

FIG 2 : Résultats de l'analyse

TAB 1 : Hypothèses et scores de corrélation

	1	2	3	A	B	C	4	5
H1	71	62	76	-	-	-	65	65
H2	57	59	49	74	93	55	65	52
H3	42	50	-	63			48	-

3. Modélisation

Nous exploitons dans cette partie la souplesse de la théorie des ensembles flous et des possibilités pour la modélisation et la combinaison d'informations imparfaites et de règles plus ou moins strictes [5].

3.1 Distributions de possibilité des classes

Les ambiguïtés résultent des défauts de segmentation, mais aussi des variations dans les polices utilisées. Pour s'en affranchir, nous proposons de définir chaque classe k par une distribution de possibilité Π_k , fonction de la ressemblance entre un symbole de la partition et le modèle de référence.

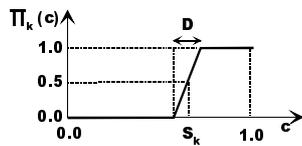


FIG 3: Distributions de possibilité

Le paramètre D de la distribution Π_k est constant; en revanche, S_k est appris d'après les résultats de l'analyse. Soient n_k le nombre d'objets obtenant le plus haut score de corrélation pour la classe k , supérieur à $t_d(k)$, et $m(k)$ la moyenne de ces scores. On définit S_k par :

$$S_k = \frac{t_d(k) + n(k).m(k)}{n(k) + 1} + \frac{D}{2} \quad (1)$$

Si $C^k(s)$ est le score de corrélation de l'objet s avec le modèle de la classe k , alors le degré de possibilité que l'objet s appartienne à la classe k est défini par :

$$\pi_k(s) = \Pi_k(C^k(s)). \quad (2)$$

Notons que la forme des distributions de possibilité n'a pas besoin d'être estimée de manière précise. Expérimentalement on constate une bonne robustesse par rapport à cette forme, qui peut être expliquée par deux raisons. D'une part, les représentations floues sont utilisées pour des informations approximatives et n'ont donc pas à être précises. D'autre part, des informations de divers types sont combinées dans l'approche proposée, ce qui diminue l'influence de chacune en particulier. Les valeurs numériques utilisées sont donc peu

importantes. En revanche leur ordre l'est, et une situation préférée à une autre (parce qu'elle satisfait mieux les règles d'écriture par exemple) doit avoir un degré de possibilité plus grand.

3.2 Compatibilité graphique

Elle permet d'exprimer la cohérence entre les positions graphiques des objets. Différentes fonctions ont été définies, permettant d'évaluer la compatibilité entre altérations et notes, appoggiatures et notes, points et notes.

3.2.1 Compatibilité graphique altération / note

Une altération accidentelle doit être placée devant une note et à la même hauteur. Mais les décalages peuvent varier horizontalement et verticalement, suivant la densité des symboles dans la partition notamment. La définition des fonctions (FIG 4) permettant de calculer le coefficient de compatibilité entre une altération s_n de classe k et une note s_{n+1} de classe k' , tient compte de ces observations :

si $f_1(\Delta l) > 0$ et $f_2(\Delta h) > 0$:

$$C_p(s_n^k, s_{n+1}^{k'}) = \alpha_1 f_1(\Delta l) + \alpha_2 f_2(\Delta h) \quad (3)$$

sinon : $C_p(s_n^k, s_{n+1}^{k'}) = 0$

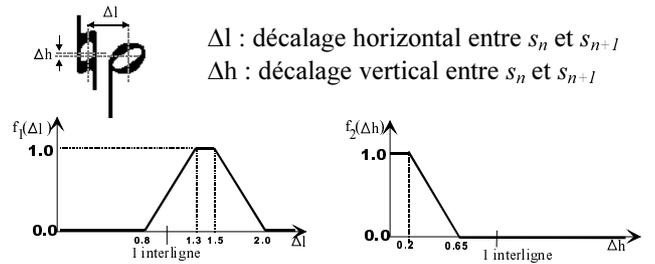


FIG 4 : compatibilité graphique altération / note

Ce coefficient permet ainsi d'évaluer et de comparer des compatibilités de position calculées pour chaque altération candidate, et présente l'avantage de ne pas totalement exclure certains cas d'altérations théoriquement mal positionnées. La moyenne pondérée représente un compromis entre les deux critères et les coefficients α_1 (0.8) et α_2 (0.2) expriment leur importance relative

3.2.2 Compatibilité graphique appoggiature / note

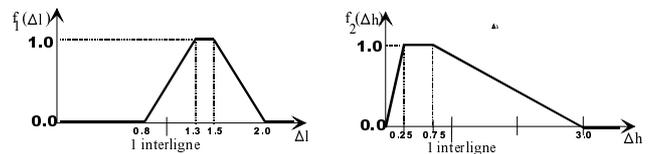


FIG 5 : compatibilité graphique appoggiature / note

Le coefficient de compatibilité entre une appoggiature et la note qui la suit est également calculé par l'équation 3, avec f_1 et f_2 donnés sur la figure 5, et $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$.

3.2.3 Compatibilité graphique point / note

Les points allongeant la durée des notes sont recherchés

dans l'étape d'analyse dans une petite zone suivant la tête d'une note (FIG 6).

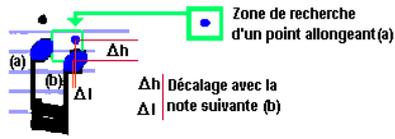


FIG 6 : Recherche d'un point de durée

Afin d'éviter les confusions entre notes piquées et notes pointées, le coefficient de compatibilité est calculé entre un point et la note qui suit par (4) avec les fonctions suivantes:

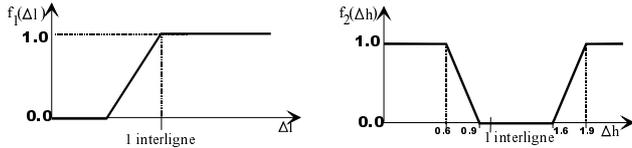


FIG 7 : compatibilité graphique point / note

$$C_p(s_n^k, s_{n+1}^{k'}) = \text{Max}(f_1(\Delta l), f_2(\Delta h)) \quad (4)$$

Cette fois le max correspond à l'idée que la compatibilité est bonne dès qu'un critère est bien satisfait.

3.3 Compatibilité syntaxique

Elle permet d'introduire le respect des règles strictes d'écriture de la musique ou des règles d'usage beaucoup plus souples permettant de faciliter la lecture.

3.3.1 Altérations de tonalité

La succession des dièses ou des bémols en début de portée doit indiquer la tonalité donnée dans notre programme en paramètre d'entrée. Il s'agit d'une règle stricte. On affecte donc d'un coefficient de compatibilité syntaxique égal à 1.0 les altérations de début de portée satisfaisant à cette règle, d'un coefficient nul les autres hypothèses.

3.3.2 Altérations accidentelles et tonalité

On peut définir une compatibilité entre la détection d'une altération, la tonalité et la détection d'altérations la précédant, dans ou hors de la mesure. Le tableau 2 donne deux jeux de coefficients : colonne blanche, le coefficient $C_s(s_n)$ affecté à l'altération s_n précédée d'une autre altération s_m de même hauteur ; colonne grise, même configuration avec un dièse à la clé à cette hauteur.

TAB 2 : jeux de coefficients $C_s(s_n)$ de compatibilité entre altérations accidentelles

$s_m \downarrow s_n \rightarrow$	Dièse		Bécarre		Bémol	
Aucune	0.75	0.5	0.5	1.0	0.75	0.0
Dièse	0.5	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0
Bécarre	0.75	1.0	0.5	0.5	0.75	0.0
Bémol	0.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.0

Il illustre que certaines règles ne sont pas strictes : par exemple, le rappel d'une altération dans une même mesure est affecté d'un coefficient moyen de 0.5, indiquant que cette

hypothèse est possible mais non obligatoire.

3.3.3 Métrique

D'autres fonctions de compatibilité syntaxique peuvent être définies. Notamment, il faut exploiter les regroupements usuels de notes en temps ou fractions de temps afin de fiabiliser la reconnaissance de la durée des notes. Une modélisation floue est en cours d'étude. Pour l'instant, on utilise la méthode indiquée dans [4] pouvant introduire différentes hypothèses de durée pour les notes groupées. Enfin, une contrainte stricte utilisée dans l'algorithme de décision est celle du nombre de temps par mesure, donné en paramètre d'entrée de notre programme.

4. Décision

Elle fournit le résultat global d'interprétation et doit être exprimée comme une optimisation globale de tous les critères. Cette optimisation est pour l'instant réalisée sur chaque mesure. L'algorithme teste chaque configuration j d'hypothèses regroupant les objets s_n , classés en classe $k(n,j)$.

4.1 Vérification de la cohérence

Une configuration j regroupant $N(j)$ hypothèses est cohérente si elle satisfait aux conditions suivantes:

- Un point doit être dans la zone de recherche d'une note qui le précède immédiatement.
- Une altération doit être suivie d'une note.
- Un changement de durée de note est possible si la combinaison respecte l'hypothèse sous-jacente de groupement de notes.

Les configurations incohérentes sont d'emblée abandonnées.

4.2 Fusion des coefficients

Pour les altérations accidentelles, un coefficient de compatibilité global est calculé par combinaison des coefficients de compatibilité graphique et syntaxique:

$$C_t^{(j)}(s_n) = \frac{1}{2} [C_p(s_n^{k(n,j)}, s_{n+1}^{k(n+1,j)}) + C_s(s_n^{k(n,j)})] \quad (5)$$

Les appoggiatures étant généralement ambiguës avec les altérations, on homogénéise les coefficients par :

$$C_t^{(j)}(s_n) = \frac{1}{2} [C_p(s_n^{k(n,j)}, s_{n+1}^{k(n+1,j)}) + 0.5] \quad (6)$$

Pour les altérations de tonalité, le coefficient de compatibilité global est égal au coefficient de compatibilité syntaxique. Pour les points, il est égal au coefficient de compatibilité graphique. Tous les autres objets, pour lesquels aucun critère spécifique n'a encore été exprimé, sont affectés d'un coefficient de compatibilité de 0.5.

4.3 Critères de décision

La combinaison retenue est celle qui satisfait au mieux aux critères de décision qui sont, par ordre de priorité :

- Aucun coefficient de compatibilité n'est nul.

- Le nombre de temps dans la mesure est correct.
- La fonction $\text{Conf}(j)$ qui combine $C_t^{(j)}(s_n)$ et les degrés de possibilité des classes $\pi_{k(n,j)}(s_n)$ est maximisée.

$$\text{Conf}(j) = \frac{1}{N(j)} \sum_{n=0}^{N(j)-1} [\pi_{k(n,j)}(s_n) + C_t^{(j)}(s_n)] \quad (7)$$

- Le nombre de corrections (H1 non choisi) est minimal.

5. Résultats

5.1 Exemple et comparaison

Illustrons sur notre exemple (FIG 1) le calcul des différents coefficients définis précédemment. Le tableau 3 indique les degrés de possibilité. On peut remarquer que les valeurs obtenues pour les classes concurrentes sont nettement plus différenciées que les scores de corrélation initiaux.

TAB 3 : Hypothèses et coefficients de compatibilité

	1	2	3	A	B	C	4	5
H1	\natural 0.60	\flat 0.00	\natural 0.50	-	-	-	\flat 0.00	\sharp 0.55
H2	\sharp 0.28	\sharp 0.35	\flat 0.00	\natural	\flat 0.80	\flat 0.1	\sharp 0.55	\flat 0.00
H3	\flat 0.00	\flat 0.00	-	\flat	-	-	\flat 0.00	-

Les coefficients de compatibilité doivent être calculés pour chaque configuration. Deux d'entre elles sont illustrées par les tableaux 4 et 5 pour les objets 1 à 5 :

TAB 4 : Calcul des coefficients de compatibilité (1)

	1 \natural	2 \sharp	3 \natural	A \natural	B \flat	C \flat	4 \sharp	5 \sharp
Cp	1.0	0.96	0.8		1.0	-	0.92	0.98
Cs	1.0	0.5				-	0.75	1.0
Ct	1.0	0.73	0.65	0.5	1.0	-	0.835	0.99

TAB 5 : Calcul des coefficients de compatibilité (2)

	1 \sharp	2 \flat	3 \flat	A \natural	B \flat	C \flat	4 \flat	5 \sharp
Cp	1.0	0.0	0.38		1.0	0.0		0.98
Cs	0.5	0.0	0.75					0.5
Ct	0.75	0.0	0.56	0.5	1.0	0.0	0.5	0.74

Par ailleurs, toutes les configurations incluant la succession des dièses indiquant la tonalité auront un coefficient de compatibilité égal à 1.0 pour ces quatre objets.

La solution sur la mesure produite par notre programme (FIG 7) est totalement correcte :

Durée des notes:
 - 1/2 ≡ 1/8
 - 1/4 ≡ 1/16

Hypothèse H1 choisie Autre hypothèse choisie

FIG 7 : Résultats de notre programme (pas d'erreur)

On observe que les coefficients C_i sont favorables à la bonne solution (TAB 4), et que cette modélisation permet de prendre en compte des interactions non locales entre les altérations : le choix bécarre pour l'objet 1 renforce la

compatibilité de l'objet 5.

FIG 8 : Résultats de SmartScore (3 erreurs)

La figure 8 montre les résultats obtenus avec le programme de démonstration SmartScore [6] pour Windows. Il est intéressant de noter que ce résultat était présent dans l'ensemble des combinaisons possibles fourni par l'étape d'analyse de notre programme, mais qu'il n'a pas été retenu : d'une part parce que les degrés de possibilité et les coefficients de compatibilité sur les bémols étaient défavorables, d'autre part, parce que le point B incertain (hypothèse H2) a bien été réintroduit dans notre solution, car il permet de satisfaire à la métrique.

5.2 Taux de reconnaissance

La méthode proposée permet de lever des ambiguïtés et de corriger des erreurs de reconnaissance, par rapport à une décision prise directement sur les résultats de corrélation. Par exemple, l'introduction des distributions de possibilité et des règles sur les altérations permet d'améliorer de 4.9% le taux de reconnaissance sur ces objets, et d'atteindre un taux de réussite de 97.6%. Ces tests ont été réalisés sur une cinquantaine de partitions monodiques issues d'éditions variées, comprenant plus de 2000 altérations.

6. Conclusion

Ces premiers résultats montrent la pertinence de l'approche proposée qui combine des informations numériques sur la ressemblance aux prototypes des classes et sur la cohérence graphique, et des informations syntaxiques exprimées avec différents degrés de souplesse. Nous les étendons actuellement pour prendre en compte des règles plus précises sur la métrique.

Références

- [1] D. Blostein, H. Baird. *A critical survey of music image analysis*. Structured Document Image Analysis, éd. H.S.Baird at al., 405-434, Springer Verlag, 1992
- [2] B. Couasnon, B. Rétif. *Using a grammar for a reliable full score recognition system*. Proc. of ICMC, 187-194, Banff, Canada, 1995.
- [3] M.V. Stückelberg, D. Doermann. *On musical score recognition using probabilistic reasoning*. Proc. of ICDAR, 115-118, Bangalore, India, 1999.
- [4] F. Rossant. *Une Méthode Globale pour la Reconnaissance de Partitions Musicales*. Actes du GRETSI, Toulouse, France, 2001.
- [5] D. Dubois, H. Prade, *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press, New-York, 1980.
- [6] SmartScore Demo for Win95/98/NT Version 1.3: <http://www.musitek.com/demopage.html>