

Université de Nice Sophia-Antipolis  
Laboratoire de Psychologie Expérimentale  
et Quantitative (EA 1189)\*

## L'EXPERTISE DANS LA LECTURE MUSICALE : INTÉGRATION INTERMODALE

Véronique DRAI-ZERBIB et Thierry BACCINO<sup>1</sup>

**SUMMARY** : *Expertise in musical reading : cross-modal integration*

*This article presents an experiment using eye-tracking analysis to describe the role of expertise in musical sight-reading, particularly, the construction of a retrieval structure (Ericsson and Kintsch, 1995) able to simplify access to musical knowledge. First, participants had to listen to piano scores and then to read and perform the score. Two versions of scores were used : with or without slurs either during the listening phase (auditory modality) or during the reading phase (visual modality). Results show that skilled readers have very low sensitivity to the written form of the score and instead reactivate a representation of the musical passage from the material listened to. In contrast, less skilled readers (novices) seem to be very dependent on the written code and on the input modality (auditory vs visual) and must build a new representation based on visual cues. Findings are analysed according to the C/I model of text comprehension (Kintsch, 1998) and theory of long term working memory (Ericsson and Kintsch, 1995).*

*Key words* : *Musical reading, eye movements, psychology of music, musical expertise, long term working memory.*

\* 21, avenue des Diables bleus, 06357 Nice. Correspondance : baccino@unice.fr ; drai-zerbib@unice.fr.

1. Remerciements : Nous remercions Gérard Gastinel, directeur du Conservatoire national de région de Nice, pour nous avoir permis de mener nos recherches au sein de son établissement, Jean-Louis Luzignant, professeur d'harmonie au CNR de Nice, pour les compositions originales qu'il a bien voulu mettre à notre disposition, Isabelle Servant, professeur de musique à l'UFEM de Nice, pour le choix et l'arrangement des partitions classiques\*, Laurence Rocher, pianiste et professeur de formation musicale au CNR de région de Nice pour l'interprétation du matériel musical, Françoise Chaffiaud, professeur de déchiffrage piano au CNR de région de Nice ainsi que tous les musiciens.

## INTRODUCTION

Lire une partition pour la première fois ou avec très peu de préparation avant de l'interpréter représente une activité courante chez les musiciens, notamment ceux qui jouent en orchestre et les accompagnateurs. C'est ce que l'on appelle la lecture à vue, et la maîtrise de cette capacité, paradoxalement, ne semble pas fortement liée à celle des performances musicales (Wolf, 1976). Certains virtuoses instrumentaux se révèlent de piètres lecteurs de partitions (Ericsson et Lehman, 1994) et inversement, ce qui entraîne logiquement une grande variabilité individuelle. Une question importante concerne donc les sources de cette variabilité et si possible la description des mécanismes cognitifs qui fondent cette expertise en lecture à vue. On classe généralement cette activité dans les tâches de transcription (Sloboda, 1982) semblable à la lecture dactylographiée ou à la lecture à voix haute qui nécessite une phase de production (interprétation de l'œuvre) et l'on suppose que l'expertise en lecture à vue dénote davantage des différences dans l'encodage et la récupération d'information que dans les capacités de réalisation musicale. Dans la littérature, plusieurs points de vue s'affrontent selon le niveau de traitement cognitif envisagé. Les capacités supérieures d'encodage de l'expert peuvent être appréhendées soit comme une adaptation des mécanismes oculomoteurs (Goolsby, 1994 a ; Rayner et Pollatsek, 1997 ; Truitt, Clifton, Pollatsek et Rayner, 1997), soit comme un processus de reconnaissance de formes plus efficace (Waters, Townsend et Underwood, 1998 ; Waters et Underwood, 1998 ; Waters, Underwood et Findlay, 1997) ou bien comme la faculté d'accéder rapidement à un ensemble d'informations en mémoire à long terme (Ericsson et Kintsch, 1995 ; Williamon et Valentine, 2002).

Lorsque l'on considère la perspective oculomotrice, les musiciens experts se différencient par le nombre, la durée et la position des fixations oculaires sur la portée, mais également selon l'écart existant entre le point de fixation et le point de réalisation motrice. Cet écart est appelé *empan œil-main* lorsqu'il s'agit d'interpréter une partition avec un clavier ou *empan œil-voix* pour le chant. Il est à différencier de l'*empan visuel* qui représente la quantité d'information perçue en vision parafovéale lors

de la lecture, quelle que soit l'utilité de cette information pour la réalisation de l'œuvre. Dans une étude déjà ancienne, Weaver (1943) trouve que les pianistes expérimentés faisaient en moyenne moins de fixations qu'il y avait de notes sur la portée et notamment que la durée des fixations et la taille de l'empan œil-main variaient en fonction de la difficulté du fragment musical. En outre, les séquences des fixations oculaires étaient différentes selon le type de partition musicale. Lorsque le fragment était un chant choral, les musiciens effectuaient des séquences de fixation verticales sur chaque accord, fixant d'abord ceux situés en haut (main droite) et puis allant en bas (main gauche) avant de sauter à l'accord suivant (parcours en créneaux) : au contraire, lorsque l'écriture était contrapuntique, ils faisaient d'abord une série de saccades horizontales qui suivaient la ligne mélodique et puis une autre série de fixations horizontales pour la seconde mélodie. Plus récemment, Goolsby (1989, 1994 *a, b*) a montré que les musiciens experts réalisent davantage de saccades régressives sur la partition qu'ils doivent chanter et ont un empan œil-voix égal à 4 ou 5 notes. À l'inverse, les novices fixent plus longuement la partition en s'attardant surtout sur les notes et les silences. Kinsler et Carpenter (1995) ont noté que la durée des fixations était en partie liée au tempo de la partition. Lorsque le tempo augmente, les durées de fixation diminuent, et la taille des saccades augmente en proportion. En outre, les notes les plus courtes sont moins fixées que les notes les plus longues. Si l'on compare avec la lecture textuelle, les durées de fixation progressives (gauche-droite) et régressives (droite-gauche) sont plus longues dans la lecture musicale (240 ms pour la lecture textuelle *vs* 375 ms pour la lecture musicale), et ces durées témoignent de la difficulté des traitements opérés. Les fixations durent plus longtemps sur les partitions à cause de la réalisation simultanée à la lecture (chanter ou jouer sur clavier) car lorsqu'on demande à des musiciens de lire seulement une partition sans l'interpréter, les durées de fixation sont similaires à la lecture de textes (Servant et Baccino, 1999). En utilisant la technique de fenêtre mobile qui consiste à moduler la quantité d'information visible en parafovéa, Truitt *et al.* (1997) ont mesuré l'empan œil-main de pianistes et ils montrent qu'il est en moyenne égal à un ou deux temps, mais surtout ils notent un empan œil-main plus important pour les pianistes experts. Enfin, Rayner et Pollatsek (1997) ont tenté de distinguer

l'empan visuel de l'empan œil-main, et leurs résultats indiquent que l'effet de l'expertise se différencie uniquement sur la taille de l'empan œil-main qui est plus large chez les experts (2 temps) que les novices (1 temps), alors que l'empan visuel reste identique (3 ou 4 temps). Pour les auteurs, l'origine de ces variations oculomotrices provient des limites de la mémoire à court terme qui caractérisent toutes les tâches de transcription. Le tableau 1 résume les principaux paramètres moyens trouvés dans la littérature sur les mouvements oculaires et les différences observées entre experts et non-experts.

TABLEAU 1. — *Récapitulatif des paramètres oculaires moyens*

(DFix = Durée moyenne d'une fixation ;

SReg = % de saccades régressives)

Review of mean parameters of eye movements

(DFix = Mean Fixation Duration ;

SReg = % regressive saccades)

Auteur(s)	Tâche	Musicien expert	Musicien novice
Weaver (1943)	Lecture à vue (Lire et réaliser sur clavier)	DFix = 365 ... 460 ms SReg = 7 à 23 % (Œil/main < 8 notes)	
Goolsby (1994 a)	Lecture à vue (Lire et chanter)	DFix = 377 ms SReg = 28 %	DFix = 474 ms SReg = 24 %
Goolsby (1994 b)	Lecture à vue (Lire et chanter)	DFix = 325 ms SReg = 35 %	DFix = 319 ms SReg = 29 %
Truitt <i>et al.</i> (1997)	Lecture à vue (Lire et réaliser sur clavier)	DFix = 356 ms Nreg/mesure = 1,25 (25 %)	DFix = 440 ms Nreg/mesure = 1,24 (25 %)
Servant <i>et al.</i> (1999)	Lecture de mélodies originales de Beethoven sans réalisation	DFix = 242 ms Sreg = 26 %	

L'expert peut également être celui qui emploie un processus de reconnaissance de formes plus performant pour identifier rapidement un fragment musical et/ou est capable de générer une représentation auditive à partir d'une séquence visuelle

(Waters *et al.*, 1998 ; Waters et Underwood, 1998 ; Waters *et al.*, 1997). Waters *et al.* ont ainsi montré en employant une tâche d'appariement de formes que les musiciens expérimentés reconnaissent des notes ou des groupes de notes très rapidement sur la portée en un simple « coup d'œil ». Ils supposent ainsi que les experts développent un mécanisme d'encodage plus performant qui consisterait à reconnaître la forme ou le profil d'un groupe de notes plutôt que de s'astreindre à lire toutes les notes de la portée. Ainsi, ils pourraient repérer des points saillants sur la portée qui faciliteraient cette identification rapide telle que le rapport des intervalles entre les notes ou une forme globale (montée chromatique, liaison entre des notes...). Toutefois, les expériences de Waters *et al.* ne portent que sur des fragments musicaux simples réduits à une simple ligne mélodique ou à des portées de deux mesures, et ce matériel peut davantage impliquer une activation visuelle rapide d'un groupe de notes (la tâche expérimentale consistait à dire si deux séquences étaient identiques ou différentes) qu'une lecture proprement dite nécessitant l'accès à une représentation de plus haut niveau.

Enfin, l'expertise peut se noter dans la capacité d'accession à la mémoire à long terme dans la perspective définie par Ericsson et al (1995). Ces auteurs postulent que l'expertise, fruit d'un apprentissage répété, dénote l'emploi de stratégies d'encodage spécifiques à un domaine qui optimisent le rappel ultérieur de l'information. Ces stratégies permettent d'anticiper la sélection des informations pertinentes préalablement encodées augmentant ainsi considérablement la capacité de la mémoire de travail. Les experts ont ainsi développé des stratégies d'encodage élaborées en construisant des structures de connaissances organisées qui leur permettraient à la fois d'encoder et de récupérer rapidement l'information en mémoire à long terme. Ces structures de connaissances sont appelées des structures de récupération dans lesquelles sont encodées et stockées des informations associées à leurs indices de récupération ce qui a conduit à la notion de mémoire de travail à long terme (MTLT). Toutefois, ce postulat de MTLT a été élaboré pour rendre compte de la lecture textuelle, et l'on peut se demander si celui-ci correspond également à la lecture musicale. Williamon et Valentine (2002) montrent que les musiciens indexent et catégorisent rapidement l'information musicale en unités signifiantes. Les musiciens concertistes exécutent des compositions en utilisant des structures de connaissance

organisées hiérarchiquement et construites à partir de l'information contenue dans la partition (Clarke, 1988). Notamment, pour jouer une pièce de mémoire, le musicien décomposerait la partition en sections significatives qui structureraient sa connaissance de l'œuvre. Plusieurs questions restent néanmoins ouvertes sur le statut des structures de récupération dans la lecture musicale.

Se situant dans le fil de cette dernière approche, cet article propose d'évaluer la nature des structures de récupération dans l'expertise en lecture musicale sur deux points précis : 1 / quel est le statut du code écrit dans l'activation des structures de récupération et notamment le rôle d'une marque de phrasé comme indice de récupération pour des musiciens experts ; 2 / quel est l'impact d'une représentation auditive activée préalablement à la lecture musicale dans l'établissement de l'expertise. Le premier point fait référence au fait qu'en lecture textuelle, l'expertise conduit à mobiliser davantage les processus inférentiels que les mécanismes d'extraction visuelle de l'information. Les lecteurs experts apparaissent moins dépendants du code écrit car ils reconstruisent l'information à partir de leurs connaissances mémorisées (Birkmire, 1985 ; Walter Kintsch, Welsch, Schmalhofer et Zimny, 1990), cela paraît également être le cas en musique (Waters *et al.*, 1997). Les musiciens experts doivent ainsi être relativement distants de marques notationnelles telles que certaines notations de phrasé car ils sont capables de reconstruire l'information manquante en mobilisant rapidement une représentation implicite de l'œuvre en mémoire (*i.e.*, structure de récupération). De plus, cette relative indépendance vis-à-vis du code écrit devrait être amplifiée chez les experts lorsqu'on leur fournit au préalable une représentation auditive de l'œuvre. Ce second point fait référence au fait que l'expertise doit pouvoir se définir comme la capacité à construire une représentation amodale de la phrase musicale, c'est-à-dire la capacité à se représenter une œuvre quelle que soit la modalité d'entrée visuelle ou auditive. Cela suggérerait en outre que les structures de récupération postulée chez les experts seraient de nature amodale.

En résumé, l'expérience porte sur l'enregistrement des mouvements oculaires lors de la lecture musicale afin de montrer : 1 / la mobilisation de structures de récupération chez les experts aptes à compléter, voire supplanter la prise d'information visuelle ; 2 / la nature amodale de ces structures de récupération chez les experts.

## MÉTHODOLOGIE

### PARTICIPANTS

Les participants de cette expérience sont tous pianistes élèves ou professeurs au Conservatoire national de région de Nice et ont constitué un groupe de 20 *pianistes experts* i.e. d'un niveau confirmé de lecture musicale, et un groupe de 7 *pianistes non experts* i.e. d'un faible niveau de lecture musicale.

L'expertise en lecture musicale a été définie par rapport au nombre de fixations oculaires sur l'ensemble des partitions à partir duquel deux groupes de sujets ont été isolés par une méthode statistique de classification (Méthode des *K-Means*). Cette variable dépendante a été choisie pour effectuer la classification car : 1 / l'expérience avait pour but de mesurer l'expertise dans la lecture des partitions et non dans l'interprétation musicale ; 2 / de nombreux résultats expérimentaux sur la lecture textuelle ont montré une forte corrélation entre l'expertise et le nombre de fixations oculaires (Rayner, 1998 ; Rayner et Pollatsek, 1997). Compte tenu de cet objectif (lecture plutôt qu'interprétation), la classification statistique comme méthode de constitution de groupes d'experts nous a paru préférable qu'une classification qualitative fondée sur le seul jugement des professionnels.

La classification réalisée sur le nombre de fixations oculaires a déterminé deux groupes de sujets : 20 experts (moyenne : 3,9 ; écart type : 3,6) et 7 non-experts (moyenne : 11,7 ; écart type : 9,8). L'analyse qualitative des sujets classés en deux groupes révèle que les 7 sujets non experts sont tous élèves en deuxième cycle de piano au CNR de région de Nice (six années d'étude), tandis que le groupe des experts est constitué par des pianistes professionnels (professeurs ou accompagnateurs), par des élèves ayant fini leurs études au CNR de Nice et étant actuellement élèves au Conservatoire national supérieur de Paris, ou par des élèves pianistes, eux aussi de deuxième cycle au CNR. Cela indique que l'analyse qualitative corrobore essentiellement la classification quantitative observée.

### MATÉRIEL MUSICAL

Le matériel expérimental est constitué de 16 partitions de piano composées chacune de quatre mesures. Ces 16 partitions sont écrites sur deux portées parallèles : une portée pour la ligne mélodique (jouée à la main droite) et une portée pour la ligne de basse (jouée à la main gauche). Les partitions proviennent des compositeurs suivants : Czerny, Bartok, Scarlatti, et certaines ont été spécialement composées pour l'expérience<sup>1</sup>. Pour

1. Partitions écrites par Jean-Louis Luzignat, professeur d'harmonie au CNR de région de Nice.

les besoins de l'expérience, les 16 partitions sont déclinées en deux versions comprenant soit des marques de phrasé, soit dépourvues de phrasé (voir annexe 1). Elles ont été saisies sur informatique grâce au logiciel d'écriture musicale Harmony Assistant™ et sauvegardées en format BMP pour présentation sur écran. Les 16 partitions ont été également enregistrées sur piste magnétique (MiniDisc Sony) avec une interprétation qui ignorait le phrasé ou au contraire accentuait cet aspect. Les enregistrements ont été ensuite analysés par le logiciel Sound Forge™ afin d'éliminer tout bruit parasite et transcrits sous forme de fichier informatique (format Wav).

#### APPAREILLAGE OCULOMÉTRIQUE

La phase de lecture a été réalisée en enregistrant les mouvements de l'œil dominant des sujets. Les portées musicales sont présentées au centre d'un écran d'ordinateur 15 pouces (affichage en 1 024 par 768 pixels) sous lequel est placée une caméra infra rouge qui filme les mouvements des yeux. Les participants sont placés à 60 cm de l'écran de présentation et afin d'éviter le parasitage des données oculaires par des mouvements de la tête, celle-ci était calée sur une mentonnière. L'enregistrement des mouvements oculaires permet de pister en temps réel les processus cognitifs mis en jeu par les sujets afin d'explorer leur stratégie de lecture musicale (Baccino, 2002). Les tracés oculaires ont été enregistrés par un système Eye-Gaze (LC technologies : Fairfax). Ce système oculométrique, fondé sur la technique du reflet cornéen, permet un enregistrement des données oculaires à 60 hertz (toutes les 17 millisecondes). Le principe consiste à envoyer au centre de la pupille une lumière infrarouge éclairant fortement cette zone (*i.e.*, équivalent à l'effet « yeux rouges » d'un flash) et calculer via un programme de traitement d'image couplé à une caméra vidéo le centre pupillaire. Ce centre est repéré par rapport à la détection des bords de la pupille (*i.e.*, le programme repère sur l'image le cercle formé par la pupille). Le traitement informatique de l'image numérisée permet de pister en temps réel les déplacements du centre pupillaire. L'acquisition des données est précédée par une phrase de calibrage, consistant en une séquence de fixations acquises à partir de dix points de référence d'abord sur écran noir puis sur écran blanc. Ce calibrage permet la mise en correspondance des mouvements des yeux avec le matériel présenté sur l'écran. La procédure consiste pour le sujet à fixer successivement des points apparaissant sur l'écran et à enregistrer les coordonnées spatiales de ces points. Ces coordonnées définissent le plan dans lequel s'effectue l'enregistrement des mouvements des yeux et elles servent, lors du traitement des données, à projeter géométriquement les positions de l'œil dans le plan des stimuli. Lors de la lecture, les données représentant les coordonnées du déplacement de l'œil sont stockées en temps réel dans des

fichiers informatiques pour les analyses ultérieures qui détermineront à la fois le parcours spatial : position des fixations, trajectoire de lecture (saccades progressives et régressives) et le décours temporel du regard : durée des fixations, durée des fixations progressives et régressives. Dans cette expérience, après chaque lecture de 4 portées, une nouvelle phase de calibrage était réalisée (soit en tout 4 calibrages durant le déroulement de l'expérience).

#### PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Chaque sujet est testé individuellement, après avoir pris connaissance de la consigne. La procédure se déroule en trois phases successives : phase d'écoute, phase de lecture et phase d'interprétation. Il s'agit par conséquent : 1 / d'écouter des fragments musicaux (les 16 portées) : 2 / de les lire, et 3 / de les jouer au piano. La phase d'écoute correspond à la prise d'information en modalité auditive et la phase de lecture en modalité visuelle. Après la phase de calibrage, le sujet clique sur la souris pour lancer la phase d'écoute suivie de la phase de lecture de la portée. Lors de l'écoute, une croix est affichée au centre de l'écran afin de maintenir l'attention du sujet et de conserver le calibrage effectué auparavant. Puis la portée à lire s'affiche. Lorsque le sujet a terminé d'explorer cette portée, il effectue un clic gauche sur la souris afin de poursuivre l'expérience. Les modalités auditives et visuelles ont été croisées selon le tableau 2 et seules les modalités non appariées avec le phrasé ont été conservées<sup>1</sup> :

TABLEAU 2. — Répartition du phrasé selon la phase d'écoute et la phase de lecture

Distribution of slur according to the listening phase and the reading phase

Modalité		Lecture	
		Phrasé	Non phrasé
Écoute	Phrasé		X
	Non Phrasé	X	

1. Les modalités appariées n'ont pas été ajoutées dans le plan expérimental pour deux raisons : 1 / l'objectif principal de l'étude était de faire apparaître une interaction Phrasé × Expertise et notamment de noter les perturbations induites par un changement de modalité chez les non-experts ; 2 / le plan étant à mesures répétées, l'ajout de deux conditions supplémentaires aurait alourdi considérablement la passation de l'expérience.

C'est seulement durant la tâche de lecture qu'on enregistre les mouvements oculaires. On ne précise pas aux sujets que la portée écoutée est identique à celle qui suit en lecture. Toutefois, comme le montre le tableau 2, lorsque la portée est écoutée avec un phrasé auditif, elle apparaît en lecture sans aucune marque visuelle de phrasé et inversement. Tous les sujets lisent les 16 partitions originales, mais 8 partitions sont écrites avec la liaison indiquant le phrasé et 8 autres sont écrites sans la liaison indiquant le phrasé. Les textes sont présentés en tirage aléatoire déterminé de manière à ce qu'une portée soit lue (et écoutée) un même nombre de fois avec et sans phrasé sur l'ensemble des sujets. Lors de la phase d'interprétation, les sujets jouent sur le clavier d'un piano numérique les 16 partitions qu'ils ont écoutées et lues précédemment, mais cette fois les partitions sont toutes présentées sans indication de phrasé et sur support papier. L'intérêt de cette troisième phase est double : 1 / elle permet de conserver un aspect naturel à l'expérience, le musicien lit la musique dans le but de la restituer sur son instrument ; 2 / elle contraint les sujets à porter attention à ce qu'ils lisent, sachant dès le début de l'expérience qu'ils devront jouer les 16 portées. Cette phase 3 constitue donc une tâche classique de restitution. On peut se demander par ailleurs si un transfert de connaissances suite à l'écoute et à la lecture des partitions dans les deux modalités différentes (phrasé et sans phrasé) s'est produit lors de l'exécution des 16 partitions toutes présentées sans indication de phrasé (la qualité de cette restitution n'a pas été évaluée dans cette expérience mais sera l'objet de développements ultérieurs).

#### DÉCOMPOSITION DES PARTITIONS EN ZONES D'INTÉRÊT

L'analyse des fixations oculaires dépendant de la zone sur laquelle le regard se pose, il a fallu diviser les portées en autant de zones d'intérêt susceptibles d'indiquer des variations dans la prise d'information visuelle. Nous avons défini 9 zones par partition prenant en compte respectivement :

- Zone clé : La clé, le chiffre indicateur de mesure et l'armure (CLE) ;
- Zone  $d1 \dots d4$  : Les mesures 1 à 4 de la ligne mélodique jouées à la main droite ;
- Zone  $g1 \dots g4$  : Les mesures 1 à 4 de la ligne de basse jouées à la main gauche (voir fig. 1).

Ce découpage de la portée en 9 zones correspond logiquement aux différentes régions visuellement distinctes d'une partition de piano de 4 mesures en distinguant la portée de la main droite de celle de la main gauche.

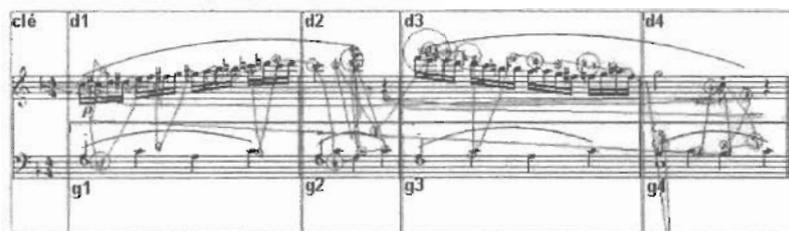


Fig. 1. — Tracé oculaire et découpage en 9 zones d'une portée  
(Clé, zones main gauche [g1 ... g4],  
zones main droite [d1 ... d4])

*Eye-Tracking and definition of 9 Regions of Interest (RoI)*  
(Key, right hand regions [d1 ... d4],  
left hand regions [g1 ... g4])

#### PLAN EXPÉRIMENTAL

Le plan expérimental est un plan quasi complet à mesures répétées qui comprend l'Expertise (Expert, Non-Expert) en variables inter-sujets, les marques de phrasé (Présence, Absence) et le type de zones analysées sur la portée (Zones clé ; d1 ... d4 – main droite ; g1 ... g4 – main gauche) en variables intra-sujets. Chaque condition de phrasé est répétée 8 fois par sujet (8 partitions différentes).

#### HYPOTHÈSES DE TRAVAIL, ATTENTES ET PRÉDICTIONS

**H1.** L'expert étant susceptible d'être moins lié au code écrit que le non-expert, on s'attend à ce que les différentes mesures obtenues sur les variables oculaires : nombre et durées totales des fixations, durées moyennes des fixations, nombre des fixations régressives, nombre et durées des fixations progressives, soient plus importantes chez les musiciens non experts que chez les musiciens experts. L'augmentation globale prédite sur ces variables dépendantes est la conséquence de la difficulté des traitements en lecture musicale et notamment chez les non-experts (Sloboda, 1982 ; Truitt *et al.*, 1997). Concernant les fixations régressives, cette prédiction est contraire aux résultats de Goolsby (1994 a, b') qui recueille plus de

1. Il est à noter également qu'un des deux articles de Goolsby (1994 b) dans lequel il reporte davantage de fixations régressives chez les experts ne s'appuie que sur l'observation de deux sujets (un expert vs un non-expert). Cette différence peut donc être simplement liée aux caractéristiques oculomotrices des sujets, et l'absence de traitement statistique associé ne permet certainement pas de conclure de manière définitive.

fixations régressives chez les musiciens experts lorsqu'ils chantaient en même temps qu'ils lisaient. Il est probable que l'activité de production orale supplémentaire comporte davantage de contrôles ou de boucles d'attentes oculaires ralentissant notamment la lecture.

**H2.** Le phrasé jouant le rôle d'une ponctuation dans l'écriture musicale, on s'attend à ce que le phrasé entraîne moins de fixations oculaires qu'en l'absence de phrasé.

**H3.** Le phrasé en tant que code écrit devrait être perçu différemment selon le niveau d'expertise. On s'attend donc à un effet d'interaction entre expertise et phrasé qui devrait montrer les effets simples suivants :

**H3 a.** Aucune différence sur les indicateurs oculaires entre Phrasé et Non-Phrasé pour les experts. Ceux-ci sont capables de s'affranchir du code écrit pour interpréter l'œuvre en accédant directement à une représentation implicite de l'œuvre.

**H3 b.** Une différence significative entre Phrasé et Non-Phrasé pour les non-experts : ceux-ci devraient être plus rapides pour lire les partitions avec phrasé que sans phrasé car ils sont très liés au code écrit et accèdent préférentiellement à la représentation explicite de la portée.

En effet, seuls les experts sont capables de construire le modèle de situation (MS) et ont les connaissances musicales nécessaires pour reconstruire le phrasé même quand il n'est pas explicitement marqué, alors que les non-experts ont accès à la base de texte uniquement (Caillies et Tapiéro, 1997 ; Kintsch, 1998). Contrairement aux musiciens non experts, les musiciens experts devraient lire les portées pianistes de la même manière, qu'elles soient écrites avec ou sans phrasé.

## RÉSULTATS

Des analyses de variance (ANOVA) ont été conduites sur 6 variables dépendantes : le nombre et les durées totales des fixations (indicateurs de la difficulté des traitements opérés), le nombre et les durées totales des fixations progressives et le nombre de fixations régressives (les durées des fixations régressives n'ont pas été analysées car 70 % des valeurs sont manquantes, dues à une absence de re-fixations). Les fixations progressives mesurent les traitements cognitifs initiaux opérés lors de la découverte du matériel musical, alors que les fixations régressives indiquent les traitements tardifs suite à une vérifica-

TABLEAU 3. — Nombre moyen de fixations, moyenne des durées totales de fixations (ms) et durées moyennes des fixations (ms) en fonction des 9 zones prédéfinies (Clé, g1 ... g4, d1 ... d4), de l'Expertise (E = Expert, NE = Non-Expert) et du Phrasé (P = Phrasé, NP = Non-Phrasé). Les écarts types apparaissent en italique. *Mean number of fixations, mean total fixation duration (ms) and mean fixation duration (ms) according to the 9 predefined regions, expertise (E = Expert, NE = Non-Expert) and slur (P = Slur, NP = Non-Slur).*

	Clé	Main gauche				Main droite			
		g1	g2	g3	g4	d1	d2	d3	d4
Nombre de fixations	P	1,3	3,2	3,2	2,6	6,7	4,8	5,9	4,3
		<i>0,51</i>	<i>0,5</i>	<i>0,51</i>	<i>0,3</i>	<i>1,06</i>	<i>0,67</i>	<i>1,04</i>	<i>0,92</i>
NP	P	1,6	3,4	3,5	2,6	6,2	5	5,9	3,9
		<i>0,51</i>	<i>0,63</i>	<i>0,51</i>	<i>0,3</i>	<i>1,06</i>	<i>0,67</i>	<i>1,04</i>	<i>0,92</i>
NEXP	P	3,3	10,6	10,4	7,3	18	12,4	16,7	8,1
		<i>0,87</i>	<i>1,14</i>	<i>0,76</i>	<i>0,57</i>	<i>1,73</i>	<i>0,97</i>	<i>1,17</i>	<i>1,02</i>
NP	P	3,3	9,1	10,5	8	22,1	13,9	19,1	12,9
		<i>0,86</i>	<i>1,07</i>	<i>0,85</i>	<i>0,52</i>	<i>1,79</i>	<i>1,13</i>	<i>1,77</i>	<i>1,55</i>
EXP	P	1,046	1,131	1,159	960	2,316	1,646	2,190	1,488
		<i>173,31</i>	<i>166,68</i>	<i>164,29</i>	<i>139,03</i>	<i>493,71</i>	<i>258,16</i>	<i>506,86</i>	<i>257,46</i>
NP	P	1,035	1,207	1,376	1,028	2,068	1,663	2,032	1,352
		<i>171,32</i>	<i>242,53</i>	<i>248,18</i>	<i>118,98</i>	<i>578,51</i>	<i>324,35</i>	<i>612,96</i>	<i>370,3</i>
NEXP	P	1,561	3,715	3,709	2,827	6,920	4,650	6,795	3,111
		<i>292,96</i>	<i>409,44</i>	<i>281,75</i>	<i>235,01</i>	<i>834,52</i>	<i>436,37</i>	<i>836,75</i>	<i>435,19</i>
NP	P	1,611	4,795	4,041	2,958	9,508	5,575	8,710	5,049
		<i>299,59</i>	<i>470,76</i>	<i>409,95</i>	<i>201,12</i>	<i>977,86</i>	<i>548,26</i>	<i>1036,09</i>	<i>625,92</i>
EXP	P	804	353	362	369	345	342	371	346
		<i>64,15</i>	<i>53,71</i>	<i>81,56</i>	<i>42,86</i>	<i>15,75</i>	<i>15,16</i>	<i>27,56</i>	<i>23,65</i>
NP	P	646	355	393	395	333	332	344	346
		<i>67,16</i>	<i>41,36</i>	<i>71,91</i>	<i>46,98</i>	<i>14,91</i>	<i>13,89</i>	<i>13,59</i>	<i>34,14</i>
NEXP	P	473	349	356	387	384	375	406	384
		<i>108,44</i>	<i>111,71</i>	<i>137,87</i>	<i>72,45</i>	<i>26,63</i>	<i>25,62</i>	<i>46,59</i>	<i>39,98</i>
NP	P	488	405	384	369	430	401	456	391
		<i>113,52</i>	<i>69,92</i>	<i>121,55</i>	<i>79,41</i>	<i>25,21</i>	<i>23,49</i>	<i>22,98</i>	<i>57,71</i>

tion ou à un complément d'information. La durée moyenne des fixations a également été analysée pour rendre compte des différences de traitements selon le niveau d'expertise indépendamment du nombre de fixations.

NOMBRE DE FIXATIONS, DURÉES TOTALES DE FIXATIONS  
ET DURÉE MOYENNE DES FIXATIONS

Le tableau 3 résume les résultats moyens obtenus sur ces trois variables dépendantes. Le nombre de fixation étant très corrélé avec la durée totale de fixation ( $r = .99$ ), seuls les effets obtenus sur le nombre de fixations et la durée moyenne des fixations seront décrits.

Contrairement à nos attentes, il n'y a pas d'effet principal significatif du phrasé pour le nombre total de fixations. Par contre, on peut noter un effet principal de l'expertise, les sujets experts réalisent en moyenne significativement moins de fixations que les sujets non experts,  $F(1,25) = 66,25$ ,  $p < .001$ . Ce résultat est conforme à l'hypothèse 1. On note également un effet principal significatif du type de zones inspectées,  $F(8,200) = 94,29$ ,  $p < .001$ . Les musiciens n'ont pas exploré de la même manière l'ensemble de la partition comme le montre la figure 2.

La clé est la zone la moins fixée comparée aux autres parties de la portée,  $F(1,25) = 208,85$ ,  $p < .001$ . Il est intéressant de constater que les zones de la ligne mélodique, ligne qui joue un rôle prépondérant puisqu'elle constitue le chant (notamment les zones  $d1$  à  $d4$  correspondant à la main droite au piano), présentent en moyenne un nombre de fixations plus important que les zones de la partie basse (zones  $g1$  à  $g4$  – main gauche),  $F(1,25) = 103,07$ ,  $p < .001$ . Concernant les effets d'interaction, il existe une interaction significative entre la zone fixée et le niveau d'expertise,  $F(8,200) = 27,14$ ,  $p < .001$ . Quelle que soit la zone inspectée, les sujets non experts réalisent en moyenne significativement plus de fixations que les sujets experts. Il y a également une interaction significative entre les zones inspectées et le facteur Phrasé,  $F(8,200) = 3,04$ ,  $p < .01$ , et enfin on note une double interaction significative entre les zones, le phrasé et l'expertise,  $F(8,200) = 4,35$ ,  $p < .001$  (voir fig. 3).

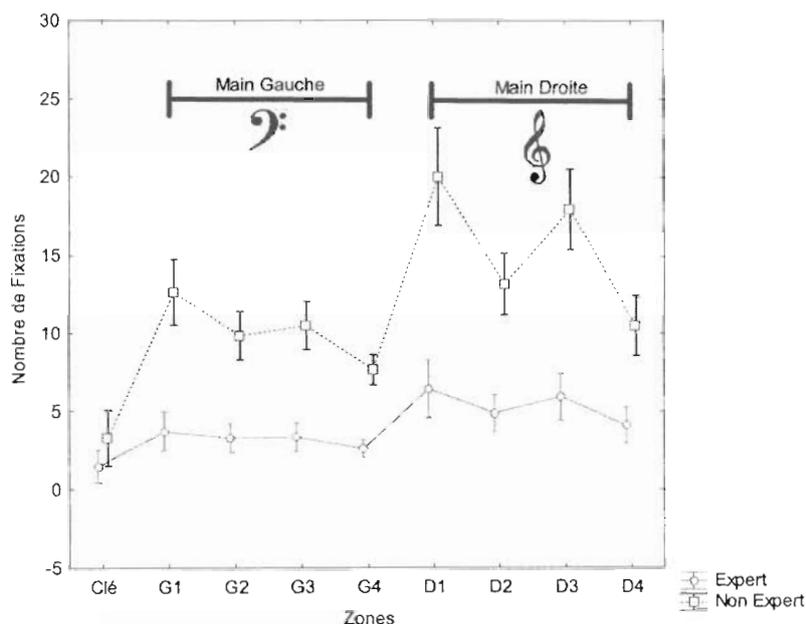


Fig. 2. — Nombre moyen de fixations sur les 9 zones d'intérêt de la portée soient : CLE. Main gauche [g1 ... g4]. Main droite [d1 ... d4] en fonction du niveau d'expertise  
*Mean number of fixations according to the 9 predefined regions and the level of expertise*

L'analyse des effets simples de cette double interaction montre que :

- Lorsque les lecteurs sont des musiciens non experts, le nombre moyen de fixations est plus important sur la ligne mélodique (d1 à d4) en l'absence de phrasé qu'en présence de ce même phrasé,  $F(1,25) = 4,43, p < .05$ .
- À l'inverse, le nombre de fixations sur la ligne mélodique ne diffère pas selon le type de phrasé lorsque les musiciens sont experts,  $F < 1$ .

Cet effet est notable uniquement sur la partie mélodique (main droite) qui est la zone la plus fixée car la plus importante, aucun effet n'existe sur la partie de basse (main gauche),  $F < 1$ . Ces deux résultats valident l'hypothèse 3 car ils suggèrent que

lorsque le phrasé n'est pas codé sur la partition, les experts ne semblent pas affectés par son absence (peut-être par une reconstruction de celui-ci), alors que les non-experts inspectent visuellement davantage la partition. Une interprétation est possible en mettant en perspective la phase d'écoute et la phase de lecture de l'expérience. Il faut se rappeler que la lecture d'une portée en condition sans phrasé suivait l'écoute de cette même partition avec phrasé et réciproquement. Il semble ainsi qu'un transfert de connaissances intermodales soit disponible chez le musicien expert et non disponible chez le non-expert. Chez les experts, le fait d'avoir entendu au préalable la partition avec ou sans phrasé ne provoque aucune variation lors de la lecture consécutive, et ils montrent un détachement certain vis-à-vis du code écrit. Ils n'éprouvent aucun besoin de vérifier si la notation du phrasé est présente sur la partition. À l'inverse, les musiciens non experts pour lesquels le transfert d'informations entre les deux phases est moins performant inspectent davantage la partition en l'absence de phrasé cherchant à vérifier sa réalité sur la partition. Cet aspect de transfert d'informations d'une représentation auditive vers une représentation visuelle est une des caractéristiques de l'expertise (Brodsky, Henik, Rubinstein et Zorman, 2003).

Cet effet fort de l'expertise sur la prise en compte du phrasé est confirmé en comparant le niveau d'expertise en fonction du type de phrasé. Les experts réalisent significativement moins de fixations que les non-experts à la fois lorsque la partition comporte du phrasé,  $F(1,25) = 37,68$ ,  $p < .001$ , ou n'en comporte pas,  $F(1,25) = 49,45$ ,  $p < .001$ .

L'analyse des durées moyennes de fixation confirme ces interprétations. Les experts fixent en moyenne moins longtemps que les non-experts,  $F(1,25) = 10,93$ ,  $p < .01$ . L'expertise en lecture musicale paraît donc associée à la fois à une diminution de la prise d'information (nombre de fixations), mais également à une diminution moyenne de la durée des fixations. En d'autres termes, les experts font moins de fixations, et celles-ci durent également moins longtemps. L'interaction entre expertise et phrasé, marginalement significative, est notamment très intéressante,  $F(1,25) = 3,43$ ,  $p = .07$ . Les durées des fixation des experts ne diffèrent pas selon la présence ou non de phrasé dans la partition ( $F < 1$ ), alors que les non-experts fixent en moyenne plus rapidement les partitions contenant des marques de phrasé,  $F(1,25) = 3,71$ ,  $p = .06$ . Même si les effets statistiques

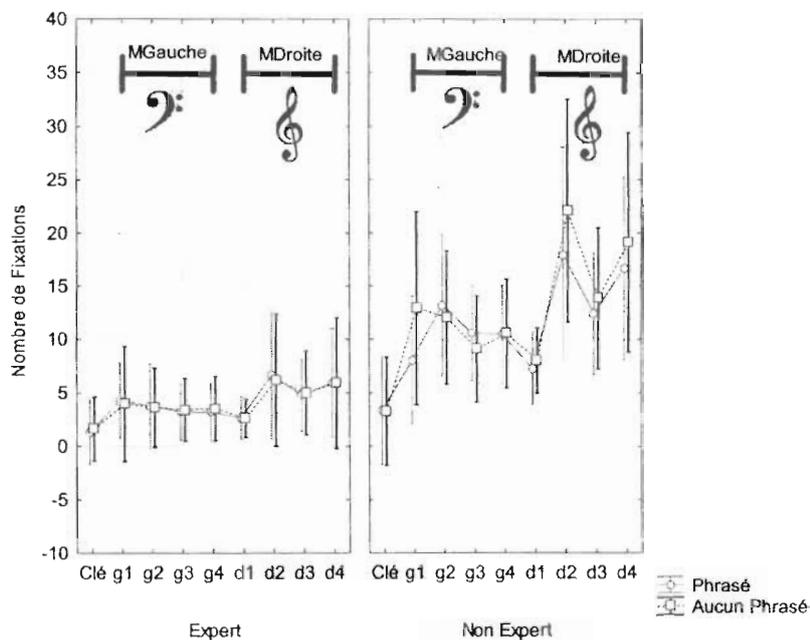


Fig. 3. — Nombre moyen de fixations selon le niveau d'expertise, le phrasé et les différentes zones de la portée (Main gauche, Main droite)

*Mean number of fixations according to expertise, slur and the 9 predefined regions (right hand and left hand)*

n'atteignent pas le seuil de significativité, ces données confirment l'hypothèse 3. À savoir que les experts sont relativement détachés du code écrit lorsqu'ils lisent une partition car ils compensent l'absence de marques de notation par la connaissance qu'ils ont de l'interprétation musicale. Cette connaissance est largement implicite puisqu'elle leur permet dans une certaine mesure de moduler la prise d'information. Les experts ne cherchent pas un appariement exact entre code écrit et réalisation auditive de l'œuvre, ils possèdent les structures mentales leur permettant de réaliser l'intégration finale de l'œuvre en vue de son interprétation. À l'inverse, les non-experts lisent plus rapidement les partitions contenant des marques de phrasé car elles corres-

TABLEAU 4. — Nombre moyen (en gras) et pourcentages (en italique) de fixations régressives pour les 9 zones prédéfinies de l'Expertise (E = Expert, NE = Non-Expert) et du Phrasé (P = Phrasé, NP = Non-Phrasé).  
*Mean number (in bold) and percentage (in italics) of regressive fixations according to the 9 predefined regions, Expertise (E = Expert, NE = Non-Expert) and Slur (P = Slur, NP = Non-Slur).*

	Clé	Main gauche					Main droite				
		e1	g2	g3	g4	d1	d2	d3	d4		
Nombre et % de fixations régressives	E:XP	P	<b>0,24</b> 18	<b>0,24</b> 7,5	<b>0,15</b> 4,7	<b>0,24</b> 9,2	<b>0,78</b> 11,6	<b>0,24</b> 5,8	<b>0,46</b> 7,8	<b>0,43</b> 10	
		NP	<b>0,31</b> 19,4	<b>0,26</b> 7,6	<b>0,27</b> 7,7	<b>0,25</b> 9,6	<b>0,69</b> 11,1	<b>0,4</b> 8	<b>0,53</b> 9	<b>0,36</b> 9,2	
	N:EXP	P	<b>0,52</b> 16,4	<b>1,48</b> 14	<b>1,63</b> 15,7	<b>1,21</b> 16,6	<b>3,02</b> 16,8	<b>1,45</b> 11,7	<b>2,54</b> 15,2	<b>1,11</b> 13,7	
		NP	<b>0,45</b> 13,6	<b>1,29</b> 14,2	<b>1,75</b> 16,7	<b>1,39</b> 17,4	<b>4,52</b> 20,3	<b>1,95</b> 14	<b>3,32</b> 17,4	<b>2,48</b> 19,2	

pondent à leurs attentes. Lorsque le phrasé n'est pas explicitement noté, ces non-experts éprouvent quelque difficulté en lecture, les traitements sont plus longs car l'accès à la représentation implicite de l'œuvre est soit absente, soit rendue plus complexe.

#### NOMBRE DE FIXATIONS RÉGRESSIVES

Le nombre de fixations régressives témoigne des traitements retardés ou des re-traitements du matériel musical. Le tableau 4 résume les résultats moyens obtenus ainsi que le pourcentage de fixations régressives par rapport au nombre total de fixations. Les analyses statistiques ont porté à la fois sur le nombre et sur le pourcentage de fixations régressives. Les effets étant similaires sur ces deux variables dépendantes, nous ne décrirons que ceux obtenus sur le nombre de fixations régressives (les effets sur le pourcentage de fixations régressives sont mis entre crochets).

Similairement aux mesures précédentes, on note un effet de l'expertise, les sujets experts réalisent en moyenne significativement moins de fixations régressives que les sujets non experts,  $F(1,25) = 35,45$ ,  $p < .001$  [5 % vs 12 % :  $F(1,25) = 15,68$ ,  $p < .001$ ], ainsi qu'un effet du type de zones inspectées,  $F(8,200) = 30,99$ ,  $p < .001$  [% :  $F(8,200) = 5,45$ ,  $p < .001$ ]. Un effet particulièrement intéressant est celui mesuré sur le phrasé. Le nombre moyen de fixations régressives est moins important lorsque le matériel musical contient des marques de phrasé plutôt qu'en l'absence de cette notation,  $F(1,25) = 5,14$ ,  $p < .05$  [8,1 % vs 9,2 % :  $F(1,25) = 4,13$ ,  $p = .05$ ]. Ce résultat est conforme aux effets attendus dans l'hypothèse 2 qui postulait une facilitation de la lecture pour les partitions contenant du phrasé. L'absence de phrasé occasionne plus de retours en arrière et de contrôles tardifs sur la partition suggérant ainsi son rôle de connecteur syntaxique qui facilite la liaison de l'ensemble des notes plutôt que d'un simple effet de ponctuation. La liaison est susceptible de faciliter la construction d'une structure « syntaxique » de la phrase musicale et permettre ultérieurement une meilleure interprétation. Si c'est le cas, cela implique notamment que le manque d'expertise du lecteur doit accroître le nombre de retours en l'absence de phrasé, les lecteurs non experts étant davantage liés au code écrit (et à la syntaxe) que les experts et donc plus sensibles à l'absence de notations sur la

portée. Cette hypothèse (H3) est confirmée par l'interaction significative entre le phrasé et le niveau d'expertise,  $F(1,25) = 4,52, p < .05$  [% :  $F(1,25) = 1,78$  ns] (voir fig. 4). Le nombre moyen de fixations régressives est significativement inférieur chez les lecteurs non experts en condition de phrasé qu'en l'absence de phrasé,  $F(1,25) = 6,52, p < .025$  [% :  $F(1,25) = 3,83, p = .06$ ]. À l'inverse, la différence n'est pas significative chez les lecteurs experts,  $F < 1$ .

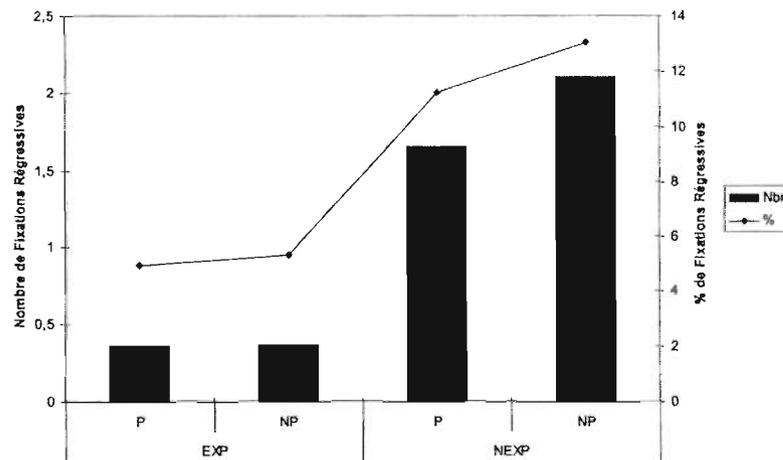


Fig. 4. — Nombre moyen et pourcentages de fixations régressives selon le niveau d'expertise et le phrasé

*Mean number and percentage of regressive fixations according to expertise and slur*

Deux autres interactions significatives sont enregistrées entre, d'une part, l'expertise et la zone lue sur la portée,  $F(8,200) = 16,69, p < .001$  et, d'autre part, le phrasé et la zone lue,  $F(8,200) = 3,51, p < .001$ . Ces deux effets précisent l'effet principal de la zone en montrant respectivement que celui-ci varie en fonction de l'expertise et de la notation du phrasé sur la partition. Enfin, la double interaction Phrasé  $\times$  Zones  $\times$  Expertise est également significative,  $F(8,200) = 4,23, p < .001$ . L'analyse des effets simples de cette interaction confirme le rôle

TABLEAU 5. — Nombre moyen de fixations progressives, moyenne des durées de fixations progressives (ms) et durées moyennes des fixations progressives (ms) pour les 9 zones prédéfinies (Clé, g1 ... g4, d1 ... d4), de l'Expertise (E = Expert, NE = Non-Expert) et du Phrasé (P = Phrasé, NP = Non-Phrasé). Le pourcentage de fixations progressives apparaît en italique.

*Mean number of progressive fixations, total progressive fixation duration (ms) and mean progressive fixation duration (ms) according to the 9 pre-defined regions, expertise (E = Expert, NE = Non-Expert) and Stur (P = Stur, NP = Non-Stur). Percentage of progressive fixations appears in italics.*

	Clé	Main gauche				Main droite			
		g1	g2	g3	g4	d1	d2	d3	d4
Nombre et % de Fixations Progressives	P	1,1 <i>82,1</i>	2,96 <i>92,5</i>	3,03 <i>95,3</i>	2,39 <i>90,9</i>	5,91 <i>88,5</i>	4,49 <i>93,9</i>	5,48 <i>92,3</i>	3,84 <i>89,9</i>
	NP	1,31 <i>80,9</i>	3,14 <i>92,1</i>	3,24 <i>92,3</i>	2,34 <i>90,1</i>	5,49 <i>88,8</i>	4,58 <i>92</i>	5,37 <i>91,1</i>	3,59 <i>91,1</i>
NEXP	P	2,77 <i>83,9</i>	9,09 <i>86</i>	8,82 <i>84,4</i>	6,05 <i>83,2</i>	14,96 <i>83,2</i>	10,98 <i>88,3</i>	14,18 <i>84,9</i>	6,96 <i>86,2</i>
	NP	2,82 <i>86,2</i>	10,18 <i>84,5</i>	8,79 <i>83,4</i>	6,64 <i>82,6</i>	17,55 <i>79,5</i>	11,93 <i>86</i>	15,8 <i>82,6</i>	10,45 <i>80,8</i>
Durée Totale des Fixations Progressives	P	814,7	1 040,1	1 086,1	871,6	2 015,5	1 551,6	2 010,9	1 359,7
	NP	843,9	1 265,6	1 255,1	932,1	1 828,7	1 522,8	1 811,2	1 212,7
NEXP	P	1 267,7	3 844,8	3 139,9	2 262,2	5 713,1	4 119,4	5 748,8	2 761,2
	NP	1 327,6	3 828,8	3 408,1	2 483,1	7 556,3	4 761,9	6 980,6	4 146,3
Durée Moyenne des Fixations Progressives	P	710,6	353,1	358,4	364,7	341	345,6	366,9	351,1
	NP	611,2	378,9	387,4	398,5	333,1	332,5	337,8	346,2
NEXP	P	457,6	341,7	356	373,9	381,9	375,2	405,4	396,7
	NP	470,7	376,1	387,7	373,9	430,6	399,2	411,8	396,8

prépondérant du phrasé chez les lecteurs non experts notamment sur la ligne mélodique (main droite). Sur cette partie, le nombre moyen de fixations régressives est plus important lorsque les portées contiennent un phrasé plutôt qu'en l'absence de phrasé, seulement si les lecteurs sont des non experts,  $F(1,25) = 10,19, p < .01$  ( $F < 1$  pour les experts).

#### NOMBRE ET DURÉE DES FIXATIONS PROGRESSIVES

Les données sur ces variables dépendantes sont similaires à celles obtenues sur les fixations totales, et les indicateurs statistiques sont résumés dans les tableaux 5 et 6 :

TABLEAU 6. — Effets des ANOVAS sur le nombre et la durée des fixations progressives

*ANOVA results on number and progressive fixation durations*

	Nombre de fixations		Durée des fixations	
	F	Probabilité	F	Probabilité
Expertise	70,6	.001	60,16	.001
Zones	107,12	.001	70,88	.001
Phrasé	0,9	ns	2,08	ns
Zones × Expertise	26,4	.001	28,39	.001
Zones × Phrasé	2,4	.025	1,35	ns
Expertise × Phrasé	1,91	ns	2,27	ns
Zones × Expertise × Phrasé	3,7	.001	2,61	.01

Il faut noter l'absence d'effets significatifs sur le phrasé et d'interaction entre le phrasé et l'expertise sur ces traitements initiaux, ce qui renforce l'idée selon laquelle le phrasé correspond à un traitement retardé lié à un contrôle de la structure syntaxique de la phrase musicale.

#### RÉSULTATS QUALITATIFS SUR L'INTERPRÉTATION

Bien qu'elle n'ait pas fait l'objet de mesures précises, mais plutôt d'une observation qualitative, la phase d'interprétation

était importante car elle a permis de respecter une situation naturelle de lecture à vue obligeant les participants à lire attentivement les portées présentées lors de la phase d'enregistrement des mouvements oculaires. D'une manière qualitative, on peut noter que les musiciens experts ont tous réalisé la tâche en jouant avec phrasé, même si celui-ci n'était pas explicitement marqué, alors que les musiciens non experts jouaient dans l'ensemble de manière très mécanique et avec difficulté, avec beaucoup d'erreurs et sans phrasé.

## DISCUSSION

Plusieurs effets intéressants ressortent de cette expérience confirmant en partie nos hypothèses initiales. En premier lieu, on observe de très importantes variations individuelles lors de la lecture musicale avec une prise d'information qui peut varier du simple au triple chez les lecteurs non experts. Cet écart est plus important sur les contrôles tardifs (fixations régressives) que sur les traitements initiaux (fixations progressives). Ainsi, le rapport<sup>1</sup> calculé entre les experts et les non-experts est égal à 2,73 pour les fixations progressives et atteint 5,22 pour les fixations régressives. Outre cette variabilité individuelle propre à l'expertise, la proportion de fixations progressives et régressives ainsi que leur durée est plus importante chez les non-experts. Comme dans la lecture textuelle, le manque d'expertise en lecture musicale se traduit bien ainsi par une multiplication des points de fixation oculaire à la fois lors des progressions que des régressions entraînant logiquement une contrainte plus forte du code écrit. Toutefois, ce résultat est contraire aux données de Goolsby (1994 *a, b*) qui est le seul à décrire davantage de fixations régressives chez les musiciens experts lorsque ceux-ci sont confrontés à une activité simultanée de chant. Le chant est une activité de transcription visuo-orale analogue à la lecture à voix haute nécessitant un codage phonologique du signe lu, et cette opération supplémentaire de production orale ralentit la lecture

1. Rapport entre la moyenne des fixations obtenues chez les experts et les non-experts pour les fixations progressives et régressives.

(Sovik, Arntzen et Samuelstuen, 2000). On peut supposer que le chant associé à la lecture provoque notamment plus de contrôles ou de boucles d'attente chez les musiciens experts ce qui n'est pas le cas dans notre expérience, car la réalisation survenait après la lecture. Le profil oculaire des musiciens experts dans notre expérience montre à l'inverse une prise d'information plus réduite avec moins de fixations oculaires, ce qui correspond aux données recueillies sur l'expertise en lecture textuelle (Kennedy et Murray, 1987 ; Rayner et Pollatsek, 1989). Cette réduction de la prise d'information est d'ailleurs confirmée en mesurant la taille des saccades entre experts et non-experts. Les experts produisent des saccades plus longues que les non-experts à la fois lors des progressions (E : 96 pixels *vs* NE : 89 pixels) que des régressions (E : 59 pixels *vs* NE : 53 pixels). Dans une série d'études sur la lecture musicale Sloboda (1974, 1985) a décrit ce phénomène comme la conséquence d'un empan visuel plus grand chez les musiciens experts. Cette réduction de la prise d'information liée à une certaine indépendance du codage visuel est principalement compensée par l'état des connaissances dans le domaine (Birkmire, 1985 ; Kintsch *et al.*, 1990). Le lecteur expert puise dans sa mémoire, l'information qui vient enrichir et compléter les informations visuelles extraites. C'est notamment la raison pour laquelle la présence ou l'absence du phrasé dans la partition ne provoque aucune différence dans les fixations oculaires des experts. Que ce soit en première lecture (fixations progressives) ou en relecture (fixations régressives), les musiciens experts n'inspectent pas davantage la partition et n'éprouvent aucun besoin de contrôler la présence du phrasé. Même en l'absence de phrasé noté sur la portée, il semble qu'ils l'intègrent à la partition sans vérifier visuellement puisqu'ils l'ont entendu lors de la phase d'écoute préalable. À l'inverse, le musicien non expert est davantage lié aux indices visuels de la partition, il fixe et refixe notamment plus la partition lorsque celle-ci ne contient pas du phrasé ce qui pourrait s'expliquer si l'on considère que le non-expert est moins apte à produire des inférences sur la structure de la phrase musicale. Cet accès distinct à des connaissances mémorisées est similaire aux effets observés dans la lecture textuelle entre deux niveaux de représentation de texte postulés dans la compréhension (modèle Construction-Intégration (Kintsch, 1991, 1998) : la base de texte (représentation explicite construite à partir des données linguistiques) et le modèle de

situation (représentation implicite construite à partir des informations mémorisées). De nombreux travaux ont montré que l'expertise dans un domaine n'autorisait pas l'accès au même niveau représentationnel, les novices accédaient seulement à la base de texte, alors que les experts étaient capables de construire un modèle de la situation décrite dans le texte (Caillies, 1998 ; Kintsch *et al.*, 1990).

Il est enfin à noter que seule la partie mélodique semble être l'objet d'un traitement attentif, car aucune variation dans la prise d'information visuelle n'est présente sur la ligne de basse (main gauche). De manière similaire, la zone comportant la clé, les chiffres indicateurs de mesure et l'armure est très peu fixée. Comme les lecteurs ont écouté auparavant la partition, ils savaient ainsi dans quelle tonalité ils se trouvaient se libérant de l'encodage de cette partie de la portée. En quelque sorte, l'écoute préalable de la portée jouait le rôle d'amorçage du thème musical. Enfin, lors de l'interprétation finale, les données qualitatives indiquent que les experts jouent sans exception toutes les partitions avec phrasé quelle que soit la condition préalable présentée.

Une autre caractéristique de l'expertise musicale semble être la capacité à transférer des connaissances d'une modalité auditive vers une modalité visuelle (Brodsky *et al.*, 2003). L'observation précédente montrant une dépendance plus forte des non-experts vis-à-vis du code écrit peut être également interprétée comme l'incapacité de ces non-experts à transférer ou à réactiver la représentation créée lors de l'écoute préalable. Dans la tâche que nous avons utilisée, la lecture suivait une écoute préalable, et l'augmentation de la prise d'information chez les non-experts lors de la lecture peut témoigner de la construction d'une nouvelle représentation de nature visuelle. Les musiciens non experts n'extraient aucun bénéfice de l'écoute préalable et produisent davantage de fixations oculaires ou de vérification en l'absence de notations de phrasé. Lorsque la portée ne comporte pas de phrasé (alors qu'ils l'ont écouté jouer avec phrasé auparavant), ils produisent davantage de réinspections oculaires cherchant peut-être à retrouver ces marques absentes. Par conséquent, les données suggèrent que les non-experts construisent deux représentations différentes de l'œuvre selon l'origine des informations, une représentation auditive lors de l'écoute et une représentation visuelle lors de la

lecture. Il est probable que ces deux représentations fortement liées à la modalité d'entrée soient davantage similaires à la base de texte qu'à un modèle de situation. À l'inverse, si la prise d'information ne diffère pas chez les experts, cela peut suggérer qu'ils ont construit une représentation de l'œuvre lors de l'écoute de manière à ce que lors de la lecture les quelques fixations effectuées réactivent la représentation élaborée. En interprétant ces données dans le cadre du modèle de la MTLT, cela signifie que les experts ont encodé la partition lors de l'écoute avec des indices de récupération qui leur permettent très rapidement lors de la lecture d'accéder à l'information. La question de savoir si cette représentation réactivée est de nature amodale reste ouverte, mais cette idée serait cohérente avec des données de la littérature. Par exemple, le fait que la reconnaissance de mots écrits soit plus rapide quelle que soit la modalité de l'amorce (visuelle ou auditive) (Holcomb et Anderson, 1993) ou que la compréhension d'un récit soit indépendante de la modalité d'entrée des informations (textes ou images) (Gernsbacher, Varner et Faust, 1990).

Enfin, on observe un effet du phrasé seulement sur les traitements tardifs, ce qui suggère le rôle de cette notation comme d'un indice syntaxique qui servirait à lier les différentes notes de la portée plutôt qu'une ponctuation généralement admise en musicologie. En lecture textuelle, la ponctuation est davantage perçue comme une instruction de traitement cognitif marquant les opérations intégratives lors de la progression dans le texte (Fayol et Abdi, 1990). Elle est traitée en temps réel et ne fait que rarement l'objet de refixations oculaires. À l'inverse, la structure d'une phrase est constamment calculée et au besoin modifiée pour faire face à d'éventuelles ambiguïtés syntaxiques (Rayner et Pollatsek, 1989), sémantiques (Binder, Duffy et Rayner, 2001) ou contextuelles (Spivey-Knowlton, Trueswell et Tanenhaus, 1995). La reconstruction ou le contrôle de la structure syntaxique s'accompagne souvent de refixations sur les zones déjà lues du texte à partir d'indices existant dans la phrase (marques de genre et de nombre, désinences des verbes...). Dans la lecture musicale, la présence de phrasé semble induire le même patron de fixations oculaires et faciliter la liaison des notes intra- et intermesures. Le phrasé est lié à un effet tardif de contrôle ou de recalcul de la structure de la phrase musicale dans le but de réaliser ultérieurement l'œuvre. Cet effet est donc logiquement plus

fort pour les lecteurs non experts proches du code écrit que les musiciens experts, car ceux-ci peuvent reconstruire l'œuvre soit à partir d'une connaissance du morceau ou du type de composition, soit par un meilleur mécanisme d'encodage.

En conclusion, toutes ces données acquises sur la lecture musicale peuvent s'interpréter par rapport aux modèles explicatifs de la compréhension de textes. On peut supposer que le musicien tente d'accéder également aux trois niveaux hiérarchisés de représentation définis pour la compréhension de textes (Kintsch, 1998) tels que la structure de surface, la représentation sémantique et le modèle de situation. Les deux premiers niveaux sont construits à partir des connaissances linguistiques, alors que le dernier émerge des connaissances du lecteur sur le domaine. Le non-expert est celui qui n'accède qu'à la structure linguistique du texte et non à la représentation référentielle. De manière équivalente, le musicien non expert aurait des difficultés pour accéder à la représentation du sens de l'œuvre et fonderait sa compréhension (en vue d'une interprétation ultérieure) seulement sur les marques de la partition.

#### RÉSUMÉ

*Cet article présente une expérience qui utilise l'analyse des mouvements oculaires pour décrire le rôle de l'expertise dans la lecture à vue musicale et notamment la construction d'une structure de récupération (Ericsson et Kintsch, 1995) apte à faciliter l'accès aux connaissances musicales. L'expérience comporte une écoute préalable de partitions de piano suivie d'une lecture et d'une réalisation musicale. Deux versions des partitions sont utilisées : avec ou sans marques de phrasé que ce soit lors de la phase d'écoute (modalité auditive) ou de lecture (modalité visuelle). Les résultats montrent que les lecteurs experts sont très peu sensibles au code écrit sur la partition et qu'ils réactivent une représentation de la phrase musicale à partir des éléments fournis lors de l'écoute. À l'inverse, les non-experts semblent très liés au code écrit et à la modalité d'entrée (auditif vs visuel) de l'information et doivent construire une nouvelle représentation fondée sur les indices visuels disponibles. Les données sont interprétées à la lumière des modèles actuels de compréhension de textes (Kintsch, 1998) et de mémoire de travail à long terme (Ericsson et Kintsch, 1995).*

*Mots clés : Lecture musicale, mouvements oculaires, psychologie cognitive de la musique, expertise musicale, mémoire de travail à long terme.*

## BIBLIOGRAPHIE

- Baccino T. — (2002) Oculométrie cognitive. in G. Tiberghien (Edit.). *Dictionnaire des Sciences cognitives*, Paris, Armand Colin. 100-101.
- Binder K. S., Duffy S. A., Rayner K. — (2001) The effects of thematic fit and discourse context on syntactic ambiguity resolution. *Journal of Memory and Language*, 44, 297-324.
- Birkmire D. P. — (1985) Text processing : The influence of text structure, background knowledge, and purpose. *Reading Research Quarterly*, 20 (3), 314-326.
- Brodsky W., Henik A., Rubinstein B., Zorman M. — (2003) Auditory imagery from musical notation in expert musicians. *Perception & Psychophysics*, 65 (4), 602-612.
- Caillies S. — (1998) *Connaissances initiales, structures textuelles et mémorisation : expérimentations et simulations*, Aix-en-Provence.
- Caillies S., Tapiero S. — (1997) Structures textuelles et niveaux d'expertise. *L'Année psychologique*, 97, 611-639.
- Clarke E. F. — (1988) Generative principles in music performance. *Generative processes in music : The psychology of performance, improvisation, and composition*, 1-26.
- Ericsson K. A., Kintsch W. — (1995) Long-term working memory. *Psychological Review*, 102, 211-245.
- Fayol M., Abdi H. — (1990) Ponctuation et connecteurs. in S. F. M. Charolle, J. Jayez (Édit.), *Le discours : Représentations et interprétations*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy.
- Gernsbacher M. A., Varner K. R., Faust M. E. — (1990) Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 16 (3), 430-445.
- Goolsby T. W. (1994 a) Eye movement in music reading : Effects of reading ability, notational complexity, and encounters. *Music Perception*, 12 (1), 77-96.
- Goolsby T. W. (1994 b). Profiles of processing : Eye movements during sight-reading. *Music Perception*, 12 (1), 97-123.
- Holcomb P. J., Anderson J. E. — (1993) Cross-modal semantic priming : A time-course analysis using event-related brain potentials. *Language and cognitive processes*, 8 (4), 379-411.
- Kennedy A., Murray W. S. — (1987) The components of reading time : Eye movement patterns of good and poor readers. in J. K. O. R. A. Levy-Schoen (Edit.), *Eye movements : From physiology to cognition*. Amsterdam, Elsevier North Holland, 509-520.
- Kinsler V., Carpenter R. H. S. — (1995) Saccadic eye movements while reading music. *Vision Research*, 35 (10), 1447-1458.
- Kintsch W. — (1991) The role of knowledge in discourse comprehension : A construction-integration model. in G. Denhiere et J.-P. Rossi (Edit.), *Text and text processing*, Amsterdam, North-Holland, 107-153.
- Kintsch W. — (1998) *Comprehension : A paradigm for cognition*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Kintsch W., Welsch D., Schmalhofer F., Zimny S. — (1990) Sentence memory : A theoretical analysis. *Journal of Memory & Language*, 29 (2), 133-159.
- Rayner K. — (1998) Eye movements in reading and information processing : 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124 (3), 372-422.

- Rayner K., Pollatsek A. — (1989) *The Psychology of Reading*, New-Jersey, Prentice-Hall International.
- Rayner K., Pollatsek A. — (1997) Eye movements, the eye-hand span, and the perceptual span during sight-reading of music, *Current Directions in Psychological Science*, 6 (2), 49-53.
- Servant I., Baccino T. — (1999) Lire Beethoven : une étude exploratoire des mouvements des yeux. *Scientae Musicae*, 3 (1), 67-94.
- Sloboda J. A. — (1974) The eye hand span : An approach to the study of sight-reading. *Psychology of Music*, 2 (2), 4-10.
- Sloboda J. A. — (1982) Musical Performance, *The psychology of music*, D. Deutsch (Edit.), New York. Academic Press.
- Sloboda J. A. — (1985) *L'esprit musicien : la psychologie cognitive de la musique*, Bruxelles, Mardaga.
- Sovik N., Arntzen O., Samuelstuen M. — (2000) Eye-movement parameters and reading speed : A study of oral and silent reading performances of twelve-year-old children. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal*, 13, 237-255.
- Spivey-Knowlton M. J., Trueswell J. C., Tanenhaus M. K. — (1995) Context effects in syntactic ambiguity resolution : Discourse and semantic influences in parsing reduced relative clauses, in J. M. Henderson, M. Singer et F. Ferreira (Edit.), *Reading and Language Processing*, Mahwah, Lawrence Erlbaum, 148-181.
- Truitt F. E., Clifton C. Jr., Pollatsek A., Rayner K. — (1997) The perceptual span and eye-hand span in sight reading music, *Visual Cognition*, 4 (2), 143-161.
- Waters A. J., Townsend E., Underwood G. — (1998) Expertise in musical sight reading : A study of pianists. *British Journal of Psychology*, 89, 123-149.
- Waters A. J., Underwood G. — (1998) Eye movements in a simple music reading task : A study of expert and novice musicians. *Psychology of Music*, 26, 46-60.
- Waters A. J., Underwood G., Findlay J. M. — (1997) Studying expertise in music reading : Use of a pattern-matching paradigm, *Perception & Psychophysics*, 59 (4), 477-488.
- Williamson A., Valentine E. — (2002) The role of retrieval structures in memorizing music, *Cognitive Psychology*, 44, 1-32.
- Weaver H. A. (1943) A study of visual processes in reading differently constructed musical selections, *Psychological Monographs*, 55 (1), 1-30.

## ANNEXE 1

Portée n°1, phrasé : Extrait de Czerny « Les heures du matin »

Musical score for Portée n°1, phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a complex melodic line with many sixteenth and thirty-second notes, featuring several long slurs. The bass staff contains a simpler accompaniment with quarter and eighth notes, also featuring slurs. The key signature has one sharp (F#) and the time signature is 2/4.

Portée n°1, sans phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°1, sans phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a complex melodic line with many sixteenth and thirty-second notes, but without the long slurs seen in the previous score. The bass staff contains a simpler accompaniment with quarter and eighth notes. The key signature has one sharp (F#) and the time signature is 2/4.

Portée n°2, phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°2, phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a complex melodic line with many sixteenth and thirty-second notes, featuring several long slurs. The bass staff contains a simpler accompaniment with quarter and eighth notes, also featuring slurs. The key signature has one sharp (F#) and the time signature is 2/4.

Portée n°2, sans phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°2, sans phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a complex melodic line with many sixteenth and thirty-second notes, but without the long slurs seen in the previous score. The bass staff contains a simpler accompaniment with quarter and eighth notes. The key signature has one sharp (F#) and the time signature is 2/4.

Portée n°3, phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°3, phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a continuous eighth-note melody with slurs over each measure. The bass staff contains a simple harmonic accompaniment of chords.

Portée n°3, sans phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°3, sans phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a continuous eighth-note melody without slurs. The bass staff contains a simple harmonic accompaniment of chords.

Portée n°4, phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°4, phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a continuous eighth-note melody with slurs over each measure. The bass staff contains a simple harmonic accompaniment of chords.

Portée n°4, sans phrasé : Extrait de Czerny « les heures du matin »

Musical score for Portée n°4, sans phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a continuous eighth-note melody without slurs. The bass staff contains a simple harmonic accompaniment of chords.

Portée n°5, phrasé : Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 »

Musical score for Portée n°5, phrasé. It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff contains a melody with slurs over each measure. The bass staff contains a simple harmonic accompaniment of chords.

Portée n°5, sans phrasé : Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 »

Musical score for Portée n°5, sans phrasé: Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 ». The score is in 2/4 time and consists of two staves. The upper staff is in treble clef and contains a melodic line with eighth and sixteenth notes, including a five-measure phrase marked with a '5' above it. The lower staff is in bass clef and contains a bass line with chords and single notes.

Portée n°6, phrasé : Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 »

Musical score for Portée n°6, phrasé: Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 ». The score is in 2/4 time and consists of two staves. The upper staff is in treble clef and contains a melodic line with eighth and sixteenth notes, featuring two phrases each marked with a slur. The lower staff is in bass clef and contains a bass line with chords and single notes.

Portée n°6, sans phrasé : Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 »

Musical score for Portée n°6, sans phrasé: Extrait de Bartok « Danse roumaine n° 2 ». The score is in 2/4 time and consists of two staves. The upper staff is in treble clef and contains a melodic line with eighth and sixteenth notes. The lower staff is in bass clef and contains a bass line with chords and single notes.

Portée n°7, phrasé : Extrait de Scarlatti « Suite VIII »

Musical score for Portée n°7, phrasé: Extrait de Scarlatti « Suite VIII ». The score is in 2/4 time and consists of two staves. The upper staff is in treble clef and contains a melodic line with eighth and sixteenth notes, featuring two phrases each marked with a slur. The lower staff is in bass clef and contains a bass line with chords and single notes.

Portée n°7, sans phrasé : Extrait de Scarlatti « Suite VIII »

Musical score for Portée n°7, sans phrasé: Extrait de Scarlatti « Suite VIII ». The score is in 2/4 time and consists of two staves. The upper staff is in treble clef and contains a melodic line with eighth and sixteenth notes. The lower staff is in bass clef and contains a bass line with chords and single notes.

Portée n°8, phrasé : Extrait de Scarlatti « Sonates »

Musical score for Portée n°8, phrasé: Extrait de Scarlatti « Sonates ». The score is in treble and bass clefs, 3/8 time, with a key signature of one sharp (F#). It consists of four measures. The first two measures feature a melodic line in the treble clef with eighth notes and a bass line with quarter notes. The last two measures show a melodic line in the treble clef with eighth notes and a bass line with quarter notes, including a fermata over the final note.

Portée n°8, sans phrasé : Extrait de Scarlatti « Sonates ».

Musical score for Portée n°8, sans phrasé: Extrait de Scarlatti « Sonates ». This score is identical to the one above but lacks the phrasing slurs and fermata, presenting the notes as a continuous sequence without structural groupings.

Portée n°9, phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°9, phrasé: Extrait de Luzignant. The score is in treble and bass clefs, 2/4 time, with a key signature of one sharp (F#). It consists of four measures. The first two measures feature a melodic line in the treble clef with eighth notes and a bass line with quarter notes. The last two measures show a melodic line in the treble clef with eighth notes and a bass line with quarter notes, including a fermata over the final note.

Portée n°9, sans phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°9, sans phrasé: Extrait de Luzignant. This score is identical to the one above but lacks the phrasing slurs and fermata, presenting the notes as a continuous sequence without structural groupings.

Portée n°10, phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°10, phrasé: Extrait de Luzignant. The score is in treble and bass clefs, 2/4 time, with a key signature of one sharp (F#). It consists of four measures. The first two measures feature a melodic line in the treble clef with eighth notes and a bass line with quarter notes. The last two measures show a melodic line in the treble clef with eighth notes and a bass line with quarter notes, including a fermata over the final note.

Portée n°10, sans phrasé : Extrait de Luzignant



Portée n°11, phrasé : Extrait de Luzignant



Portée n°11, sans phrasé : Extrait de Luzignant



Portée n°12, phrasé : Extrait de Luzignant



Portée n°12, sans phrasé : Extrait de Luzignant



Portée n°13, phrasé : Extrait de Luzignant

Portée n°13, sans phrasé : Extrait de Luzignant

Portée n°14, phrasé : Extrait de Luzignant

Portée n°14, sans phrasé : Extrait de Luzignant

Portée n°15, phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°15, phrasé: Extrait de Luzignant. The score is written for two staves (treble and bass clefs) in 4/4 time. The melody in the treble clef consists of quarter notes and half notes, with a final quarter rest. The bass clef accompaniment features a steady eighth-note pattern. A dashed line indicates a phrasing slur over the first two measures of the melody.

Portée n°15, sans phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°15, sans phrasé: Extrait de Luzignant. The score is written for two staves (treble and bass clefs) in 4/4 time. The melody in the treble clef consists of quarter notes and half notes, with a final quarter rest. The bass clef accompaniment features a steady eighth-note pattern. No phrasing slurs are present.

Portée n°16, phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°16, phrasé: Extrait de Luzignant. The score is written for two staves (treble and bass clefs) in 4/4 time. The melody in the treble clef consists of quarter notes and half notes, with a final quarter rest. The bass clef accompaniment features a steady eighth-note pattern. A dashed line indicates a phrasing slur over the first two measures of the melody.

Portée n°16, sans phrasé : Extrait de Luzignant

Musical score for Portée n°16, sans phrasé: Extrait de Luzignant. The score is written for two staves (treble and bass clefs) in 4/4 time. The melody in the treble clef consists of quarter notes and half notes, with a final quarter rest. The bass clef accompaniment features a steady eighth-note pattern. No phrasing slurs are present.