

UNIVERSITÉ D'ALGER

4/77

2 ex

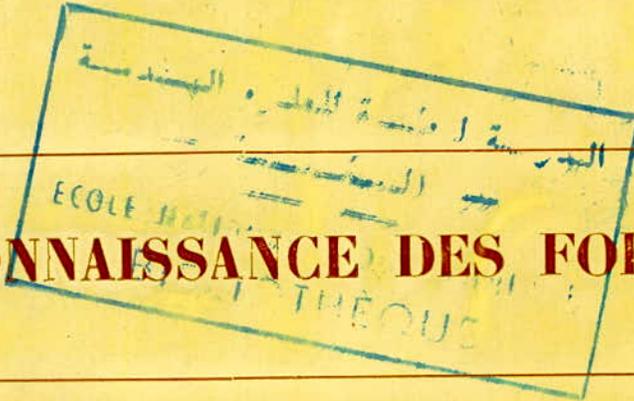
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ELECTRONIQUE

DÉPARTEMENT ÉLECTRICITÉ

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

LA RECONNAISSANCE DES FORMES



Proposé par

M^{me} MONDON

Etudié par

AMINI Malika

Promotion : JANVIER 1977

EXTRA STRONG

Fieldman Fournier

UNIVERSITÉ D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT ÉLECTRICITÉ

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

LA RECONNAISSANCE DES FORMES

Proposé par

M^{me} MONDON

Étudié par

AMINI Malika

Promotion : JANVIER 1977

L A R E C O N N A I S S A N C E D E S

F O R M E S

Sujet proposé par : Mm G. Mondon

Président du jury : Mr FLAMAND

Membres du jury : Mm G. Mondon

Mr Buteux

A mes Parents

A mes frères et Soeurs

En témoignage de mon affection.

A mes amis

Je tiens à remercier Mme Mondon pour l'aide
qu'elle a bien voulu m'accorder.

Mes remerciements vont aussi à tous les
Professeurs qui ont participé à ma formation.

Et au personnel de la Bibliothèque qui à
participé activement à l'élaboration de ce polycopé.

LA RECONNAISSANCE DES FORMES .

SOMMAIRE :

- I Introduction.
- II La Reconnaissance Automatique des formes.
- III Les techniques utilisées.
- IV Exemples d'Application.
- V Conclusion.

Introduction :

La reconnaissance des formes est une discipline qui naquit voici une vingtaine d'années. Elle consistait surtout à l'origine en la reconnaissance des caractères de l'écriture.

Les machines à calculer traitent de l'information qui a été spécialement préparée pour elles : Cette information doit leur être présentée sur des documents tels que les cartes ou rubans perforés, les bandes magnétiques... et suivant les règles de présentation rigoureuses : les ordres du programme doivent d'autre part être rédigés dans des langages spéciaux, Fortran, Algol par exemple. S'il est possible d'affirmer que les machines sont capables d'effectuer à partir des programmes écrits par l'utilisateur, les opérations arithmétiques ou logiques fort complexes dans des temps incomparablement plus courts que l'homme ... Il faut bien dire que dans l'état actuel des choses elles ne sont guère conçues pour appréhender directement les événements du monde extérieurs si certaines d'entre elles peuvent fonctionner en temps réel à partir de données collectées par des capteurs traduisant numériquement des grandeurs physiques, elles ne peuvent réaliser partiellement certaines opérations de perception triviales pour notre organisme que par l'utilisation de programmes assez complexes.

Nous ne poserons pas ici le problème de savoir s'il s'agit d'intelligence : on regroupe sous ce vocable les études concernant la reconnaissance automatique des formes, la traduction automatique, la documentation automatique l'aide au diagnostic médical, les programmes de jeu d'échecs, la démonstration de théorèmes : opérations estimées intelligentes par opposition à celles plus coramment abordées par les machines.

Car nous n'avons pas une définition vraiment satisfaisante de l'intelligence. Par contre la psychologie expérimentale est assez avancée en ce qui concerne la perception des formes pour qu'il soit possible de s'y référer

La perception visuelle, par exemple rassemble dans un même sous-ensemble les stimuli lumineux qui présentent une certaine ressemblance et les distingue par la même de ceux qu'elle place dans un autre sous-ensemble: on voit apparaître ici la notion mathématique de partition appliquée à l'ensemble des stimuli lumineux, chaque sous-ensemble correspond alors à un concept défini à priori ou élaboré par le jeu de classements successifs au d'un apprentissage

les stimuli non reconnues sont également regroupés à fin de compléter la partition.

Reconnaître une forme, c'est avant tout décider qu'elle représente un objet choisi dans un ensemble partitionné en famille selon des critères plus ou moins arbitraires : objets ronds, objets rectangulaires, objets triangulaires par exemple. On reconnaîtra des " images " ou des " configurations " selon que la forme est graphique ou non. Bien entendu, un même objet pourra avoir plusieurs images déduites les unes des autres par des transformations géométriques simples : translation, rotation, symétrie ; connaissant les critères de classification des objets on devra décider pour chaque image si elle provient de telle ou telle famille d'objets.

La reconnaissance évidente pour notre cerveau, est relativement complexe dans le cas de la reconnaissance automatique des images définies sans ambiguïté. Mais en général, les images sont soit floues, ne serait-ce qu'à cause de leur quantification par l'origine de lecture optique, soit légèrement déformées par rapport aux images - types de chaque famille. La notion d'identification entre une image donnée une image -type doit alors être remplacée par la notion de parenté ou de voisinage, Une complication importante supplémentaire intervient lorsque les images à identifier sont imbriquées les unes dans les autres ou simplement juxtaposées : c'est le cas de l'écriture manuscrite, des photographies et dans un sens plus large, de la parole . La séparation des images à reconnaître est un problème extrêmement ardu que le cerveau résout avec une facilité dérisoire par rapport aux machines automatiques.

(b)

La Reconnaissance Automatique des formes.

Dans l'abondante littérature consacrée aux principes généraux les auteurs, quelles^{que} soient les méthodes qu'ils décrivent distinguent trois types d'opérations successives:

- 1) - Le prélèvement des données sur les formes à reconnaître.
- 2) - Le prétraitement transformant ces données afin d'obtenir les meilleures conditions pour la discrimination.
- 3) - L'identification qui est l'opération finale d'affectation de la forme à un sous-ensemble.

Ainsi tout système de reconnaissance se compose de trois organes distincts:

- a) un capteur qui fournit les images à reconnaître.

Un dispositif de prétraitement qui selon le cas, effectuera les cadrages, lissages, normalisations, ou extractions de paramètres.

Enfin un système de décision dans lequel sont stockés de façon explicite les critères de classification des objets ainsi, que les règles de parenté des images déformées.

I - Les Capteurs.

Les Recherches effectuées jusqu'à maintenant en reconnaissance des formes ont été abordés indépendamment de tout contexte : on s'est préoccupé de réaliser pour chaque application particulière un capteur et un prétraitement spécifique permettant l'usage des méthodes générales de décision.

Les capteurs

Le prélèvement des données est effectué par des capteurs appropriés à la nature des phénomènes physiques qu'il s'agit de reconnaître.

Pour l'analyse d'images, qu'il s'agisse de tracés ou de demi-teintes le rôle du capteur est généralement de transformer les données optiques continues en une suite discrète de nombres codés par des niveaux électriques interprétables par les calculatrices.

Il en est de même dans tous les autres cas : pour les sons par exemple, c'est le signal électrique obtenu à la sortie du microphone qui doit être codé numériquement. La définition des images (Nb de points codés par unité de longueur) et la fréquence d'échantillonnage des sons (Nb d'échantillon du signal sonore codés par unité de temps) doivent être adaptées au problème de classement à traiter compte tenu de la quantité d'information nécessaire.

Un capteur d'images se caractérise par la trajectoire du spot d'analyse. Plusieurs sont du type flying-spot : le balayage est analogue à celui de la TV et couvre l'image par lignes ou colonnes successives; la déviation est ici commandée par 1 signal à escalier et non par 1 dent de scie; d'autre part, le Wehnelt bloque le faisceau du tube cathodiques sauf au milieu des marches, afin de produire une suite discrète de points lumineux venant éclairer successivement l'image.

Dans l'appareil réalisé au C N R S en 1968 sous la direction de René de Possel (1, ...), la zone convexe par la trame est 1 rectangle allongé, correspondant à une rangée de caractères, en lecture automatique pour les autres applications, il est possible d'ajuster la définition en couvrant la surface à explorer par des rectangles se chevauchant; un programme de raccordement est prévu.

Il existe également des capteurs à spot suiveur de contours, celui du lecteur IBM 1287 par exemple. Enfin, Berkeley, le MIT, Argonne, Karlsruhe et Gènes sont équipés de capteurs à trajectoire et à définition programmables.

Le choix du type de capteur joue un rôle important vis à vis de la définition de l'ensemble du procédé de reconnaissance; le problème difficile de la segmentation c'est à dire de l'isolement des éléments à reconnaître (lettres, phonèmes ...) peut être partiellement résolu à ce niveau.

L'information prélevée peut aussi être d'une autre nature : dans le dispositif réalisé par Nadler à la Sté Bull , c'est la direction du gradient lumineux qui est directement codé. Dans celui de Marill et Green c'est la longueur des vecteurs joignant le contour du caractère aux sommets et milieux des cotés du carré dans lequel il est inscrit.

Le procédé de Glucksman repose, lui, sur 1 parcours de la trame dans les quatre directions, la propagation étant bloquée par le caractère à reconnaître, considéré comme un obstacle.

Dans ce dernier cas, un code est obtenu à partir du nombres de zones blanches résiduelles.

A - Les réalisations successives du capteur/

a) Capteur monté sur table.

Ce capteur permet l'exploration d'une lettre unique. Un tube cathodique (flying-spot) produisait un spot lumineux dont une image était projetée sur la lettre à analyser. Les images occupaient successivement 72 positions balayant la hauteur de la lettre c'est à dire verticalement. La déviation horizontale du faisceau permettait de balayer la totalité de la lettre. La vitesse était de 1000 spots par seconde soit 2000 à 2500 points pour une lettre. La lumière diffusée par la région noire ou blanche éclairée par le spot était recueillie par un photomultiplicateur dont les signaux réalisent une bande magnétique permettant de les introduire dans 1 calculatrice IBM 704.

b) Capteur explorant 1 ligne d'écriture tout entière.

Ce capteur permettait d'explorer 1 ligne d'écriture apres 1 seul réglage.

L'exploration verticale est obtenue par déviation cathodique tandis que l'exploration horizontale est obtenue par déplacement d'un miroir mobile: les 72 points d'exploration en hauteur couvrent une distance pouvant être réglée de 1,8 à 7 mm.

La vitesse de translation du miroir mobile est chaque fois ajustée de façon à obtenir une égale finesse dans les 2 directions.

Le flux lumineux diffusé par le papier est recueilli dans une sphère intégrante ou boîte à lumière et reçu par un photomultiplicateur.

Le capteur est en service depuis 1966 et fonctionne tous les jours. Il a donné lieu à des enregistrements comprenant notamment outre les caractères imprimés, des mots manuscrits (écritures contemporaines, gothiques hébraïque ancienne, des documents biologiques divers (par exemple ailes d'abeilles, des clichés astronomiques, des levés topographiques (grains de graphite dans la fonte. Mais la principale application est restée la mise en oeuvre du procédé de reconnaissance des caractères d'imprimerie.

b) Capteur explorant une page tout entière après 1 seul réglage

Le tube cathodique ferranti avec ses bobines de déviation d'origine pouvait fournir 250000 spots/S soit environ 2500 rangées verticales de 96 spots.

L'exploration à 72 points /rangée verticale était parfois insuffisante pour certains caractères à déliés très fins lesquels, dans certains cas n'étaient pas décelés (par exemple pour les caractères japonais, les exposants et les indices).

Ce capteur permet d'explorer 60 à 80 lettres/S soit une ligne/S pour 1 texte scientifique courant et 1mm environ par page de 30 lignes en tenant compte des retours et des réglages en début de page.

c) Perfectionnements du capteur précédent.

- Automatisation du réglage de la hauteur de la bande d'exploration de la mise au point du codage de la ligne d'écriture.

Pour cela, une étude de la densité des noirs sur chacune des 96 lignes est faite au début puis à la fin de la ligne d'écriture, portant sur les premières, puis dernières lettres.

La mise au point automatique est obtenue au moyen d'1 échelon noir-blanc.

D'autres perfectionnements sont apportés pour la lecture des documents transparents indispensable pour l'exploration des clichés astronomiques.

D'autres part on n'a envisagé jusqu'ici qu'une exploration par tout ou rien un spot qui tombe sur une région en partie blanche et en partie noir, ou qui est d'une teinte uniforme plus ou moins claire, se traduit par 1 blanc ou 1 noir selon le réglage qui a été adopté. Pour de nombreuses applications par exemple astronomiques ou biologiques, ou m pour la lecture de textes dactylographiés et surtout pour des copies au carbone, il est nécessaire de distinguer des demi-teintes entre le blanc et le noir. Le processus d'exploration doit alors être plus ou moins modifié.

Le résultat de chaque opération élémentaire se traduit par 1 nb écrit en binaire. On peut aller jusqu'à 5 ou 6 bits, ce qui correspond à 32 ou 64 niveaux, qu'on peut selon les cas étager linéairement ou exponentiellement.

Enfin, il peut être nécessaire de repérer avec une certaine approximation la position du spot sur le document. Plusieurs dispositifs peuvent être utilisés à cet effet.

La réalisation de ces divers perfectionnements ont été effectués au cours de 1969.

d) Capteur explorant 1 ouvrage relié ou broché

C'est 1 capteur qui doit explorer un ouvrage relié ou broché sans en séparer les pages à une vitesse comparable à celle que nous attendons finalement du processus d'identification des caractères soit 300/s.

Tenant compte des retours de lignes, il est nécessaire pour cela que le tube cathodique puisse fournir de 1 à 1,5 million de spots/s, soit de 10 à 15000 rangées verticales d'explorations /s. La déviation magnétique du faisceau est remplacée par une déviation électrostatique. et remanence du tube devra être rendue assez brève ce qui paraît possible.

Le miroir mobile devra effectuer son "Aller" en 0,15 s et son "retour" en 1 temps moindre, par exemple 0,05 s . La feuille doit être maintenue assez plane et le passage d'1 page à la suivante doit pouvoir s'effectuer aussi vite que possible. La réalisation d'1 tel capteur a été entreprise en 1970.

e) Un capteur très récent : le capteur de toulouse capitoul.

Capteur d'images de toulouse (Capitoul)

Capitoul est constitué de trois éléments:

- 1°) L'ordinateur de commande du système
- 2°) le banc d'optique et la caméra
- 3°) l'analyseur- synthétiseur.

1°) l'ordinateur utilisé est un T 1600 T E ayant une capacité mémoire de 16k mots de 16 bits . La connexion avec l'analyseur- synthétiseur par un coupleur.

2°) Le banc d'optique piloté par l'ordinateur permet de positionner automatiquement un point du plan image dans l'axe optique de la caméra.

Analyseur- synthétiseur.

L'Analyseur a pour but de digitaliser le signal video délivré par la caméra, et transférer ces informations sur l'ordinateur.

Le système piloté par une horloge de 10 MHz a une définition théorique de 640 points par ligne, soit 400 000 points pour les 620 lignes.

En pratique on prend 480 points par ligne sur 500 lignes cadrées au centre de l'image.

Le choix du tube nous permet de coder chaque point à 4 bits soit 16 niveaux de gris.

Une image correspond donc à 960 000 bits à transférer en mémoire en deux trames (40 ms). Selon l'ordinateur utilisé on doit plus ou moins ralentir ce débit pour effectuer l'acquisition. Ce ralentissement peut être obtenu soit par modification du balayage électronique de la caméra (caméra lente), soit par un échantillonnage discontinu, c'est cette dernière solution qui a été retenue pour CAPITOUL.

Chaque trame est échantillonnée en 12 colonnes de 4 points régulièrement espacées sur toute l'image, la distance entre deux colonnes successives est caractérisée par le nombre de colonnes sautées que l'on appelle FENETRE .

La FENETRE peut être comprise entre 2 et 9 , ce qui caractérise les deux formats limites horizontaux de l'image soit 144 à 180 points par ligne

On distingue les trames impaires (lignes 1,3,5, ...) et les trames paires (lignes 2,4,6, ...) la Parité est un paramètre de l'acquisition.

3^e) Synthétiseur.

Le but est de visualiser pour un moniteur de TV une image digitalisée.

Contrairement au cas de l'acquisition il est impossible de sauter des points . Or les contraintes de rapidité étant les mêmes, on ne peut coder les gris que sur 4 niveaux (soit 8 points par mot), chaque point transmis correspondant en fait à 2 points sur l'écran.

Pour des raisons de mémoire, les trames impaires et paires sont donc identiques. Ainsi un point est rejeté quatre fois sur l'écran.

L'image visualisée peut être modifiée de façon dynamique au cours de la synthèse

Cette modification ne peut avoir lieu que pendant le cadrage-ligne.

CAPITOUL offre la possibilité soit de fonctionner en autonome, pour faire certaines mises au point de l'image à transférer en ordinateur, soit en connexion avec l'ordinateur. Dans ce cas le logiciel permet une grande souplesse d'emploi pour acquérir des images de 144 à 480 points par ligne , de 1 à 500 lignes, en un temps d'acquisition de l'ordre de la seconde.

II Le prètraitement .

Le prètraitement est la partie la plus originale de chaque procédé et s'il est difficile d'en présenter une théorie générale, c'est que le plus souvent ce sont des considérations pragmatiques qui ont stimulé l'imagination des chercheurs; on a ensuite vérifié l'efficacité de procédés trouvés empiriquement mais une véritable théorie de la reconnaissance de formes reste à élaborer et il est important de réfléchir à la nature des difficultés qui s'opposent à l'optimisation mathématique de cette opération, Lewis, Bonner, Sear ont cherché à systématiser le choix des meilleurs paramètres à utiliser pour la discrimination optima, Benzecri a employé l'analyse factorielle a cet effet, Watana be Tonet Heydorn ont poursuivi le même objectif en cherchant le changement d'axes comprimant l'information nécessaire définie par l'entropie

Cependant l'application de ces théories ne semble pas avoir donné des résultats pratiques spectaculaires: c'est que toutes comportent des solutions appartenant à un ensemble défini a priori ... et si la meilleure n'est pas dans celui-ci, il ne faut pas s'étonner que le procédé soit pratiquement moins efficace qu'une recherche empirique, avant d'effectuer des changements d'axes ne devrait-on pas demander à d'autres disciplines, psychologie, nerro - physiologie par exemple, dans quel espace poser mathématiquement le problème. (Mme Pavel a cherché a traiter le probleme par les méthodes de la linguistique formelle).

III Les etapes successives de l'identification.

Les étapes , permettent de passer de l'enregistrement brut donné par le capteur au caractère reconnu.

1^o) Défaut de l'impression:

Les lettres imprimées présentent de nombreux défauts qui constituent un " bruit ". Il faut executer des corrections, conformément à 1 programme qui rectifie les défauts sans détériorer la lettre.

2^o) Apprentissage.

Le procédé d'identification consiste à effectuer sur la lettre certains tests et à comparer les résultats avec ceux qui ont été obtenus et conservés en mémoire au cours d'un apprentissage préalable.

Cet apprentissage doit porter sur 1 très grand nb d'alphabets de sorte que chaque caractère à identifier soit assez voisin du caractère de même nom contenu dans l'un des alphabets enregistrés. En se bornant à l'identification de lettres latines majuscules, et minuscules, droites et penchées.

Le nombre des alphabets nécessaires peut être de l'ordre de 256.

3°) Matrice d'identification.

Sur le contenu de bande ainsi modifiée B' un programme approprié va effectuer les tests d'identification. Ces résultats sont consignés dans une matrice d'identification. Celle-ci comprend 1 ligne pour chacune des "classes" de caractères qui doivent être traduits à la sortie par 1 \hat{m} symbole représentatif de la classe, par exemple la classe des A majuscule penchés, la classes des 1 minuscules droits etc ; elle comprend une colonne par résultat de test à, d que si le n^e test a donné lieu au cours de l'apprentissage à Pn résultats différents, il leur est affecté pn colonnes. Dans la colonne correspondant à 1 certain résultat R pour le n^e test on inscrit un "1" sur chacune des lignes pour lesquelles un représentant de la classe correspondant à la ligne a donné précisément à l'apprentissage le résultat R. La matrice d'identification M acquiert donc une nouvelle colonne chaque fois qu'1 test conduit à 1 résultat non encore obtenu, elle acquiert une nouvelle ligne chaque fois qu'on ajoute une nouvelle classe aux résultats de l'identification, par exemple un symbole nouveau ou 1 lettre nouvelle d'1 langue non encore envisagée. Il est à remarquer que le nb de colonnes augmente très peu avec le nb des alphabets enregistrés.

Si par exception ce nb augmente trop, il convient de modifier les tests pour conserver à la matrice M des dimensions raisonnables, par exemple pas plus de 1000 ou 1500 colonnes ce qui, si l'on veut distinguer 250 classes de caractères conduit à 1 matrice de 250 000 à 375 000 bits, ceci est possible par 1 aménagement convenable des tests.

4°) Séparations des caractères.

a) 2 lettres successives peuvent être "colles" l'une à l'autre accidentellement . Dans certaines impression de qualité inférieure, c'est chose courante parfois dans 20% des cas. Le programme doit alors rechercher dans l'intervalle compris entre la rangée blanche précédente et la rangée blanche suivante la rangée qui contient le moins de noir et qui n'est pas trop distante du milieu, afin de couper à celle-ci et de tenter l'identification de chacune des 2 parties.

- b) - conections verticales
- c) - conections horizontales

5°) L'exécution des tests

La matrice transposée renferme alors la lettre sous sa forme définitive et les tests vont être exécutés. Les uns concernent les sections horizontales les autres sont relatifs aux sections verticales, les résultats de ces derniers avaient été obtenus au cours des opérations précédentes mais il convient de les exécuter de nouveau car les conections horizontales ont pu en modifier les résultats; l'expérience a montré que c'est la 1^{ère} une nécessité.

Si on ne dispose pas d'une mémoire à accès croisé, cette dernière opération nécessite une nouvelle transposition.

6°) La comparaison des résultats des tests avec les résultats obtenus à l'apprentissage.

Une armoire à tests contenant les résultats obtenus à l'apprentissage permet d'effectuer la comparaison et rechercher, pour chaque test effectué, si l'apprentissage avait donné un résultat identique ou suffisamment voisin.

L'armoire à test indique alors quelle est l'adresse de la colonne de la matrice d'identification M qui correspond à ce résultat.

7°) L'identification.

Chaque test élimine certaines classes et donne 1 résultat positif pour les autres. Pour chacune des classes, on fait une sonnerie avec des "poids" judicieusement déterminés selon les tests.

La lettre ou classe qui conduit au total max est considérée comme la bonne.

8°) L'interprétation.

Il faut encore effectuer certaines opérations sur les résultats obtenus. Par exemple, une lettre et son accent doivent être traduits par un symbole unique. Si une lettre figure en exposant ou en indice, il convient de l'indiquer. Une barre verticale peut représenter un "1" majuscule dans un alphabet "bâton" (sans empattements) un "1" minuscule, un chiffre "un" ou une barre de valeur absolue. Le conteste permet le plus souvent d'en décider au moyen d'un programme réduit. Bien d'autres cas analogues doivent être prévus.

B - Méthodes - Problèmes -

Le problème central de toute la reconnaissance des formes peut être exposé sur l'exemple de la machine à lire: il s'agit de trouver une méthode qui permette à la machine de grouper toutes les représentations possible d'une lettre de l'alphabet dans une seule et même classe, et ceci pour chaque lettre de l'alphabet.

1^o) Définition du problème

Soit un ensemble fini d'objets $O_1, O_2 \dots O_N$. Chacun de ces objets peut apparaître sous une multitude de formes f ; il peut y en avoir une infinité.

Considérons la classe F_i des formes f qui sont des modes d'apparition de l'objet O_i .

Un objet n'est jamais perçu directement, mais toujours à travers l'une de ses formes. Le problème de la reconnaissance des formes est donc, étant donné une forme quelconque f , de trouver une méthode d'examen de cette forme qui permette de décider à quelle classe F_i elle appartient ou (ce qui revient au même) de quel objet O_i elle émane.

2^o) Difficultés du problème

Il faut remarquer dès l'abord que ce problème simple en apparence, présente de grandes difficultés dès que l'on entre dans le détail.

Ainsi, les caractères typographiques, qui pour une même lettre nous semblent tous identiques, apparaissent à la machine, qui les examine un peu à la loupe, sous des aspects variables selon le degré d'encre, la rugosité du papier, les taches etc... Au fond lorsque nous lisons, notre oeil effectue un énorme travail de pétratement de l'information dont nous ne sommes pas conscients. Cela apparaît clairement si l'on songe que dans notre vie quotidienne, même les objets les plus familiers ne nous apparaissent jamais deux fois de la même façon.

Et pourtant nous les reconnaissons sans effort. (1) mais la complexité de ce travail inconscient réapparaît dès lors qu'on s'attaque à la réalisation de machines capables de reconnaître des images mêmes simples

3^e) Nécessité d'une théorie

Les premières études expérimentales (dont la plus célèbre fut sans doute le perception de Rosenblat) avait fait sentir le besoin d'une théorie de la classification des images en " classes ". On voit ainsi apparaître tout un courant de pensée à base de mathématiques (utilisant en particulier la théorie de la décision statistique). Ce courant s'amplifie aujourd'hui, notamment par l'étude d'algorithmes d'apprentissage.

Cette expansion de la théorie ayant replacé le problème de classification des images sur un plan très général, on s'aperçut alors que les méthodes élaborées pour résoudre ce problème général pouvaient être appliquées avec succès à des problèmes particuliers très éloignés en apparence du problème initial identification d'images, mais dont la structure logique se révéla très proche. C'est pourquoi on parle aujourd'hui de reconnaissance des formes en acoustique, en médecine, en géologie, en commande automatique d'usines.

4^e) Les méthodes de la reconnaissance des formes

a) Choix de la méthode

Il y a 2 grandes familles de méthodes, chacune adoptée à une certaine famille de problèmes.

En effet, la structure de la classe d'équivalence F_1 peut être de deux types :

En général, dans un problème donné, il n'y a que des classes d'équivalence du même type. Si les objets O_i sont les lettres de l'alphabet et que l'on considère leur représentation typographique, leurs classes F_1 ont une structure du type I, où toutes formes f_i peuvent être générées à partir d'une forme type f_{T1} par des transformations mécanisables (et éventuellement l'addition d'un bruit blanc). Dans le cas de caractères typographiques ceci est vrai à condition de considérer pour chaque lettre deux formes types (majuscule et minuscules).

Si par contre, les objets O_j sont des genres de nuages (cumulus, cumulo - nimbus, stratus etc ...) et que leurs formes soient les photographies prises d'un satellite météorologique, on voit bien qu'il est très difficile de trouver une ou même plusieurs formes - types représentant le cumulus. Si nous, humains, reconnaissons le nuage d'après sa photographie, ce n'est pas tant par comparaison avec un modèle idéal de cumulus que par détectations sur la photo

de certains traits caractéristiques du nuage qui se retrouvent dans la plupart de ses apparitions.

Il est essentiel de faire cette distinction dès l'abord. En effet, si un problème particulier de reconnaissance des formes s'avère être du type I, cela veut dire qu'il peut être traité par une méthode de corrélation globale; il est alors justiciable de l'emploi des méthodes électroniques et surtout des nouvelles méthodes optiques or ces dernières sont d'une puissance absolument remarquable.

Si, par contre, le problème particulier s'avère être du type II, on devra avoir recours à une analyse et à des méthodes de décision complexes.

5°) La corrélation globale : méthode du type I

La corrélation est une opération mathématique qui permet de mesurer les ressemblances relatives d'un signal avec d'autres signaux sans en faire l'analyse explicite.

Les trois conditions d'emploi

Elles découlent de la nature même de la corrélation:

1) Il faut que chaque objet ou classe soit représentable par une (ou un petit nombre de) formes types) que l'on considère par postulat comme normales).

2) Il faut savoir mécaniser les transformations qui réduisent une forme quelconque à un format type, la rendant ainsi comparables aux formes-types (c'est l'opération de normalisation, qui vise essentiellement à normaliser le centrage, la taille et le contraste des formes).

3) Enfin, jusqu'on doit corréler notre forme inconnue (normalisée) avec toutes les formes-types, il faut que celle-ci (et donc les objets ou classes qu'elles représentent) ne soient pas trop nombreuses.

Si le problème que l'on traite vérifie ces trois conditions, on s'orientera vers une méthode électronique, si les signaux sont à une dimension et vers une méthode optique, si les signaux sont à deux dimensions.

Voici quelques exemples de problèmes où la corrélation globale est impossible :

1°) Les formes étant des courbes planes, distinguer la classe des courbes fermées de la classe des courbes ouvertes .

La 1^o condition n'est pas vérifiée. Cela n'est pas étonnant, puisque nous définissons déjà une classe par une propriété commune à tous ses éléments. Il faudra donc en venir à la détection de cette propriété donnée à l'analyse de chaque forme, ce qui exclut la corrélation globale.

2°) Reconnaître des caractères d'imprimerie projetés au hasard sur une surface gauche .

La 2^{ème} condition n'est pas vérifiée : nous ne savons pas mécaniser toutes les transformations (on plutôt déformations) locales, qui font passer du A (forme-type) à sa projection.

En fait, nous avons fait l'hypothèse implicite que les modes d'apparition de A conserveraient la topologie de la lettre (qui est ici homomorphe à sa forme-type); pour résoudre ce problème il nous faudra donc mesurer des propriétés topologiques.

De telles méthodes existent. (voir ...). Elles se sont développées en particulier à propos du déchiffrement de l'écriture manuscrite,.

Les techniques qui sont le mieux adoptées à la corrélation globale sont les techniques de filtrage électronique et de filtrage optique.

Filtrage électronique

Le problème est ainsi défini :

Les " formes " sont des signaux électronique temporels, dont la forme " normale est connue mais qui se présentent déformés et entachés de bruit.

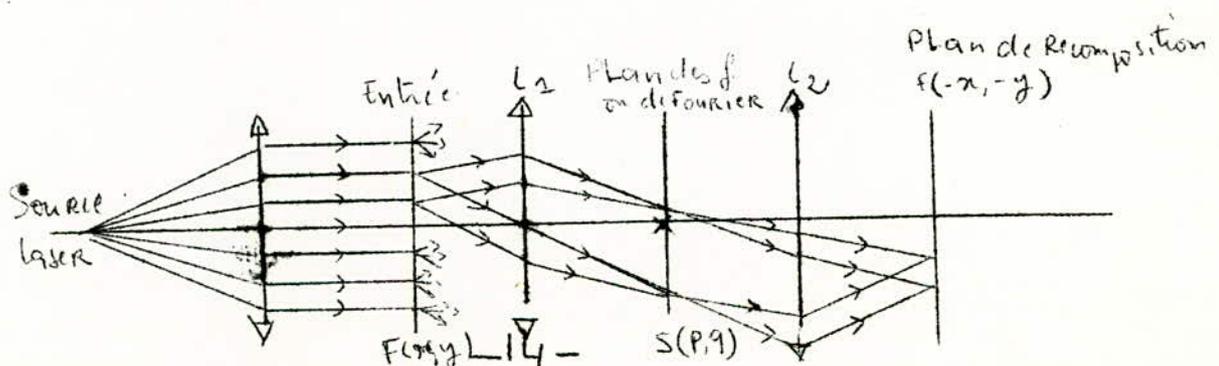
Turin propose une solution: il s'agit d'utiliser un filtre adapté qui a pour rôle de maximaliser le rapport signal/Bruit dans le cas où le bruit est gaussien.

Méthodes optiques

Filtrage des fréquences spatiales

Le principe est le suivant:

Soit le montage optique.



Une source de lumière cohérente (monochromatique en phase) est placée au foyer d'une lentille. Sur le faisceau parallèle ainsi obtenu on interpose la diapositive $F(x, y)$ qui représente l'entrée du système; $F(x, y)$ est une distribution de transparence.

Tout point de la diapositive va se mettre à diffracter de la lumière dans toutes les directions.

$F(x, y)$ a été placée dans le plan focal d'une première lentille L_1 . Une seconde lentille L_2 identique à L_1 est telle que le foyer image de L_1 et le foyer objet de L_2 coïncident.

Dans le plan focal image de L_2 , on verra apparaître l'image inversée de l'entrée $F(x, y)$: soit $F(-x, -y)$ l'intérêt du système vient du fait que dans le plan focal image de L_1 (appelé plan des fréquences), la répartition de la lumière est une fonction $S(p, q)$ qui est la transformée de Fourier de l'entrée $F(x, y)$:

$$S(p, q) = \iint_{-\infty}^{+\infty} F(x, y) e^{j(px + qy)} dx dy$$

On vérifie que la sortie du système est bien :

$$z(x, y) = \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\infty}^{+\infty} S(p, q) e^{j(px + qy)} dp dq = F(-x, -y)$$

p et q sont les variables de fréquences spatiales définies par $p = 2\pi \frac{x}{\lambda f}$

et $q = 2\pi \frac{y}{\lambda f}$

x, y sont les coordonnées dans le plan (P_2) (l'axe des x est parallèle à l'axe x , l'axe des y à celui de y), λ est la longueur d'onde de la lumière, f la distance focale de (L)

Si le transparent sur lequel sont inscrits les données d'entrée est éclairé par un faisceau monochromatique, la distribution de lumière dans le plan focal image de la lentille (L) sera la transformée de Fourier des données d'entrée.

Ainsi si l'on observe un objet à travers un mince diaphragme, on percevra une certaine quantité de lumière, qui varie lorsque le diaphragme est déplacé de façon à balayer toute la surface de l'objet. La variation de luminance peut être représentée par une surface plus ou moins ondulée que l'on décompose grâce à la transformation de Fourier en une série de surfaces élémentaires sinusoidales. Chacune des composantes est caractérisée par son orientation par rapport à l'objet, par son amplitude et par sa période ou sa fréquence spatiale. Un objet peut donc être décrit par un ensemble de fréquences spatiales et de luminance.

Les fréquences spatiales ne sont pas toutes transmises. Cette limite correspond à la notion de pouvoir de résolution de l'instrument.

En lumière cohérente, la transformée de Fourier de l'objet prend une vérification concrète et une existence physique: toute composante de Fourier donne naissance à un signal dans la pupille de l'instrument d'optique; on va donc trouver dans la pupille une certaine répartition d'amplitude caractéristique de l'objet, et l'on conçoit qu'il soit possible d'agir sur elle, de la modifier en installant un filtre d'amplitude dans la pupille. C'est là le principe du filtrage des fréquences spatiales, qui permet de rehausser le contraste, on encore d'améliorer la perception des détails dans une image obtenue en présence d'aberrations: celle-ci affectent la f et de transfert et l'on peut ainsi essayer de lui donner une forme plus favorable bien d'autres effets peuvent être obtenus comme l'ont montré les travaux de O'NEILL, LEITH, UPATNIEK, VAN DER LUGT, LOWENTHAL et BELVAUX, MARECHAL, ... : l'une des possibilités les plus spectaculaires est sans doute la reconnaissance des formes, en installant un filtre adapté à la forme recherchée dans le plan des fréquences spatiales.

De nombreux type de filtres spatiaux ont été réalisés les filtres binaires dont le coefficient de transmission. vaut 0 ou 1, les filtres d'amplitude pour lesquels ce coefficient varie de manière continue, les filtres de phase qui créent une avance ou un retard de la phase de la lumière; enfin les filtres complexes qui modifient simultanément l'amplitude et la phase de la lumière. Le degré de complexité des filtres complexes varie suivant l'application envisagée et s'étend des filtres inverses destinés à corriger une image, aux filtres holographiques permettant de détecter un signal connu (par exemple un caractère) dans un bruit de fond (une page de texte) les filtres holographiques peuvent être réalisés au moyen d'un montage interférométrique; une autre solution consiste à calculer l'hologramme par ordinateur et à le faire dessiner sur une table traçante. Le centre d'informatique de Toulouse (C.I.T), en particulier, a mis au point une technique de calcul d'hologrammes, de filtres et de lentilles qui peuvent être codés en binaires.

L'hologramme est calculé de la façon suivante: sur l'objet est supposée une phase aléatoire qui sert à égaliser la répartition d'amplitude dans le plan de sortie. Ensuite, à partir de la transformée de Fourier, calculée, un codage binaire de la phase est effectué point par point.

À chaque point est affectée une transparence nulle ou égale à 1 suivant que la phase est négative ou positive; ce choix est parfaitement arbitraire.

Les résultats obtenus par simulation (fig 1) correspondent bien avec ceux enregistrés lors des vérifications expérimentales effectuées au labo du L ETI (fig 1, fig 2)

Réalisation de filtres synthétiques

A partir de ces résultats, on a entrepris l'étude de filtres qu'il serait possible de mémoriser par de tels systèmes, en étudiant plus particulièrement le cas des cristaux liquides qui avaient donné les meilleurs résultats expérimentaux. On a ainsi simulé plusieurs filtres parmi lesquels: lentille binaire: en effet, ce n'est autre chose que l'hologramme d'un point, et il est possible d'avoir un effet de zoom puisque l'on peut faire varier dans certaines limites la focale d'une telle lentille compte tenu des contraintes technologiques qui sont imposées:

- Un filtre dérivé il est assimilé à un filtre passe-haut dans le cas d'un codage binaire.

- Opérateur corrigeant en dédoublement d'image. Les résultats obtenus par simulation (fig 3) ont été vérifiés expérimentalement comme précédemment (fig 4)

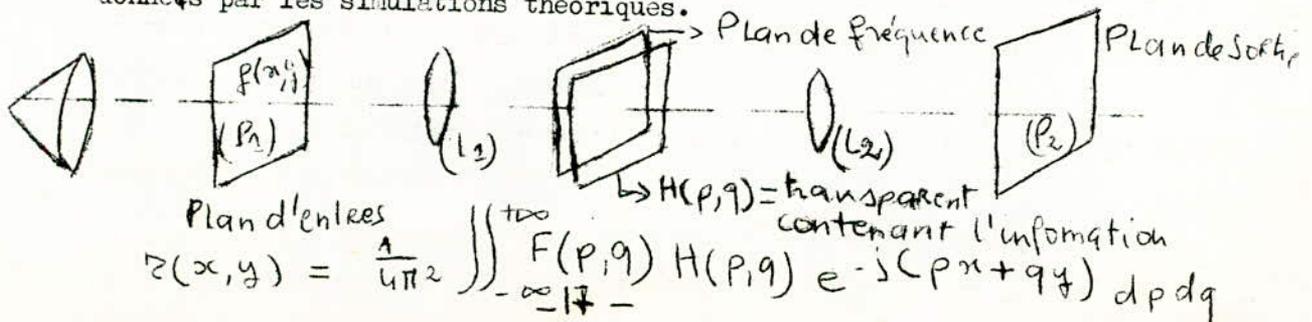
Plusieurs problèmes sont apparus. Ils sont liés à l'état d'avancement de la technologie d'un tel système où au phénomène physique mis en jeu. codage binaire seul possible

limitation du rapport entre la surface utilisée d'un élément et la surface des conducteurs;

contraste blanc/noir voisin de 10 en amplitude

limitation de la taille du pas image en f et de la taille du pas élémentaire de la matrice à cristaux liquides et vice-versa.

cependant certaines contraintes vont être fortement alternées. Ainsi les équipes du L E T I espèrent utiliser prochainement un codage à 8 ou 16 niveaux de l'amplitude. Qui leur permettra d'obtenir des résultats proches de ceux donnés par les simulations théoriques.



Le fait d'imposer un rapport fixe (voisin de 7 pour $S/B = 9$) entre la surface utile et la surface de l'intervalle pour chaque cellule élémentaire n'est pas restrictif. Il est possible de générer des matrices ayant une période $50 \mu\text{m}$ et qui respecteraient la contrainte précédente, alors que les expériences réalisées étaient faites à partir d'un système de $300 \mu\text{m}$ de pas ce qui introduisait la formation d'images filtrées multiples dans le plan de restitution.

Seules subsistent les deux dernières contraintes précédemment énumérées. En particulier, la relation entre le pas image et le pas objet pavenant de l'utilisation d'un système à double diffraction n'est pas modifiable et s'exprime :

$$F / N T = \text{pas objet}$$

λ , longueur d'onde utilisée

F focale

N nombre d'échantillons par une direction

T pas image

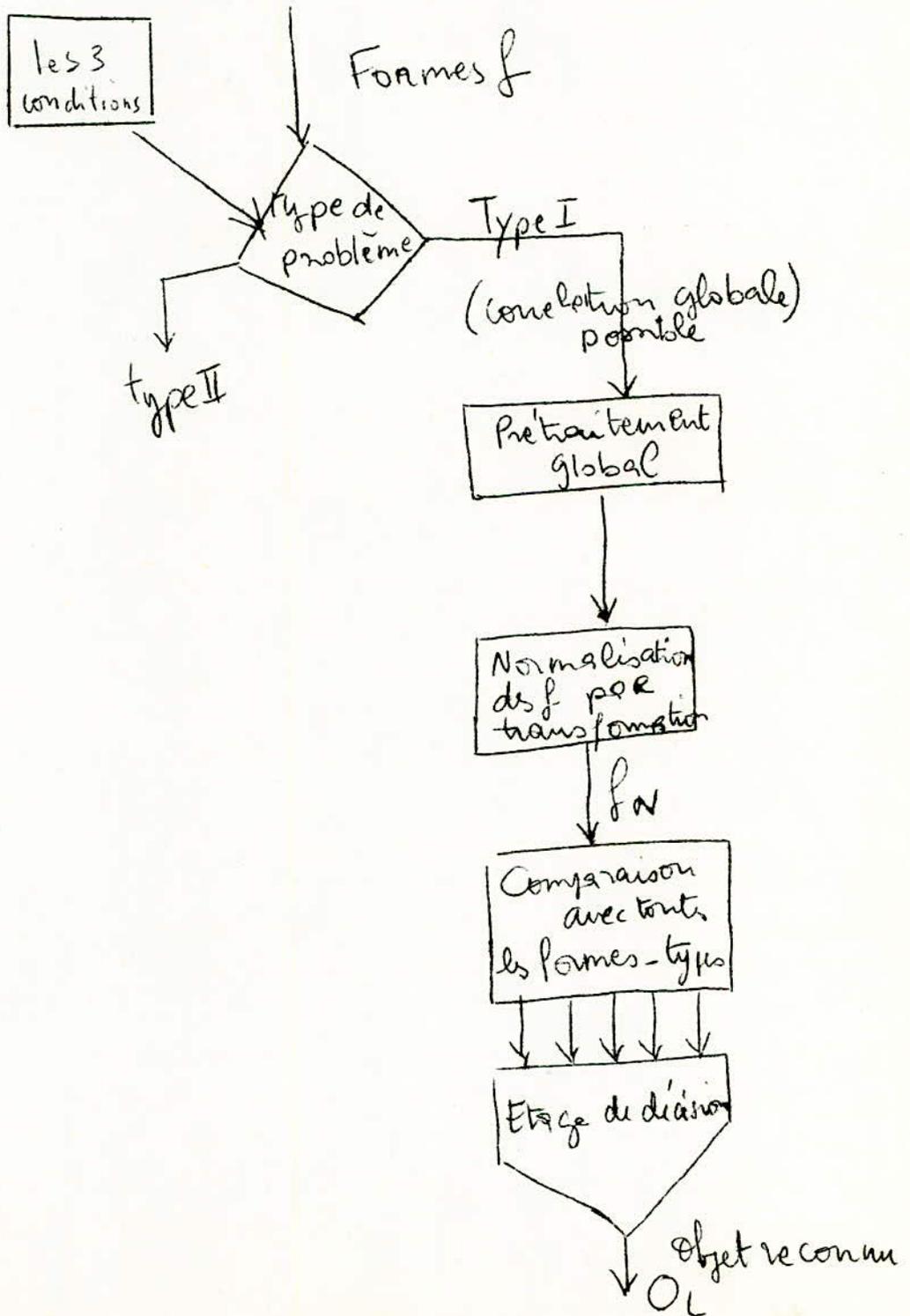
On modifie l'amplitude et la phase de chaque fréquence spatiale en plaçant au niveau du plan focal l'image de la lentille (L_1) un transparent caractérisé par la fonction de transfert H. La distribution de lumière sera modifiée dans le plan (P_2) et sera égale à $R(p, q) = F(p, q) \cdot H(p, q)$. La lentille (L_2) réalise la transformée de Fourier de $R(p, q)$ et donne dans le plan image la distribution $r(x, y)$.

Une propriété essentielle pour la reconnaissance des formes est : Soit une forme située dans la diapositive, elle va produire dans le plan des fréquences un certain spectre complexe. Ce spectre est indépendant de la position de la forme dans la diapositive. Ainsi nous nous affranchissons d'un seul coup de tous les déplacements par translation ce qui est essentiel.

En effet si on veut détecter dans la diapositive $F(x, y)$ un petit objet situé en (x_0, y_0) caractérisé par une distribution de transparence $(x - x_0, y - y_0)$ dont le spectre de fréquence spatiales est $s(p, q)$ il nous suffit d'intercaler dans le plan des fréquences un filtre dont la distribution de transparence soit la conjuguée de $s(p, q)$: soit $s^*(p, q)$. On observera alors dans le plan image 1 max d'intensité au point $(-x_0, -y_0)$.

L'expérience montre que l'on obtient effectivement ce résultat, moyennant quelques précautions (introduction de lentilles et de filtres supplémentaires pour dérivation etc...)

Schéma général suivi par les méthodes
optiques de reconnaissance des formes



L'application à la reconnaissance des formes est immédiate:

Pour reconnaître une lettre, on fera défiler dans le plan des fréquences les 2×26 filtres correspondant à toutes les lettres (le calcul s'effectuant à la vitesse de la lumière) et on détectera dans le plan de recombinaison.

Des maxima d'intensité lumineuse.

Le procédé s'impose tout particulièrement si l'on veut retrouver un petit objet dans une grande photo.

Le schéma général suivi par les méthodes optiques de reconnaissance des formes est le suivant : *schéma de la fig*

A propos des conditions:

Le calcul optique est à base de corrélation objet reconnu donc la 3^{ème} condition est transgressée dans une large mesure étant donné la capacité du calcul optique.

Applications

1°) tout le traitement de l'information visuelle

2°) transformer 1 signal acoustique en signal visuel

(6) Méthodes analytiques : type II
Un livre entier leur a été consacré il y a quelques années (*) et

elles sont encore beaucoup plus nombreuses aujourd'hui.

On se limitera à la description de quelques grands groupes de méthodes et à montrer comment la structure d'un problème particulier doit l'orienter vers telle ou telle méthode.

La phase de prétraitement est variable : ce peut être un lissage, une augmentation de contraste, une normalisation, etc...; elle existe aussi dans les méthodes du type I.

Choix des grandeurs à mesurer

Une série de tests est effectuée sur la forme prétraitée ces tests consistent à mesurer sur la forme, des grandeurs ou "traits caractéristiques". Si ces traits sont binaires (absence ou présence) nous les appellerons des propriétés (par exemple : existence d'une boucle dans une lettre manuscrite). S'ils peuvent être mesurés de façon continue, nous dirons que chacun d'eux constitue un axe de coordonnées; aux traits mesurés correspond donc un "espace des formes" à n dimensions.

Toute forme est réduite aux résultats de n mesures, donc à un point dans cet espace.

Il est essentiel de bien choisir les traits caractéristiques ce choix conditionne toute la suite. Malheureusement il n'existe aucune théorie qui puisse guider ce choix.

De nombreux chercheurs s'intéressent à ce problème en France (*) ; en URSS Bongard (*).

Uhr et Vossler (*), utilisent un masque détecteur de propriétés.

Le seul critère connu est qu'un trait caractéristique V_k est bien choisi si la distribution qu'il donne de ses mesures se rapproche de la forme suivante.

(Mesure de) $V_k = C_j$, constante pour toutes les formes $E F_j$; et $C_i \neq C_j$.

BENZECRI utilise l'analyse factorielle pour extraire des traits significatifs;

EDEN du M.I.T a fait un travail remarquable sur les traits permettant de reconnaître l'écriture manuscrite. Zagor^{RA}niko, à Novossibirsk, utilise une méthode prognatique-statistique pour réduire un ensemble de traits aux quelques meilleurs d'entre eux .

Mais un général, en l'absence de toute théorie, c'est chaque chercheur qui choisit par tâtonnement, pour son problème particulier, les traits caractéristiques à mesurer.

g) Méthode de la liste de propriétés

Lorsque les mesures des traits sont binaires ($V_i = 0$ ou $V_i = 1$), une forme apparaît comme un nombre binaire, dit idéal ; par exemple la classe des A serait représentée par 01.0.1.0.0.0 signifiant que les A devaient toujours avoir une boucle (01) (il y a deux chiffres parce que les B ont deux boucles); pas de trait horizontal en haut (0); un trait horizontal au milieu (1) mais pas en bas (0); pas de trait vertical ni à gauche (0) ni à droite (0).

Dans cet exemple le F idéal serait représenté par 00.1.1.0.1.0...., et ainsi de suite. Lorsqu'une lettre majuscule se présente, on effectue les six tests sur elle; et on en déduit un nombre binaire de sept digits, on calcule la distance de Hamming (nombre de digits différents) de ce nombre à tous les idéaux et on décide que l'idéal le plus proche désigne la classe d'appartenance de la lettre à reconnaître.

Avec n propriétés, on pourrait théoriquement représenter 2^n classes. Ce nombre descend à 2^{n-k+1} si l'on veut une distance d'au moins K digits entre deux idéaux; le système tolérerait une erreur de $K/2$ digits sur la forme. En fait, l'asymétrie du réel fait que cette capacité d'information théorique n'est jamais approchée.

b) Méthodes utilisant le calcul des probabilités conditionnelles.

Dans le cas précédent, chacun des n tests était considéré comme présentant autant d'intérêt pour la discrimination des formes.

On gagne souvent à connaître la répartition de crédit à accorder à chacun d'eux; car certains sont plus significatifs que d'autres. On effectuera donc chaque mesure d'un coefficient ou poids.

Ces poids ne sont jamais connus à l'avance. Il faut les déterminer dans une phase préliminaire qui est un apprentissage.

D'autre part, une propriété donnée V_i possédée par un objet n'apparaît pas systématiquement sur toutes ses formes; en particulier, elle peut avoir disparu dans le bruit qui recouvre la forme. Mais certaines propriétés sont plus solidement accrochées à l'objet que d'autres; finalement, il nous faudrait connaître les $P(O_j / V)$, V étant la description d'une forme par ses propriétés et les O_j étant les objets considérés. Dans cette optique les poids dont on parlait plus haut deviennent les probabilités conditionnelles $P(O_j / V_i)$.

Il est évident que si on connaissait les $P(O_j / V)$ le problème de reconnaissance des formes serait résolu. En effet :

V est ici un nombre binaire 01101 ... correspondant aux absences ou présences (de propriétés) mesurées par les tests sur la forme; $V_1 = 0, V_2 = 1, V_3 = 1, \text{ etc. } V = (V_1, V_2, \dots, V_n)$, avec $V_i = 0$ ou 1 , se présente ce qu'on sait de la forme.

Pour une forme donnée, la probabilité conditionnelle $P(O_1 / V)$ représente la probabilité que la forme V émane de l'objet O_1 . De même pour $P(O_2 / V)$, $P(O_3 / V)$ etc... Finalement, soit k tel que $P(O_k / V) > P(O_j / V)$ pour tous les $j \neq k$; en décidant que la forme V provient de O_k on a le moins de chances de se tromper.

Comment calculer les $P(O_j / V)$?

D'après l'égalité de Bayes nous avons :

$$P(O_j, V) = P(O_j) \cdot P(V / O_j) = P(V) \cdot P(O_j / V)$$

$$\text{donc } P(O_j / V) = \frac{P(O_j) \cdot P(V / O_j)}{P(V)}$$

$$P(V)$$

Notons que $P(V)$ est la même pour toutes les $P(O_j / V)$; comme on veut seulement les comparer entre elles, on n'a pas besoin de connaître $P(V)$.

$P(O_j)$ est la probabilité que tel ou tel objet apparaisse ceci peut être connu par une étude statistique (exemple si les O_j sont des caractères typographiques, les $P(O_j)$ sont obtenues par une étude des fréquences des lettres).

$$P(V / O_j) = P(v_1, v_2, v_3, \dots, v_n / O_j)$$

Dans cette formule les v_i sont les valeurs (0 ou 1) obtenues par mesure des propriétés V_i sur la forme.

Nous appellerons E_2 l'ensemble des V_i tels que $v_i = 0$ sur la forme et E_1 , l'ensemble des V_i tels que $v_i = 1$.

Si les propriétés sont indépendantes, on peut écrire:

$$P(V / O_j) = P(v_1 / O_j) \cdot P(v_2 / O_j) \cdot \dots \cdot P(v_n / O_j)$$

Si l'on pose $p_{ij} = P(v_i = 1 / O_j)$

$$\text{et } q_{ij} = P(v_i = 0 / O_j) \text{ on obtient } P(V / O_j) = \prod_{i \in E_1} p_{ij} \cdot \prod_{i \in E_2} q_{ij}$$

Les nombres p_{ij} et q_{ij} sont calculables pour apprentissage.

Ces nombres s'interprètent facilement : p_{ij} représente la probabilité pour qu'une certaine propriété V_i soit présente sur les formes émanant de l'objet O_j (par exemple, la probabilité pour qu'un "a" manuscrit possède une boucle fermée). Or cette probabilité peut être trouvée par examen d'un grand nombre d'apparitions de O_j ce qui revient à dire qu'on la trouve par "apprentissage".

Il y a de nombreux cas où une décision doit être prise non seulement en fonction d'un calcul de probabilités, mais aussi en fonction des conséquences de cette décision. Supposons par exemple que nous fassions de l'écoute d'échos sous-mains et que nous détectons trois sortes d'objets ou événements: des sous-mains O_1 , des bancs de poissons O_2 et du bruit O_3 (événement nul). Il existe un coût (élevé) g_{21} de décider O_2 si c'est O_1 qui est présent. Il existe aussi un coût g_{12} de décider O_1 si c'est O_2 , car la décision O_1 entraîne des manoeuvres coûteuses. La matrice des coûts prendrait ici l'allure suivante:

	O_1	O_2	O_3
O_1	0	g_{12}	g_{13}
O_2	g_{21}	0	0
O_3	g_{31}	0	0

Après avoir calculé les probabilités $P(O_1/\bar{V})$, $P(O_2/\bar{V})$, $P(O_3/\bar{V})$, on calculera les risques r_1 , r_2 , r_3 :

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \text{risque total de décider } O_1 \\
 &= g_{12} \times P(O_2/\bar{V}) + g_{13} \times P(O_3/\bar{V}) \\
 r_2 &= g_{21} \times P(O_1/\bar{V}) \\
 r_3 &= g_{31} \times P(O_1/\bar{V})
 \end{aligned}$$

et on prendra le risque minimum.

La détermination des coûts g_{ij} sont évidemment du domaine de la reconnaissance des formes.

La méthode exposée ci-dessus est appliquée dans de nombreux cas, en particulier dans le diagnostic automatique. On se rappellera néanmoins que nous avons dû faire l'hypothèse d'indépendance des V_i . Dans le cas où ils sont liés, il faudrait considérer les probabilités d'événements conjoints, et la difficulté du problème augmente rapidement.

c) Méthodes employant un calcul de distance

Les V_i sont maintenant des variables continues nous les appelons x_i .
Toute forme étant représentée par un point, on peut espérer qu'une classe de formes, représentée par un nombre infini de points, se présente dans l'espace des formes sous l'aspect d'un nuage, et que aux différentes classes, correspondent différents nuages (ceci est vrai si les traits, correspondant aux axes ont été bien choisis; nous supposons ici que c'est le cas).

Il existe alors deux types de méthodes pour déterminer l'appartenance d'une forme nouvelle à tel ou tel nuage.

- Soit, on se donne une mesure de la distance d'un point à un nuage, on calcule les N distances aux N nuages et la plus faible décide du nuage d'appartenance (N est le nombre de classes ou d'objets à reconnaître).

- Soit, on construit des hypersurfaces séparatrices qui délimitent dans l'espace des formes au moins N régions contenant chacune un nuage et un seul ceci s'effectuant pendant une période préliminaire d'apprentissage. Ensuite, lorsqu'une forme se présente il suffit de calculer sa puissance par rapport aux hypersurfaces pour savoir de quel côté elle se trouve par rapport à elles; on en déduit la région de l'espace où elle se trouve et donc son nuage d'appartenance.

Dans ce paragraphe nous traitons du premier type de méthode.

Notons qu'en pratique nous ne connaissons jamais les nuages par leur enveloppe. Nous n'en connaissons qu'un certain ~~nu~~ ^{nu} de points.

Conditions d'emploi

Le calcul de distance est en fait une sorte de ^Rcopélation, c'est pourquoi on retrouve les trois conditions nécessaires à la ^Rcopélation globale, qui s'interprètent ici de la façon suivante.

- * Existence de nuages
- * Relativement compacts
- * En nombre limité

Méthodes diverses

Tout d'abord on peut opérer, sur l'espace des formes, des transformations augmentant la distance internuages d'une part, la compacité des nuages d'autres part: Sebestyén donne des exemples de telles transformations,

Ainsi que des exemples de calcul de distance. On peut en effet considérer plusieurs possibilités, selon la structure logique du problème.

Plusieurs méthodes adaptées à des problèmes particuliers existent, qu'on trouvera exposées en détail dans Nilsson.

d) Méthodes employant des hypersurfaces séparatrices

Soit à séparer seulement deux classes F_1 et F_2 de formes représentées par des nuages N_1 et N_2 dans l'espace des formes.

Supposons que nous ayons trouvé une hypersurface $S(X) = 0$ qui sépare les deux nuages N_1 et N_2 .

Pour savoir si une forme f , représentée par un point $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ appartient à F_1 ou à F_2 , il suffit de calculer $S(X)$. Selon le signe de $S(X)$ on saura de quel côté de l'hypersurface se trouve le point X ; on en déduira le nuage N_i auquel il appartient.

Cette méthode est la plus générale de toutes celles que nous avons rencontrées jusqu'ici. Ceci explique qu'elle soit le sujet d'un grand nombre de recherches théoriques dans le monde.

Elle est bien adaptée aux problèmes pour lesquels les autres méthodes ont échoué.

Apprentissage.

On examine la position des échantillons comme par rapport à l'hypersurface.

Si un certain nombre d'entre eux sont du mauvais côté, il faut modifier l'hypersurface, jusqu'à ce qu'ils soient tous classés correctement.

Ceci doit se faire automatiquement, au cours d'une phase préliminaire, dite d'apprentissage.

Au cours de cette phase, des échantillons sont présentés à la machine accompagnés de la réponse correcte (classe d'appartenance).

La machine dispose d'un critère $I(\bar{a})$ qui mesure, pour une hypersurface donnée, l'erreur commise (nombre de points mal classés, ou une fonction de ce nombre de points).

S'il y a erreur, ceci déclenche la mise en route d'un algorithme de reajustement des coefficients a_i .

Cet algorithme essaiera de trouver le segment optimal $\bar{a}^* = \bar{a}_1^*, \bar{a}_2^*, \dots, \bar{a}_k^*$ pour lequel l'erreur est nulle ou minimale. Ceci revient à chercher le minimum de la fonction $I(\bar{a})$ que l'on peut se représenter

Comme une hypersurface dans un espace à $(k+1)$ dimensions. Le principe de la méthode est simple mais son application est difficile (recherche d'extremums dans 1 phase multidimensionnel)

Supposons qu'un vecteur \bar{a}^* ait été trouvé, tel que l'erreur est nulle: tous les points sont bien classés.

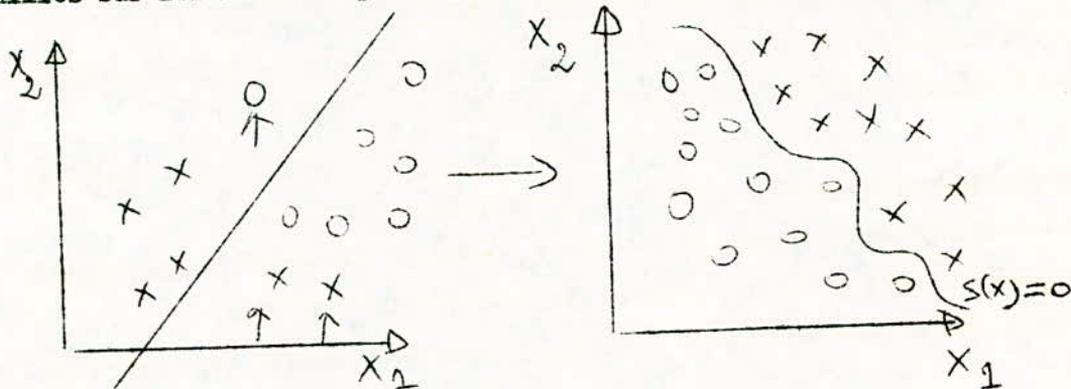
Il se peut que dans la suite de l'apprentissage certains des nouveaux points soient mal classés par l'hypersurface. Cela déclenchera à nouveau le processus automatique de réajustement des coefficients.

Si l'algorithme a été bien choisi, on aboutira finalement à une hypersurface telle que tout nouvel échantillon est bien classé. On arrêtera alors la phase apprentissage, c'est à dire qu'on fixe les coefficients a_i .

Dès lors la machine sera prête à fonctionner en classificateur

Nous n'irons pas plus avant dans l'exposé des méthodes particulières, car cela nécessiterait de longs développements. Disons qu'elles diffèrent entre elles par le choix du critère d'erreur $I(\bar{a})$, de l'algorithme de réajustement des coefficients a_i , et par l'introduction d'un bruit aléatoire.

Quelques-unes des meilleures sont celles de Tsytkin, Aizerman et al Vapnik et al ; Widrow, Fu et al; Castan et Perenon. On trouvera des exposés plus détaillés sur les méthodes par hypersurfaces dans Benzecri, Nilson.



IV Techniques de lecture automatique

On se limite à l'examen des procédés de lecture des caractères alpha-numériques et de leur identification complète.

1°) Distorsion et Parasites des caractères. Les caractères à identifier ne se présentent pas de façon idéale. Les défauts principaux sont représentés par ^{les} exemples suivants: transformations géométriques linéaires.

Les transformations géométriques linéaires peuvent être comparées à des distorsions de signaux radioélectriques, les défauts de contraste peuvent être comparés à une détérioration du rapport signal/Bruit dû aux parasites qui viennent se superposer à ^{un} signal radioélectrique au cours de sa transmission et au bruit de fond du récepteur. On considèrera également comme bruit de fond un défaut de netteté des contenus par empâtement résultant d'₁ encre trop grosse ou d'une copie carbone.

A Les aspects de la lecture automatique

Analyse et Identification des caractères

L'analyse d'₁ caractère consiste à repérer toutes les positions qu'il occupe dans un plan. Son identification consiste à comparer les données après analyse avec des modèles de données enregistrées.

L'analyse peut être effectuée à l'aide de têtes magnétiques. Ou à l'aide de dispositifs optiques utilisant les phénomènes photoélectriques. Le type d'analyse utilisé détermine pratiquement deux classes de caractères identifiables.

Les dispositifs à têtes magnétiques ne peuvent analyser et par conséquent identifier que des caractères de configuration extrêmement simples, conçus spécialement et qui en tous cas exigent une magnétisation préalable.

Les systèmes optiques peuvent analyser une gamme de caractères beaucoup plus étendue: les caractères normalisés (y compris ceux destinés à l'analyse magnétique) les caractères d'imprimerie ou de machine à écrire; les caractères manuscrits, les photos à l'aide des tubes de prise de vue.

Les systèmes d'analyse optique peuvent être totaux (on expose tous les points d'une image) ou asservis (on suit les contours de la figure que l'on veut identifier).

La complexité des procédés d'identification suit à peu près celle des procédés d'analyse; en termes plus précis, il n'est pas utile de posséder un procédé d'analyse très fin lorsque les buts qu'on se propose d'atteindre (diversité, degré de complexité des caractères à identifier) ne nécessitent qu'un dispositif d'identification rudimentaire.

L'identification des caractères après analyse magnétique ne fait appel qu'à des procédés de décodage classiques simples.

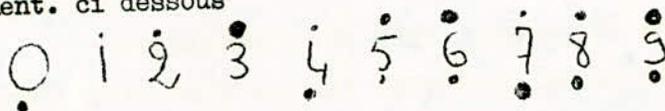
L'identification des caractères analysés optiquement fait appel à des procédés divers:

1°) Comparaison avec des masques représentant les caractères identiques.

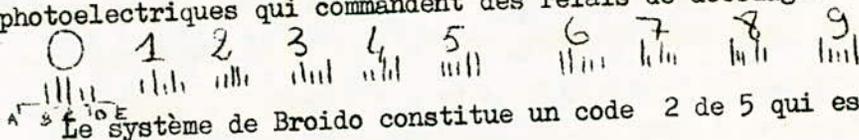
2°) Décision logique d'identification à l'aide de matrices de diodes ou de tores magnétiques constatant la présence ou l'absence de certains critères dans le caractère analysé.

3°) Repérage après analyse le plus souvent asservie de la présence de courbes, de sommets et de noeuds de graphes et comparaison de ces indices avec des modèles topologiques préalablement enregistrés (soit d'après une étude mathématique théorique, soit par simulation de la machine elle-même).

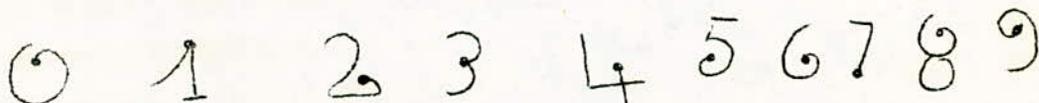
Les repères d'identification des caractères normalisés peuvent être externes ou internes c'est à dire dans ce cas, constitués par la configuration particulière du caractère. Parmi les systèmes à repères externes on a par exemple, celui proposé par Heidinger et Broido représentés respectivement. ci dessous



Dans le système proposé par Heidinger, cinq points de grosseurs différentes sont placés au dessus et en dessous du caractère et lus par des cellules photoélectriques qui commandent des relais de décodage.



Le système de Broido constitue un code 2 de 5 qui est lu de façon séquentielle et décodé par décodage séquentiel.



Les caractères ainsi représentés sont identifiés d'après la position en hauteur d' 1 point.

1^{er}) Les systèmes à tête de lecture magnétique

Bien que sujets à l'obligation d'utiliser des caractères normalisés, les procédés de lecture magnétique ont sur les procédés de lecture optique outre leur simplicité, un très grand avantage: on utilise en effet pour l'impression une encre magnétisable qui est aimantée avant de passer sous les têtes magnétiques. Le procédé de lecture est donc insensible aux bruits introduits par des ratures effectuées au crayon ou à la plume et aux surcharges apportées des tampons encreurs. Ce procédé est efficace, sûr et suffisant dans son application principale: la lecture des chiffres sur les chèques bancaires et la sélection d'adresses d'abonnés.

Les trois systèmes suivants sont largement répandus dans le secteur commercial.

2^{es}) Les systèmes FRED (Figure reading Electronic device

Dans le système Fred mis au point par E.M.I on exploite la densité entre diverses bandes verticales



La quantification de ces bandes en "Noir" et "blanc" est représentée sous chacun des chiffres.

On obtient ainsi, en lisant les bandes quantifiées de la droite vers la gauche un code à 5 moments.

0	I O I I I	6	I O O I I
1	I I O O O	7	I I I I O
2	I I I I I	8	I I O I I
3	I I I O O	9	I I O O I
4	I O I I O	10	I O I O I
5	I I I O I	11	I O O I O

Dans lequel 1 représente une bande quantifiée noir et 0 une bande quantifiée blanche.

Le poids le plus élevé (bord droit de chaque caractère) est toujours égal à 1 (le nb max de caractères identifiables est donc égal à $2^4 = 16$) et sert de signal de déclenchement du dispositif d'identification. Le document défile à vitesse constante sous la tête magnétique. Entrée la tête magnétique et le document il y a une plaquette munie d'une fente verticale.

Le dispositif étant déclenché lorsque le bord droit du caractère passe sous la tête magnétique, les quatre signaux suivants sont prélevés à des intervalles de temps réguliers. En fait chaque tête est constituée par plusieurs petites têtes magnétique élémentaires disposées le long de la fente verticale ceci afin de permettre la quantification.



Supposons, par exemple, que le chiffre 6 défile sous la tête.

Dans la position A il peut arriver que 2 têtes élémentaires délivrent un signal, mais elles ne seront pas voisines, une décision logique donnera à cette bande la valeur 0.

Par contre, dans la position B au moins 2 têtes voisines seront excitées, et il y aura décision logique de quantification à la valeur 1. Grâce à la logique utilisée la position verticale du caractère par rapport à la tête est sans importance. Les variations d'amplitude du signal sont également sans influence puisque seule sa présence ou son absence compte. Un dispositif d'étalonnage de la durée des signaux permet de vérifier la position et l'existence de l'impulsion de déclenchement et d'effectuer la lecture en continu le système FRED possède également une version de lecture optique.

3^e) Le code de caractères magnétiques E - 13 B

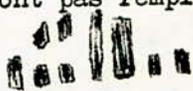
L'utilisation de ce code a été encouragé par l'Américain Barkers Association et elle est maintenant largement répandue aux U S A et en grande Bretagne. Ce code comprend 14 signes (les 10 chiffres de 0 à 9 et 4 signes de commande) qui ont une hauteur de 3 mm environ. Pendant la lecture le document est déplacé à vitesse constante de gauche à droite devant une tête magnétique. Le signal issu de la tête magnétique est appliqué à une ligne à retard à magnétostriktion et échantillonné à 8 intervalles réguliers. Ces signaux échantillonnés sont appliqués simultanément à 14 circuits logiques correspondant aux 14 signes du codes.

4^e) Le code C M B (caractères magnétiques en bâtonnets)

Ce code est utilisé par la compagnie des machines Bull (C M B). Les sept bâtonnets sont espacés de 0,2 ou 0,4 mm le code comprend à l'heure actuelle 15 caractères pouvait en comprendre 64 c. à. d le N b d'arrangements complets que l'on peut former avec 2 types d'espaces sur 6 positions. La forme globale des caractères pouvait être très différente puisque seule la position des espaces compte.

Lorsque les caractères passent, de gauche à droite sous la tête magnétique le flanc avant d', trait produit une impulsion positive, le flanc arrière une impulsion négative. On élimine les impulsion négatives et le document difilant à vitesse constante, il est alors facile de mesurer l'intervalle de temps séparant les impulsions positives et ce, de la façon suivante.

Des impulsion d'horloge sont appliquées à un compteur qui les totalise jusqu'à ce qu'une impulsion lui parvienne de la tête de lecture; il est alors remis à 0 un, nombre compris entre 20 et 36 ^{correspond} à un intervalle ~~long~~ et au-dessus de 60 à un intervalle très long ne pouvait correspondre qu'à un décodeur à 6 positions.

Des tests sont effectués en cours de lecture pour ~~les~~ ^{en} vérifier l'exactitude : il doit y avoir au moins un intervalle très long sur sept et aucun comptage ne doit être inférieur à 20 ou être compris entre 30 et 36 ou encore entre 46 et 60. Si ces conditions ne sont pas remplies le caractères est signalé comme n'étant pas identifiable. Ex  (représente le nb 1)

B - Principes des procédés d'analyse optique

Les procédés d'Analyse:

- * Procédé utilisant disque magnétique.
- * Procédés d'analyse semi-parallèle ou parallèle comportent respectivement une rangée au une matrice de cellules photo-électriques sur laquelle on projette simultanément tout ou partie du caractère à analyser.
- * Procédé d'analyse par asservissement du spot d', tube à rayons cathodiques (utilisés dans les traceurs de courbes.

13) Lecteur par disque magnétique

Historiquement, ce type de lecture apparaît le ^{1^{er}} car il est simple. Des fentes sont percées suivant les rayons d'un disque, ^{de l'autre côté} de trouve un cache comportant une fente verticale.

Comment fonctionne un tel système ? Un rayon lumineux éclaire le caractère à lire. Son Image est projetée sur le disque grâce à un miroir mobile; le rayon lumineux réfléchi, passant à travers l'intersection d'une fente radiale du disque et de la fente verticale fixe du cache, découpe le caractère en un trentaine de lignes verticales.

Chaque ligne est analysée par une cellule photo-électrique ou un photo-multiplicateur, qui délivre des signaux électriques variant en intensité dans le temps. Un trait noir du caractère réfléchit par la lumière; le signal électrique correspondant sera, par exemple, positif. Par contre, le fond blanc du document donnera une forte réflexion donc un signal négatif. A chaque découpage verticale du caractère correspondront des impulsions séquentielles.

Les trains d'impulsions issus du photo-multiplicateur ou des cellules photos électriques sont appliqués à l'organe d'identification.

2^e) Lecture par une colonne de photo-cellules.

Il n'y a pas, dans cette technique, de pièce mécanique tournante, en dehors d'un miroir mobile.

Dans la mémoire de la logique de reconnaissance ou enregistre chaque colonne de façon à posséder à la fin de la lecture, l'image complète du caractère sous forme de matrice binaire.

L'Analyse du caractère est donc semi-parallèle. La logique de reconnaissance aura, une fois le caractère reconstitué dans sa mémoire, le dur travail de reconnaître le caractère. Pour cela une épuration des défauts aura lieu, suivie d'une accentuation du contraste. Puis la logique devra comparer le caractère avec les caractères normalisés qu'elle connaît.

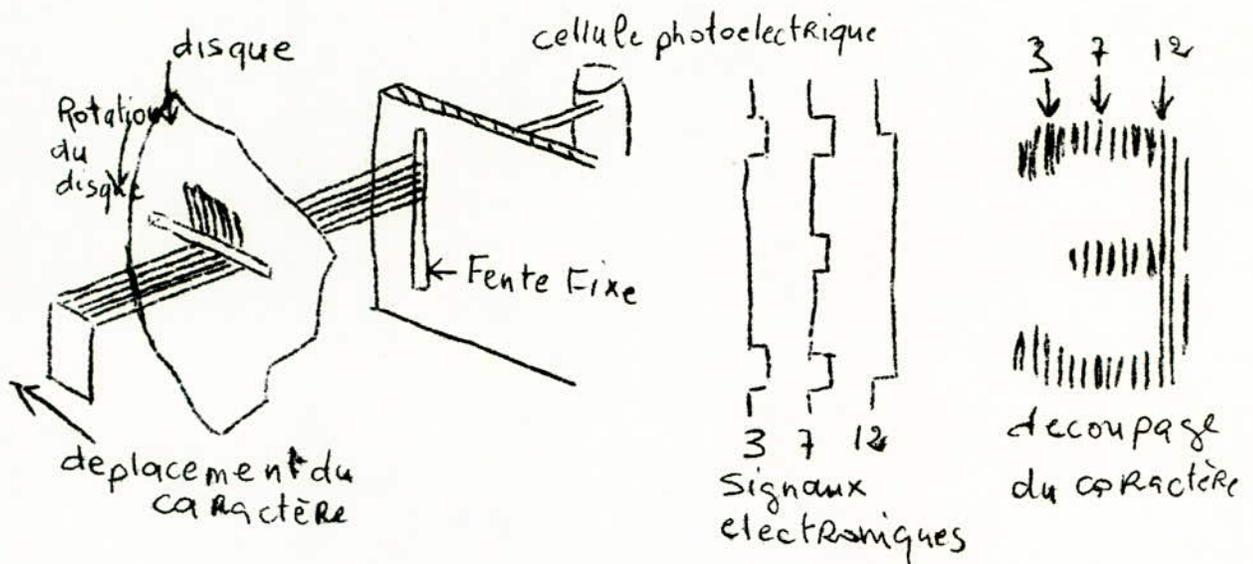
3^e) Lecture par matrice de cellules.

Ce système est assez proche du précédent, mais il lit le caractère d'un seul coup d'oeil, si on peut dire.

C'est la mosaïque de cellules qui enregistre elle-même les variations d'intensité du caractère. Cette mosaïque ou matrice, ou encore rétine est composée de 10×14 éléments, ou de 12×48 éléments.

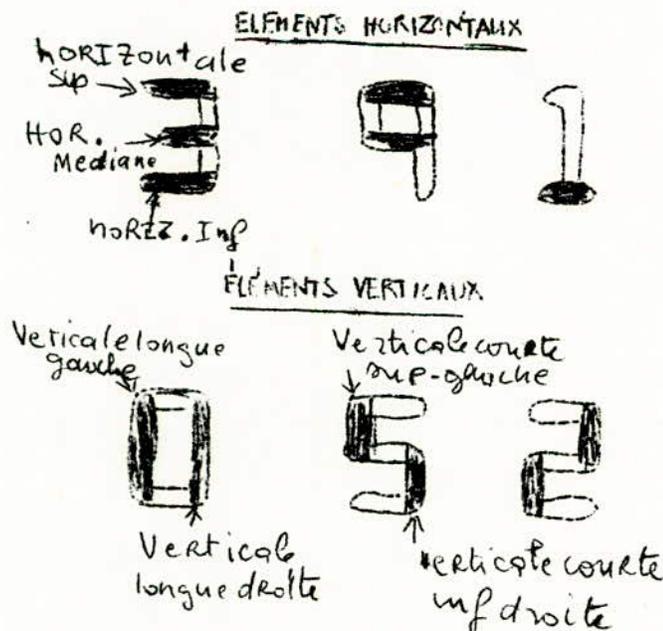
Une grande matrice a l'avantage, sur une petite, de pouvoir cadrer correctement tout caractère et d'apprécier les dégradés.

Il faut bien comprendre que le caractère, dans son ensemble, est illuminé par le faisceau lumineux. Sa réflexion vers la mosaïque de cellules lui donne un agrandissement voisin de 40. Puis, toute une manipulation du caractère est effectuée: un "régulateur d'amplitude" enlève les traces parasites, un "filtre de classification" accentue les caractéristiques du caractère, enfin



Découpage du caractère
PAR disque mécanique

Lecture par disque mécanique : lecture d'un 3 et
Signaux electriques correspondants



DESCRIPTION des divers éléments des caractères
de la police « Selfcheck »

12 F/121 FARRINGTON

CARACTÈRES NORMALISÉS
ROCA (OU OCRA)

ABCDEFGHIJKLMN
OPQRSTUVWXYZ
0123456789 .,:;=+/*
" & ' - [] % ? ^ _
` ñ á ò ó ä å æ ç

CARACTÈRES NORMALISÉS
BOC B

ABCDEFGHIJKLMN
OPQRSTUVWXYZ
abcdefghijklmnopqrstuvwxyz1234567890
* + , - / m ñ ø ð £ \$ % & ?
[] ! # & , (=) " ' ^ ~ `"
^ o & ñ ü æ ø ↑ ≤ ≥ × ÷ ° ×

CARACTÈRES 12F OU 12L
FARRINGTON

0123456789 ABCDEF
GHIJKLMN OPQRSTU
VWXYZ Δ ∇ Γ ∏ ∫ √ ∞ ∫
■ | ' () : ; & # ? ∞ " = -

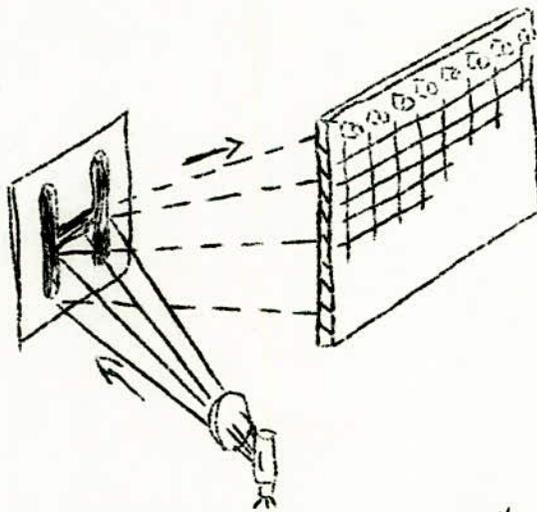
CARACTÈRES 7B FARRINGTON
0123456789

0123456789
CARACTÈRES IBM 1428

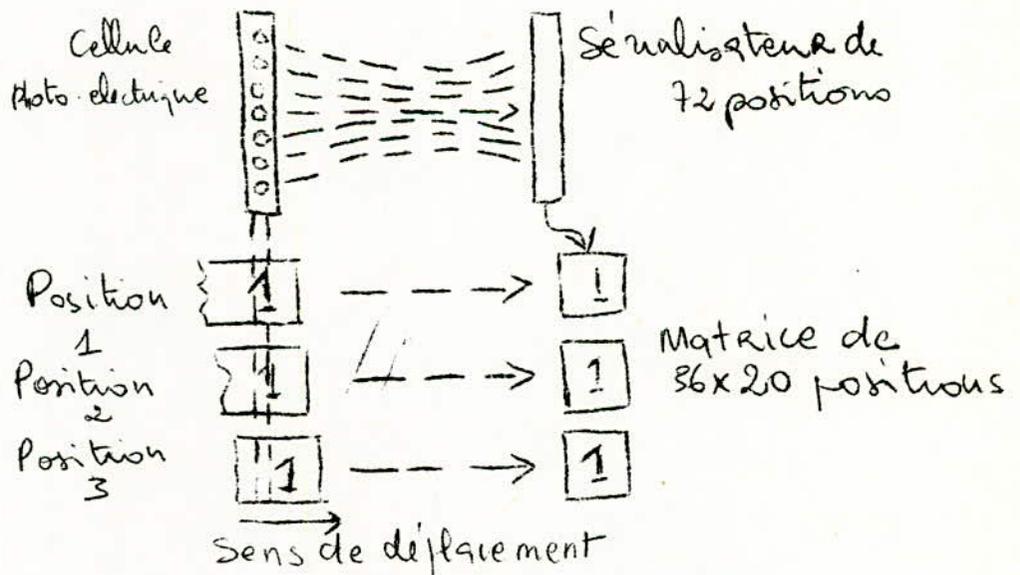
0123456789
CARACTÈRES MANUELS DE
IBM 1287

0123456789
0123456789

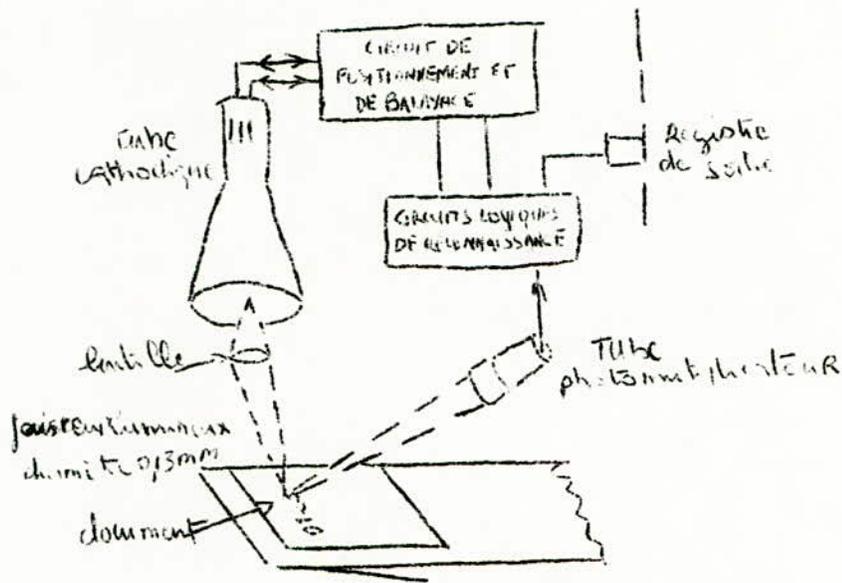
Quelques Exemples de
caractères.



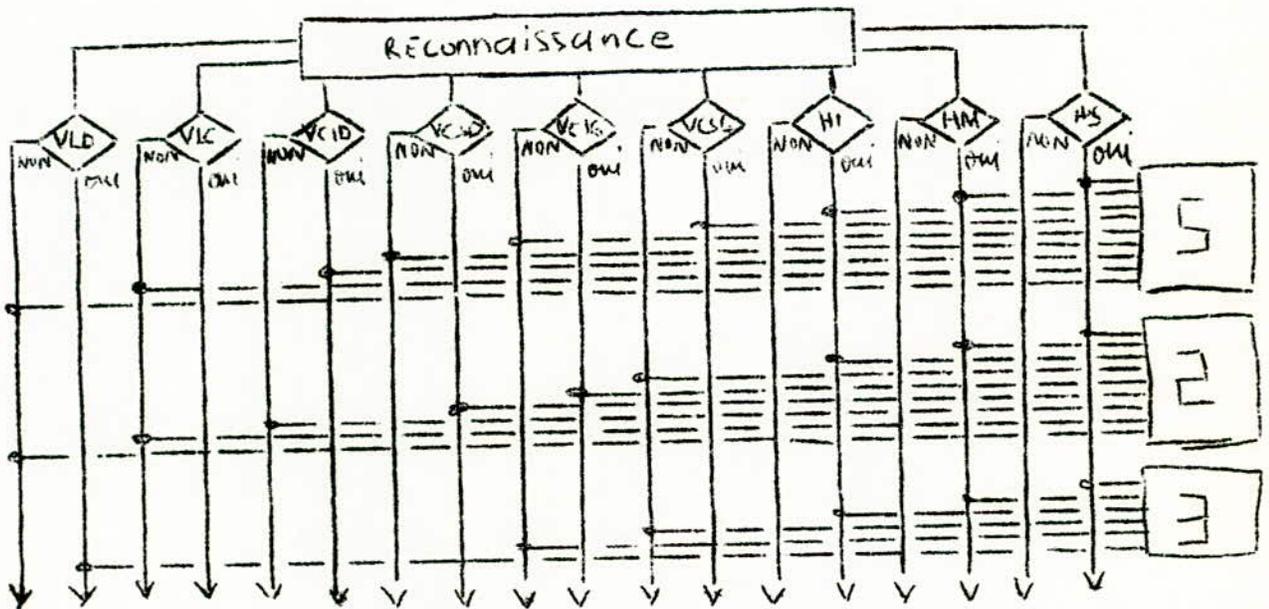
Système à mosaïque de
cellules photo-électriques



Analyse semi-parallèle d'un
caractère.



PRINCIPe de la lecture par balayage



CIRCUIT DE RECONNAISSANCE par tout ou rien
 (HS: Horizontale Supérieure, HM: horiz. médiane;
 VCSG = verticale courte supérieure gauche; etc)

un "corrélateur de caractères" affecte celui-ci à une famille à traits communs. Cette corrélation se fait par comparaison avec des "masques" de caractères. Il y a, en général, deux fois plus de masques que de caractères à identifier car à chaque caractère est affecté un masque "positif" et un masque "négatif" (ces masques sont électroniques mais correspondent à l'image en positif et en négatif du caractère) .

4^e) Lecture par faisceau lumineux .

C'est le flying spot employé par IBM 1287. Cette technique d'analyse des caractères est récente et représente l'avenir de la lecture optique.

Mais, si elle est la plus moderne, cette technique est aussi la plus compliquée car elle nécessite un hardware comme un software élaboré.

En principe, tout caractère peut être lu : numérique, alphabétique, imprimé ou manuscrit la vitesse de lecture dépendant évidemment de la facilité de reconnaissance (2.000 C/S pour les chiffres, 1.000 C/S pour les lettres, 300 C/S pour les manuscrits). Mais, du principe à la réalité, il y a encore un grand pas à franchir / la lecture des caractères manuscrits n'est possible que sous certaines conditions très sévères.

La technique du spot mobile est très particulière: le spot ($\frac{12}{10}$ de mm), balayé par un faisceau d'électrons sur un écran cathodique, est projeté sur le document à lire. Le spot réfléchi sera reçu par un tube photo-multiplicateur qui débitera un courant proportionnel à la noirceur de la partie du caractère analysé.

Le faisceau d'électrons étant mobile, on peut suivre n'importe quelle forme. Le balayage du caractère n'étant pas fixé, il s'ensuit que la logique de reconnaissance est très importante. Les caractères imprimés sont d'abord repérés par un premier tracé du spot.

Puis un second tracé est effectué suivant des lignes horizontales pour les chiffres, suivant des lignes verticales pour les lettres. Les caractères manuscrits, quand à eux, sont plus difficiles à reconnaître car leur forme est très variable. Le premier tracé enregistre les dimensions: la longueur la direction et la position des éléments sont ensuite étudiées. La logique de reconnaissance compare enfin les caractéristiques réelles avec celles pré-enregistrées de tous les types de caractères.

En plus du balayage horizontal et vertical, le spot peut contourner le caractère comme le désire la logique. Le IBM 1287 explore, en cas de mauvaise identification, le caractère une dizaine de fois.

Les signaux provenant du photomultiplicateur seront traités au même rythme que l'exploration.

5) Les techniques récentes.

L'image à traiter peut être générée par de multiples moyens: elle peut être produite par un circuit de télévision en temps réel (Installation de surveillance industrielle) ou par un système de prise de vue dans l'infrarouge (détection de défauts dans les circuits électroniques); elle peut être enregistrée sur un film photographique monochrome, polychrome ou encore sensible aux infrarouges ou aux rayons X. La pièce maîtresse du capteur est sans conteste le quantifieur qui est chargé de la conversion de l'information optique en signaux électriques: tubes de prises de vues photodiodes, un semi-conducteur, dispositifs à transfert de charges, le choix est varié. Chaque quantum porteur d'informations sur l'image originale est dénommé pixel (dérivé de Picture Elément): la résolution d'un lecteur d'image est d'autant meilleure qu'elle comporte davantage de pixels.

a) Les dispositifs à transfert de charges B B D et C C D

Les principes de ces dispositifs ont été énoncés en 1970 par W.S. Boyle et G.E. Smith aux Bell téléphone laboratoires. Ce sont des registres à décalage analogiques: en fonctionnement, les informations de provenance optique sont converties en des paquets de charges électroniques accumulés et transférés selon l'axe du registre, à l'aide d'un réseau d'électrodes rapprochées sous lesquelles ils circulent au rythme d'une horloge.

L'idée de réaliser un registre à décalage pour signaux analogiques remonte au début des années 50. A l'époque, des échantillons d'un signal analogique étaient conservés sous forme de charges électriques dans une série de condensateurs entre chacun des condensateurs, une sorte de commutateur transmet les charges d'un condensateur au suivant sur injonction d'une impulsion de décalage.

En 1969 F.L.J. Sangster et K. Teer, aux laboratoires Philips proposèrent sur ce principe une structure de registre à décalage qu'ils dénommèrent « chaîne à seaux » (en anglais : bucket- brigade devices: BBD), par analogie avec la vieille méthode de lutte contre le feu dans laquelle les seaux passaient de main en main; chaque étage d'un registre BBD comprend un transistor MOS et une capacité.

Dans un dispositif BBD, l'information représentée par la charge électriques de condensateurs, est transférée d'un condensateur au suivant à travers le canal d'un transistor bipolaire ou MOS commandé par une horloge.

Le dispositif CCD (charge couples device) imaginé en 1970 par Smith et Boyle est analogue au précédent: technologiquement, il est plus simple et ne peut exister que sous forme intégrée, alors que le BBD peuvent être ou non intégrés.

Dès 1970, F.L.J.

b) La caméra à CCD.

Plusieurs types de systèmes peuvent être réalisés avec les dispositifs à transfert de charges, selon que ceux-ci reçoivent une exatation optique ou une excitation électrique. Dans le premier cas, les circuits CCD sont intégrés dans des caméra de prises de vue. La lumière qui éclaire un circuit CCD produit des électrons qui s'accumulent sous les électrodes; après une période de stockage des charges, débute la période de transfert des paquets de charges de proche en proche vers l'étage de sortie.

La résolution de l'image est d'autant meilleure que le nombre d'élément du circuit CCD utilisé est grand.

Ainsi, chez texas instruments INC. Un circuit comportant 400x 400 éléments a été récemment réalisé sur une pastille de silicium de type p de 12,6mm de côté; la surface occupée par chaque élément est de 500 micron-carré.

Les BBD en Audio- Vidéo:

Dès 1970, F.L.J. Sangster envisageait la possibilité d'utiliser les BBD pour le traitement analogique d'images. Fonctionnant en ligne à retard, il est en effet extrêmement facile de faire varier le retard de façon continue; le circuit BBD peut ainsi servir à effectuer une conection de temps dans les systèmes enregistrés sur bande magnétique: les erreurs de temps sont liées à l'étirement de bande ou à des variations de vitesse de défilement. Ces erreurs peuvent être corrigées en utilisant un signal d'erreur pour le contrôle de la fréquence de décalage.

C - Un système de lecture automatique de caractères dactylographies

C'est à partir de 1960 que le centre Nationale d'Etudes des Télécommunications a abordé le problème de la lecture automatique des adresses.

On décrit dans ce qui suit, une première machine étudiée et réalisée par la Société d'Electronique et d'Automatisme dans le cadre de marchés gérés par le CNET.

1^o) Système d'Identification

La machine est caractérisée par une structure parallèle, tant au niveau du prélèvement qu'à celui du traitement de l'information: l'image des caractères composant le texte à lire s'inscrit dans une mosaïque de photo-diodes qui alimentent après amplification, un ensemble de circuits de reconnaissance dont chacun est spécifique d'un caractère du répertoire de la machine.

La mosaïque comporte 48 cellules élémentaires pour l'identification des chiffres et des majuscules: on atteint une résolution suffisante pour l'identification des 26 majuscules et des 10 chiffres d'au moins trois alphabets non stylisés en traitant les ~~signaux~~^{signaux} sans quantification préalable en limitant les dimensions de la mosaïque à celle d'un rectangle de hauteur et de la largeur égales à celles de l'image d'un caractère celle-ci étant cadrée par un dispositif optique.

Le critère d'identification utilisé ne met en oeuvre que des opérateurs technologiquement simples: à chaque caractère du répertoire, est associé un opérateur linéaire matérialisé par un réseau de résistances et au amplificateur opérationnel rudimentaire.

2^o) Principe de l'identification

a) Identification d'un caractère cadré

Considérons un caractère dont l'image est projetée sur une mosaïque de n carré élémentaires associés à des récepteurs photoélectriques permettant d'obtenir n signaux électriques que nous appellerons composantes du caractère, dont les valeurs sont proportionnelles à la différence entre l'éclairement de chaque carré et un éclairement de référence égale à celui du fond du papier sur lequel est imprimé le caractère.

Le problème de l'identification est de déterminer un critère qui, par comparaison des valeurs des signaux ainsi obtenues à des valeurs de références correspondant aux différents dessins de caractères susceptibles de figurer dans le texte analysé permette de décider de la nature du caractère inconnu.

Soit x_1, x_2, \dots, x_n , les composantes d'un caractère X cadré c'est à dire dont l'image occupe une position nominale défini à priori par rapport à la mosaïque du lecteur. Si l'on s'impose, afin de réduire le coût de la machine, de lier le critère d'identification à des combinaisons linéaires des composantes et si l'on veut, par ailleurs, que le contraste d'impression n'influe pas sur l'identification, on est conduit à associer aux caractères de référence A, B, C ... P ... Z des fonctions d'identification linéaires et homogènes:

$$\left. \begin{aligned} Y_A(x_1, x_2, \dots, x_n) &= Y_A(x) = A_1 x_1 + A_2 x_2 + \dots + A_n x_n \\ Y_B(x) &= B_1 x_1 + B_2 x_2 + \dots + B_n x_n \\ Y_P(x) &= P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n \\ Y_Z &= Z_1 x_1 + Z_2 x_2 + \dots + Z_n x_n \end{aligned} \right\} (1)$$

Les coefficients de ces formes linéaires doivent être déterminés de telle sorte que, si X est identique à un caractère P de l'alphabet de référence, on ait.

$$Y_X(x) = Y_P(x) \quad (2)$$

quel que soit Q différent de P

Il suffira, pour reconnaître un caractère, que la machine élabore les fonctions $Y_A(x)$, $Y_B(x)$, ect... et sélectionne celle dont la valeur est la plus élevée.

HEINISCH. J. a démontré que pour satisfaire à la condition (2), le système (1) peut être défini par la règle suivante:

Les coefficients P_1, P_2, \dots, P_n de la fonction $Y_P(x)$ attachée à la lettre P, de composante P, P, ..., P, doivent vérifier la relation:

$$P_i = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) (\theta_1 = P_1, \theta_2 = P_2, \dots, \theta_n = P_n) \quad (3)$$

$\Phi(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i, \dots, \theta_n)$ étant une fonction homogène du premier degré dont les dérivées secondes satisfont pour les valeurs positives des variables θ_i à la condition:

$$\sum_{i,j} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta_i \partial \theta_j} d\theta_i d\theta_j > 0$$

sauf pour $\frac{d\theta_1}{\theta_1} = \frac{d\theta_2}{\theta_2} = \dots = \frac{d\theta_n}{\theta_n}$

on appelle : fonction génératrice d'identification

Réponse isomorphe, $Y_p(P)$ la valeur de la fonction d'identification

$$Y_p(x) \text{ pour } x = P$$

Réponse hétéromorphe, $Y_p(Q)$, la valeur de $Y_p(x)$ pour $x = Q$, $Q \neq P$

b) Identification d'un caractère mobile:

Pour que la méthode d'identification décrite au paragraphe précédent présente un intérêt pratique, il faut qu'elle soit applicable à des caractères en défilement continu sous la tête de la lecture.

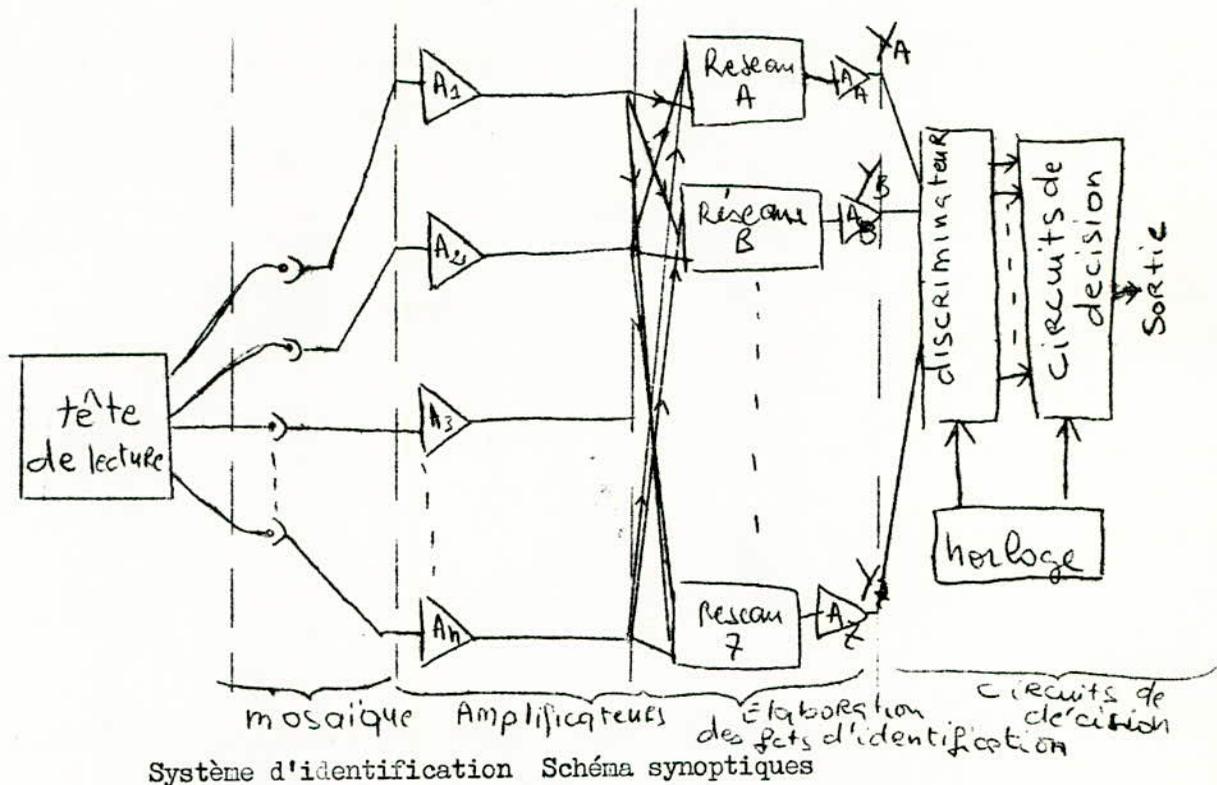
A cette fin, on utilise un dispositif réalisant une translation verticale alternative de l'image autour de sa position moyenne, avec une amplitude égale à celle du décadage admis pour les caractères et à une vitesse suffisamment élevée devant la vitesse de défilement du document les caractères passent donc successivement au voisinage de la position cadrée, à des instants séparés par un intervalle de temps défini par la vitesse de défilement du texte, le pas d'impression et la fréquence du mouvement vertical, mais sans que l'instant du cadrage soit connu pour autant.

Supposons toutefois que l'on sache définir, pour chaque caractère, deux instants t_1 et t_2 tels que l'instant de cadrage t_c soit dans l'intervalle (t_1, t_2) ; l'identification sera possible si la réponse isomorphe, obtenue au temps t_c inconnu, est supérieure à toutes les réponses hétéromorphes dans l'intervalle (t_1, t_2) .

2°) REALISATION

La méthode d'identification décrite a été appliquée à la réalisation d'une machine destinée à la lecture d'adresses postales, machine comportant essentiellement deux parties :

- a) un système de acquisition d'une ligne de texte, qui effectue la sélection de la ligne à lire dans le texte par un déplacement du positionnement approché de son image sur la mosaïque d'analyse.
- b) un système d'identification qui réalise la reconnaissance des caractères de la ligne sélectionnée. -38-



Les caractéristiques de ce système sont les suivantes:

caractères lus : les 26 lettres majuscules et les 10 chiffres de 3 alphabets différents

texte : une ligne de texte par document cette ligne est parallèle à la direction du défilement.

Vitesse de passage des documents : 2,25 m/ + 10 % .

tolérance de cadrage (dans la direction perpendiculaire à la direction du défilement) : 1,5 mm

profondeur de champ (tolérance sur la distance du plan du document à la tête de lecture) : 0,5 mm

3°) Systèmes d'acquisition d'une ligne de texte

Pour la lecture d'un document tel que le pli postal il est nécessaire d'adjoindre au lecteur un système susceptible de :

détecter la ligne du texte la plus basse, appelée ici adresse.

fixer la position de l'image de l'adresse dans la mosaïque avec une tolérance correspondant à 1 mm dans le plan objet.

Les caractéristiques concernant le document et l'adresse sont les suivantes:

Hauteur des caractères comprise entre 2,4 mm et 2,9 mm

Vitesse de défilement : 2,25 m/ S 10 %

décalage vertical : 10 mm

inclinaison de l'adresse par rapport à l'horizontale 2°

Ecart minimal entre les caractères extrêmes des adresses consécutives : 10 cm.

P Pour être compatibles avec les données précédentes les propriétés essentielles du système d'acquisition de ligne doivent être :

Précision 1 mm

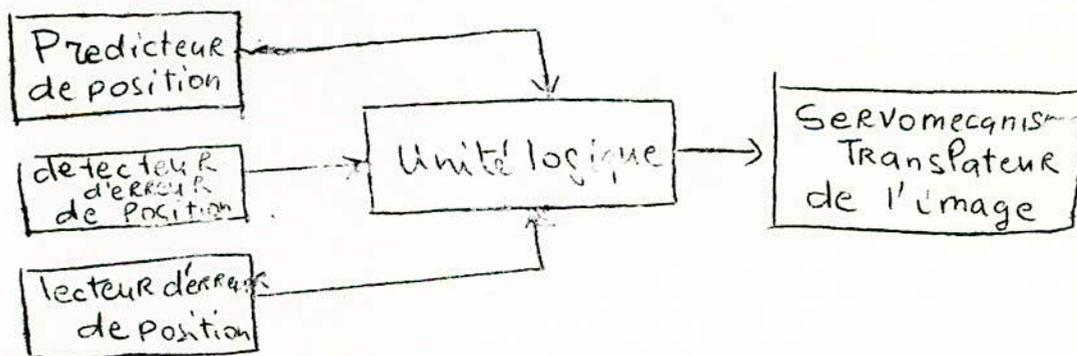
temps de réponse : au plus égal à 40 m S.

Principe de la solution adoptée.

L'acquisition de l'adresse est effectuée par approximation successives, au moyen d'un miroir asservi.

Dans le premier temps, elle est réalisée d'une façon approchée, mais rapide. La précision est ensuite améliorée au moyen d'un second dispositif. Enfin un servomécanisme corrige les faibles déplacements dus à l'inclinaison de la ligne.

L'organisation générale du système est donnée par la figure suivante.



Il comporte :

- UN prédicteur de position
- UN détecteur d'erreur de position
- UN lecteur d'erreur de position
- UN servomécanisme translateur d'image
- UNE unité logique.

Le document pris par les convoyeurs d'entraînement défile successivement devant trois fenêtres. Le prélèvement de l'information optique et sa transformation en signaux électriques sont effectués par la tête de lecture qui assure l'éclairage du document à analyser et la projection de l'image sur une mosaïque de 6 x 8 photodiodes.

Un miroir oscillant auto-entretenu (fréquence d'oscillation: 12,5 KHZ), intercalé sur le trajet des rayons lumineux, permet de rattraper une translation verticale du document 1,5 mm.

IV Exemples d'Applications

Parmi les nombreuses applications de la reconnaissance des formes il y a :

a) La reconnaissance de la parole.

Il s'agit de reconnaître le contenu de la parole pour l'entrée en machine de données complémentaires ou d'ordre spéciaux. Les paramètres utilisés sont prélevés sur le signal acoustique et comparés à ceux d'éléments types conservés en mémoire; cette segmentation du langage parlé en éléments plus courts que les mots est imposée par la limitation de capacité de la mémoire utilisée pour le dictionnaire. La première étape consiste à chercher une décomposition en phonèmes telle que la parole puisse être reconstituée par la mise en séquence d'un certain nombre d'entre eux et que chacun d'eux soit identifiables.

Déjà, le livre de Sebestyen se terminait par une application à la parole de la théorie générale des décisions. La même année, Halle et Stevens proposèrent une stratégie de recherche des phonèmes du dictionnaire, en vue de l'identification par comparaison, qui tienne compte des caractéristiques particulières du locuteur, analysées pendant une courte période adoptant la machine à celui-ci. Sakai et Doshita ont pour leur part proposé un indice de stabilité sur l'ensemble des paramètres échantillonnés au cours d'un phonème : cet indice permet de distinguer les voyelles à structures périodique et spectre de raies, des consonnes dont la structure est transitoire et le spectre continu.

Le principe du vocoder analysant les différents formants du phonème tels qu'ils se présentent sur un sonogramme ou phonétogramme de Dreyfus-Graf a été largement utilisé depuis, dans le même esprit, en particulier par IBM à la Gaze par le CNET à Lannion et par la Faculté des Sciences de Paris

L'analyse est surtout effectuée en vue de la synthèse et l'objectif à atteindre est en définitive celui de la conversation avec la machine.

L'objectif de René de Possel est légèrement différent: les recherches entreprises sous sa direction, au R.A.M.I. (C.N.R.S) ont pour but d'asseoir la machine à lire à une machine à prononcer destinée à la lecture aux aveugles. Les études portent, d'une part sur l'extraction de phonèmes-types et d'autre part, sur l'élaboration d'un programme de phonétisation de textes appelés par la lecture automatique.

b) L'aide au diagnostic médical.

Tout diagnostic médical est une reconnaissance de forme ^{ou} sans large du terme. A l'heure actuelle, il ne s'agit encore que d'une aide au diagnostic, par une présentation synthétique des symptômes facilitant la décision du médecin.

Ultérieurement on cherchera à parvenir à une identification automatique des maladies les plus classiques.

De nombreux travaux sont en cours, depuis plus de 10 ans sur le dépouillement automatique des traces d'électrocardiogrammes; ces tracés étant périodiques, il est assez facile d'en repérer les segments P, Q, R, S, et T qui correspondent aux différentes phases de contraction du coeur, au cours d'une systole. Le problème est alors d'utiliser les paramètres les plus significatifs des impulsions correspondantes, Amplitude, temps de montée, pour caractériser les différents cas pathologiques.

Une autre direction de recherches concerne les vectocardiogrammes qui sont des courbes gauches de l'espace à trois dimensions obtenues par composition vectorielle des électrocardiogrammes sur trois dérivations perpendiculaires.

Les dépouillement des électroencéphalogrammes n'a pas encore très souvent été abordé parce qu'il est plus difficile, les signaux n'étant pas périodiques.

L'information est à extraire de tracés très longs qu'il s'agit d'échantillonner pour l'entrée en machine.

Pour le dépouillement de radiographies et d'autoradiographie, les études entreprises jusqu'à présent, visent surtout à améliorer l'exploitation visuelle des documents par certaines modifications de présentation du cliché initial. Mais il semble peu probable que l'on puisse obtenir avant longtemps la précision que permet aux radiologues l'aide des amplificateurs de brillance.

Le problème de l'apairage des chromosomes a beaucoup plus souvent été abordé. Dans la méthode de Butler, l'espace de décision est rapporté à sept moments statistiques et variants, par rotation et translation, Rutowitz insista sur l'intérêt qu'il y a à localiser les zones de l'image contenant de l'information et à redresser les chromosomes vis à vis de la trame. Comme Philbrick, il propose un codage par squelettisation.

En France, le docteur Le GO effectue des recherches au C.E.A. sur ce sujet; avant de pouvoir utiliser le capteur du R.A.M.I.,

il stocke les images dans un bloc-mémoire d'analyseur multicanaux assurant la visualisation et il enregistre numériquement ces images sur une bande magnétique destinée au traitement par ordinateur. En Italie, Grasselli s'est intéressé au classement des chromosomes du blé; il utilise à la fois les densités optiques pour définir le centromère et la recherche du squelette. D'une façon générale, il y a un grand avenir pour l'analyse automatique de clichés en biologie. Les irrégularités de contour caractérisent une cellule en cours de mitose et un programme utilisant les arcs à forte concavité doit permettre d'évaluer un indice de mitose au-dessus d'une certaine valeur, il est décidé qu'il s'agit d'une cellule mitotique.

L'automatisation du classement des leucocytes à partir de la forme de leur noyau fait l'objet de recherches aux Etats-Unis. Les chercheurs du M.I.T procèdent à une élimination préalable des globules rouges à l'aide de filtres colorés au moment de la prise de vue.

Enfin, les colonies de bactéries sont, elles, analysées par Glaser et Wattenburg qui ont réalisé un système automatique de culture et de classement.

I Analyse automatique de l'électro cardiogramme (E.C.G)

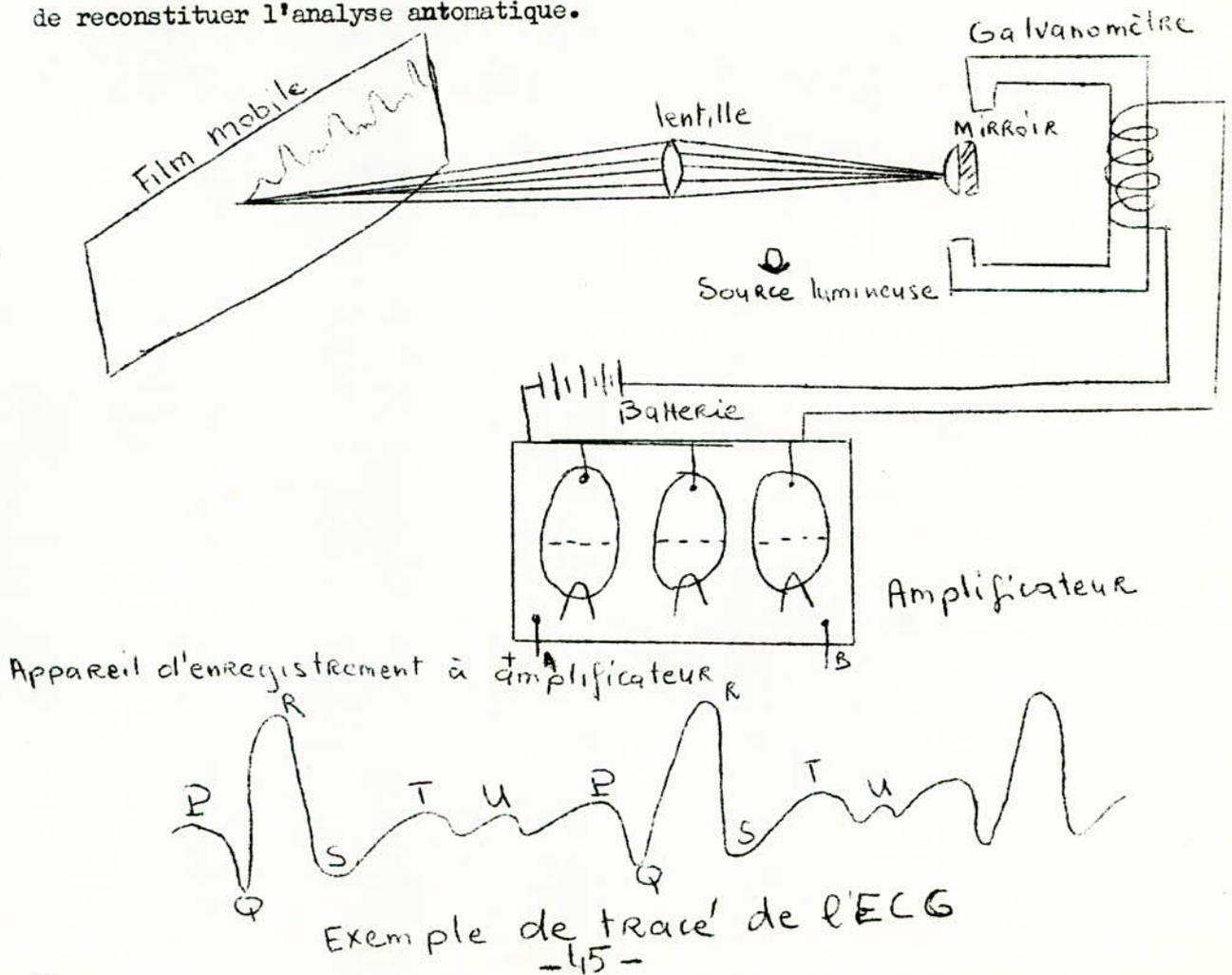
En mai 1974 le C.NI (commissariat National à l'informatique) avec l'aide de C.H.U.M.A (centre Hospitalier et Universitaire Mustapha d'Alger) a entamé l'étude automatique de l' E.C.G.

l' E.C.G est une représentation scolaire des forces électromotrices engendrées par le coeur.

Au niveau de la surface corporelle des tissus, les potentiels sont recueillis en des points déterminés par les électrodes et dérivés à l'appareil d'enregistrement. C'est un appareil à amplificateur qui multiplie très largement les courants d'action cardiaque.

Le courant cardiaque peut être théoriquement enregistré à n'importe quel endroit de la surface du corps. Mais certains points et systèmes de dérivation se sont imposés.

On obtient ainsi un tracé, dont l'interprétation par le cardiologue s'effectue suivant une démarche bien déterminée. C'est cette attitude qu'essayera de reconstituer l'analyse automatique.



Trois nouveaux d'application

- les Unités de soins intensifs (U.S.I)
- le malade hospitalisé en dehors d'une U.S.I
- le dépistage dans le cadre de la médecine préventive.

(2) Saisie des données :

Les données sont enregistrées sur une bande magnétique analogique (B.M.A) après avoir été visualisée sur un écran de contrôle.

L'appareil enregistreur à trois canaux simultanés permet l'inscription en même temps sur papier et bande magnétique de cinq groupes de trois dérivations .

La B.M.A obtenue, comprenant 35 enregistrements environ, est acheminée vers le centre de calcul.

Centre de calcul : pour analyser les signaux on a choisi les calculateurs numériques. La bande analogique ne peut être traitée directement, elle nécessite une opération préalable.

La conversion analogique numérique.

* Principe de conversion.

Le problème de la conversion analogique numérique (ou digital : C.A.N.) consiste à faire correspondre au signal analogique prélevé, à des instants réguliers, son équivalent dans un code donné. Avant de convertir le signal analogique il faut donc l'échantillonner.

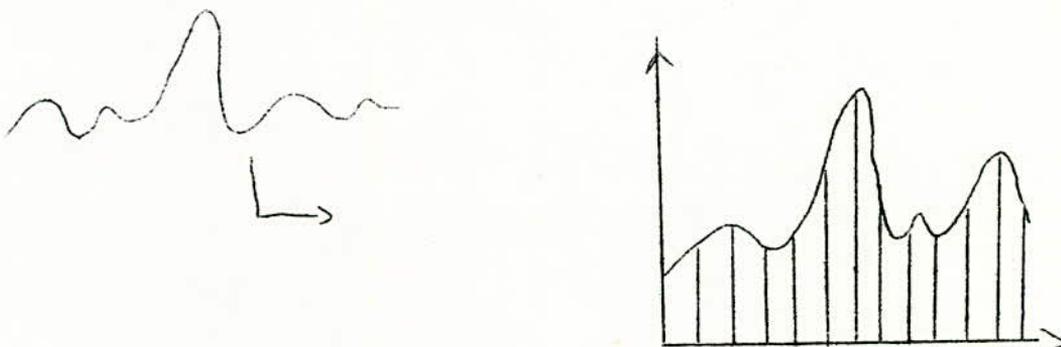


Schéma d'un signal échantillonné

La fréquence d'échantillonnage est de 500 points par seconde.

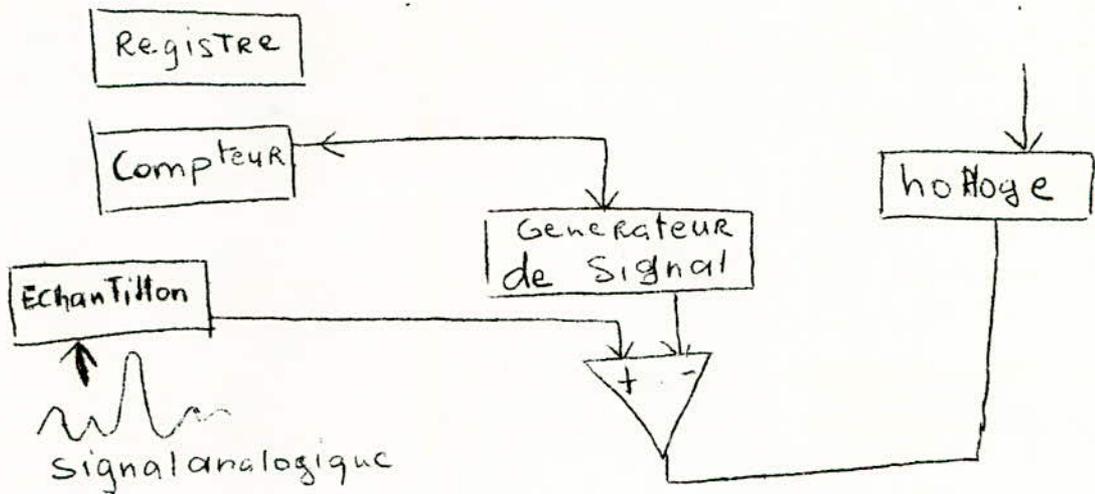


Schéma de principe de C.A.N.

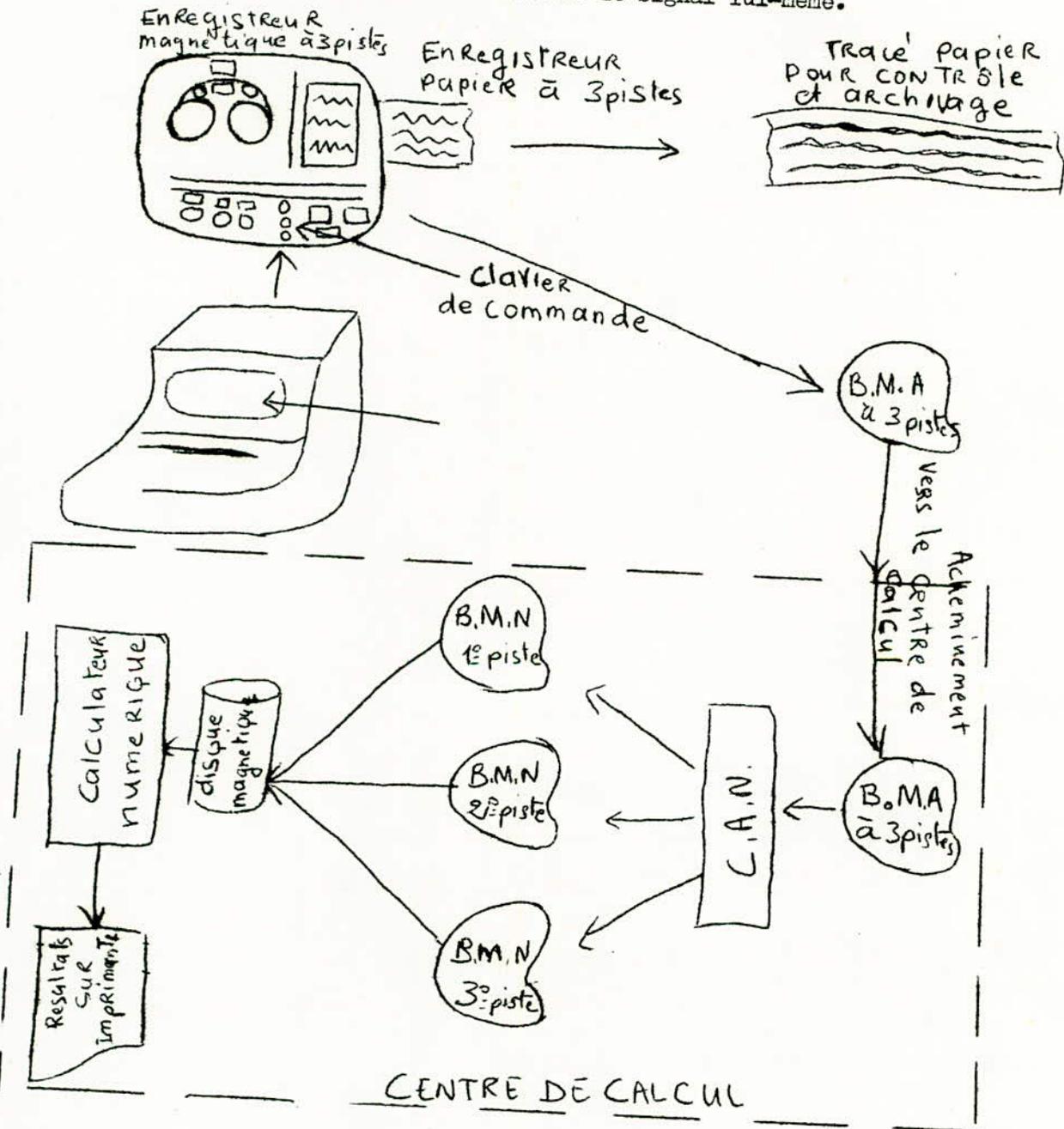
2^e) Fonctionnement du C.A.N.

Lorsque l'échantillon est transmis au comparateur, l'oscillateur démarre, de même que le générateur de signal en escalier qui alimente la deuxième entrée du comparateur. Un compteur commence alors à dénombrer les impulsions issues de l'oscillateur ou horloge. A l'instant où la tension en escalier dépasse celle de l'échantillon, le comparateur délivre une impulsion qui stoppe l'oscillateur. Le compteur est arrêté et les états des bascules donnent l'équivalent binaire de l'échantillon du signal analogique. Le contenu du compteur arrêté est expédié vers un registre à travers les portes de transfert. On ouvre ces portes à la fin du codage, c'est à dire à chaque début de l'échantillonnage. Pendant que le registre débite à sa sortie successivement les états binaires correspondant au niveau analogique de la tension qui vient d'être codée, le compteur repart à la recherche des états binaires correspondant à une nouvelle valeur de la tension analogique. Le codage de cette tension s'effectue donc simultanément avec le transfert des impulsions concernant les échantillons précédents.

Les données ainsi asquées sont enregistrées sur trois bande magnétique numériques (B.M.N) correspondant à chaque piste de la B.M.A.

La première opération effectuée sur les B.M.N est le filtrage, pour éliminer les parasites.

Les filtres retenus sont les filtres numériques ou mathématiques, qui sont des méthodes de calcul, auxquels les calculateurs numériques confère précision et rapidité le filtrage doit être calculé de façon telle, qu'il élimine les bruits sans altérer le signal lui-même.



Analyse automatique de l'ECC

II Automate Spécialisé de traitement d'Images

Application à la classification des chromosomes

Thèse soutenue le 27 Février 1976 par Alain SPIWACK

L'Etude présentée dans cette thèse a conduit à la réalisation d'un dispositif d'analyse et de traitement d'images.

L'objectif a été de fournir aux chercheurs du domaine de la reconnaissance des formes un outil de travail leur permettant de disposer de façon souple et rapide de fichiers numériques de données, représentatifs des informations pertinentes des images qui pourront ensuite être traités par ordinateur.

Ce dispositif utilise différentes fonctions et un algorithme câblé permettant l'extraction des informations destinées au traitement numériques.

A - Les Methodes d'établissement du caryotype

1°) Les méthodes manuelles :

a) étape biologique : la culture

b) étape microscopique : repérage au microscope des bonnes métaphases

c) étape photographique : on découpe aux ciseaux

les images individuelles des chromosomes.

d) Etablissement du caryotype

Appariement des chromosomes

e) diagnostic :

Le caryotype permet au spécialiste de détecter et d'identifier les anomalies

- anomalies de nombre

- anomalies morphologiques

Conclusion : on voit donc que l'établissement d'un caryotype est un travail long et fastidieux.

Il apparaît donc indispensable d'alléger le travail des généticiens en leur fournissant une chaîne automatique.

B - Les méthodes automatiques.

1°) - a) Sélection automatique de métaphases.

Pour réaliser la tâche de sélection, on utilise un microscope comportant une platine motorisée :

un capteur comenable suivi d'un dispositif de décision permettant de mémoriser les coordonnées X,Y des bonnes métaphases.

b) Conversion optique numérique

- dispositif flying-spot " utilisant un photomultiplicateur et 1 convertisseur A/N.
- Une caméra de TV avec tube vidicon ou plumbicon dont le signal vidéo est numérisé.
- Système par tambour rotatif les données numériques sont ensuite stockées en mémoire. (bande, disque, mémoire centrale) .

c) Etablissement des caryotypes

Le Pb du caryotype est rendu extrêmement difficile à cause de la multiplicité des attitudes et aspects rencontrés lors de l'analyse : Pour cela les systèmes de classement automatique de chromosomes comportent toujours des dispositifs de dialogue homme - machine (console avec photostyle, etc.) grâce auxquels l'opérateur humain prend la décision en dernier ressort.

1. Les programmes de classifications automatiques :

a) Recherche des chromosomes

Cette étape consiste à extraire de l'image mémorisée des fichiers numériques représentatifs des chromosomes.

b) Appariement des chromosomes:

Toutes les possibilités de reconnaissance des formes sont explorées
* B.WIDROW par exemple compare les chromosomes numérisés avec un modèle en mémoire de la classification standard de .DENVER.

* Extraction de critères caractéristiques pour chaque chromosome.

L = longueur du chromosome

A = aire du chromosome

D = aire pondérée par la densité optique de chaque point.

$$S = a_1 L + a_2 A + a_3 D$$

$$CI = a_4 CIL + a_5 CIA + a_6 CID .$$

c) diagnostic :

Les Anomalies détectées par le logiciel aident le spécialiste à établir le diagnostic.

Conclusion :

Le diagnostic est établi par le spécialiste à l'aide du logiciel de diagnostic.

Conclusion ,.

d'objectif a atteindre est d'obtenir un appareil d'aide au diagnostic relativement peu coûteux de façon que les laboratoires concernés puissent l'utiliser.

1.3 L'automate spécialisé de traitement d'Image (ASTI)

L'A.S.T.I. réalise la conversion optique- numérique de l'image prise à l'oculaire du microscope.

Il stocke ensuite l'information numérique obtenue en mémoire et en extrait les informations pertinentes qui seront transmises à un mini ordinateur.

10) Opérations essentielles réalisées par l'ASTI .

1°) Acquisition - Restitution d'images

2°) Traitement des images

Choix fondamentaux du système ASTI.

1°) Analyseur d'image.

2°) La conversion numérique du signal vidéo.

3°) Stockage du signal numérisé

4°) Restitution de l'image.

5°) L'Automate de traitement.

6°) Dispositif de dialogue.

11) Organisation de l' ASTI.

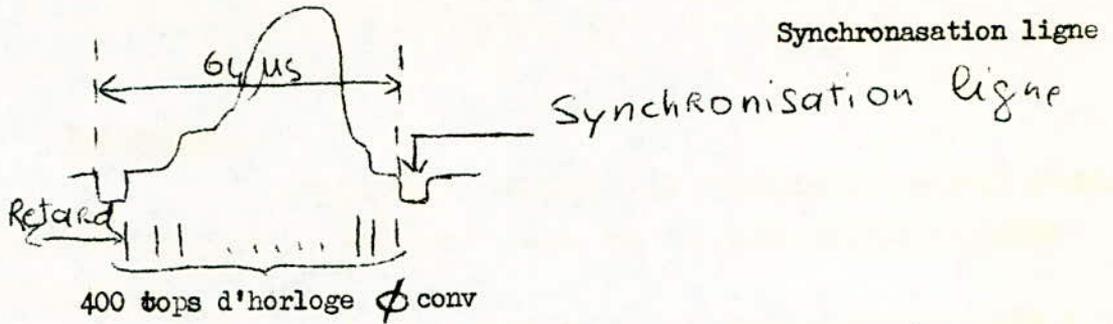
1) L'Acquisition Restitution des images.

Prise de vue et numérisation du signal vidéo.

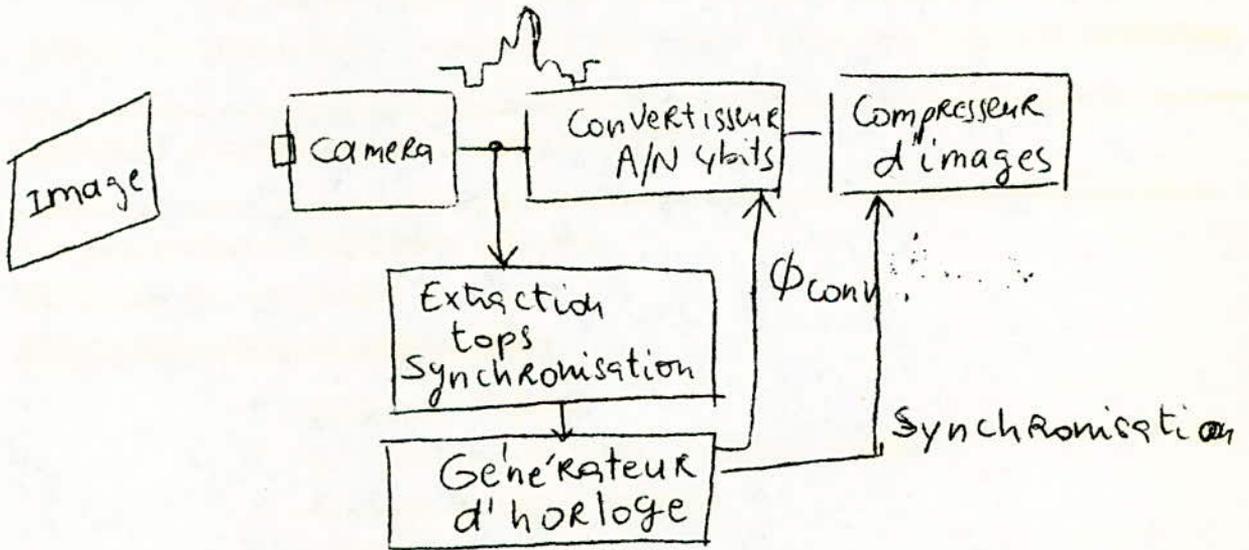
L'image est lue par une caméra standard 625 lignes l'image totale est composée de deux trames entre lacées on n'en mémorise qu'une.

Un certain nombre de lignes est effacées par les signaux de synchronisation image (retour des faisceau en haut de l'écran).

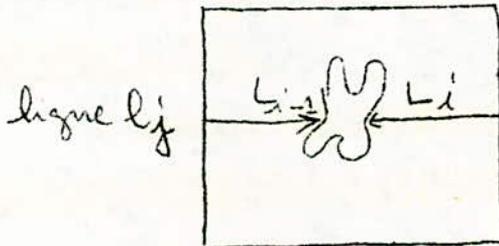
Un générateur d'horloge commandé par les impulsions de synchronisation ligne de la caméra fournit 400 tops d'horloge conv d'échantillonnage du signal vidéo.



Le pas d'échantillonnage est égal à 130 nS l'horloge ϕ conv donne l'ordre de numérisation au convertisseur analogique numérique rapide de 4 bits de définition.

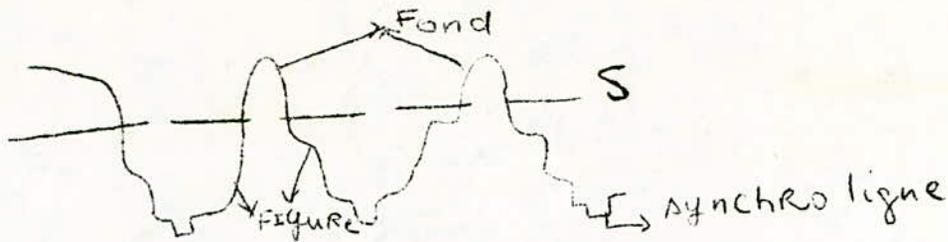


Compression des données



La compression consiste à ne transmettre que la longueur L_{i-1} , les valeurs des niveaux gris point par point de la figure F rencontrée dans l'analyse de la ligne l_j puis la longueur L_i

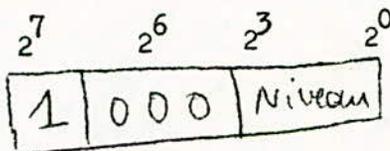
Seuil de gris



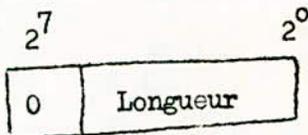
- Un point de niveau N appartient à une figure si $N \leq S$
- Inversement, si $N > S$, il s'agit d'un point du fond vidéo, le blanc correspond au max du signal.

Format des mots en mémoire.

Les points $N \leq S$ sont transmis avec le format



Les points où $N > S$ sont comptés et on transmettra les résultats du comptage avec le format:



Principe de réalisation des compresseurs:

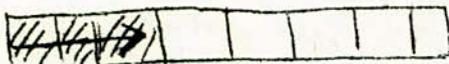
Période d'échantillonnage = 130 nS.

La mémoire de stockage doit être capable de recevoir un octet toutes les 130 nS. Les octets sont transmis séquentiellement C. à. d que l'adresse mémoire de l'octet transmis est égale à l'octet précédent incrémenté de + 1.

La mémoire est dévisée en 8 pages de façon à ce que l'on puisse écrire en parallèle dans 8 adresses successives $A_{i-7}, A_{i-6}, \dots, A_i$. On utilise 2 registres de 8 octets chacun fonctionnant en bascule ; quand l'un est chargé séquentiellement par les octets issus du compresseur, l'autre transmet les 8 octets en parallèles dans 8 adresses successives A_{i-7}, \dots, A_i et l'on recommence le processus en permuttant le rôle des 2 registres pour les adresses A_{i+1}, \dots, A_{i+8} .

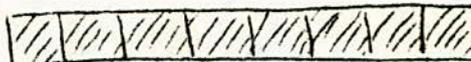
Numéro des octets

0 1 2 3 4 5 6 7



Remplissage

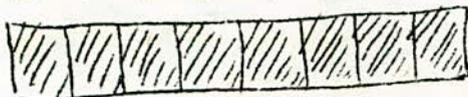
0 1 2 3 4 5 6 7



Ecriture parallèle aux adresses A_{i-7} à A_i

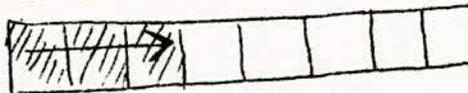
Phase Suivante

0 1 2 3 4 5 6 7



Ecriture parallèle

0 1 2 3 4 5 6 7



Remplissage

aux adresses A_{i+1} à A_{i+8}

Ceci permet d'obtenir un temps de cycle de la mémoire égal à 1/8 de celui du boîtier-mémoire élémentaire. Avec la technologie choisie on a 1 temps de cycle de 100 nS min.

b) Restitution de l'information au moniteur de TV ;

Une opération de décompression s'avère nécessaire.

- Si le décompresseur reçoit un mot niveau de format

1	000
---	-----

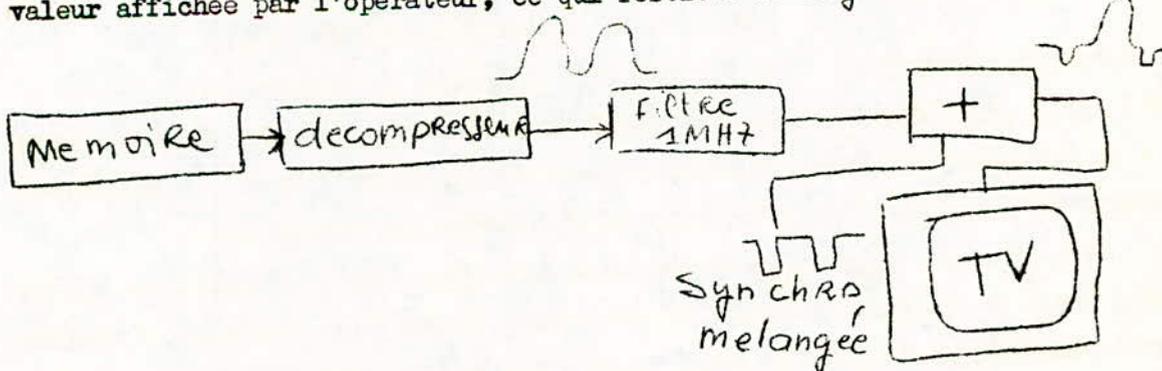
Niveau , il transmet la valeur du niveau de gris et lit le mot suivant;

- S'il reçoit un mot - longueur de format.

0	longueur
---	----------

 repre-

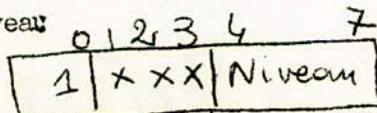
sentatif de L points du fond, le décompresseur transmet L niveaux de gris de valeur affichée par l'opérateur, ce qui restitue le segment de fond.



D - Autonate de traitement d'Images.

1^o) Buts de l'autonate

Isoler en mémoire tous les pts d'1^{er} figure par modification des bits 1,2,3 du mot-niveau



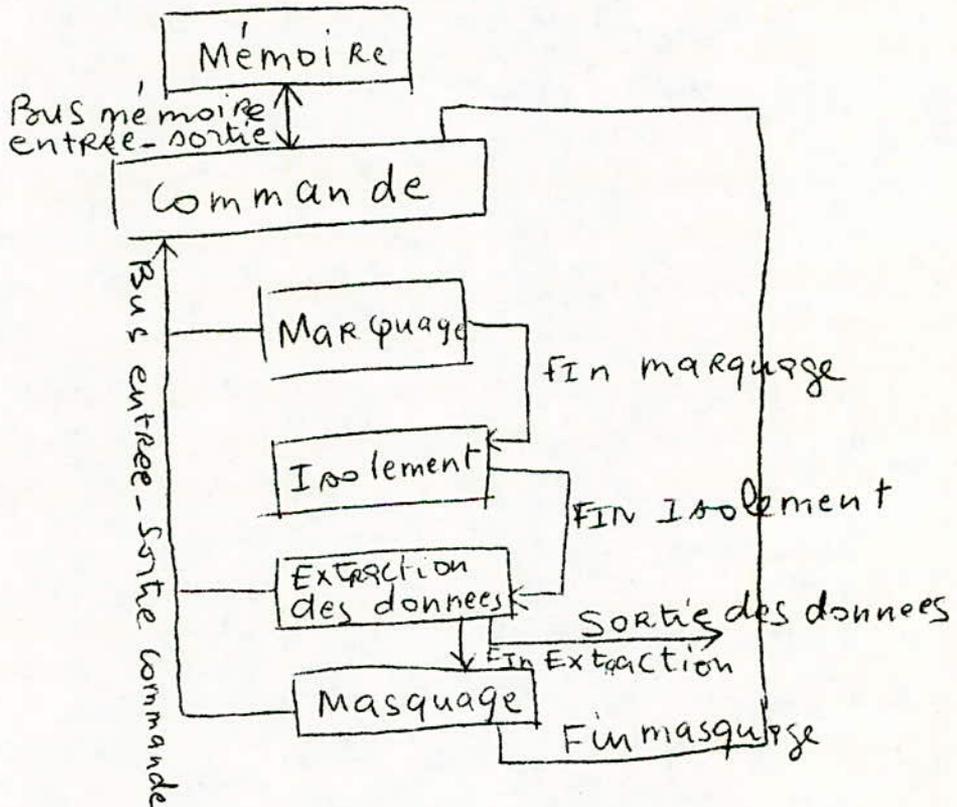
bits modifiés

Une figure est dite isolée lorsque tous les bits 1,2,3 des mots - niveaux qui la composent ont une valeur fixée, différente de celle des bits 1,2,3 des autres mots niveau de l'image.

2^e) Organisation de l'autonate de traitement :

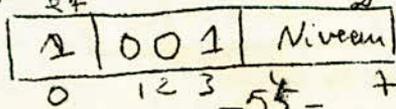
Le traitement d'une figure F_i à isoler se compose de plusieurs opérations distinctes :

- 1°) La désignation de la figure F_i (marquage).
- 2°) L'isolement de F_i et calcul de certains paramètres.
- 3°) La transmission des données.
- 4°) L'effacement de la figure traitée F_i .



a) La fonction marquage

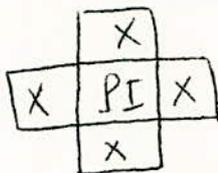
Cette fonction sert à désigner un point initial ou point mère : un point à partir duquel on réalisera de proche en proche l'isolement complet de F_i . Dès qu'elle rencontre un point niveau non effacé (ou masqué) elle isole ce point par modification des bits 1,2,3 du mot lu.



Un registre de la fonction conserve l'adresse du début de la ligne contenant le point - mère.

b) La fonction isolement

1°) La conversion de Contiguïté

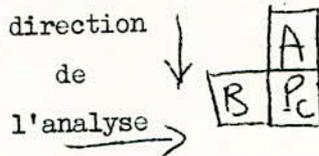


$$PI = pt \text{ isolé de } F_i$$

On convient que tout point niveaux conti gu à P I et (situé sur la la verticale ou l'horizontale passant par P I est un point de la figure F_i

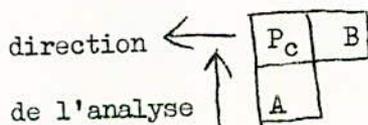
2°) Principe de l'isolement

* Passé descendante



$P c \in F_i$ si (A isolé) et (B isolé)

* Passé montante



$P c \in F_i$ si (A isolé) et (B isolé)

Si P_c appartient à F_i et n'est pas isolé, l'automate " isole " P_c en mémoire.

3°) Réalisation de la fonction Isolement :

* la ligne à retard numérique

Elle permet la comparaison avec le point A, au - dessus on au-dessous de P_c , est réalisée avec un registre à décalage REG de D bits = 400 points par ligne. chaque bit de REG correspond à l'Etat du point de la ligne précédemment analysée.

Les bits 1 sont figuratifs des points déjà isolés de la figure à isoler F_i .

- Les bits 0 sont les points du fond et ceux non isolés. REG est décalé de façon que son bit de sortie donne l'état d'isolement du point au-dessus ou au-dessous de P_c .

4) La bascule d'isolement

La bascule d'isolement est la mémoire de l'état d'isolement du point

B .

- Etat 1 = le point B est isolé et appartient à F_i

- Etat 2 = le point B appartient au fond ou est 1 point d'1 figure

non isolée.

d) Fonction calcul des paramètres de la figure isolée

Aire, Aire pondérée

Aire = nb de point de F_i , chaque point isolé de F_i on incrémente le compteur Aire + 1.

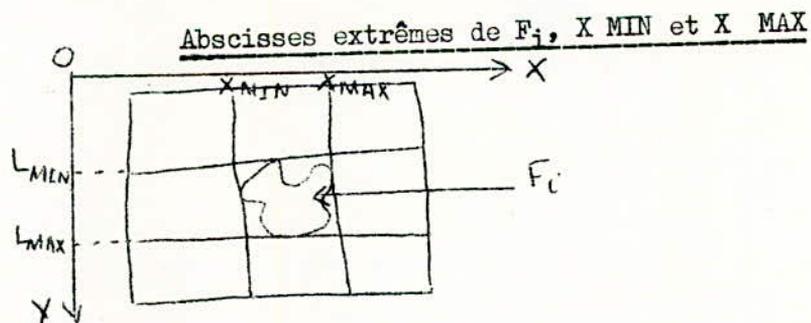
Aire pondérée somme des niveaux de gris des points de F_i .

Paramètres de position de F_i :

Position de F_i en mémoire Y MIN et Y MAX :

Y MIN = adresse du début de la 1^o ligne contenant F_i .

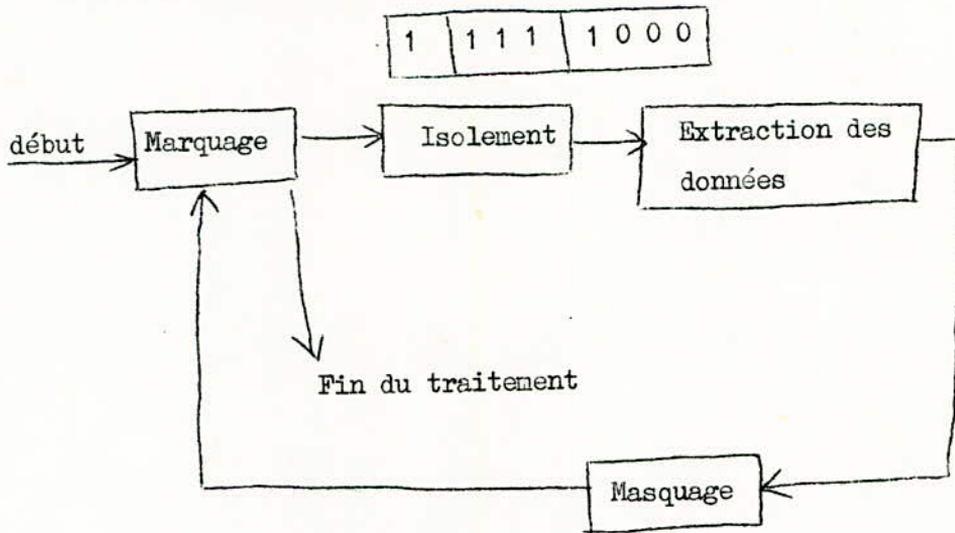
Y MAX = adresse de la fin de la dernière ligne contenant F_i .



X MIN et X MAX sont l'abscisse des points de F_i les plus rapprochés et les plus éloignés du bord gauche de l'image.

Dès qu'il rencontre un point - niveau non effacé, le marquage est effectué et réalise l'isolement de $F_i + 1$.

Il y a fin du traitement de l'image quand le marquage rencontre le dernier séparateur de l'image numérisée de format.



E - Le mode conversationnel

1.°) But du mode conversationnel.

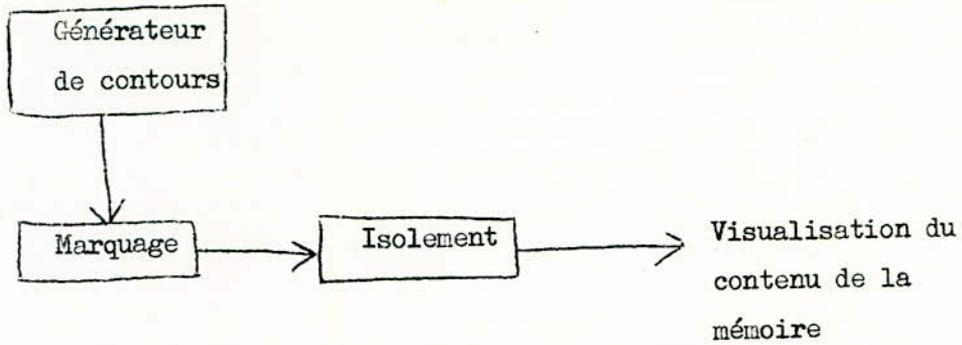
Le fonctionnement automatique de l' A.S.T.I réalise l'isolement des figures au fur et à mesure que l'automate les rencontre en lisant la mémoire dans le sens des adresses croissantes. Mais on a voulu rendre l' A.S.T.I conversationnel en offrant à l'opérateur la possibilité de désigner une figure particulière afin de l'isoler, et aussi de rendre possible le tracé de contour afin de diviser des figures en plusieurs parties, ou de réaliser l'isolement d'une partie d'une figure.

2.°) La solution choisie:

La génération du spot lumineux sur l'écran du téléviseur permet de façon simple de réaliser l'aspect conversationnel du système. Ce spot a la forme d'un vecteur défini par les coordonnées de son origine, son angle par rapport à l'horizontale de l'image et sa longueur. Ainsi la 1^{ère} intersection de la figure à isoler, et le vecteur lui-même permet le tracé de contours fermés dans les figures.

Le générateur de contours est piloté par l'horloge qui restitue l'image stockée en mémoire, de façon que les points composants le contours soient " en phase " le générateur de contour devient alors un organe annexe de la fonction marquage.

Le point - mère d'une figure est le premier point - niveau rencontré en phase avec un point du vecteur. Le point - mère étant isolé, la fonction marquage transmet un ordre d'isolement de la figure désignée.



Le tracé du contour est réalisé de la façon suivante: on change le format de tous les points - niveau en coïncidence avec les points du vecteur lors d'une relecture de l'image numérisée en mémoire.

Le nouveau format est:

1	1	1	0	Niveau
---	---	---	---	--------

Ce sont des points frontières de nouvelles figures créées par l'opérateur à l'aide du générateur de contours.

3) Exemple d'application: sous isolement d'une figure

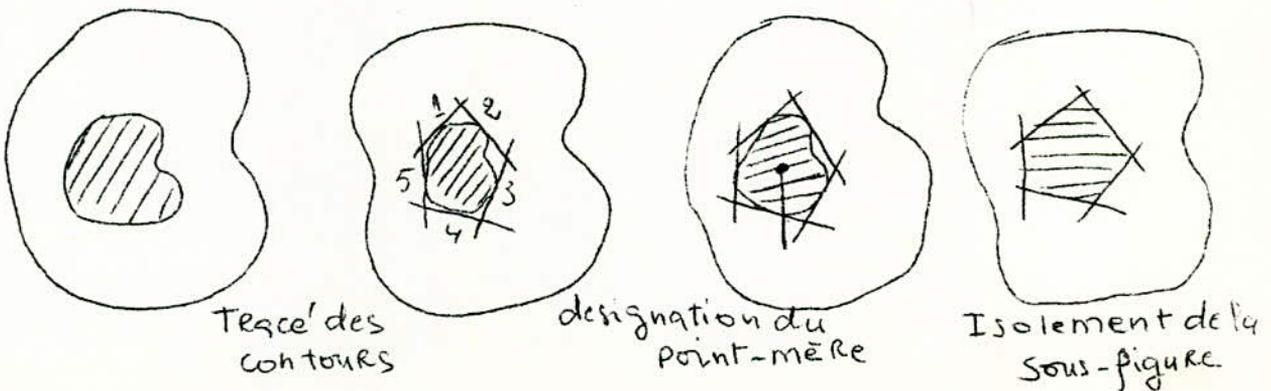
Soit la forme F

L'opérateur désire isoler la partie hachurée

Première phase de l'opération: l'opérateur trace dans la figure un contour fermé en plusieurs fois à l'aide du générateur de contours.

Deuxième phase: l'opérateur désigne un point du contour fermé.

Troisième phase: isolement du contour fermé.



F - Programmation de l' A.S.T.I

Deux programmes d'utilisation de l' A.S.T.I ont été réalisés en langage assembleur MULTI - 20 INTERTECHNIQUE. Le premier envoie l'ordre d'isolement d'une figure de l' A.S.T.I et assure la transmission des informations fournies par l'Automate : paramètres et fichier numérique individuel de la figure isolée; le second permet l'utilisation de la mémoire en dialogue direct avec le mini-calculateur. On peut grâce à ce programme d'entrée sortie introduire les fonctions logicielles nouvelles non prévues dans les fonctions câblées de l' Automate.

Exemple d'activation du programme de transfert des paramètres de la figure isolée: Ce programme fait imprimer les informations transmises par l' A.S.T.I :

- Les paramètres de la figure isolée.
- La forme de la figure isolée, chacun de ses points étant affecté de son niveau de gris.

G - Conclusion:

L' Automate spécialisé de traitement d'images a été réalisé avec succès dans ses deux aspects : automatique et conversationnel.

En mode automatique, l' A.S.T.I extrait à grande vitesse les paramètres individuels des figures successives de l'image. Par exemple: l'analyse complète d'une image contenant 46 chromosomes est réalisée en quatre secondes.

En mode conversationnel, où l'opérateur peut désigner et transformer certaines figures de façon à en isoler tout ou partie.

Le prototype est actuellement couplé à un mini-ordinateur MULTI - 20 du département de protection du centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay - aux - Roses. L' A.S.T.I transmet au MULTI - 20 les informations nécessaires à la classification des chromosomes. Les programmes de classification sont en cours de mise au point.

La possibilité de connecter directement le MULTI - 20 à la mémoire d'images est également intéressante : le programmeur peut rajouter de nouvelles fonctions de traitement non prévues initialement, comme par exemple la synthèse d'images.

Le succes de l' A.S.T.I permet d'envisager des développements ultérieurs:

Amélioration au niveau du capteur d'image: on pourra utiliser des réseaux linéaires de photos diodes, d'où une amélioration en définition des images aussi bien en nombre de points qu'en niveau de gris:

Etude de nouvelles fonctions de traitement d'images grâce à la conception modulaire de l' A.S.T.I.

Analyse d'images en contour avec pour application l'étude automatique de cellules.

Bien qu'utilisé actuellement pour résoudre un problème particulier, l'A.S.T.I est un système " ouvert " qui a une portée plus générale si l'on considère qu'il peut non seulement servir au traitement d'images biologiques, mais aussi à celui d'images industrielles . ~~Seu~~ envisagées des applications en cytologie numérique, ainsi que des développements dans différents domaines, tels que la métallurgie ou la granulométrie.

c) Le dépouillement des clichés de chambres à balles et à étincelles.

Les physiciens qui ne peuvent réaliser ces dépouillements à un rythme suffisant pour que les documents obtenus dans leurs expériences soient exploités dans un délai raisonnable souhaitent depuis longtemps cette automatisation.

C'est au C.E.R.N. que le problème a été abordé par Hough et Powel qui ont réalisé en 1959 un flying-spot à source lumineuse à vapeur de mercure et disques à fente tournant devant une fente fixe, le H.P.D. Rabinowitz décrit comment sont reconstruites, sous forme d'une série de coordonnées gardées en mémoire pour des explorations ultérieures, les différentes traces même si elles présentent certaines interruptions sur le cliché; il précise comment les événements sont repérés par un contrôle de la conservation de la quantité de mouvement relativiste au moment de la réaction.

Dans le laboratoire de Le prince-Ringuet au collège de France, le H P D a également été utilisé dans le procédé Français COCCINELLE.

White décrit le système D.A.P.R. qui utilise un ordinateur en temps partagé: la plus grande priorité est donnée au contrôle du flying-spot et à la construction des traces; la seconde à la conversion de celles-ci en séquences de coordonnées, à la recherche des points d'intersection et à l'association des trois vues pour la reconstitution des trajectoires dans l'espace ainsi qu'aux différents calculs d'erreurs, enfin la dernière urgence est donnée à la récapitulation des résultats obtenus sur une série de clichés et à l'addition de trajectoires invisibles de particules neutres, d'après la conservation de la quantité de mouvement.

Dans le système P.E.P.R. réalisé au M.I.T. le flying-spot est conçu pour repérer directement l'orientation des traces en chaque point. Le spot a la forme d'un segment linéaire dont l'angle peut être ajusté de degré en degré par le programme qui peut ainsi, à partir du signal obtenu, construire l'enveloppe de différentes traces. Ce programme opère par prédiction, déduite des segments précédents, et ne sont acceptés que les segments appartenant à un petit secteur circulaire autour de l'emplacement prévu; il faut plusieurs essais successifs sans nouveau segment après discontinuité pour que la trace soit considérée comme terminée lorsqu'il y a plusieurs segments nouveaux, il s'agit d'un croisement les événements --

sont repérés par la convergence de plusieurs traces à une erreur quadratique près. Une étude complémentaire est faite à haute définition sur la densité des gouttes le long de la trace qui permet d'identifier les particules par l'ionisation produite.

Pour les chambres à étincelles, le problème est analogue Hodges, à l'université d'Argonne, utilise le système Chloë qui est un flying-spot programmable à haute définition. Les segments successifs d'une trace sont repérés facilement par leurs coordonnées; les segments trop longs ou trop courts sont éliminés parce qu'ils correspondent à des étincelles non significatives. L'ensemble des programmes Liberator est coordonné par un opérateur et vise surtout à une bonne visualisation de résultats répertoriés.

d) Le dépouillement de photographies et de cartes.

Que les applications soient pacifiques ou non il s'agit d'identifier tantôt des objets décomposables en éléments géométriques simples, tantôt des surfaces reconnaissables à leur texture. L'article de Smille traite de l'apprentissage appliqué à la détection de différentes cibles comme celui de SWOBODA et Gerdes Fontanel et Gran utilisent le filtrage des séquences spatiales pour l'étude de la houle, du désert, des coupes sismiques et de divers phénomènes géophysiques Nagy donne d'intéressants résultats obtenus en agronomie. Fu s'est intéressé, dans le même but, au traitement des couleurs, Tobler pose le problème de l'interprétation des cartes, l'Institut géographique national celui de l'interprétation des lignes de niveau.

e) La Reconnaissance des formes en géologie

Trois spécialistes soviétiques de la reconnaissance des formes, Vapnik, Lerner et Chernovenkia ont soulevé l'intérêt au récent congrès de l'I.F.A.C (Londres Juin 1966) en expliquant comment bien que tous les théoriciens, ils avaient pu résoudre un important problème pratique que leur avaient posé des géologues. Ceux-ci auraient voulu une méthode qui leur permette de deviner à partir de la surface si tel ou tel gisement qu'ils avaient repéré était un gisement d'eau ou un gisement de pétrole.

Pour cela, ils disposaient de quelque quarante cinq mesures de paramètres; mais chacune n'apportant qu'une faible indication sur la probabilité de présence d'eau ou de pétrole, les meilleurs géologues se trompaient dans 25 à - 30 % des cas, malgré leur longue expérience. Or, ils présentaient que cette expérience consistait en fait à pondérer l'importance de chaque paramètres. Ils proposèrent le problème à Vapnik, Lerner et Chernovenkis.

Ceux-ci choisirent d'appliquer la méthode du calcul des probabilités conditionnelles. Pour cela, ils reprirent les mesures effectuées sur 90 gisements sur lesquels le forage avait été effectué. Ils virent qu'il fallait diviser les gisements en quatre classes: selon eau ou pétrole, et selon la taille du gisement (grand, petit). Ils cherchèrent alors la fidélité de correspondance entre telle classe de gisement et telle valeur d'un des 45 paramètres.

Appliquant ainsi la méthode, ils trouverent la répartition optimale de crédit à accorder à chaque paramètre.

Une fois calculés ces crédits (ou pondérations) il suffit de faire quelques minutes de calcul manuel pour trouver la bonne réponse et décider ou non de forer cette méthode n'a donné qu'une seule erreur sur 90 autres gisements vérifiés par sondage.

Conclusion.

On voit donc la reconnaissance touche tous les domaines. Elle représente un aide précieuse dans tous les cas.

Et dans un pays en voie de développement comme le notre où l'effectif médical spécialisé est insuffisant, elle vient combler une lacune dangereuse quant au diagnostic médical.

Mais subsistent tout de même les problèmes posés par une discipline nouvelle: l'informatique médical, dans un pays en voie de développement

Quelques structures deviennent ainsi nécessaires:

- un centre de calcul équipé en moyens matériels et financiers, et doté de possibilités financières.

- la possibilité d'échanges.

Les techniques nouvelles: la fabrication des filtre holographiques des tubes de prises de vues perfectionnés, des circuits CCD et BBD, ont donné une dimension nouvelle à la reconnaissance des formes.

Nous espérons avoir donné au lecteur l'occasion de se faire une idée de l'étendue actuelle des recherches en reconnaissances des formes, tout en largeur qu'en profondeur. Le but pratique de cette technique est de construire des organes d'entrée-sortie permettant aux calculateurs électroniques de digérer de l'information non codée, en attendant la venue de machines spécialisées.

Et, le jour où l'on aura mis au point une machine capable de taper sous la dictée ou d'après un manuscrit, des problèmes sociaux viendront peut-être remplacer les problèmes techniques si nous n'y avons pas réfléchi d'ici là.

Bibliographie

Chapitre II La Reconnaissance Automatique des formes.

du n° 1 au n° 78 1° partie

du n° 1 au n° 99

- Les techniques de Groupement en Reconnaissance des formes par J.C. Simon Communication présentée lors de l'école d'Eté OTAN : " Pattern - Recognition, théorie et Application " (septembre 1975)
- Images optiques et information par A. MARECHAL et E. Spitz. La Recherche, n° 18 (décembre 1971)
- Analyse, Synthèse et Reconnaissance automatique de la parole par J.S. Lienard Thèse soutenue le 21/04/ 1972 (Paris)
- The Image Analyses Maze par R.D Compton Electro-Optical Systems Design (Juillet 1975)
- A Multilevel approach to sequential détection of pictorial - features par H.K Ramapriyan I E E . Transaction on Computers, Vol C-25, n° 1 (Janvier 1976)
- A review of optical data - processing techniques par A.Vander Lugt Optica Acte, 1968 Vol . 15 n° 1.
- Spatial filtering in optical data - processing par K.G. Birch Rep . Prog. Phys. 1972. 35.
- Optique de Fourier, Filtrage et Spectrométrie par A.Marechal NonV. Rev. Optique, 1973, t.4, n° 6 .
- Additive and subtractive Microwave holography par L.G. Gregoris et K. Lizuka . Applied Optics, Vol. 12 n° 11 (Novembre 1973)
- holographic subtraction par K. Bromley , M.A. Monahan J.F. Bryant et B.J. Thompson, Applied Optics Vol 10 n° 1 (Janvier 1971)
- Optical Image Subtraction par J.F. Ebersole Optical Engineering, Vol 14, n° 5 (sept.Oct. 1975)
- A method of incoherent optical - Image processing using synthetic holograms par P.Chavel et S.Lowenthal J.Opt.Soc. Am.,Vol.66 n° 1 - Janvier 1976)
- Parallel Image Processing par C.D. Stamopoulos I E E transactions on Computers, Vol. C- 24, n° 4 (Avril 1975)

- An optical/ Digital Processor : Hardware and Applications par D. Casasent et W.M. Sterling I E E Transactions on Computers, Vol. C-24 n° 4 - (Avril 1975)

- Traitement optique, digital et hybride de l'information par H. Arsenault. Découvrir (Août 1975).

- A Pockels - effect light valve : Phototitus. Applications to Optical Image Processing par J. Donjon, F. Dumont, M. Grenot, J. P. Hazan, G Marie G Marie et J. Pergrale IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED - 20, n° 11 (Novembre 1973)

B I B L I O G R A P H I E

ooooooooooooOoooooooooooo

- G. S. SEBESTYEN, Decision making processes in pattern recognition.
Macmillan; Nex York, Lond, 1962
- A. G. ARKADEV, E. M. BRAVERMAN, Teaching Computers to Recognize patterns.
Academic Press, New York, Lond., 1963, traduit en 1967
- R. L. MATTSON, O. FIRSCHEIN, M. FISCHLER, An Experimental Invertigation of a
Class of pattern Recognition Synthesis Algorithm. IEEE Trans EC 12,
3, June 1963
- V. N. VAPNIK, A. Ya, LERNER, Pattern Recognition Using Generalized Portraits,
Automation and Remote Control. November 1963
- BRUCE, H. Mc CORMICK, The Illinois Pattern Recognition Computer Illiac 3,
IEEE Trans EC 12,5, December 1963
- H. KAZMIERCZAK, K. STEINBUCH, Adaptive Systems in Pattern Recognition System.
IEEE Tran EC 12, 5, December
- D. BERTAUX, La reconnaissance des formes; problèmes, méthodes et résultats.
Automatisme, tome 12, 6 juin 1967
- G. NAGY, State of the art in pattern recognition, proc. IEEE, vol. 56, juin 68
- G. L. FISCHER, D. K. POLLOCK, B. RADACK, M. E. STEVENS, Optical Character
recognition. Gregor et Werner. Mc. Spartan, Washington, 1962
- L. UHR, Pattern Recognition. John Wiley, New York, 1966
- L. KANAL, pattern Recognition. Thomson, Washington, 1968
- C. CHENG, S. LEDLEY, K. POLLOCK, A. ROSENFELD, Pictorial Pattern Recognition.
Thomson, Washington, 1958
- A. DEWEZE, Etat actuel des techniques de lecture automatique. Automatisme,
tome 5, 6 et 7 mai et juin 1962
- G. E. THORNE, Coded Magnetic Characters, Industrial electronics. Vol 2, 11,
November 1964
- R. M. BROWN, On-line Computer Recognition of Handprinted Characters. IEEE
Trans EC 13, 6 December 1964
- W. J. BIJLEVELD, A. J. VANDER TOORN, Méthode d'inscription manuelle de nom-
bres automatiquement lisibles. Automatisme, tome 10, octobre
1965
- G. WEILL; OCR. B, Caractère normalisé pour la reconnaissance optique. Auto-
matisme, tome 10, octobre 1965

- L. A. KAMENSKY, The Simulation of Three Machines which Read Rows of Hand-written Arabic Numbers. IRE Trans. EC 10, 3, September 1961
- E. C. GREENIAS, Design of Logics for Recognition of Printed Characters by Simulation. IBM Journal, 1, January 1957
- C. K. CHOV, An Optimum Character Recognition System using Decision Functions. IRE Tran. EC 6, December 1958
- R. L. GRIMSDALE, F. H. SUMNER, C. J. TUNIS, T. KILBURN, System for the Automatic Recognition of Patterns, in Pattern Recognition. John Wiley, New York, 1966
- L. A. KAMENSKY, Pattern and Character Recognition Systems; Picture Processing by Nets of Neuron-Like Elements. Proc. Western Joint Computer Conference, May 1959
- O. G. SELFRIDGE, G. OLIVER, Pattern Recognition and Reading by Machine. Proc. Western Joint computer Conference, December 1959
- J. S. BOMBA, Alpha-numeric Character Recognition using Local Operation. Proc. Eastern Joint Computer Conference, December 1959
- R. J. EVEY, Use of a computer to Design Character Recognition Logic. Proc. Eastern Joint Computer Conference, December 1959
- W. W. BLEDSOE, I. BROWNING, Pattern Recognition and Reading by Machine. Proc. Eastern Joint Computer Conference, December 1959
- I FLORES, L. GREY, Optimisation and Reference Signals for Character Recognition Systems. IRE Trans. EC 9 : March 1960
- T. MARIU, D. M. GREEN, Statistical Recognition Functions and Design of Pattern Recognizers. IRE Trans. EC 9, December 1960
- P. BARAN, G. ESTRIN, An Adaptive Character Reader. IRE Wescon Convention Record, Part 4, 1960
- M. O. GLITELITCH, A. D. KRISILOV, G. V. PODDUBNYI, Analysis of the Reliability of Character Recognition Based in Statistical Analysis. Automation and remote Control, 24, 8, 1964.
- W. H. HIGHLEYMAN, An Analog Method for Character Recognition. IRE Trans. EC 10 September 1961
- G. U. UYEHRA, A Stream Following Technique for Use in Character Recognition. IEEE Int. Conv. Rec., part 4, 1963

- R. CASEY, G. NAGY, An autonomous Reading Machine, IEEE Trans. EC 17,5, May 68
- J. REINES, A Variable font Character Recognition System. Pattern Recognition, L. N. Kanal. Thomson, Washington, 1968
- R. B. HENNIS, The IBM 1975 Optical Page Reader; System Design. IBM Journal, 12, 5, September 1958
- S. LOWENTHAL, Laser et traitement de l'information, Atomes 231, avril 1966
- J. M. HOLEMAN, Holographic Character Reader. Pattern Recognition, Thomson, Washington, 1968
- D. GABOR, Character Recognition by Holography. IEEE Pattern Recognition Workshop, July 1968
- W. DOYLE, Recognition of sloppy hand-printed characters. Proc. Western Joint Computer Conference, May 1960
- T. L. DIMOND, Devices for Reading Handwritten Characters. Proc. Eastern Joint Computer Conference, 1957
- M. EDEN, Handwriting and Pattern Recognition, IRE Trans. IT 8, 2, February 1962
- F. N. MARZOCCO, Computer Recognition of Handwritten First Names. IEEE Trans. EC 14, 2, Avril 1965
- J. S. Mc DONALD, Investigation of Handwriting Signals. Quaterly Progress Report, MIT, January 1965
- J. H. MUNSON, The Recognition of Handprinted Text, Pattern Recognition, Thomson Washington, 1968
- G. F. GRONER, Real-time Recognition of Handprinted System, Pattern Recognition, Thomson, Washington, 1968
- R. CASEY, G. NAGY, Recognition of printed Chinese Characters. IEEE Trans. EC 15, February 1966
- G. F. GRONNER, HEAFNER, ROBINSON, One-line Computer Classification of Hand-printed Chinese Characters : a Translation Aid. IEEE EC 15, 6, December 1967
- T. SUGIURA. T. HIGASHI UWATOKO, Method for Recognition of Japanese Haragana Characters. IEEE Trans IT 14, 2, March 1968

- DE POSSEL, R., Lecture automatique et problèmes de reconnaissance de formes .
Automatisme, 13, 9, septembre 1968
- JAMATI, Y., Le capteur de la machine à lire de René de Possel et ses applications. Coll inter. sur la reconnaissance de formes, Grenoble, septembre 1968
- WHITE, H., BAPR Digital automatic Pattern Recognition for Bubble Chambers.
Cheng et al., Pictorial Pattern Recognition , Thomson, Washington
- HODGES, D., Spark Chamber Film-measuring Using the Chloë System. Cheng et al.,
Pictorial Pattern Recognition. Thomson, Washington, 1968
- SEBESTYEN, G. S., Decisionmaking Processes in Pattern Recognition. MacMillan,
New York, London, 1962
- BORDES, M., HEINISCH, J., KONISHI, S., Lecture automatique de caractères
dactylographiés. L'onde électrique, 477, décembre 1966
- NADLER, M., An Analogdigital Character Recognition System. IEEE Trans. 12, 5,
December 1963
- MARILL, T., GREEN, D. M. Statistical recognition Functions and Design of Pat-
tern Recognizers. IRE Trans. 9 December 1960
- GLUCKSMAN, H. A., A Parapropagation Pattern Classifier . IEEE Trans 19, 3,
June 1962
- LEWIS, P. M., The characteristic Selection Problem in Recognition Systems.
IRE Trans. 8, February 1962
- BONNER, R. E., Alogical Pattern Recognition Program . IBM Journal, 6, 3, July
1962
- SEAR, R. W., Adaptive Representation for Pattern Recognition. IEEE Trans.
SSCI, 1, November 1965
- BENZECRI, J. P., Leçons sur l'analyse factorielle et la reconnaissance de
formes. Cours de 3^e cycle, Institut de statistiques de l'Univ.
de Paris
- Leçons sur l'analyse statistique des données multi-dimensionnelles. Cours
de l'Institut de statistiques de L'Univ. de Paris
- WATANABE, S., LAMBERT, P. F., KULIKOWSKI, C. A., BUXTON, J. L., WALKER, R.,
Evaluation and Selection of Variables in Pattern Recognition
J. Tou, Computer and Information Sciences, Academic Press,
New York, 1967

TOU, J. T., HEYSORN, R. P., Some Approaches to Optimum Feature Extraction in Computer and Information Sciences, Academic Press New York, 1967

PAVEL, M. Cours de reconnaissance des structures. Inst. H. Poincaré, Hermann, Paris, 1969

HIGHLEYMAN. W. H. Linear Decision Functions with Applications to Pattern Recognition Pire, June 1962

BRAVERMAN. E. M. Experiments on Machine Learning to Recognise Visual Pattern . Automation and Remote Control, 23, 3 Septembre 1962

CASTAN. S. Etude expérimentale d'un discriminateur linéaire. Coll inter. sur l'informatique médicale, Toulouse, mars 1966

CASTAN. S. PERENNOU. G. G. Etude comparative de différents discriminateurs. Journées d'électronique de Toulouse , mars 1967
Optimisation d'un discriminateur, journées d'électronique de Toulouse. Mars 1967

SEARS. R. W. Adaptive Representation for Pattern Recognition. IEEE Inter. Conv , Report, Part 6 1965

CHUANGE. Error Rate of Linear Pattern Classifiers based on Mean-square Error Criterion . Proc IEEE. January 1968

PRITSKER. B . S. A Teachble Logic Machine. Automation and Remote Control . 23. 6 Decembre 1962

FIRSCHEIN . O. MARSOCCI V. A. Automatic Sbcass Determination for Pattern Recognition Applications. IEEE Trans. 12. 2. April 1963

KOFORD. J. S. Adaptive Pattern Dichotomisation . Stanford Electronics Lab. , Tech. Report n° 6201 - 1, April 1964

GOSE . E. E. An Adaptive Network for Producing Real Feunctions of Binary Input . Information and Control 8, 2, April 1965

A Synthesis Technique for Networks Consisting of Logical Functions Feeding a Linear Summation Element. IEEE Trans. 14. 2. April 1965

MUCCIARDI. A. N. GOSE. E. E. Evolutionary Pattern Recognition in Incomplete Networks. IEEE Trans. 10. 2 April 1966

PERENNOU. G. Classification de stimuli: séparation linéaire par apprentissage. Coll. inter sur l'informatique médicale. Toulouse mars 1966

- LEVY. J. C. Système nerveux et reconnaissance des formes. L'onde électrique. 467. Février 1966
- GLUCKSMAN. H. A. On the Improvement of a linear Separation by Extending the Adaptative Process with a Stricter Criterion. IEEE Trans. 15. 6. December 1966
- SELFDRIDGE. O. G. Pandemonium. a Paradigm for Learning. Pattern Recognition L. Uhr. John Wiley, New York, 1966
- LASALLE. M. Un système de reconnaissance de formes. Journées d'électronique de Toulouse, mars 1967
- AIDA. S. Decision Mechanisms by the Neural Model IMICTRON. IEEE Workshop on Pattern Recognition. La Haye, August 1968
- COOPER. P. W. A Note on an Adaptive Hypersphere Decision Boundary. IEEE Trans. 15. 6. December 1966
- Quadratic Discriminant Functions in Pattern Recognition. IEEE Trans. 11. 2. April 1965
- CHOW. C. K. A Class of Nonlinear Recognition Procedures. IEEE. Trans Inter. Conv Rec., Part 6. 1966
- SPECHT. D. F. Consideration of Polynominal Discriminant Functions for Pattern Recognition. Electronic Computer. 16. 3. June 1967
- UTTLEY. A. M. Imitation of Pattern Recognition and Trial-and-error Learning in a Conditional Probability Computer. Rev. Mod Phys., 31, April 1959
- SEBESTYEN. G. S. Pattern Recognition by Adaptative Process of Sample Set Construction. IRE Trans. IT. September 1962
- ABRAMSON. N. BRAVERMAN. D. Learning to Recognize Pattern in a Random Environment. IRE Trans. 8. 5, September 1962
- BRAVERMAN. D. Learning Filters for Optimum Pattern Recognition. IRE. Trans. 8. 4, July 1962
- CHOW, C. K. A Recognition Method using Neighbour Dependence. IRE Trans. 11. October 1962
- LEVIN. I. Ya SAPHOZHNIKOV. L. B. Recognition Algorithms. Automation and Remote Control, 24. 6, November 1963
- GRONER. G. F. Statistical Analysis of Adaptive Linear Classifier. Stanford Electronics Lab. Tech. Report 6761 - 1, April 1964

- FRALICK. S. C. Learning to Recognize Patterns without a Teacher. IEEE Trans. 13. 1, January 1967
- COVER. T. M. HART. P. E. Nearest Neighbour Pattern Classification. IEEE Trans. 13. 1, January 1967
- STEINBUCH. . K. PISKE . U. A. W. Learning Matrices and Application. IEEE Trans . 12, 5, December 1963
- ULLMANN. J. R. Consistency Technique for Pattern Association. IRE Trans. 8. 5, September 1962
- BRAVERMAN. E. M. The Method of Potential Functions in the Problem of Training Machines to Recognize. Automation and Remote Control, 27, 10, Octobre 1966
- KRASULINA. T. P. Invertigation of the Asymptotic Properties of Potential Functions Method Algorithms Intended to Determine the Characteristics of a Plant from Observed Values. Automation and Remote Control, n° 2 February 1968
- ANDERSON T. W. Introduction to Multivariate Statistical Analysis. John Wiley, New York ; 1958
- HU. M. K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. IRE Trans. 8, 1962
- HORWITZ/ M/P**/ SHELTON. G. L. Pattern Recognition Using Autocorrelation. PIRE, 49 January 1961
- HIGHLEYMAN. W. H. Further Comment on the n-tuple Pattern Recognition. IEEE Trans 10 . March 1961
- STECK . G. P. Stochastic Model for the Browning-Bledsoe Pattern recognition Scheme. IRE Trans . 11, April 1962
- BLEDSON. W. W. BISSON C. L. Improved Memory Matrices for the n-tuple Pattern Recognition. IRE Trans. 11 June 1962
- YAU. S. S. YANG G. G. Pattern Recognition by Using an Associative Memory . IEEE Trans. 15. 6 . December 1966
- ROY. R. J. SHERMAN . J. Two Viewpoints of k-tuple Pattern Recognition . IEEE Trans. SSCI 3. 2. November 1967
- VLENOT. J. C. Applications de l'holographie et du filtrage des fréquences spatiales à quelques problèmes d'optique cohérente. L'onde électrique, mars 1968

MARQUET. M. Recherches sur les condition optimales du filtrage optique et de l'holographie. L'onde électrique. 48, 492, mars 1968

DANSAC. J. CAPUANO . M. Quelques techniques simples de traitement de l'information par procédés optiques. L'onde électrique. 48. 492, mars 1968

PERENNOU. G. G. DANSAC. J. CAPUANO. Dispositif de lecture de caractères par corrélation optique en éclairage non cohérent avec masques optimisés. Coll. inter . sur la reconnaissance de formes. Grenoble, septembre 1968

REVERZ. G. SHEN . D. W. G. Application of Electro-optical Filtering of Object Recognition . IEEE Inter. Conv. Rec., Part 1, 1964

LOWENTHAL. S. BALVAUX. Y. Progrès récents en optique cohérente. Revue d'Optique théorique et instrumentale. 1 janvier 1967

LOWENTHAL. S. Laser et traitement de l'information Atome 231 Avril 1966

Considerations on the Generation and Processing of Holograms by Digital Computers. Quarterly Progress Report (MIT) 81, April 1966

C H A P I T R E III Les techniques :

- BBD et CCD : vers l'industrialisation par Eric Catier Electronique et microelectronique Industrielles n° 184 (01 / 03/ 1974).
- Real time recognition of Hand - Written numerals par S. Impedovo, B. Marangelli et V. L Plantamura. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (février 1976).
- A Hybrid Optical Computer Processing Technique for Finger point Identification par D. H. Mc Mahan, G. L. Johnson S. L. Tector, C. G Whitney IEEE Transactions on Computers, Vol C - 24, n° 4 (Avril 1975).

Chapitre IV Les applications.

du n° 79 n° 139

- Computer applications on E C G and V C G analysis.

Proceedings of the 2nd . I F I P T C - 4 Working conférence

(Hannover, 11 - 14 octobre , 1971)

Edited by Chz. Zywiets and B. SCHNEIDER.

- SCHAUB (Franck A.) - Précis d'électrocardiographie clinique.

Ed J.-R. GEIGY S.A. , Bâle (département pharmaceutique)

- J.P. CHALUMET - Application de techniques statistiques à l'étude
du vecteur cardiaque et de la methodologie pour l'élaboration d'un dossier médi-
cal.Rapport de D.E.A. (électronique). U.E.R. de physique de Lyon I (1972)

- D. CLEMENT - Comment lire et interpréter un electrocardiogramme.

Editions Foucher Paris.

- Ch . Berger - VACHON - contrôle par ordinateur d'une expérience
de rèsonance magnétique nucléaire.

Revue Française d'automatique, Informatique et recherche opéra-
tionnelle (septembre 1972)

- J.C Dupont - Préparation à l'emploi de l'informatique dans une
unité de soins consacrée à l'hypertension Artérielle. thèse de Medecine,Lyon-
(1970)

- M. BARNIER - Sécurité sociale et ordinateur.

Revue informatique et automatique (mars 1973)

- CORNETEAU , VIGNES , DELPA - Utilisation de l'informatique au
Laboratoire d'analyses médicales d'électricité de france. Revue d'informatiques
médicale (Juin 1973 ,Vol 4. n° 2 2)

- L.Y.F. HSU , K. HIRSCHHORN

the Potentiel Use fulness of Computerized chromosome Analysis in
human Genetics.

Computers in Biology and medecin - Pergamon Press 1972 - Vol 2 -
pp 99 - 106 .

- J.H. T J I O , A. LeVAN the chromosome Number of Man -
Hereditas 42,1 (1956)

- Human chromosome Study Group (Denver 1960)

A proposed standard of homenclature of Human mitótic chromosomes Lancet 2:1063

- A. BERKALOFF , J. BOURGET , P. FAVARD , M. GUINNEBAULT

Biologie et physiologie cellulaire

Hermann , Paris 1967.

- R.J.P. L E G O

Etudes pour une méthode d'automatisation des analyses chromosomique.
thèse de Doctorat en Biologie Humaine Rapport CEA - R - 4325 . 3 Mai 1972.

- C . FAVIER , R. L E G O , E. TOURNIER

Brevet CEA n° EN 7139422 , 3 novembre 1971

- J. HERRON , R. RANSHAW , J.CASTLE , N. WALD

Automatic Microscopy for Mitosis Cell Location

Computers in Biology and Medecin - Pergamon Press 1972 - Vol ; 2 pp 129 - 135.

- M.L. MENDELSON , B.H. MAYALL

Computer oriented Analysis of Human chromosomes.

III - Focus

Computers in Biology and Medecin - Pergamon Press 1972 - Vol. 2pp . 107 - 128

- P.W. NEURATH , B.L. BABLOUZIAN , T.H. WARMS.

R.C. SERBAGI , A. FALEK . Annal New-York Academy of Sciences. 1966 -pp.1013-1028.

- B. WINDROW the " Rubber Mask " Technique

I . Pattern Measurement and Analysis.

Pattern Recognition - Pergamon Press 1973 Vol5 -pp. 175-197.

- K.R. CASTLEMAN , R.J. WALL

Automatic Karyotyping With Pictural out put.

Rapport 1200 - 54 . Jet Propulsion Laboratory.

CALIFORNIA INSTITUTE of Technology

PASADENA - California - 25 Juin 1973.

- M.A. BENDER , M.A. KASTENBAUM, C.S LEVER, D.R. PELSTER combi-
naison Bayesian and Logical Approach to Analysis of Normal and Abnormal chromosome
Spreads. Computers in Biology and Medecin. Pergamon Press 1972 Vol. 2pp. 151- 156.

- B.EQUER - Projet d'appareil pour la reconnaissance automatique
et la mesure des photographies de chambres à bulles en physique nucléaire,
Rapport interne du collège de France, avril 1967.

- B.EQUER, G. FONTAINE et G. REBOUL.- the use of COCCINELLE, a
C.R.T digitizer to Scan and measure big bubble chamber pictures, Int.Conf.on
Data Handling in high energy physics, Cambridge, march 1970; Rapport C.E.R.N -

70- 21 p. 371.

- B.EQUER, G. FONTAINE , D. MARCHAND et J.L. NARJOUX

the film transport and programming system of COCCINELLE and its application to Processing of MIRABELLE pictures, Int. Symposium on Data handling for bubble chambers and Sparck chambers Dubna, octobre 1971.

- B. EQUER, G. FONTAINE et D. Marchand - COCCINELLE, 4 view film transport, Informal Colloquium on Polylike devices, Argonne, Janvier 1972, ANL 7934.

- B. EQUER et al. - Projet d'achat de calculateurs de contrôle pour le projet C.R.T de Paris, Rapport IN 2 P 3 , mai 1972.

- A. DNIESTROWSKI et al - Structure and software facilities implemented in a man - machine interactive pattern recognition, Ispra. International conférence 1974.

- A. DNIESTROWSKI et al - Implementation of a real - time pattern recognition system on a multi processor configuration, I.F.A.C./I.F.I.P. Work-shop on real - time programming, Boston, 1975.