

Application du traitement d'images  
à la conception d'un système  
de transmission de relief Braille en texte noir

Image processing application

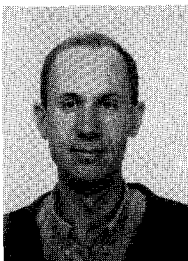
to a translate Braille black ink system Braille



**M. BENJELLOUN**

Département Technique de Télécommunications de l'INT d'Évry, équipe Image, 9, rue Charles-Fourier, 91000 ÉVRY.

Maître ès sciences EEA, Lille, Mastère spécialisé en image et intelligence artificielle de l'ENST, docteur 3<sup>e</sup> cycle, Lille, 1986. Enseignant-chercheur à l'Institut National des Télécommunications. Domaine d'intérêt: analyse et compréhension des images.



**V. DEVLAMINCK**

Laboratoire de Mesures Automatiques, Université des Sciences de Lille-Flandres-Artois, Bât. P3, 3<sup>e</sup> étage, 59655 VILLENEUVE-D'ASCQ CEDEX.

Maître ès sciences EEA, Lille, docteur en Électronique, Lille, 1988. Maître de conférences à l'IUT de Calais. Domaine d'intérêt: traitement du signal et des images appliqué aux télécommunications.



**F. WAUQUIER**

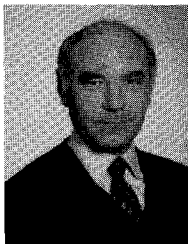
Laboratoire de Mesures Automatiques, Université des Sciences de Lille-Flandres-Artois, Bât. P3, 3<sup>e</sup> étage, 59655 VILLENEUVE-D'ASCQ CEDEX.

Maître ès sciences EEA, Lille, docteur en Électronique, Lille, 1988. Maître de conférences à l'IUT de Lille. Domaine d'intérêt: traitement du signal et des images appliqué aux télécommunications.



**P. ALTMAYER**

Laboratoire de Mesures Automatiques, Université des Sciences de Lille-Flandres-Artois, Bât. P3, 3<sup>e</sup> étage, 59655 VILLENEUVE-D'ASCQ CEDEX.



**J. P. DUBUS**

Laboratoire de Mesures Automatiques, Université des Sciences de Lille-Flandres-Artois, Bât. P3, 3<sup>e</sup> étage, 59655 VILLENEUVE-D'ASCQ CEDEX.

Ingénieur CNAM, 1965. Docteur ès sciences physiques, 1974. Professeur d'électronique traitement du signal à l'UFR d'IEEA de l'Université de Lille-Flandres-Artois. Domaine d'intérêt: traitement du signal et des images appliqué aux télécommunications.

## RÉSUMÉ

Après avoir rappelé le principe de rehaussement par filtrage polynomial de l'image du relief Braille numérisée, il est décrit la méthode de reconnaissance choisie pour ce type particulier de forme d'objets. Cette méthode est basée sur la projection de chaque graphème sur deux axes orthogonaux. Il est décrit les cinq étapes de reconnaissance de chaque rangée de relief Braille qui tiennent compte de ses irrégularités de forme, et qui exploitent une méthode de maximum de vraisemblance. Le relevé de la dispersion des positions des axes des graphèmes permet de donner une estimation théorique du taux de réussite de reconnaissance pour des reliefs fabriqués manuellement. Le taux vérifié dans la pratique est voisin de 99 %.

## MOTS CLÉS

Filtrage bidimensionnel polynomial, reconnaissance de forme, relief Braille, maximum de vraisemblance.

## SUMMARY

We recall the enhancement by polynomial filtering principle of the numerical Braille relief image. We describe the recognition method based on two orthogonal axis projection of each Braille character. The five recognition steps are developed taking account of form defaults of relief and using a maximum likelihood method.

The position axis dispersion of Braille characters permits to calculate estimated theoretical error. The error rate, verified in practice for manual made Braille reliefs is about 1%.

## KEY WORDS

Bidimensional polynomial filtering-form, recognition, Braille relief, maximum likelihood.

## Introduction

Dans le cadre des travaux sur des techniques logistiques d'aide aux déficients visuels, nous avons, dès 1979 mis au point un système, intitulé LOGI-BRAILLE de transcription automatique de textes noirs en Braille intégral et abrégé [(3), (6)].

Ce système a donné une réponse aux besoins importants de la production d'ouvrages pour les amblyopes et malvoyants. Depuis, des évolutions ont été apportées et on peut disposer aujourd'hui de produits commercialisés, basés sur cette idée et ces principes.

Dans le domaine de la communication écrite « aveugle vers voyant », se pose aussi le problème, bien que moins imposant mais tout aussi utile, de la lecture par un voyant, d'un texte écrit en relief Braille.

Cette communication « aveugle vers voyant » se justifie par exemple dans l'enseignement où de plus en plus souvent les enfants non voyants sont intégrés dans des classes d'enfants voyants et où il est nécessaire d'établir une communication écrite bilatérale. C'est le cas notamment de corrections d'épreuves par des enseignements voyants, pour des examens passés à la fois par des voyants et des non-voyants. Cette utilité se justifie aussi dans bien d'autres situations de communications écrites (services publics, communications individuelles, etc.).

La conception d'un transcritteur automatique de relief Braille conduit à résoudre deux problèmes distincts. Le premier consiste à acquérir l'information contenue dans le relief, à la filtrer et à la reconnaître pour la présenter sous forme d'une chaîne de caractères intelligible à un logiciel de transcription automatique. Le second problème consiste à assurer la transcription à l'aide de ce logiciel qui lève toutes les

ambiguïtés de traduction. Ce second problème a été résolu dès 1982 [9]. Pour résoudre le premier problème, après la mise en œuvre de divers procédés d'acquisition et de reconnaissance du relief [13], nous avons obtenu les meilleurs résultats en développant des techniques de traitement d'images.

Nous présentons les principes de détection par filtrage du relief numérisé à l'aide d'un système d'imagerie de notre conception [12] et nous décrivons les techniques développées pour la reconnaissance de ce relief.

## Position du problème

Le dispositif comprend une numérisation d'images couplée à un microordinateur. La figure 1 rappelle l'aspect du relief Braille. Le texte est composé de caractères à six points. Chaque point peut être ou non présent et son profil est défini figure 1 b.

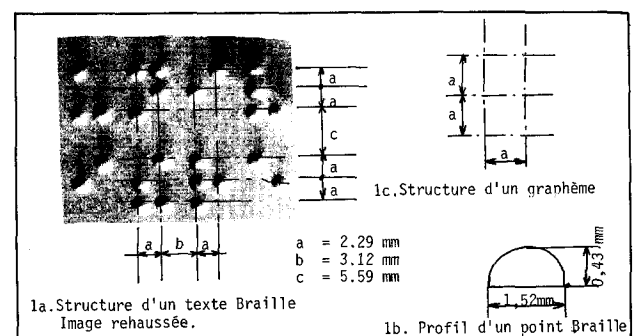


Fig. 1. — Forme des graphiques Braille.

Il existe deux types de codage Braille. Le codage dit Braille intégral ou Braille I et le codage dit Braille abrégé ou Braille II [1]. Le Braille I est un codage qui attribue soit un graphème, soit une séquence de graphèmes à chaque caractère du texte noir. Le Braille II est un codage qui attribue un seul graphème à une séquence de caractères noirs conformément à une liste de règles orthographiques [5, 6]. Le passage du Braille I ou du Braille II en texte noir [10] est assuré par un logiciel qui transforme les chaînes de mots d'un code Braille, dont les mots appartiennent à un alphabet de 64 symboles, en une chaîne de lettres appartenant à l'alphabet dactylographique. Ce logiciel est utilisé comme une fonction, appelée après l'opération de reconnaissance du relief, qui génère les chaînes de code Braille. Cette opération de reconnaissance est effectuée sur une image binarisée du relief. Le signal vidéo de sortie de la caméra est échantillonné et chaque échantillon est numérisé sur 6 bits. L'image numérisée se présente en mémoire sous la forme d'une structure de données numériques linéaires. A la valeur du niveau de gris de chaque pixel de l'image correspond un mot binaire de 6 bits. La couleur du document est uniforme et malgré un éclairage rasant le contraste est faible. L'histogramme (fig. 2) des

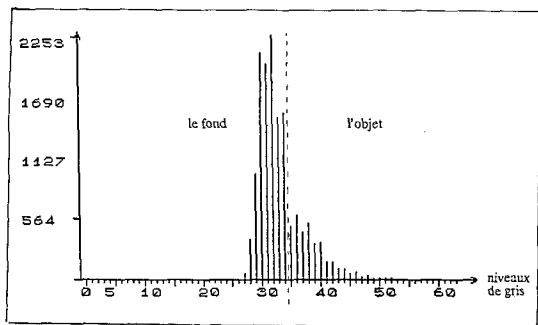


Fig. 2. - Histogramme de l'image d'un relief Braille numérisé.

niveaux de gris montre qu'il existe une très faible différence de niveau entre le fond du relief et le sommet des points du relief, et, avant binarisation il est nécessaire de pratiquer un filtrage de rehaussement.

L'objectif du traitement du signal consiste à binariser, par seuillage, l'image du relief pour permettre la reconnaissance des formes des graphèmes avant leur codage. Une étude systématique [13] a montré que la binarisation de l'image nécessitait un préfiltrage à l'aide d'un filtre polynomial suivi d'une détection effectuée par le même type de filtre et d'un nettoyage de l'image résultat par un filtre médian.

### Filtrage et binarisation

Les meilleurs résultats ont été obtenus [13] en mettant en œuvre un filtrage qui constitue un lissage et une détection du relief Braille par approximation polynomiale à une dimension. La luminance d'un point relief

Braille peut être approximée, dans un voisinage de cinq points suivant la direction  $x$  de l'image, par un polynôme du second degré.

$$(1) \quad \hat{z} = f(x, y) = b_1 + b_2 x + b_3 x^2 \quad \text{pour } y \text{ donné.}$$

Les coefficients  $b_1$ ,  $b_2$  et  $b_3$  sont déterminés à l'aide d'une régression linéaire au sens des moindres carrés sur le voisinage  $1 \times 5$  défini figure 3.

Le vecteur  $\hat{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$  est tel que

$$(2) \quad S = \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2 = \text{mini}$$

où  $z$  représente les valeurs de la luminance du relief entachées du bruit.

$x$	$x_1 = -2$	$x_2 = -1$	$x_3 = 0$	$x_4 = 1$	$x_5 = 2$
$f(x, y)$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$

Fig. 3. - Voisinage  $1 \times 5$  du filtrage polynomial.

On a :

$$(3) \quad \hat{z} = U \cdot \hat{b} \quad \text{avec} \quad U = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ 1 & x_3 & x_3^2 \\ 1 & x_4 & x_4^2 \\ 1 & x_5 & x_5^2 \end{pmatrix}.$$

Les valeurs de  $\hat{b}$  qui minimisent  $S$  sont données par l'expression

$$(4) \quad \hat{b} = (U^T U)^{-1} U^T z$$

L'application numérique donne :

$$(5) \quad \begin{pmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{70} \begin{pmatrix} -6 & 24 & 34 & 24 & -6 \\ -14 & -7 & 0 & +7 & +14 \\ 10 & -5 & -10 & -5 & 10 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \end{pmatrix}.$$

L'intensité du pixel central  $z_3$  du voisinage  $1 \times 5$  est obtenue pour  $x_3 = 0$ . On a alors :

$$(6) \quad \hat{z}_3 = \hat{b}_1$$

Et à l'aide de l'expression (5) on obtient :

$$(7) \quad \hat{z}_3 = \frac{1}{70} (-6z_1 + 24z_2 + 34z_3 + 24z_4 - 6z_5).$$

Cette expression représente la réponse d'un filtre de convolution défini par le masque :

$$(8) \quad MS1 = \frac{1}{70} (-6, 24, 34, 24, -6)$$

Ce filtre permet d'augmenter le rapport signal sur bruit en réduisant la puissance du bruit.

Pour un bruit gaussien il est montré [18] que la variance  $\sigma_s^2$  à la sortie s'exprime, en fonction de la variance  $\sigma^2$  du bruit d'entrée par :

$$(9) \quad \sigma_s^2 = h^T (U^T U)^{-1} h \sigma^2$$

avec

$$(10) \quad h = |1 \quad x_3 \quad x_3^2| = |1 \quad 0 \quad 0|.$$

En substituant (3) et (10) dans (9) on obtient :

$$(11) \quad \sigma_s^2 = 0,49 \sigma^2.$$

Pour détecter l'information relief on met au point un détecteur fixe qui possède les propriétés suivantes :

- mise en valeur des formes convexes (luminance des points Braille);
- résultat nul pour des surfaces à luminance constante.

Le filtre spatial précédent a une réponse impulsionnelle définie par les valeurs de ses coefficients. Elle est symétrique et présente une forme convexe qui rappelle la forme de la luminance des points Braille. Le filtre précédent peut donc être regardé comme un filtre adapté à la forme des points Braille et il est réutilisé pour la détection. Pour satisfaire la seconde propriété on retranche la valeur 70/5 à chaque coefficient contenu à l'intérieur de la parenthèse.

Cette opération conduit au masque de détection défini par :

$$(12) \quad MD1 = \frac{1}{70} (-20, 10, 20, 10, -20).$$

La figure 4 représente la forme 2D du relief numérisé des deux graphèmes Braille dessinés en 4c. La figure 4b représente la forme 2D du résultat du lissage de cette image par le masque MS1 suivi de la détection à l'aide du masque MD1.

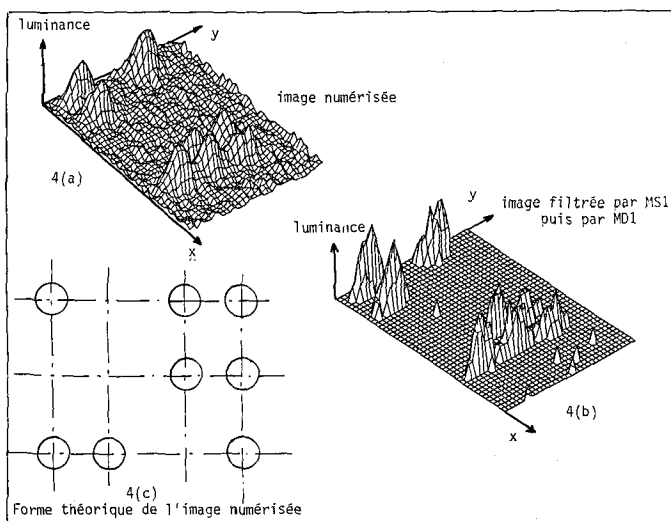


Fig. 4. - Image originale et image filtrée par MS1 puis MD1.

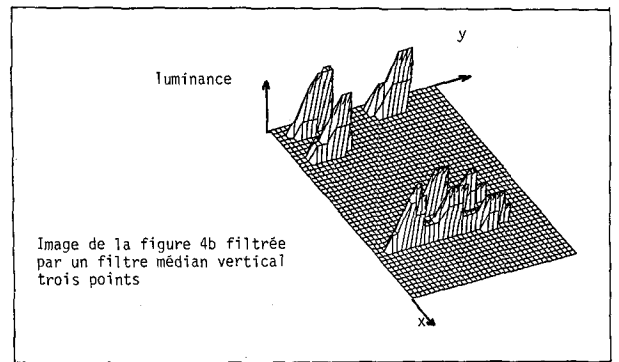


Fig. 5. - Image filtrée par MS1, MD1 et filtre médian.

On constate sur cette figure qu'il subsiste un bruit impulsionnel que l'on élimine (fig. 5) à l'aide d'un filtre médian vertical trois points [19]. Les documents en relief Braille peuvent être recouverts d'inscriptions au crayon ou à l'encre. On constate que les niveaux de gris correspondant à ces inscriptions sont toujours situés au-dessous du niveau de gris moyen de l'image du document. Il en résulte qu'avant filtrage il est pratiqué un seuillage du fond. Soient  $n_f$  la valeur moyenne des niveaux de gris de l'image  $N \times N$ ,  $f_e(x, y)$  le niveau de gris avant seuillage et  $f_s(x, y)$  le niveau de gris après seuillage, alors le seuillage est défini par :

$$(13) \quad \begin{cases} \text{si } f_e(x, y) < n_f & \text{alors } f_s(x, y) = n_f \\ \text{si } f_e(x, y) \geq n_f & \text{alors } f_s(x, y) = f_e(x, y). \end{cases}$$

Après seuillage et filtrage par les masques MS1 et MD1 et filtre médian, l'image est binarisée. Pour cette binarisation  $P_i = 1$  représente la valeur d'un pixel blanc et  $P_i = 0$  celle d'un pixel noir. Le seuil S de binarisation a été déterminé statistiquement comme étant égal à la valeur moyenne des pixels non nuls de l'image filtrée.

Après binarisation certains points apparaissent sous la forme de deux surfaces séparées, comme le montre la figure 6.

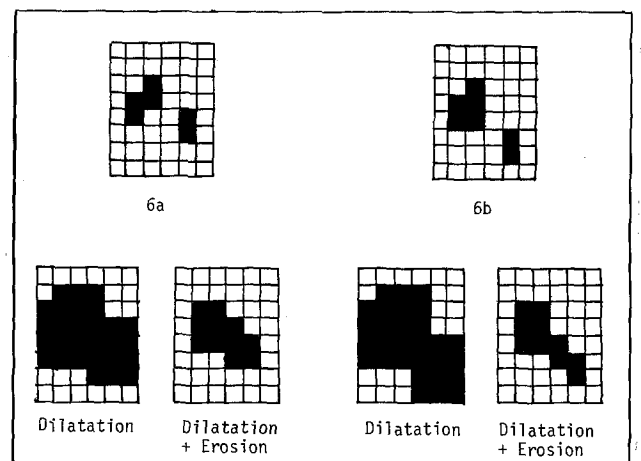


Fig. 6. - Fermeture des formes par dilatation et érosion.

On effectue une fermeture de ces surfaces à l'aide d'une dilatation définie sur un 8-voisinage de module représenté figure 7a [20], suivie d'une érosion définie sur un 4-voisinage de module représenté figure 7b.

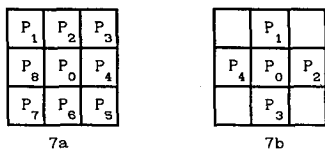


Fig. 7. - Définition des modules de dilatation et d'érosion.

L'érosion définie sur le 4-voisinage de la figure 7b, qui succède à la dilatation, assure la fermeture des formes du type de la figure 6b.

### Reconnaissance

La forme particulière du relief nous a orienté vers une technique de reconnaissance par projection de chaque rangée de graphèmes sur deux axes orthogonaux.

La figure 8 représente la projection d'une ligne de deux graphèmes sur l'axe horizontal  $x$ , et les projections sur des axes verticaux de chaque verticale de points relief. On appelle « axe massif », l'axe d'abscisse égale à celle du milieu du segment que découpe la projection sur l'axe  $x$ , d'une verticale de points relief présents. On appelle « axe fictif », l'axe de la projection d'une verticale de points relief absents.

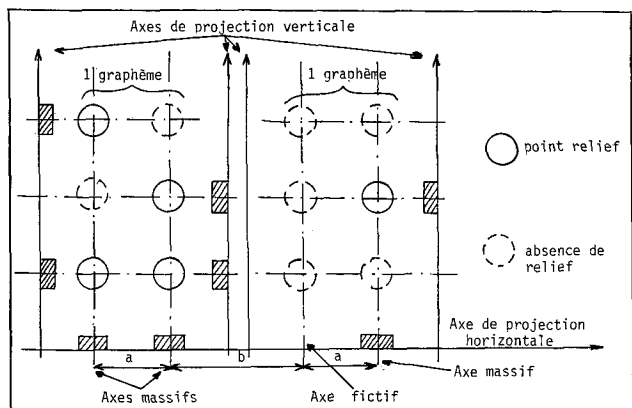


Fig. 8. - Principe de reconnaissance par projections orthogonales.

L'observation de la forme du relief Braille donne l'impression que l'opération de reconnaissance est aisée. En réalité il faut tenir compte des irrégularités de forme des graphèmes produites au moment de la fabrication du relief.

La figure 9 montre quelques cas typiques de défauts où l'on remarque une dispersion des axes de points de relief de l'ordre de  $a/2$ . On appelle «  $a$  » l'entraxe de deux verticales de points relief appartenant à un

même graphème et «  $b$  » l'entraxe de deux verticales de points relief appartenant à deux graphèmes adjacents. «  $a$  » et «  $b$  » ont, compte tenu de la numérisation de l'image, des valeurs voisines. On remarque que l'irrégularité du relief peut conduire à des valeurs «  $a'$  » et «  $b'$  » d'entraxes massifs égales.

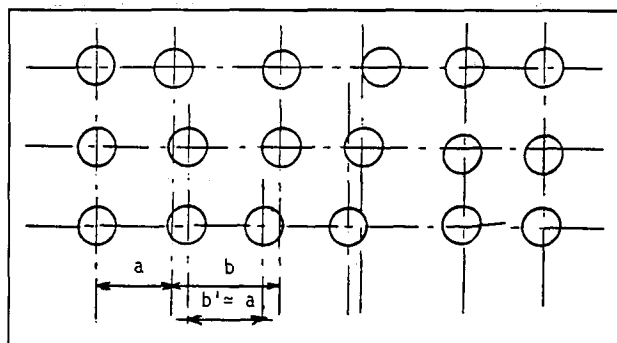


Fig. 9. - Irrégularités de formes de graphèmes Braille.

Cette situation complique l'opération de reconnaissance de chaque graphème. Il existe aussi des cas où un graphème ne comporte des points relief que sur la verticale de gauche ou la verticale de droite. La décision sur la position « à droite » ou « à gauche » d'une verticale de points n'est pas immédiate lorsque ce graphème est isolé.

La figure 10 représente le résultat statistique de la dispersion des positions des axes massifs de la projection sur l'axe horizontal  $x$  d'un grand nombre de séquences de deux graphèmes adjacents (plus de 800 mesures).

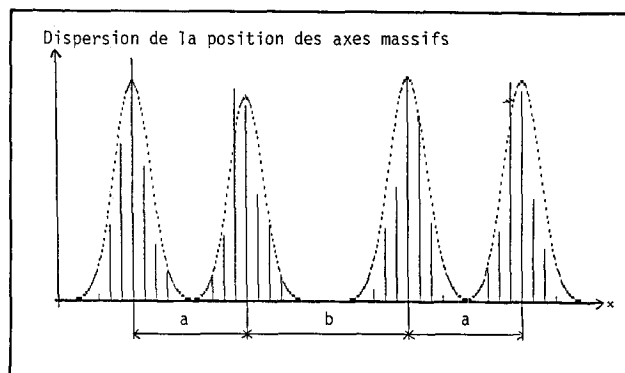


Fig. 10. - Dispersion des axes des points Braille sur l'axe horizontal.

Malgré une faible résolution des mesures de distances sur l'axe  $x$  due à la numérisation de l'image, et bien que les densités de probabilité soient très irrégulières, nous les avons approximées par des gaussiennes. Dans ces conditions, pour  $a=5$  et  $b=7$ , la variance de la fluctuation de position d'un axe massif est de l'ordre de 1,2. La reconnaissance est pratiquée rangée par rangée de graphèmes. Elle s'effectue le long de l'axe horizontal puis le long de l'axe vertical. Le long de l'axe horizontal, l'objectif consiste à donner à chaque axe massif et à chaque axe fictif une qualification de situation « à droite » ou « à gauche » d'un graphème.

Cette opération a pour résultat l'affectation à chaque axe massif, d'une valeur «G» ou «D» et l'affectation à chaque axe fictif d'une valeur «BG» ou «BD». Le long de l'axe vertical, l'objectif consiste à donner à un axe massif, une caractéristique de situation, «en bas», «au milieu», ou «en haut» d'un graphème.

**Reconnaissance horizontale**

Cette phase se déroule en cinq étapes. La première étape consiste à estimer une valeur moyenne réaliste « $\bar{A}$ », des distances séparant deux axes massifs d'un même graphème et « $\bar{B}$ » des distances séparant deux axes appartenant à deux graphèmes adjacents, à l'aide de l'algorithme suivant :

Soient  $D_i$  et  $D_{i+j}$  deux valeurs d'entraxes massifs adjacents.

1. On alimente deux sous-ensembles  $\{a_k\}$  et  $\{b_k\}$  qui contiennent respectivement les valeurs de «a» et les valeurs de «b» relevées sur la ligne en cours de reconnaissance, à l'aide de l'algorithme :

si  $D_j < D_{i+j}$  et  $D_{i+j} < b + e$  avec  $j \in \{-1, 1\}$  alors  $D_i \in \{a_k\}$  et  $D_{i+j} \in \{b_k\}$ .

2. Les ensembles  $\{a_k\}$  et  $\{b_k\}$  servent ensuite à calculer :

$$(14) \quad \bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k, \quad \bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m b_k.$$

Pour une ligne de graphèmes  $n \approx m \approx 30$ .

Nous supposons établie une base de connaissance définie par un registre qui contient un nombre de données N, égal au nombre de pixels contenus dans une ligne de l'image. On suppose que chaque donnée a été affectée durant une précédente étape d'une valeur «G» pour un axe connu à gauche d'un graphème, d'une valeur «D» pour un axe connu à droite d'un graphème et d'une valeur nulle ailleurs (fig. 11).

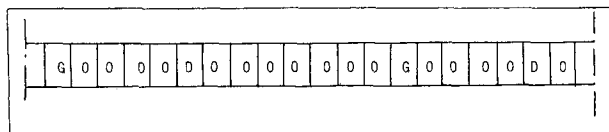


Fig. 11. - Structure de la base de connaissance.

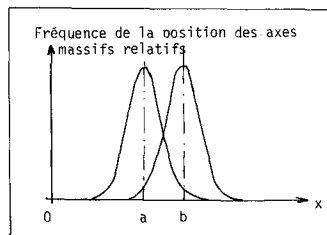


Fig. 12. - Recouvrement des zones de dispersion des axes des graphèmes.

La figure 11 représente le contenu de la base pour deux graphèmes adjacents connus. Cette base de connaissance est remise à jour à la fin de l'opération

de reconnaissance complète d'une rangée de graphèmes. Cette remise à jour consiste à accumuler dans la base les positions connues des axes du relief et constituer ainsi un gabarit du relief obtenu par apprentissage. La base sert à s'affranchir du biais du texte par rapport aux colonnes de pixels de l'image. L'expérience montre que d'une rangée à l'autre, le glissement de la position des axes massifs sur l'axe x n'est jamais supérieur à 2 pixels.

Pendant la seconde étape on compare la position des axes massifs avec celle des axes connus de la base de connaissance, et en tenant compte de l'écart de glissement, on repère les axes massifs dont la position coïncide exactement à la position des valeurs «G» ou «D» de la base. A chaque coïncidence, l'axe massif est affecté de la valeur «G» ou «D» correspondante dans le registre résultat.

La troisième étape, permet d'assigner les qualifications «G» ou «D» aux axes massifs adjacents non connus dont les valeurs des entraxes sont égales aux valeurs moyennes  $\bar{A}$  et  $\bar{B}$  calculées pendant la première étape, à l'aide de la procédure :

Soient :

- $X_i$  et  $X_{i+1}$  les abscisses de deux axes massifs inconnus et adjacents;
- $(X_{i+1})=D$  l'assignation de la qualification «à droite», pour l'axe massif d'abscisse  $X_i$ ;
- $(X_{i+1})=G$  l'assignation de la qualification «à gauche», pour l'axe massif d'abscisse  $X_i$ .

On calcule

$$D_i = X_{i+1} - X_i$$

si  $D_i = \bar{A}$  alors  $(X_{i+1})=D$ ;

si  $D_i = \bar{B}$  alors  $(X_{i+1})=G$ .

La probabilité d'erreur de cette opération provient de la décision  $(X_{i+1})=D$  alors que l'axe est situé à gauche d'un graphème ou de la décision  $(X_{i+1})=G$  alors que l'axe est situé à droite d'un graphème. La figure 12 représente la superposition des densités de probabilités des positions des axes massifs à gauche et à droite d'un graphème.

La probabilité d'erreur s'énonce, en prenant les valeurs brutes de la statistique :

$$(15) \quad P_{e1} = P(a)P_b(\bar{B} - \bar{A}) + P(b)P_a(\bar{B} - \bar{A}).$$

Elle est égale à la probabilité d'apparition de la valeur  $D_i = \bar{A}$  alors qu'il s'agit d'un entraxe intergraphème de valeur naturelle B apparaissant avec la probabilité  $P(b)$ , ajoutée à la probabilité d'apparition de la valeur  $D_i = \bar{B}$  alors qu'il s'agit d'un entraxe intragraphème de valeur naturelle A apparaissant avec la probabilité a priori  $P(a)$ .

En prenant en compte les densités de probabilité approximées à des gaussiennes elle s'énonce :

$$(16) \quad P_{e1} = \frac{P(a)}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma_a^2} (\bar{B} - \bar{A})^2 \right] + \frac{P(b)}{\sigma_b \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma_b^2} (\bar{B} - \bar{A})^2 \right]$$

avec

$$(17) \quad \bar{B}=7, \quad \bar{A}=5, \quad \sigma_a^2 = \sigma_b^2 = 1,2$$

$P(a)=P(b)=0,5$  on a  $P_{e1} \approx 0,07$ .

Cette méthode donne un résultat dont le taux d'erreur est nettement inférieur à celui obtenu par une décision bayésienne. Par contre, à cause de l'étendue très étroite de la zone de décision, le pourcentage de réussite est très faible.

Dans une troisième étape on affecte les valeurs «G» ou «D» à des axes massifs en s'appuyant sur les valeurs des axes massifs reconnus au cours des deux étapes précédentes.

Soient  $X_i$  et  $X_{i+1}$  les abscisses de deux axes adjacents, ( $X_i$ ) est connue ( $X_{i+1}$ ) est inconnue.

On a  $D_i = X_{i+1} - X_i$  la valeur de l'entraxe.

En se servant des graphes de la figure 13, sur lesquels on a reporté, (fig. 13 a) les courbes de dispersion des positions de deux axes adjacents par rapport à un axe de position connue situé à droite d'un graphème et, (fig. 13 b) les courbes de dispersion des positions

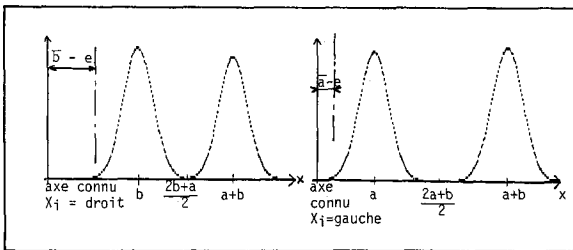


Fig. 13. - Illustration de la troisième étape de reconnaissance.

des axes adjacents à un axe connu situé à gauche d'un graphème, on identifie la nature [à droite (D) ou à gauche (G)] de l'axe massif d'abscisse  $X_{i+1}$  à l'aide de la procédure :

si

$$(X_i) = G \quad \text{et} \quad \bar{A} - e < D_i < \frac{2\bar{A} + \bar{B}}{2}$$

alors  $(X_{i+1}) = D$ ;

si

$$(X_i) = D \quad \text{et} \quad \bar{B} - e < D_i < \frac{2\bar{B} + \bar{A}}{2}$$

alors  $(X_{i+1}) = G$ .

$e$  a une valeur que l'on ajuste à  $\bar{A}/2 = 2,5$ .

Lorsque  $D_i$  a une valeur extérieure à ces intervalles, on ne prend pas de décision (non-réussite).

La probabilité de non-réussite de cette opération est donnée par la relation :

$$(18) \quad P_{e2} = \left[ \int_{(b+2a)/2}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\bar{a})^2\right] dx + \int_{-\infty}^{(2b+a)/2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\bar{b})^2\right] dx + \int_{(2b+a)/2}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\bar{b})^2\right] dx \right]$$

avec  $\bar{b}=7$  et  $\bar{a}=5$  cette probabilité de non-détection est de l'ordre de 1,3 %. Cette probabilité sera fortement réduite au cours de l'étape suivante. La probabilité d'erreur est donnée par :

$$P_{e3} = \int_{-\infty}^{(2a+b)/2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a-b)^2}{2\sigma^2}\right) dx + \int_{-\infty}^{(2b+a)/2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a-b)^2}{2\sigma^2}\right) dx.$$

Cette probabilité d'erreur est inférieure à 0,3 %.

Les trois étapes précédentes permettent d'identifier des axes massifs. A la fin de ces étapes tous les axes massifs n'ont pas été en général reconnus.

Seuls n'ont été reconnus que les axes massifs adjacents à un autre axe massif appartenant ou non à un même graphème.

D'autre part, sur une ligne certains graphèmes ne possèdent qu'une seule verticale de points et il existe des espaces vides de graphèmes. On appelle axe fictif un axe qui ne possède pas de masse (verticale de points relief absents).

La quatrième étape consiste à reconnaître et à marquer les axes fictifs. Cette étape assure aussi la reconnaissance des axes massifs isolés entre deux axes fictifs, qui ne possédant pas de voisinage massif immédiat, n'ont pas pu être reconnus au cours des étapes précédentes. Elle confirme en outre la validité des résultats de la reconnaissance, et elle fait chuter fortement le pourcentage de non-réussite des étapes précédentes.

La reconnaissance des axes fictifs s'effectue en pratiquant une interpolation entre deux axes massifs consécutifs connus.

La méthode d'interpolation est illustrée par la figure 14. Cette méthode a pour objectif d'assigner les qualifications «BG» et «BD» aux axes fictifs d'abscisse  $X_f$  situés à gauche ou à droite d'un graphème.

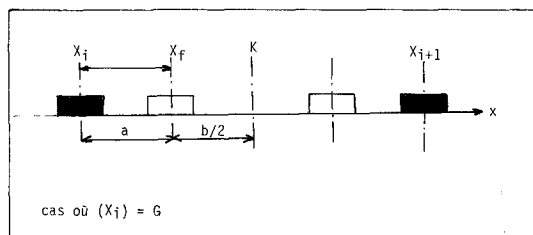


Fig. 14. - Illustration de la recherche des axes fictifs.

Pour cela on calcule un seuil de décision K tel que :

$$\begin{aligned} \text{si } (X_i) = G \text{ alors } K &= a + b/2 \\ \text{si } (X_i) = D \text{ alors } K &= a/2 + b \end{aligned}$$

On calcule  $D_i = X_{i+1} - X_i$

si  $D_i > K$  (il existe un axe fictif  $X_f$ )

alors

$$\text{si } (X_i) = G$$

alors  $X_f = X_i + a$ , et l'axe  $X_f$  est affecté de la qualification «BD»

$$\text{sinon } (X_i) = D$$

alors  $X_f = X_i + b$ , et l'axe d'abscisse  $X_f$  est affecté de la qualification «BG».

La dernière position calculée sert de référence pour déterminer la présence de l'axe fictif suivant.

L'algorithme s'arrête dès que  $X_{i+1} - X_i \leq K$ .

Lorsque  $D_i \leq K$ , deux cas peuvent se présenter :

si  $(X_{i+1})$  est inconnue (cas d'un axe massif isolé)

alors,

$$\text{si } (X_f) = BD \text{ alors } (X_{i+1}) = G$$

$$\text{si } (X_f) = BG \text{ alors } (X_{i+1}) = D$$

si  $(X_{i+1})$  est connue

alors, on utilise cette connaissance pour lever l'incertitude lorsque  $D_i = K$ .

L'application de l'ensemble des procédures sur une rangée de graphèmes permet de générer dans un registre, une série de codes représentatifs de la projection de cette rangée sur l'axe horizontal, figure 15.

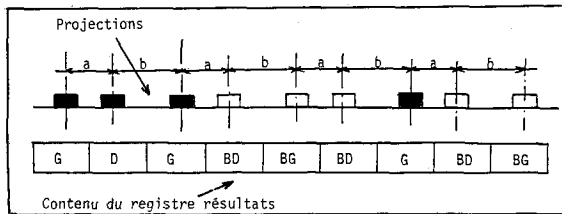


Fig. 15. - Résultat de la reconnaissance horizontale.

Pour chaque axe massif reconnu horizontalement, il est maintenant possible, à partir de la projection sur l'axe vertical, d'effectuer la reconnaissance des graphèmes.

### Reconnaissance verticale

Cette phase consiste, à projeter sur un axe vertical, chacune des verticales de points centrés sur un axe massif, et à calculer les ordonnées des axes des points. Les conditions d'éclairage font que le signal résultant de la projection se présente comme une masse pouvant s'étaler sur la hauteur d'un, de deux ou de trois points Braille, figure 17. Pour la reconnaissance il faut distinguer les hauteurs des masses projetées et l'ordonnée  $D_p$  d'une de leurs extrémités.

On appelle  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3$  respectivement les hauteurs de projection d'un point, de deux ou de trois points Braille. La valeur moyenne « $\hat{a}$ » de la projection d'un point le long d'une ligne de graphèmes est calculée comme il suit :

Soient  $\{h_k\}$  l'ensemble des hauteurs  $h_3$  de la projection de trois points,  $h_i$  la mesure de la hauteur d'une masse projetée et S une valeur de seuil voisine de la hauteur  $h_3$ .

Si  $h_i < S$  alors  $h_i \in \{h_k\}$  et la hauteur à estimer d'un point est égale à :

$$(19) \quad \hat{a} = \frac{1}{4n} \sum_{k=1}^n h_k$$

La figure 16 représente une approximation par un modèle gaussien de la dispersion des hauteurs des masses projetées sur l'axe vertical y. La variance mesurée est voisine de 1,5.

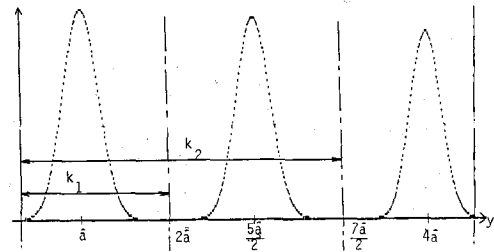


Fig. 16. - Dispersion des axes sur la projection verticale.

La figure 17 permet de calculer les hauteurs moyennes théoriques sur lesquelles sont centrées des gaussiennes. En supposant que chaque point relief a, sur une rangée de graphèmes, la même probabilité d'apparition, les ordonnées des seuils de décision ont pour expression :

$$(20) \quad \begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{2} \left( \frac{5\hat{a}}{2} + \hat{a} \right) = \frac{7\hat{a}}{4} \approx 2\hat{a}; \\ k_2 &= \frac{13\hat{a}}{4} \approx \frac{7\hat{a}}{2}. \end{aligned}$$

Ces valeurs sont arrondies parce que la numérisation ne permet pas d'apprécier le 1/4 de pixel.

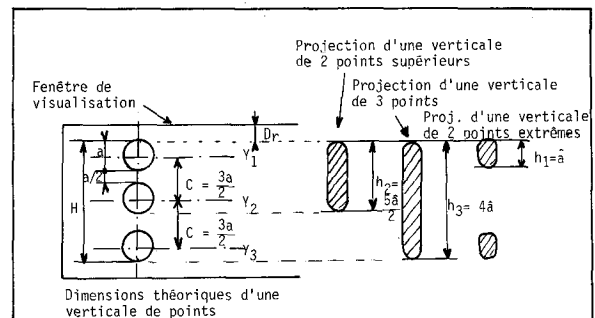


Fig. 17. - Exemples de projections verticales.

Pour la reconnaissance, en comparant la hauteur de chaque masse aux seuils de décision, on assigne la qualification  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  aux projections d'un, de deux et de trois points relief.



Avec  $D_p$  l'ordonnée de l'extrémité d'une masse projetée et  $h$  sa hauteur, on obtient facilement les relations donnant les ordonnées  $y_i$  des points relief.

Pour  $w_1$ ,

$$y_i = D_p + h/2.$$

Pour  $w_2$ ,

$$(21) \quad y_1 = D_p + h/5, \quad y_{i+1} = D_p + 4h/5.$$

Pour  $w_3$ ,

$$y_1 = D_p + h/8, \quad y_{i+1} = D_p + h/2, \\ y_{i+2} = D_p + 7h/8.$$

La probabilité d'erreur de cette opération est donnée par la relation :

$$(22) \quad P_e = \int_{c/2}^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx$$

avec

$$c = \frac{3\hat{a}}{2}$$

pour  $c=9$ ,  $\sigma^2 = 1,5$  alors  $P = 0,15 \cdot 10^{-3}$ .

L'utilisateur dispose d'une fenêtre de surbrillance pour positionner la feuille Braille correctement. Il existe en général un biais très faible, et l'écart de position entre deux projections de verticales de points adjacents est peu importante. Il est alors possible d'ajuster la position de l'origine des axes de projection au fur et à mesure de la progression de la reconnaissance le long de la rangée de graphèmes traitée. Si on appelle  $D_r$  l'ordonnée de référence, on peut réaliser l'ajustement en écrivant :

$$(23) \quad \begin{cases} Y_1 = D_r + \hat{a}/2 + g(x), \\ Y_2 = Y_1 + c, \quad Y_3 = Y_1 + 2c \end{cases}$$

où  $g(x)$  est une fonction d'ajustement calculée pour chaque projection de la façon suivante :

Pour  $x=0$ ,  $g(x)=0$ .

Pour les axes massifs reconnus sur la verticale de points à l'abscisse  $j$  on calcule  $g(x=j)$ , égale à la valeur moyenne de l'écart entre ces axes et les derniers axes correspondants, précédemment reconnus et ajustés.

Cette valeur de  $g(x)$  servira à l'ajustement sur l'axe vertical d'abscisse  $j+1$ .

Après reconnaissance, chaque caractère Braille est codé par un mot binaire de 6 bits.

Un logiciel de transcription en noir transforme les chaînes codées Braille en chaînes de texte noir (10).

## Conclusion

Nous avons décrit l'ensemble des algorithmes permettant de numériser, reconnaître et coder les caractères du relief Braille avec un taux de réussite voisin de

99 %, quel que soit le type de fabrication du relief Braille (manuel ou mécanique) adopté.

Dans la réalisation du prototype mis au point pour prouver la faisabilité, nous avons choisi une saisie de relief par caméra, une numérisation et un traitement de l'image et du texte à l'aide d'un microordinateur 8 bits programmé en assembleur. Ce dispositif est actuellement le plus économique susceptible de réaliser cette fonction. Il nécessite 7 secondes pour filtrer, reconnaître et transcrire en noir une ligne de graphèmes. Avec un microordinateur 16 bits et un logiciel écrit en langage C ces opérations nécessiteraient environ 2 secondes.

Les mêmes principes restent valables quels que soient les composants mis en œuvre. Par exemple, la numérisation de l'image peut être faite à l'aide d'un scanner. Il est possible, en combinant ces fonctions, d'imaginer plusieurs types d'applications, soit de la vie courante, soit dans le domaine de l'éducation.

Par exemple, le système décrit peut être couplé à une embosseuse pour dupliquer directement le document relief et constituer ainsi une sorte de photocopieuse de relief. Une telle fonction s'avérerait particulièrement intéressante pour reproduire en plusieurs exemplaires des ouvrages anciens souvent uniques. Cette fonction peut être utile à toute personne pour lire un document relief sans avoir à connaître le Braille. C'est le cas dans la vie courante, mais c'est aussi le cas dans le cadre de l'intégration des mal voyants dans les établissements scolaires où des professeurs peuvent être amenés à pratiquer des corrections de copies composées en relief Braille. Dans un autre ordre d'idées, il est évidemment possible, par l'intermédiaire d'un modem, d'établir une communication à distance aveugle-voyant et voyant-aveugle et constituer ainsi une transtélécopie.

*Manuscrit reçu le 7 février 1989.*

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BLANCHIN, HENRI et LE GUEVEL, *Abrégé orthographique étendu*, Valentin Haüy, Paris, 1964, 38 p.
- [2] J. P. DUBUS et F. WATTRELOT, Interpréteur-éditeur Braille automatique autonome avec clavier de machine à écrire, *Le Nouvel Automatismes*, juin-juillet 1979, p. 31-35.
- [3] J. P. DUBUS et A. MANDAR, Démarche adoptée pour établir la faisabilité d'un traducteur autonome temps réel Braille abrégé à l'aide d'un microprocesseur. Description détaillée d'une partie des solutions adoptées, *I.T.B.M.*, 1, n° 2, 1980, p. 4-20.
- [4] J. P. DUBUS et A. MANDAR, Méthode d'élaboration des algorithmes de traduction en Braille abrégé par dactylographie d'un texte. Optimisation de la taille mémoire et du temps de traduction pour implantation sur micro-processeur, *Innov. Tech. Biol. Med.*, 1, n° 4, 1980, p. 53-71.
- [5] A. MANDAR, Étude théorique et réalisation d'un système autonome interactif de transcription Braille, *Thèse de Docteur-ingénieur*, n° 293, 22 avril 1982, Lille.

- [6] J. P. DUBUS, A. MANDAR et M. MORTREUX, Modélisation des règles de transcription Braille. Application à l'étude des processeurs de communication individuelle entre voyant et aveugle, *Annales des Télécommunications*, 38, n° 3-4, 1983, p. 99-112.
- [7] B. MATHIEU, Utilisation d'un transcrip-teur général d'états finis pour la saisie de textes et leur traduction en Braille abrégé, Congrès AFCET, Paris, novembre 1978.
- [8] M. TRUQUET, Transcription en Braille intégral ou abrégé, *Thèse d'état*, 30 novembre 1979, 180 p., Toulouse.
- [9] J. P. DUBUS, M. MORTREUX, P. VINCKE et C. SION, Étude et réalisation d'un lecteur optique avec transcription automatique en texte noir, *Onde électrique*, 65, n° 3, mai-juin 1985, p. 58-70.
- [10] M. MORTREUX, Étude et conception d'une lecture optique de relief Braille, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*, n° 1263, 1985, Lille.
- [11] P. VINCKE, Réalisation d'un transcrip-teur automatique de relief Braille, *Mémoire ingénieur*, CNAM, 1983.
- [12] J. M. POLLET, Étude et réalisation d'une station d'initiation au traitement d'images pilotée par microordinateur 8 bits, *Mémoire ingénieur*, CNAM, 1988, Lille.
- [13] M. BENJELLOUN, Étude théorique et expérimentale du filtrage numérique de l'image d'un texte en relief Braille pour sa transcription en texte noir, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*, n° 1332, 1986, Lille.
- [14] P. ALTMAYER, Système autonome de transcription de relief Braille en texte noir par traitement d'images, *Mémoire ingénieur*, CNAM, 1988, Lille.
- [15] J. M. WOSENCRAFT, *Principales of communication engineering*, John Wiley & Sons, New York.
- [16] P. ONANGA, Étude d'un éditeur transcrip-teur conditionné braille par application de la théorie des réseaux de transition, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*, n° 1335, 1986, Lille.
- [17] J. P. DUBUS, M. BENJELLOUN, V. DEVLAMINCK, F. WAUQUIER et ALTMAYER, Image processing techniques to perform an autonomous system to translate relief Braille into black-ink, called: Lectobraille, *10th annual international conference IEEE engineering in medicine and biology society*, New Orleans, novembre 1988, p. 1584-1585.
- [18] N. R. DRAPER et H. SMITH, *Applied Regression Analysis*, Wiley, New York, 1986.
- [19] W. PRATT, *Digital image processing*, Wiley, 1978.
- [20] J. J. TOUMAZET, *Traitement de l'image par ordinateur*, Sibex, 1987.