utilisées.

A l'appui de cette procédure, on souligne qu'elle est souvent nécessaire pour maintenir le moral de l'équipe, désireuse d'obtenir des résultats concrets rapides, mais il faut, par ailleurs, souligner que, lorsque l'occasion initiale de tout repenser a été manquée, des modifications ultérieures deviennent difficiles et coûteuses.

9. Le coût des équipements électroniques aux Etats-Unis est sensiblement du même ordre qu'en Europe mais, par contre, le niveau des appointements est en moyenne deux fois plus élevé aux Etats-Unis. On ne peut donc transposer, sans de prudentes réserves, d'un côté à l'autre de l'océan, les conclusions d'études de rentabilité. Celle-ci étant moins évidente en Europe, la tendance à étudier avec plus de soin le planning initial y est plus forte ce qui laisse préjuger qu'à l'avenir, les systèmes intégrés les mieux conçus pourraient se trouver en Europe.

10. *Ordinateurs et Recherche Opérationnelle.*

Les participants à la mission ont été frappés par l'usage croissant des techniques de Recherche Opérationnelle aux Etats-Unis, dans l'industrie et le commerce, dû en grande partie à l'extension de l'usage des ordinateurs, pour deux raisons principales :

- a) Parce que, dans beaucoup de cas, l'utilisation des techniques de la Recherche Opérationnelle n'est possible que s'il existe des équipements permettant de calculer à grande vitesse ;
- b) Parce que l'introduction, dans les programmes des ordinateurs, de formules mises au point par la Recherche Opérationnelle, permet de meilleures décisions dans les cas de problèmes complexes.

L'ordinateur permet notamment de recourir à la simulation : une fois que les relations entre les divers facteurs intervenant dans un processus industriel ont été définies mathématiquement, un grand nombre de situations différentes peuvent être comparées en vue de décider de la meilleure « stratégie » à adopter.

Dans d'autres cas, l'ordinateur permet de traiter des informations d'une manière qui serait prohibitive manuellement ou par des moyens mécaniques plus simples, en gestion des stocks, par exemple.

Certaines applications intéressantes, combinant l'emploi des méthodes statistiques et des ordinateurs, ont permis de réduire le volume d'informations à

traiter, par exemple par le recours à des techniques d'échantillonnage qui donnent, à moindre coût, des résultats équivalents au traitement systématique de toutes les informations.

Il est certain que le recours à la Recherche Opérationnelle dans l'industrie ira croissant, et certains fabricants d'équipements électroniques utilisent des équipes de Recherche Opérationnelle pour mettre au point des programmes tout faits de gestion des stocks et de contrôle de la production.

11. La responsabilité de l'implantation d'un système de traitement intégré des informations doit être confiée à un haut dirigeant de l'entreprise, étant donné les répercussions que cela implique sur l'ensemble de l'organisation.

12. *L'étude initiale.*

Le premier acte que doit poser la haute Direction est de faire procéder à une étude de base dont l'objet principal soit d'évaluer les avantages, économiques et autres, du système proposé et de les comparer aux efforts nécessaires et aux inconvénients inévitables.

Aux Etats-Unis, beaucoup plus qu'en Europe, les entreprises font appel à des consultants, soit pour aider leurs cadres à préparer l'étude initiale, soit pour en discuter les conclusions.

Comme en Europe, peu de petites entreprises disposent d'équipes de spécialistes des méthodes et, là où elles existent, leurs membres ont rarement, au départ, une compétence valable en matière de traitement électronique des informations. Dans ces cas, les consultants ont pu contribuer utilement à la formation d'une telle équipe.

Les impressionnantes réalisations des fabricants d'ordinateurs ont conduit, dans certains cas, à surestimer le rôle qu'ils peuvent normalement remplir : on ne peut, en effet, raisonnablement s'attendre à ce qu'ils conduisent avec impartialité une étude de base concernant les besoins d'une société déterminée. Il est préférable de ne leur demander d'aide que lorsque l'étude initiale a permis d'estimer approximativement les besoins de l'entreprise. On risque, autrement, le danger que les propositions soient présentées de manière à s'adapter aux caractéristiques d'un ordinateur déterminé. Il ne peut aussi y avoir une tendance à arrêter les recherches, dès qu'une justification pour l'installation d'un équipement déterminé a pu être produite.

13. Le coût d'une installation électronique de traitement des informations a souvent été sous-estimé par omission des facteurs suivants :

- a) Le besoin de continuer l'effort d'analyse après la période initiale, à la fois pour mettre au point de nouveaux programmes et pour revoir les programmes initiaux en vue de les adapter à toutes modifications dans l'activité de l'entreprise ;
- b) L'accroissement du coût du personnel, au fur et à mesure qu'il gagne de l'expérience dans ce nouveau domaine.

14. Les réductions d'effectifs estimées en conclusion d'une étude préliminaire sont rarement atteintes. Les raisons en sont :

- a) Le nombre de petits travaux qui subsistent, après que la charge principale ait été reprise par l'ordinateur, est souvent sous-estimé ;
- b) Alors que les économies prévues peuvent être réalisées par l'effet du déchet normal, pour les plus jeunes membres du personnel (1), il faut souvent, s'il existe dans l'entreprise une politique de stabilité d'emploi, créer des travaux non essentiels pour occuper les membres âgés du personnel ;

N. B. (1) — Il s'agit d'entreprises américaines où la mobilité du personnel jeune est beaucoup plus élevée qu'en Europe.

- c) Lorsqu'une partie seulement des activités de certains agents est touchée par l'introduction de nouveaux systèmes, il peut être difficile de réorganiser le travail de façon à ce que ces économies partielles s'additionnent réellement. Sauf précaution spéciale, il y a grand risque qu'un travail supplémentaire soit conçu pour remplir le temps libéré.

15. La où une installation de traitement n'est utilisée que pour une application principale, le responsable du traitement électronique de l'information relève du chef du département en charge de cette application. Cette situation peut cesser d'être appropriée si, ultérieurement, des travaux importants relevant d'autres départements viennent s'ajouter au travail initial. La situation que l'on rencontre le plus fréquemment aux Etats-Unis paraît être de faire dépendre le centre de traitement du « Vice-Président » en charge des questions financières, dans le secteur duquel sont déjà traitées des informations couvrant l'ensemble des activités de l'entreprise.

16. En plusieurs occasions, des difficultés ont été causées par un manque de liaison entre le centre de traitement et les cadres des départements non directement intéressés. Le meilleur moyen de vaincre la résistance au changement et une crainte assez naturelle de conflits d'attribution, consiste à organiser des causeries suivies de discussions.

17. Différentes administrations des Etats-Unis échangent des informations enregistrées sur bande magnétique, ce qui évite la duplication de certains travaux; c'est ainsi que des ordonnances de paiement de l'Administration des Anciens Combattants sont enregistrées à Chicago sur bande magnétique et envoyées à l'Administration Centrale des Finances des Etats-Unis à Washington.

Les perspectives qu'offre une telle centralisation des informations ont été mises à l'étude aux Etats-Unis, où un grand nombre de renseignements sont tenus à la fois par les pouvoirs locaux et par le pouvoir central.

Des recherches sont en cours sur la meilleure manière de stocker de grandes quantités d'informations et surtout de les retrouver rapidement, en vue de tirer le meilleur parti possible de l'accélération et de l'amélioration des moyens de transmission. Il devrait être possible, pour l'Administration d'interroger directement le centre de stockage et d'en recevoir une réponse immédiate, sans intervention humaine. Toute perte d'autorité ou d'efficacité due à la centralisation serait ainsi évitée.

18. Les membres de la mission ont été amenés à s'intéresser au rôle éducatif des simulations de gestion sur ordinateurs : elles rendent les participants conscients des relations qui existent entre différentes décisions qui, dans la pratique, sont trop souvent prises indépendamment par différents membres d'une équipe de direction ;

— Elles peuvent aussi servir à illustrer l'importance des programmes à long terme et à montrer en quoi la réalisation de ces programmes est affectée par la stratégie des concurrents.

Enfin, en dehors de leur aspect éducatif, les simulations de gestion sont appelées à être utilisées de plus en plus comme un outil de recherche, par exemple, pour l'évolution de la conjoncture économique et l'étude des tendances.

19. Aux Etats-Unis, comme en Europe, le problème essentiel consiste à former un nombre suffisant d'analystes, hommes-clés dans la préparation d'un système de traitement des informations. Un fabricant de matériel a créé récemment un centre de formation. En dehors de cette initiative, il n'existe que certains cours d'introduction organisés par des universités ou des consultants.

20. La transmission des informations entre localités est étudiée de très près aux Etats-Unis, bien que plusieurs entreprises estiment préférable et plus économique d'expédier des cartes ou des bandes plutôt que d'utiliser le système

télégraphique. Le télégraphe et le téléphone sont utilisés assez fréquemment aux Etats-Unis, et beaucoup moins en Europe, pour alimenter directement les ordinateurs.

Il semble que le taux d'erreurs dans la transmission soit beaucoup plus faible aux Etats-Unis, ce qui pourrait être dû à l'usage répandu de lignes privées de transmission dans ce pays. Un équipement récent a été mis au point aux Etats-Unis, qui permet de transmettre des informations à grande vitesse, d'une bande magnétique à une autre, par câble ou par radio.

21. La mission est arrivée à la conclusion qu'il serait utile qu'un organisme européen centralise la documentation sur les développements dans le domaine du traitement de l'information, et souhaite que les efforts faits dans ce sens par le centre néerlandais de traitement de l'information soient encouragés.

De ordinateuren en de geïntegreerde verwerking van gegevens

De Europese Organisatie voor Economische Samenwerking heeft met de hulp van het Europese Agentschap voor Productiviteit, gedurende de tijdspanne april-juni 1960 een zending van Europese deskundigen naar de Verenigde Staten georganiseerd met de bedoeling de Amerikaanse verwezenlijkingen te leren kennen op het gebied van het verwerken van gegevens met ordinateuren.

Het verslag van deze zending is onlangs van de pers gekomen en zal vervolledigd worden door een reeks aanvullingen, nl. de teksten der lezingen die gehouden werden voor de leden van de zending en de verslagen over bezoeken aan bepaalde instellingen.

1. Samenstelling van de zending.

Voorzitter : M. Brian A. Maynard, Cooper Brothers and Co - London.
Verantwoordelijke voor het programma : M. Carl Seelmayer (O.E.C.E./A.E.P.).
25 leden vertegenwoordigden 10 landen, nml. : Duitsland, Oostenrijk, Denemarken, Frankrijk, Engeland, Ierland, Italië, Nederland en Zweden.

1. De onderzoeken van de zending vonden plaats in een vijftigtal nijverheids- of handelsinstellingen, 30 openbare diensten, 13 universiteiten en onderwijsinstellingen, 5 firmas die « bureeldienst » toepasten en de voornaamste producenten van elektronische uitrustingen. Buiten dit officieel programma, hebben verschillende leden afzonderlijk nog andere instellingen bezocht.

2. De geïntegreerde behandeling van gegevens kan gedefinieerd worden als het op punt stellen van de best aangepaste en de meest automatische methode voor het verwerken van basisgegevens.

Dit vereist een algemene studie (dikwijls op het vlak van de hele onderneming) en de kennis van alle verbandingen tussen de verschillende administratieve diensten, zodat de behandeling der gegevens voorbereid wordt rekening gehouden met de eisen van alle gekende uiteindelijke gebruikers.

Een goede integratie vergt van het begin af een volledige registratie van alle basisinlichtingen welke in een willekeurig proces voorkomen, onder een vorm die automatisch kan afgelezen worden en vervolgens zodanig kan behandeld worden dat zowel de daaruit volgende menselijke tussenkomsten als de herhaling van gelijksoortige behandelingen uitgaande van dezelfde gegevens, minimaal zijn.

In de grote onderneming, waar de directie controleert op basis van verslagen, liggen de voornaamste voordelen van de integratie in de verbetering van die verslagen.

4. Alle routine-werk moet gecentraliseerd worden bij het in gebruik nemen van een ordinator.

De werkzaamheden die specifiek bij de verschillende afdelingen blijven, betreffen het verzamelen en het nazicht der inlichtingen, de speciale gevallen en de studie der verslagen.

5. Vele verslagen, waarvan de uitwerking niet renderend zou geweest zijn vóór de invoering van de ordinator, kunnen verwezenlijkt worden als neven-produkten van het hoofdprogramma.

6. Een gebied waar de ordinateuren van groot nut gebleken zijn, is de handelssector. Verschillende ondernemingen hebben er de nadruk op gelegd dat een betere kennis van de afwijkingen tussen vooruitzichten en verwezenlijkingen en van de oorzaken daarvan, toegelaten heeft beter de brandpunten te bepalen van hun verkoopsinspanning. Meer bepaald heeft één der ondernemingen haar afzetgebied kunnen vergroten door het feit dat ze in staat was haar cliënteel, bij wijze van service, de hoeveelheid te suggereren die zij moeten bestellen.

In vele gevallen is het vermogen dat de ordinateuren bezitten om vele gegevens in een korte tijd te verwerken zonder één enkele te vergeten, van nut geweest voor de verhoging der efficiëntie van de methoden van bedrijfsbeheer.

7. De leden van de zending waren een weinig ontgoocheld over de praktische verwezenlijkingen in de Verenigde Staten. Vele ondernemingen aarzelen om baanbrekend werk te verrichten. De meest vooruitstrevenden onder hen hebben beperkte toepassingen beproefd in wel omlijnde gebieden, zoals:

a) *De handelssector :*

Enquêtes, prijsverminderingen, facturatie, stocklijsten, nazicht van de kredieten en rekeningen, handelsstatistieken.

b) *De productiesector :*

Planning tijdens fabricatie, productietechnieken, staat van vooruitgang, loon en kostprijzen.

c) *De bevoorradingsector :*

Grondstoffen, vorderingen, bestelbons, leveringen, recepties, boekhouding.

8. In vele toepassingen heeft een zeker gebrek aan kennis vanwege de directie omtrent de mogelijkheden der ordinateuren, samen met het enthousiasme van de groep die belast was met het op punt stellen en starten van het nieuwe systeem, geleid tot het in toepassing brengen van geïsoleerde systemen zoals de betaling of de facturatie, zonder rekening te houden met hun verhouding tot andere systemen of zonder de gebruikte methodes aan te passen.

Als verantwoording van deze procedure, legt men er de nadruk op dat ze dikwijls noodzakelijk is om de moraal hoog te houden in de groep, die verlangt vlug concrete resultaten te bekomen, maar er moet anderzijds ook op gewezen worden dat, wanneer bij de aanvang de gelegenheid ontbreekt om alles opnieuw te overdenken, latere wijzigingen moeilijk en duur worden.

9. De prijs van de elektronische installaties in de Verenigde Staten is dezelfde als in Europa, maar het loonpeil is gemiddeld tweemaal hoger in de Verenigde Staten. Men mag dus niet zonder enige omzichtigheid de beslissingen betreffende rentabiliteitsstudies van de ene zijde van de Oceaan naar de andere zijde overhevelen.

Aangezien deze rentabiliteit minder vanzelfsprekend is in Europa, komt de neiging om de aanvangsplanung met meer zorg te bestuderen hier sterker naar

voor hetgeen laat vermoeden dat in de toekomst de best ontworpen geïntegreerde systemen in Europa zullen te vinden zijn.

10. *Ordinatoren en Operationeel Onderzoek.*

De deelnemers aan de zending waren getroffen door het stijgend gebruik van Operationele Onderzoekstechnieken in de V. S., zowel in de nijverheid als in de handel, en dit grotendeels als gevolg van het toenemend gebruik van ordinateuren, Men vermeldt in hoofdzaak twee redenen :

- a) In vele gevallen is het gebruik van de Operationele Onderzoekstechnieken alleen mogelijk wanneer er installaties bestaan die toelaten met grote snelheid te rekenen.
- b) Het invoeren in de programmas der ordinateuren van formules, op punt gezet door Operationeel Onderzoek, laat toe betere beslissingen te treffen bij ingewikkelde problemen.

De ordinator opent de mogelijkheid van simulatie : zodra het verband tussen de verschillende factoren van een industrieel proces mathematisch bepaald is kan een groot aantal verschillende gevallen onderling vergeleken worden om aldus de « optimale strategie » te bepalen.

In andere gevallen laat de ordinator toe gegevens te behandelen op een manier die voor verwerking met de hand of met eenvoudiger mechanische middelen te omslachtig zou zijn : zo bvb. bij het stockbeheer. Sommige interessante toepassingen die het gebruik van statistische methoden koppelen aan dat van ordinateuren, hebben toegelaten de hoeveelheid te behandelen gegevens te vermindern, bvb. door beroep te doen op de steekproeftechnieken die, met minder kosten, resultaten geven die gelijkwaardig zijn aan deze van een systematische behandeling van alle gegevens.

Het staat vast dat in de toekomst meer en meer beroep zal gedaan worden op Operationeel Onderzoek, en sommige fabrikanten van electronische installaties maken gebruik van groepen operationele onderzoekers die zich bezig houden met het op punt stellen van gebruiksklare programmas voor stockbeheer en productiecontrole.

11. De verantwoordelijkheid voor het invoeren van een geïntegreerd systeem voor het verwerken van gegevens moet toevertrouwd worden aan een hoger kaderlid van de onderneming, gezien de weerslag die deze invoering heeft op het geheel van de onderneming.

12. *De voorafgaandelijke studie.*

Het eerste wat de Hogere Directie hoeft te doen is een studie te laten maken, waarin de economische en andere voordelen van het voorgestelde systeem afgewogen worden tegenover de gestelde eisen en de onvermijdelijke nadelen.

In de V. S., veel meer dan in Europa, doen de Ondernemingen beroep op raadgevers, hetzij om hun kaders te helpen, hetzij om de besluiten ervan te beoordelen.

Evenals in Europa beschikken weinige van de kleine ondernemingen over gespecialiseerde methode-diensten en daar waar ze bestaan zijn de leden aanvaankelijk slechts zelden voldoende onderlegd in de electronische verwerking van gegevens. In die gevallen hebben de raadgevers nuttige bijdragen geleverd tot de vorming van een dergelijke groep.

De indrukwekkende verwezenlijkingen van de fabrikanten van ordinateuren hebben in verschillende gevallen geleid tot een overschatting van de taak die ze normaal kunnen vervullen : men mag er inderdaad redelijkerwijze geen fundamentele studie omtrent de noden van een welbepaalde firma van verwachten. Het is verkieslijker hun hulp slechts in te roepen wanneer de aanvangsstudie toegelaten heeft de noden van de onderneming bij benadering te bepalen.

Men loopt anders het gevaar dat de voorstellen op zulke wijze opgesteld worden dat ze aangepast zijn aan de karakteristieken van een bepaalde ordinator.

Er mag ook geen strekking bestaan tot het stopzetten van de onderzoeken zodra de installatie van een bepaalde machine verrechtvaardigd is.

13. De kosten van een elektronische installatie voor de verwerking van gegevens worden dikwijls onderschat door het negeren van volgende factoren:

- a) De noodzakelijkheid om na de aanvangsperiode verder te gaan met de analyses, zowel voor het op punt stellen van nieuwe programmas als voor de wijziging van de oorspronkelijke programmas met het oog op hun aanpassing aan alle mogelijke evoluties in de werkzaamheden van de onderneming.
- b) De stijgende personeelskosten, naargelang hun ondervinding opgedaan in dit nieuwe gebied.

14. De geschatte personeelsvermindering als gevolg van een voorafgaandelijk onderzoek worden zelden bereikt. De redenen hiervan zijn:

- a) Het aantal kleine werkjes die blijven bestaan, nadat het voornaamste werk door de ordinator overgenomen is, wordt onderschat.
- b) Terwijl, voor jong personeel, de voorziene besparingen kunnen verwezenlijkt worden dank zij het normaal verlies aan personeel (het betreft Amerikaanse ondernemingen waar het jong personeel meer van werkmilieu verandert dan in Europa), is het, wanneer er in de fabriek een politiek van niet afdanking gevoerd wordt, dikwijls noodzakelijk bijkomstige functies te scheppen om het oudere personeel in dienst te houden.
- c) Wanneer slechts een deel van de bedrijvigheid van sommige bedienden beïnvloed wordt door het invoeren van de nieuwe methodes, valt het soms moeilijk een zulkdanige reorganisatie van het werk toe te passen dat de gedeeltelijke besparingen werkelijk bij elkaar mogen opgeteld worden.

Behoudens speciale voorzorgen, is er een groot risico dat supplementair werk zal ontstaan om de vrije tijd te vullen.

15. Daar waar een installatie voor het verwerken van gegevens hoofdzakelijk slechts gebruikt wordt voor één toepassing, is de verantwoordelijke voor deze elektronische installatie ondergeschikt aan de chef van de belastende afdeling.

Men kan van deze regeling afzien zodra er later ook belangrijke opdrachten vanwege andere afdelingen bijkomen.

Het geval dat in de V. S. het meest voorkomt, schijnt datgene te zijn waarbij men het centrum afhankelijk maakt van de « Vice-President » belast met de financiële vraagstukken, in wiens sector toch de inlichtingen omtrent alle activiteiten van de onderneming behandeld worden.

16. In verschillende gevallen ontstonden er moeilijkheden door een gebrek aan coördinatie tussen het centrum en de kaders van de indirect geïnteresseerde afdelingen. Het beste middel om de weerstand tegen verandering en een natuurlijke vrees voor conflicten omtrent de bevoegdheid het hoofd te bieden, bestaat in het organiseren van spreekbeurten gevolgd door gedachtenwisselingen.

17. Verschillende administratieve diensten in de V. S. wisselen onderling inlichtingen uit die opgenomen zijn op magneetband, hetgeen dubbel werk vermijdt. Het is op die wijze dat de betalingsopdrachten van de Administratie der Oud-Strijders opgenomen worden te Chicago en dan naar de Centrale Administratie der Financiën te Washington gezonden worden.

De mogelijkheden die een dergelijke centralisatie van inlichtingen biedt werden bestudeerd in de V. S., waar een groot aantal inlichtingen tegelijk gebruikt worden door de locale en de centrale diensten.

Er zijn Opzoekingen aan gang omtrent de beste manier om grote hoeveelheden inlichtingen te stockeren en vooral om er zo vlug mogelijk te kunnen over beschikken, dit om zoveel mogelijk voordeel te halen uit de versnelling en de verbetering van de transmissiemiddelen.

Men zou er toe moeten komen dat het Administratiecentrum rechtstreeks het stockeringscentrum om inlichtingen kan vragen en ogenblikkelijk een antwoord krijgt, zonder enige menselijke tussenkomst. Alle verlies aan gezag en efficiency als gevolg van de centralisatie wordt op die wijze uitgeschakeld.

18. De leden van de zending waren ook in de gelegenheid de opvoedende rol van de simulatie van bedrijfsbeheer aan de hand van ordinateuren te leren kennen : Deze simulaties maken de deelnemers bewust van de relaties die er bestaan tussen verschillende beslissingen die, in de praktijk, al te dikwijls door de leden van een directiegroep onafhankelijk van elkaar genomen worden.

— Zij kunnen ook als illustratie dienen voor de belangrijkheid van programmas op lange termijn en om aan te tonen in hoever de verwezenlijking van deze programmas beïnvloed wordt door de strategie der concurrentie.

Buiten haar educatief aspect, is de simulatie van het beheer ook aangewezen om meer gebruikt te worden als een opzoekingsmiddel, bvb. door de evolutie van de economische conjunctuur en de studie van trends.

19. In de V. S., evenals in Europa, is het fundamentele probleem dat van de vorming van een voldoende aantal analisten. Zij bekleden sleutelposities in de voorbereiding van een systeem voor het verwerken van gegevens.

Een fabrikant van apparatuur heeft onlangs een vormingscentrum gesticht.

Buiten dit initiatief bestaan er slechts inleidende leergangen ingericht door universiteiten of raadgevers.

20. De overbrenging van gegevens tussen de verschillende localiteiten is in de V. S. van zeer nabij bestudeerd, hoewel verschillende ondernemingen het voordeliger achten banden of kaarten op te sturen dan het telegrafisch systeem te gebruiken.

De telegraaf en de telefoon worden in de V. S. veelvuldig, maar in Europa veel minder gebruikt voor het voeden van ordinateuren. Het schijnt dat het aantal missingen in de overbrenging kleiner is in de V. S., hetgeen een gevolg kan zijn van het algemeen verspreid gebruik van privé-lijnen in dit land. Een nieuwe installatie, die toelaat per draad of per radio zeer snel gegevens over te brengen van de ene magneetband op de andere is in de V. S. op punt gesteld.

21. De zending is tot de bevinding gekomen dat het nuttig zou zijn dat een europees organisme de documentatie betreffende de ontwikkeling op het domein van de behandeling van gegevens zou centraliseren, en wenst dat de inspanningen vanwege het Nederlands centrum op dit gebied zouden aangemoedigd worden.

Le Congrès international pour l'augmentation de la rentabilité dans l'industrie minière

Le Congrès s'est tenu dans les locaux de l'Hôtel International à Prague. Il fait suite à une Conférence internationale qui s'était tenue à Katowice (Pologne) en octobre dernier.

Les quelques cinquante sujets traités — en majeure partie relatifs à l'industrie charbonnière — étaient répartis en cinq grands groupes :

1. Nouvelles méthodes de travail dans l'industrie minière ;
2. Dimensions optima des mines et leur rentabilité ;
3. Augmentation du rendement ;
4. Evaluation des mines d'après les données économiques et techniques ;
5. Emploi des méthodes exactes, notamment des méthodes mathématiques pour la solution de problèmes économiques.

Ci-après le résumé de quelques communications présentées dans les groupes 2, 4 et 5 :

1. *La caractéristique des exploitations de lignite à ciel ouvert à l'aide d'indices divers.*

(par le prof. Georg Bilkenroth — Rép. Démocrat. Allemande.)

Les nécessités de la planification en démocratie populaire ont entraîné la mise au point de séries d'indices permettant de standardiser l'établissement de projets de mise en exploitation et de tendre vers une utilisation optima des investissements.

L'auteur souhaite qu'une certaine normalisation des définitions de ces indices soit envisagée sur le plan international.

2. *L'emploi de méthodes analytiques dans l'exploitation des mines en Hongrie.*

(par le professeur J. Zambo — Hongrie.)

En Hongrie, les projets de mise en exploitation sont précédés d'analyses objectives basées sur des principes strictement mathématiques consistant à fixer l'emplacement optimum des puits, l'extension la plus rationnelle des champs d'exploitation ainsi que la capacité de production la plus économique des sièges.

Les relations théoriques entre les paramètres intervenant dans le système ont été mises au point au département d'exploitation des mines de l'Université d'Industrie lourde de Miskole et ont été publiées dans un ouvrage intitulé « Analyse de l'emplacement des puits » (Műszaki Könyvtár - Budapest, 1960).

3. *L'intensification du rendement des mines à la lumière des conclusions de la Conférence Minière de Katowice.*

(par le prof. Krupinski et l'ing. Lisowski - Pologne.)

Cette Conférence avait attiré l'attention sur les deux points suivants :

- L'aménagement des districts miniers ;
- La concentration de la production minière.

A noter que la plupart des communications présentées à Prague insistaient sur le haut degré de concentration permis par le développement de l'automatisation, à tel point qu'un participant néerlandais a attiré l'attention de l'auditoire sur les dangers d'un excès de concentration et l'intérêt qu'il y aurait à mieux connaître les limites au-delà desquelles elle ne serait plus payante.

4. *Recherches en vue de déterminer les conditions de service optimum de l'excavateur à godets en roue.*

(par MM. E. D. J. Stewart et F. J. Krehula - Australie.)

Cette étude n'a pas été présentée mais le texte en a été remis aux participants du Congrès.

Les travaux de recherches entrepris consistaient en la détermination des caractéristiques d'excavation d'un excavateur Krupp à godets. Le planning du creusement et la consommation de courant pour différentes conditions de travail avaient été étudiés mathématiquement et des essais ultérieurs ont permis de contrôler l'exactitude des conclusions faites à partir des données théoriques. Ces résultats ont ensuite été appliqués pour déterminer le cycle opératoire optimum, ce qui a mis en valeur divers facteurs technologiques permettant d'améliorer la construction des excavateurs et permis d'étudier les possibilités d'une commande automatique ou semi-automatique de ces machines, prenant en considération les différences de dureté des couches de lignite exploitées.

Les auteurs estiment que le développement des techniques scientifiques pour la solution de problèmes complexes d'extraction est à ses débuts mais qu'une plus grande liaison entre les résultats pratiques d'exploitation, les techniques mathématiques et scientifiques et l'emploi d'ordinateurs électroniques amènera, dans les dix années à venir, une élévation notable des rendements.

5. *Méthode pour l'étude d'une mine.*

(par le prof. Krupinski et l'ing. Pelka - Pologne.)

La méthode examinée a pour but de représenter l'ensemble des activités d'une mine sous ses aspects géologiques, miniers, techniques, d'organisation et économiques.

Il s'agit là certainement d'un apport théorique considérable mais dont le bref résumé qui en a été donné au Congrès ne donne qu'un aperçu; l'analyse détaillée du texte complet permettra de voir dans quelle mesure le plan de travail suivi par les auteurs peut être transposé à n'importe quelle activité minière.

6. *Exploitation en carrière des filons subverticaux. — Détermination du profil et de la profondeur.*

(par M. Labrousse - France.)

La communication décrit le mode de détermination de la mise en exploitation optimale d'un gisement uranifère (celui de la Crouzille en France).

Les différentes étapes de la résolution sont la recherche de la profondeur optimale limite de l'exploitation à ciel ouvert, l'étude du contour de la carrière, l'étude de la maille d'abattage et du taux de récupération pour différents contours possibles.

L'exploitation se faisant par bennes, l'auteur détermine le profil et la largeur de la route qui varient avec l'approfondissement de la mine et influencent l'ouverture des premiers niveaux.

7. *La Recherche Opérationnelle, moyen d'amélioration de l'exploitation des mines.* (par le prof. Dorstewitz - Rép. Fédérale Allemande.)

Les recherches entreprises en Allemagne pour mettre au point des méthodes mathématiques de résolution de certains problèmes qui se posent à toutes les entreprises minières, ont déjà fait l'objet de publications dans la revue « Glückauf ».

Deux exemples des travaux en cours sous la direction du professeur Dorstewitz sont donnés :

- a) Celui de la centralisation de plusieurs exploitations et de la répartition optimale des transports entre tailles;
- b) Celui de l'optimum de transport du personnel de la surface à fond de taille.

Les résolutions de ces problèmes se font par simulations sur ordinateurs.

8. *Nécessité et possibilité d'emploi de la Recherche Opérationnelle dans l'exploitation des mines de lignite.*

(par le prof. Hollweg - Rép. Démocratique Allemande.)

La création de plus grandes installations ainsi que la tendance accentuée à la valorisation de la production ont soulevé des problèmes d'une envergure sans précédent.

Les méthodes classiques de planning et de calcul sont devenues insuffisantes. Les techniques nouvelles doivent être utilisées « pour aller de pair avec le développement de l'économie planifiée socialiste ».

L'auteur prône le recours aux méthodes qui se sont développées au cours des vingt dernières années, aux Etats-Unis et en Angleterre, sous le nom de Recherche Opérationnelle et qui visent à concevoir des processus économiques par des méthodes scientifiques contrôlables, à partir de l'analyse systématique des corrélations existantes entre les mesures d'observation.

Les possibilités d'emploi de la Recherche Opérationnelle dans les exploitations de lignite se trouvent dans les domaines suivants : comparaison de rentabilité d'investissements, calcul des minima de dépenses de transport, détermination d'emplacement de dépôts centraux ou d'ateliers centraux ou spéciaux, calcul des meilleures relations de capacités entre différentes parties d'une mine à ciel ouvert, détermination et contrôle des stocks de pièces de réserve et établissement d'une politique optimale de dépannage.

La Recherche Opérationnelle ne doit être ni surestimée ni dépréciée, ce n'est ni un traitement universel ni une aide pour une décision immédiate mais c'est un ensemble de méthodes dont la mise en œuvre améliorera la « qualité de notre activité socialiste de planning et de direction », et qui pourra procurer à notre activité une base scientifique irrécusable.

9. *L'application de la Recherche Opérationnelle à l'industrie charbonnière en Grande-Bretagne.*

(par M. B. T. Houlden - Grande-Bretagne.)

Le groupe de Recherche Opérationnelle du National Coal Board se compose aujourd'hui de 46 personnes dont 34 d'un niveau universitaire.

Les études décrites concernent des questions d'optimum de transport, de choix d'une méthode de creusement en galerie et d'une politique de main-d'œuvre visant à réduire la rotation du personnel.

10. *Lois régissant la formation de la productivité du travail ou cours de l'exploitation souterraine de la houille.*

(par M. J. Matusek - Tchécoslovaquie.)

La productivité du travail évolue suivant des lois dont la connaissance permet d'élever l'efficacité de l'exploitation.

L'exposé essaie de déterminer et d'éclaircir certaines de ces lois dans le but de réduire la durée de la journée de travail dans le bassin houiller d'Ostrava.

11. *Augmentation des bénéfices de l'industrie minière par choix et utilisation des paramètres optima de la préparation et l'enrichissement.*

(par le prof. Stepinski - Pologne.)

L'analyse des frais de production permet de rechercher le procédé d'enrichissement du charbon, susceptible de donner le profit maximum. Le but est de déterminer l'optimum économique d'enrichissement, compte tenu des procédés miniers et métallurgiques utilisés.