



Le Papier Interactif pour la Composition Musicale

Jérémie Garcia

Synthèse de la thèse intitulée : Supporting Music Composition with Interactive Paper

UNIVERSITÉ PARIS-SUD
Ecole doctorale d'informatique de l'université paris-sud
Laboratoire de Recherche en Informatique
Inria Saclay-Île-de-France
Institut de Recherche et Coordination Acoustique Musique
10 juin 2014

Résumé :

Malgré l'apparition d'outils informatique permettant de créer de nouveaux sons ou d'opérer des transformations sur des représentations symboliques de la musique, les compositeurs utilisent toujours le papier pour composer. Afin de combiner les avantages des deux supports, nous nous intéressons au papier interactif, une technologie permettant de récupérer les gestes d'écritures effectués sur le papier.

Des études préliminaires avec des compositeurs à l'IRCAM ont permis d'explorer le potentiel de telles interfaces mais ont également mis en avant la complexité de concevoir des interfaces adaptées aux processus de création de chaque compositeur. En s'appuyant sur des sessions de conception participative avec des compositeurs, nous proposons les *Paper Substrates*, des composants papier qui définissent des structures modulaires pour l'interaction avec des représentations musicales formelles pour la création de nouvelles interfaces de papier couplées avec les logiciels de composition assistée par ordinateur. Nous avons implémenté une boîte à outils ainsi qu'une application graphique permettant de développer de nouvelles interfaces de papier utilisant des *Paper Substrates*. Nous présentons plusieurs applications permettant la saisie de partition, le dessin dans des réseaux de notes ou l'utilisation d'éléments papier amovibles pour la création musicale. Nous avons développé et utilisé *Polyphony*, une interface qui intègre le papier interactif avec d'autres interfaces pour composer une courte pièce électroacoustique, pour conduire une étude d'observation structurée avec 12 compositeurs afin de comparer les différents processus de composition des participants. Nous avons collaboré avec le compositeur Philippe Leroux pour réutiliser des tracés effectués sur une partition médiévale comme données pour les processus de composition, la synthèse sonore et la spatialisation de sa pièce *Quid sit musicus*.

Chapitre 1 : Introduction

La composition musicale contemporaine est une activité très créative qui requiert la libre expression des idées et des compétences de programmation informatique. Pendant le processus de composition, les compositeurs ont besoin d'exprimer leurs idées, de les explorer et de produire des partitions finales. Toutes ces tâches impliquent généralement une combinaison d'écriture sur papier, de jeu instrumental, que ce soit physique ou numérique et une interaction avec des logiciels de composition assistée par ordinateur. Cette thèse s'intéresse à la compréhension de ce processus complexe afin de concevoir de nouveaux outils interactifs adaptés aux besoins créatifs des compositeurs.

Le papier joue un rôle spécifique dans le processus de composition. Il s'agit souvent d'un point de départ pour réaliser les premières esquisses mais c'est aussi le support de la finalisation du travail avec la réalisation de partitions finales. Les compositeurs utilisent une grande diversité de représentations musicales adaptées à leurs besoins musicaux et les formes de notations sont souvent personnelles lors des premières étapes du processus de composition. D'autre part, depuis les années cinquante, les compositeurs utilisent des logiciels pour analyser des fichiers sonores, créer de nouveaux sons de synthèse ou produire des partitions à partir de programmes. Parmi les logiciels existants, les compositeurs utilisent fréquemment des outils de programmation visuelle tels que Max et OpenMusic pour réaliser et tester leurs processus de composition musicale.

Des travaux précédents montrent que malgré la variété de logiciels à leur disposition, les compositeurs continuent d'utiliser le papier pour exprimer et explorer leurs idées musicales à différentes étapes de leur processus de création. Les esquisses réalisées sur le papier aident les compositeurs à éviter une finalisation prématurée des idées et donc à continuer l'exploration de leurs idées. Pourtant cette liberté d'expression se révèle problématique lorsqu'un compositeur utilise un logiciel de composition assistée par ordinateur car il y a un changement drastique de format et d'interface entre les deux pratiques.

La technologie de papier interactif permet de récupérer les données d'écriture du stylo et crée de nouvelles possibilités pour faciliter la transition entre les mondes physiques et numériques en combinant explicitement leurs avantages. Depuis le Digital Desk introduit par Wellner en 1993, un projet précurseur pour les interfaces de papier augmenté, des nombreux projets de recherche ont étudiés l'utilisation de la technologie de papier interactif en soutien à la lecture active et à l'annotation de documents, la composition musicale avec la reconnaissance de vocabulaires de gestes personnels ou encore l'édition de modèles 3D. Alors que plusieurs interactions modèles, techniques et outils ont été créés pour les interfaces basées sur l'interaction avec un stylo, seuls quelques-uns s'intéressent à l'aide à la créativité. Nous avons donc encore besoin de modèles et d'outils adaptés à la complexité de la composition musicale afin d'aider les compositeurs à concevoir et évaluer leurs concepts musicaux.

Nous sommes intéressés par la conception d'outils qui intègrent pleinement les avantages du papier et des logiciels pour aider la composition musicale. Notre objectif est de combiner les représentations personnelles que les compositeurs créent sur le papier avec les outils de programmation offerts par la composition

assistée par ordinateur. Nous espérons également que l'étude de ces utilisateurs extrêmes nous aidera à concevoir des systèmes interactifs adaptés aux utilisateurs créatifs en général.

La composition musicale contemporaine est un domaine extrêmement créatif où chaque compositeur suit un processus unique, ce qui rend la conception et l'évaluation de nouveaux systèmes interactifs difficile. Pour faire face à cette complexité, j'ai utilisé plusieurs méthodes centrées sur l'utilisateur, en triangulant des résultats issus de l'observation, la conception et la théorie, afin de mieux comprendre les compositeurs, la conception de nouvelles technologies et d'évaluer son impact sur le processus créatif de compositeurs. La Figure 1 résume les principaux projets qui constituent cette thèse suivant ce cadre de triangulation.

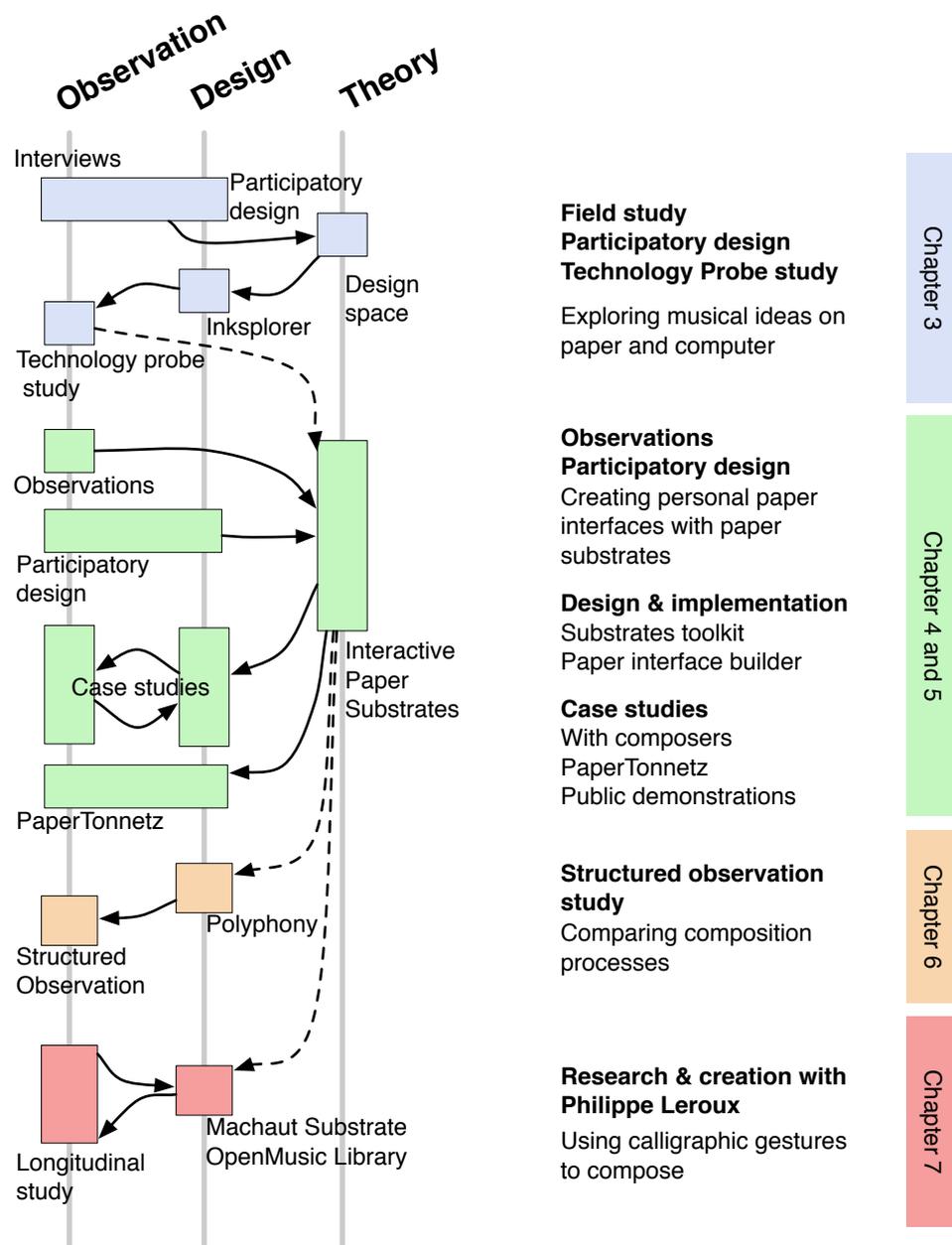


Figure 1 : Processus de thèse incluant plusieurs méthodes qualitatives et quantitatives pour observer et travailler avec des compositeurs, concevoir de nouveaux systèmes interactifs avec le papier interactif en rapport avec des fondements théoriques.

Cette thèse propose l'utilisation d'interfaces papier personnelles et adaptables qui étendent les outils de composition assistée par ordinateur afin de fournir un espace supplémentaire pour l'expression et l'exploration de leurs idées musicales. Les compositeurs n'utilisent pas seulement le papier pour faire des esquisses mais aussi pour créer des représentations musicales formelles pour la saisie, l'évaluation visuelle et l'édition de leurs idées. Des telles représentations structurées peuvent être informatisées et combinées avec les outils de composition assistée par ordinateur. Nous proposons les *Paper Substrates* qui fournissent des structures modulaires pour la création de nouvelles interfaces de papier interactif contenant des représentations personnelles de données musicales informatiques. Nous avons utilisé les *Paper Substrates* pour construire de nouveaux systèmes interactifs pour aider le travail des compositeurs et étudier leur processus de composition.

Chapitre 2 : Contexte et état de l'art

Des études du processus de composition ont montré que les environnements de composition assistée par ordinateur permettent aux compositeurs de mettre en œuvre des processus en temps réel tel que la synthèse sonore ou des processus algorithmiques pour tester leurs idées avant de réaliser leurs partitions finales et leurs programmes informatiques dédiés à la performance. Le papier reste un support majeur pour les compositeurs, car il permet d'exprimer des idées peu définies avec des croquis, de créer des représentations musicales personnelles, d'annoter et d'archiver les partitions finales. Le papier permet également aux compositeurs d'éviter de faire choix musicaux prématurés et aide à la réflexion.

Plusieurs travaux se sont intéressés aux interfaces permettant de dessiner la musique en utilisant une souris ou une tablette graphique tandis que d'autres ont développé des cadres pour ajouter possibilités complexes de notation musicale dans les logiciels. Au lieu d'essayer de remplacer un milieu par un autre, le papier interactif permet d'associer les outils informatiques avec des interfaces sur le papier. L'objectif principal est de réutiliser les pratiques existantes avec les stylos et le papier afin d'améliorer l'interaction avec les environnements de composition assistée par ordinateur.

Pour créer du papier interactif, une technologie populaire est la technologie Anoto, qui associe une trame de point imprimée sur le papier avec un stylo intégrant une caméra dans la pointe. L'acquisition vidéo par le stylo lui permet de se repérer sur une trame très grande subdivisée en pages et cahiers. Cette technologie est utilisée par de nombreux projets de recherche car elle est mobile, peu chère et robuste.

Le papier interactif crée de nouvelles opportunités pour soutenir le travail de compositeurs professionnels, grâce à la détection du contenu écrit sur le papier, son interprétation et la production de données pour contrôler des dispositifs informatiques ou des applications externes. Toutefois, nous avons encore besoin d'explorer avec des compositeurs comment combiner les représentations personnelles qu'ils créent et utilisent sur le papier avec les outils de programmation offerts par les environnements de composition assistée par ordinateur.

Chapitre 3 : Expression et exploration d'idées musicales avec le papier et l'ordinateur

Trois études conduites avec des compositeurs à l'IRCAM s'intéressent aux rôles du papier et de l'ordinateur lors du processus de composition et les possibilités du papier interactif pour l'exploration des idées entre ces deux supports.

Nous avons étudié comment les compositeurs professionnels combinent des outils de papier et logiciels et la façon dont ils pourraient bénéficier de la technologie de papier interactif. Les premiers entretiens avec quatre compositeurs nous ont aidés à comprendre leurs processus de composition, de l'expression précoce des idées à leur exploration systématique et à la réalisation finale sous forme de programmes et de partitions. Nous avons constaté que les compositeurs font des allers retours entre le papier et les logiciels pour réaliser leurs partitions finales et leurs programmes musicaux. Ces activités ont lieu en parallèle mais les compositeurs aimeraient mieux les intégrer. En particulier, quand ils passent à l'exploration avec l'ordinateur, ils réduisent progressivement leur utilisation de représentations personnelles sur le papier, y compris les plus formelles. La Figure 2 illustre ce processus.

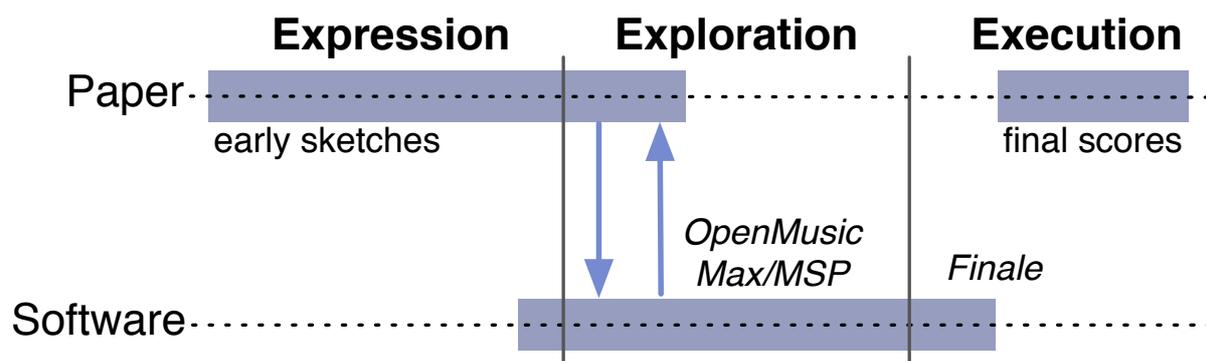


Figure 2 : Les compositeurs travaillent en parallèle entre le papier et les logiciels pour exprimer, explorer et réaliser leurs idées musicales.

La deuxième étude avec un compositeur a étudié les possibilités du papier interactif pour soutenir ses explorations successives d'idées musicales. Nous avons réalisé plusieurs prototypes pour son travail de composition sur une pièce pour saxophone et électronique. Nous avons constaté que même si l'interaction en direct avec le stylo n'est pas recommandé pour les premières phases d'expression, cela s'avère beaucoup plus intéressant pour l'exploration des idées via l'enregistrement et la lecture de sons depuis le stylo ou l'interaction avec des éléments dessinés pour les évaluer et les modifier.

La troisième étude utilise *InkSplorer*, un outil de composition qui permet de lier les courbes dessinées sur le papier à des objets dans Max et OpenMusic pour faciliter l'exploration, les tests et le raffinement des idées. Nous avons déployé *InkSplorer* comme sonde technologie lors d'une évaluation exploratoire avec quatre compositeurs pour mieux comprendre leur processus de création, les possibilités de cette technologie et pour générer de nouvelles ressources pour la conception. Chaque compositeur a adapté *InkSplorer* à son propre style de composition. Leurs tracés sur papier ont servis comme des éléments visuels et informatiques qui

pouvaient être rapidement revisités, relus et évalués avec de nouvelles variations ou par couches successives. Tous les compositeurs ont manifesté un intérêt pour utiliser des modèles pré-imprimés sur le papier comme des portées ou du papier millimétré.

Il apparaît nécessaire de créer des interfaces de papier intégrant les données musicales personnelles des compositeurs. Ces interfaces agiraient comme des extensions de leurs environnements de composition assistée par ordinateur et fourniraient un espace physique supplémentaire pour l'expression et l'exploration musicale.

Chapitre 4 : Conception participative de structures personnelles sur le papier

Je décris des sessions de conception participative qui examinent l'utilisation de représentations musicales formelles pour la création de nouvelles interfaces de papier couplées avec les logiciels de composition assistée par ordinateur.

Nous avons identifié deux exemples de structures formelles sur papier créées par des compositeurs : le Tonnetz de Jean-Marc Chouvel et la micro-orchestration de Philippe Schoeller. Ces structures permettent aux compositeurs d'apprécier visuellement le résultat musical et leurs permet d'appliquer de nouvelles opérations musicales pour créer des séquences musicales alternatives avant de traduire le résultat final en partition.

Nous avons conduit des sessions de conception participative avec quatre compositeurs et un réalisateur en informatique musicale pour explorer comment les compositeurs peuvent créer leurs propres structures sur papier pour aider la saisie de leurs idées musicales et la réflexion tout en interagissant avec leurs environnements de composition assistée par ordinateur.

Les résultats de l'étude nous ont permis d'identifier des scénarios concrets où les participants ont conçu leurs propres structures sur le papier pour explorer des idées et écrire de la musique. Certains ont créé des petits composants mobiles pour faciliter des tâches spécifiques telles que la saisie de hauteur ou de rythmes, ou bien encore pour organiser des éléments en séquences ou tracer des trajectoires. D'autres ont créé des interfaces sur des pages entières et ont reproduit et adapté les interfaces de leurs outils informatiques pour éditer des enregistrements musicaux ou de contrôler et explorer la production de d'orchestrations.

Les séances de conception ont suggéré plusieurs interactions avec le stylo et des manipulations tangibles de composants papier permettant aux compositeurs de travailler avec leurs données telles que : dessiner et modifier des données spécifiques sur du papier pré-formaté, tester des variations en ajoutant des données manuscrites, définir des modules programmables, aligner des éléments mobiles, les relier, les superposer et de les archiver dans des dossiers physiques.

Chapitre 5 : Création d'interfaces de papier interactif personnelles avec les « Paper Substrates »

A partir des composants papier et des interactions proposées par les participants des sessions de conception participative nous proposons les *Paper Substrates*, des composants papier qui définissent des structures modulaires pour l'interaction avec des représentations personnelles de données musicales issues d'environnements informatique. Les *Paper Substrates* ont les rôles et les fonctions suivantes:

- Fournir des modèles pour travailler avec des représentations personnelles de données musicales.
- Gérer leurs propres événements provenant du stylo.
- Reconnaître des gestes spécifiques du stylo et des vocabulaires musicaux manuscrits.
- Communiquer avec les logiciels de musique via des entrées et sorties typées.
- Partager les données et échanger des messages avec d'autres composants via leurs entrées et sorties.
- Etre fixés sur une page ou imprimés sur un élément papier amovible
- Etre modulaires et capables d'être reliés entre eux avec des gestes simples du stylo.
- Etre connectés spatialement, e.g., superposés ou juxtaposés.

La Figure 3 illustre un scénario impliquant des interactions tangibles où la position dans l'espace détermine la position temporelle d'un composant par rapport à un composant qui agit comme référence.

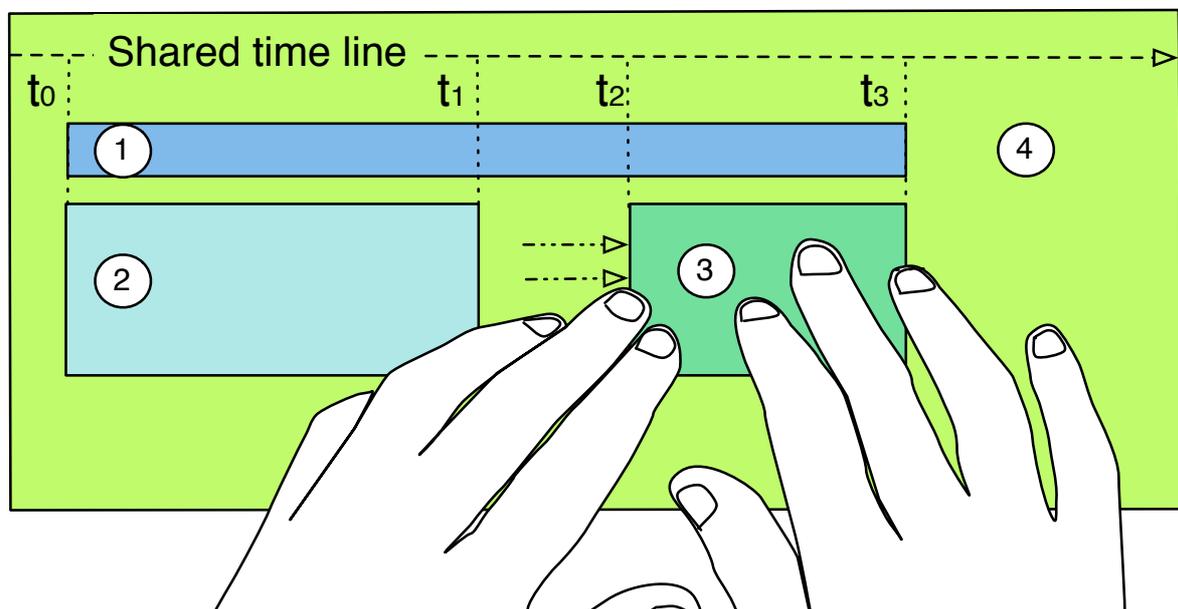


Figure 3: Spécifier la position temporelle de trois substrates (1-2-3) en les alignant sur un substrate container (4) qui définit une ligne de temps commune.

Un premier prototype illustre la faisabilité de ces interactions, en particulier la connexion dynamique de *substrates* pour synchroniser leurs échelles temporelles.

Nous avons développé une boîte à outil dédiée *aux Paper Substrates* qui comprend une API et *PaperComposer*, un constructeur d'interface utilisateur. L'API permet aux développeurs de définir de nouveaux *substrates* avec des structures pour représenter les données musicales personnelles et de définir les interactions associées aux événements générés par le stylo. Le constructeur d'interface permet aux développeurs et aux utilisateurs finaux de connecter les représentations musicales sur le papier avec des flux de données de logiciels de composition assistée par ordinateur, de personnaliser leurs *substrates* et de déployer leurs applications de papier interactif. *PaperComposer* intègre également des mécanismes de gestion de sessions, de débogage et d'enregistrement des données. La Figure 4 montre l'interface de *PaperComposer* dédiée à la création d'interface avec des *substrates*.

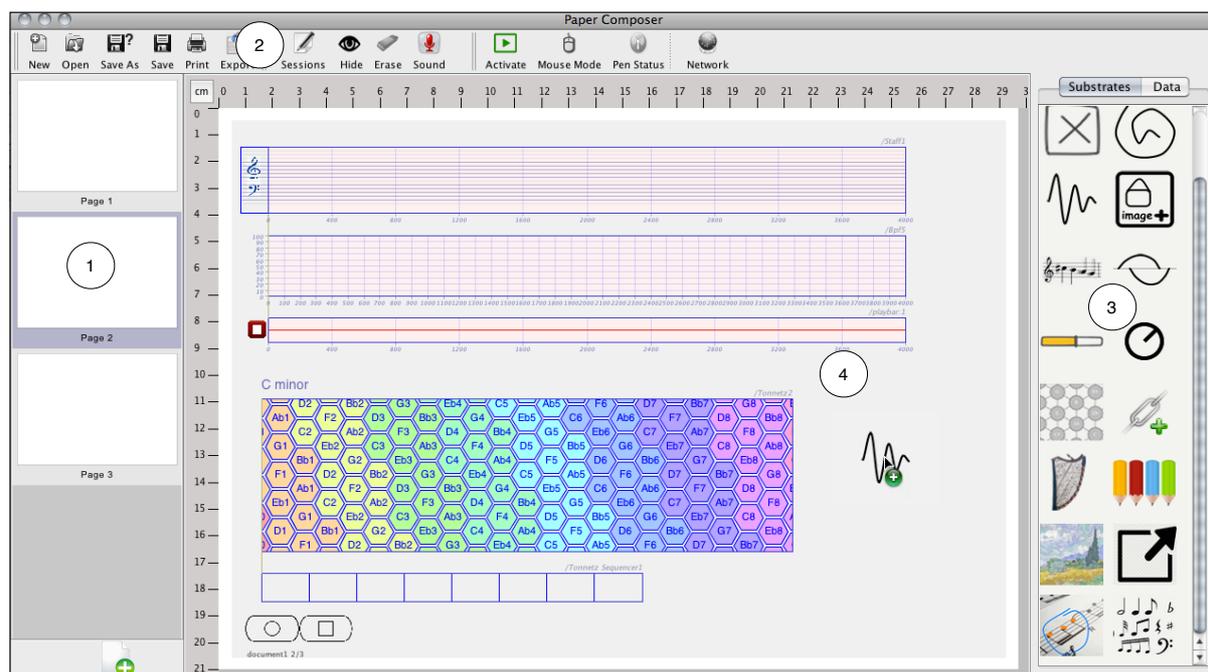


Figure 4 : L'interface principale de *PaperComposer*. (1) Les pages du document actuel. (2) la barre d'outils avec les fonctions de base de gestion des documents et la mise en place des paramètres d'applications. (3) Les vignettes des *substrates* disponibles peuvent être glissées dans la page virtuelle pour créer une nouvelle instance. (4) Une page virtuelle avec plusieurs *substrates* incluant des portées musicales, une barre de lecture, un conteneur de courbe, un tonnetz et un séquenceur.

Nous avons utilisé ces outils pour concevoir plusieurs exemples de nouvelles interfaces de papier interactif. Certains ont été conçus avec des compositeurs pour soutenir des tâches spécifiques de leur processus de composition telles que la saisie de séquence avec une notation musicale personnelle et l'exploration d'algorithmes de synthèse sonore avec des gestes manuscrits. *PaperTonnetz* a été inspiré par la pratique de Chouvel et propose d'utiliser les Tonnetz, des réseaux de notes, comme une structure sous-jacente dans laquelle les chemins tracés deviennent des accords et des mélodies.

Ces études de cas ont montré l'utilisation pratique de la boîte à outils composée de L'API et de *PaperComposer*. Cependant, il reste difficile d'évaluer et de comparer ces interfaces avec d'autres systèmes interactifs.

Chapitre 6 : Observations structurées avec Polyphony : un outil multi-facettes pour étudier la composition musicale

Nous présentons une technique d'observation structurée de la composition musicale. Nous avons développé et utilisé *Polyphony*, une interface utilisateur unifiée qui intègre papier interactif, les contrôleurs matériel et des interfaces usuelles, pour étudier l'utilisation de systèmes interactifs dans la composition assistée par ordinateur

Nous avons travaillé avec un compositeur professionnel afin de créer et valider une tâche de composition d'une heure : Chaque participant doit composer une pièce électronique basée sur un enregistrement de 20 secondes d'une pièce de Webern avec un effet audio et un synthétiseur. Nous avons demandé à douze compositeurs d'utiliser *Polyphony*, notre interface intégrant un ensemble complet d'outils de composition existants, y compris des dispositifs pour la saisie manuscrite avec du papier interactif ou une tablette graphique, ainsi que d'un clavier, une souris et des contrôleurs audio.

Polyphony propose une nouvelle approche pour l'intégration de toutes les phases du processus de composition, de l'expression d'idées sur le papier à la mise en œuvre finale sur un ordinateur. Compte tenu des contraintes de temps extrêmes, certains compositeurs ont limité leur utilisation de *Polyphony* aux dispositifs d'entrée qu'ils connaissaient déjà. Cependant, d'autres ont utilisé à la fois des interfaces familières et non familières pour explorer leur potentiel. Chaque participant a pu s'approprié *Polyphony* et l'utiliser de sa propre manière. Bien qu'initialement conçu uniquement pour la tâche de composition de l'expérience, *Polyphony* a pu s'adapter aux stratégies très diverses utilisées par les compositeurs. Tous ont réussi à exprimer et réaliser leurs compositions dans le temps imparti même s'ils auraient souhaités avoir plus de temps pour finaliser leurs pièces. Les compositeurs ont particulièrement appréciés le retour fournit par *Polyphony* lors des interactions ainsi que la capacité de synchroniser les données pour les différents dispositifs d'entrée. Nous croyons qu'une interface « Polyphonique » qui intègre plusieurs modalités d'entrée et de sortie peut aider les personnes créatives à travailler plus efficacement en utilisant la modalité la plus appropriée pour la tâche à accomplir.

Chapitre 7 : *Quid sit musicus*: Conception d'interfaces de papier interactif pour une composition

Les manuscrits enluminés de musique médiévale contiennent de riches décorations en plus de la notation neumatique manuscrite. Nous avons collaboré avec le compositeur Philippe Leroux pour utiliser de tels symboles manuscrits lors de la composition de sa pièce *Quid sit musicus*. Nous avons conçu de nouveaux systèmes interactifs pour la création de ressources compositionnelles, la synthèse sonore et le contrôle de la spatialisation à partir de tracés effectués sur une partition médiévale. La Figure 5 montre le compositeur entrain d'écrire par dessus le manuscrit et les données reconnues par le *substrate* pour l'une des formes calligraphiques.

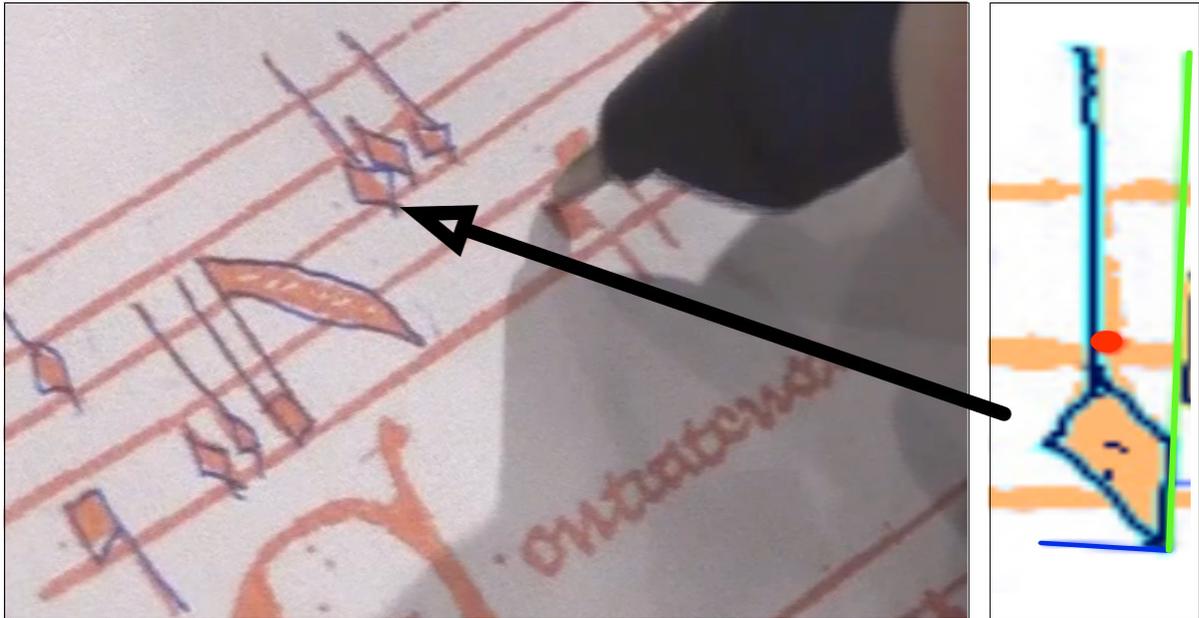


Figure 5: Écrire sur l'interface de papier. Gauche: Le compositeur écrit avec le stylo numérique. Droite: Visualisation sur l'écran de la forme extraite (bleu clair), de son centre de gravité (en rouge) et de ses axes principaux (bleu et vert).

Nous avons développé des outils dédiés à la composition assistée par ordinateur dans OpenMusic. En particulier, nous avons créé des patches qui réagissent aux interactions du stylo et produisent un retour audio-visuel des résultats du traitement des données. Ces traitements permettent par exemple de créer des échelles mélodiques et rythmiques à partir de classifications des formes, la transformation d'accords par effet doppler selon la vitesse d'écriture d'une forme ou la projection du tracé dans une partition pour créer une séquence polyphonique. Ces outils réactifs ont permis au compositeur d'explorer plusieurs solutions alternatives ainsi que d'affiner ses processus musicaux.

De tels environnements interactifs de composition assistée par ordinateur pourraient être fertiles pour la créativité car ils permettent au compositeur de s'engager dans un partenariat avec l'ordinateur pour améliorer itérativement ses idées et ses programmes tout en ajustant son entrée manuscrite.

Chapitre 8 : Conclusion

Nous avons observé le processus de composition dans des conditions réelles avec un certain nombre de méthodes et identifié un principe fondamental sous-jacent qui caractérise le processus créatif de composition musicale. Les compositeurs créent et utilisent des structures dans lesquelles ils expriment et explorent leurs idées avec leurs propres représentations musicales. Ce concept de *Paper Substrates* nous a permis de créer des outils interactifs qui permettent de préserver la simplicité d'expression des idées sur le papier tout en facilitant la transition vers les environnements de composition assistée par ordinateur. Nous avons développé et utilisé plusieurs systèmes interactifs qui utilisent du papier interactif pour aider l'expression, l'exploration et la réalisation des idées musicales.