

École nationale supérieure Louis-Lumière

Mémoire de fin d'études

Section Son 2019

Proposition d'une alternative au potentiomètre de panoramique

Directeur interne : Mohammed Eллиq

Directeur externe : Gaël Martinet

Rapporteur : Sylvain Lambinet

Remerciements :

Je tiens à remercier les personnes suivantes :

Mohammed Eллиq, pour son encadrement chaleureux, sa rigueur et sa confiance.

Gaël Martinet, pour avoir accepté d'encadrer mon travail.

Sylvain Lambinet, pour ses conseils et pour m'avoir toujours apporté un avis éclairé dans les moments de doutes.

Pauline Ducroux, pour avoir supporté, durant de bien trop nombreuses heures, mes élucubrations sonores.

Dimitri Kharitonoff, pour nos nombreuses journées de travail partagées, sans lesquelles l'aboutissement de ce dossier aurait été d'une toute autre difficulté.

Maxime Biron, pour son implication, sa curiosité et sa générosité en acceptant d'adapter mon travail sous *Max/MSP* au format *VST*.

Ludovic Diaz et Théo Pérek, pour leurs oreilles attentives et l'intérêt certain qu'ils ont porté à mon travail.

Et ma famille, pour leur soutien et leur amour indéfectible.

Résumé

Depuis les débuts des productions musicales stéréophoniques, la latéralisation des sources durant la phase de mixage est presque toujours réalisée par l'introduction d'une différence de niveau entre les canaux gauche et droit. Or, dans notre expérience d'une écoute naturelle, notre capacité à localiser des sources repose sur un plus grand nombre de paramètres ; parmi lesquels, nous trouvons la différence de niveau, la différence de temps et la différence de phase perçues entre les deux oreilles . Après avoir rappelé les différentes méthodes pour manipuler l'espace stéréophonique, nous proposerons la réalisation d'un outil de latéralisation alternatif. Le prototype sera réalisé sous Max/MSP, puis porté vers *Max4Live* afin d'en proposer une version utilisable dans un contexte de mixage via le logiciel *Ableton Live*. Enfin, plusieurs tests perceptifs seront effectués afin d'évaluer la pertinence de notre outil aussi bien du côté de l'ingénieur du son que du côté de l'auditeur.

Mots clefs : stéréophonie, panoramique, différence interaurale de temps, différence interaurale d'intensité, différence interaurale de phase, mixage musical.

Abstract

Since the early days of the production of stereophonic music, the use of level difference is the way to go to place a sound in the stereofield during the mixing process. But our earing use more parameters than just the level differences, we also are sensible to the time and phase differences. After having established the various method to manipulate the stereofield, we will elaborate our own alternative tool for sound lateralization. The prototype will be realized with Max/MSP and then ported to *Max4Live* to use it in a mixing context by using *Ableton Live*. Then, several perceptive tests will be realized to evaluate the relevance of our tool from the point of view of both the sound engineer and the listener

Key words : stereophony, pan pot, interaural time difference, interaural level difference, interaural phase difference, music mixing.

Table des matières

Introduction.....	8
État de l'art.....	12
1 Approche physiologique.....	13
1.1 Localisation des sons par différence de temps.....	14
1.2 Localisation des sons par différence d'intensité.....	15
1.3 Localisation des sons par différence de phase.....	15
2 Pratique de la création de scènes sonores stéréophoniques.....	19
2.1 Création d'un espace stéréophonique dès la prise de son.....	20
2.1.1 Mécanismes de la prise de son stéréophonique.....	20
2.1.1.1 Préambule sur la directivité des microphones.....	20
2.1.1.2 Techniques de prise de son non-coïncidente.....	21
2.1.1.3 Techniques de prise de son coïncidente.....	23
2.1.1.4 Combinaison des méthodes : stéréophonie par différence de temps et d'intensité.....	24
2.2 Création d'un espace stéréophonique au mixage.....	26
2.2.1 Potentiomètre de panoramique.....	26
2.2.2 Lignes à retard.....	30
2.2.3 Autres effets.....	31
Réalisation de l'outil.....	37
1 Présentation générale du DeltaPan.....	38
1.1 Cahier des charges.....	38
1.2 Décomposition en blocs fonctionnels.....	39
1.3 Problématiques de la transparence du DeltaPan.....	40
1.4 Problématiques liées à l'usage de filtre passe-haut et passe-bas.....	41
2 Réalisation du module de latéralisation en Δt	43
2.1 Mise en équation.....	43
2.2 Interprétation graphique.....	44
2.2.1 Influence de l'angle α sur le Δt	45
2.2.2 Influence de la distance entre les transducteurs sur le Δt	46
2.3 Réalisation du modèle physique dans <i>Max/MSP</i>	48
2.4 Implémentation des lignes à retard.....	49
2.5 Première version du module.....	49
2.6 Deuxième version du module.....	51
2.7 Intégration dans <i>Max/Gen</i>	52
2.8 Limiter l'introduction d'un retard uniquement aux basses fréquences.....	54
3 Réalisation du module de latéralisation en Δi	57
3.1 Description du problème physique.....	57
3.2 Modélisation de la directivité d'un microphone.....	58
3.2.1 Première approche : la directivité théorique.....	58
3.2.2 Deuxième approche : la directivité réelle.....	60
3.3 Implémentation dans <i>Max/MSP</i>	62

3.3.1	Première version du module.....	62
3.3.2	Deuxième version du module.....	63
3.3.2.1	Modèle du détimbrage.....	63
3.3.2.2	Simulation de couple.....	65
3.3.2.3	Neutralisation du simulateur de couple.....	66
4	Réalisation du module de latéralisation en $\Delta\phi$	68
4.1	Description du problème physique.....	68
4.2	Implémentation dans <i>Max/MSP</i>	68
4.2.1	Première version du module.....	68
4.2.2	Deuxième version du module.....	69
5	Réalisation d'un contrôleur de largeur stéréophonique des sources.....	70
5.1	Intérêt d'un tel module.....	70
5.2	Cas des sources stéréophoniques.....	71
5.3	Cas des sources monophoniques.....	72
5.4	Implémentation dans <i>Max/MSP</i>	73
6	Mise en cascade des différents blocs fonctionnels.....	75
6.1	Optimisation du traitement du signal.....	75
6.2	Conception de l'interface utilisateur.....	76
6.2.1	Quelle liberté donner à l'utilisateur ?.....	76
6.2.2	Fonctionnement des différents réglages.....	77
6.2.2.1	Potentiomètre de panoramique.....	77
6.2.2.2	Curseur de corrélation.....	78
6.2.2.3	Potentiomètre de largeur stéréophonique.....	80
6.2.2.4	Menu des options.....	80
6.2.3	Choix de l'ergonomie et de l'apparence de l'interface utilisateur.....	81
	Réalisation de tests perceptifs.....	83
1	Protocoles de test.....	84
1.1	Test 1 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans l'écoute de sources isolées.....	84
1.2	Test 2 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans l'écoute de mixages de musiques actuelles.....	85
1.3	Test 3 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans la réalisation d'une tâche de latéralisation des sources pour un mixage de musique actuelle.....	86
2	Analyse et interprétation des résultats des tests.....	88
2.1	Résultats du test 1.....	88
2.2	Résultats du test 2.....	89
2.3	Résultats du test 3.....	91
	Conclusion.....	94
	Bibliographie.....	101
	Index.....	103
	Annexes.....	105
1	Questionnaires de tests perceptifs.....	105
2	Capture d'écran des patches <i>Max/MSP</i>	107

3 Code du DeltaPan.....	115
3.1 Pré-requis : fonction ll.og.....	115
3.2 Le DeltaPan.....	116

INTRODUCTION

En 1931, Alan Blumlein propose toute une chaîne de production sonore reposant sur deux canaux depuis la prise de son jusqu'à la diffusion¹. Ce qu'il décrivait sous le nom de « son binaural » (littéralement, le son à écouter avec deux oreilles) est ce que nous appelons aujourd'hui la stéréophonie. Cependant, la proposition de Blumlein impose un système de diffusion à deux enceintes. Le supplément d'investissement en équipement que cela engendrait pour les auditeurs a fait tomber le système dans l'oubli ; la stéréophonie fût considérée à l'époque comme un système sans avenir commercial.

Il faudra attendre une vingtaine d'année plus tard pour que la question de la stéréophonie se pose à nouveau. Le coût du matériel, devenu plus abordable, rend l'investissement dans une deuxième enceinte plus accessible. C'est en 1958 que sont produits en masse les premiers disques vinyles stéréophoniques. Les années soixante se font la décennie de l'expérimentation du champ stéréophonique dans les disques de musiques actuelles. Les ingénieurs du son et les groupes exploitent ce procédé car il permet une meilleure séparation des sources et une mise en scène sonore plus riche. Du côté des musiques dites savantes, la stéréophonie va permettre d'accroître la sensation de réalisme des enregistrements, en restituant, grâce à l'usage de couple microphonique, une approche de l'écoute naturelle. Il faut d'ailleurs

¹ Alan D. Blumlein, « British Patent Specification 394,325 (Improvements in and Relating to Sound-Transmission, Sound-Recording and Sound-Reproducing Systems) », *Journal of the Audio Engineering Society* 6, n° 2 (1 avril 1958): 91-130, <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=233>.

noter que c'est cette production musicale classique qui a beaucoup œuvré pour le développement de la recherche autour de la stéréophonie. Cela aboutira à la mise au point d'une multitude de techniques de prise de son, en jouant sur les différents types de microphones et sur leur placement. Dorénavant, l'ensemble de la chaîne de production audio prend en compte la diffusion stéréophonique.

Mais, alors que les preneurs de sons avaient à leur disposition plusieurs procédés de captation (différence d'intensité, de temps et de phase) pour expérimenter la stéréophonie, les mixeurs, quant à eux, ne disposaient sur chaque tranche de leur console que du traditionnel potentiomètre de panoramique qui permet le réglage du niveau du signal audio parvenant à l'enceinte de gauche et à l'enceinte de droite. Cette opération, appelée balance, constitue l'outil par défaut de latéralisation des sources pendant le mixage et ainsi rend possible la restitution de l'espace sonore. Pendant toute la période où l'analogique a dominé la production musicale, le potentiomètre de panoramique, grâce à sa simplicité, a constitué un outil de choix pour la latéralisation des sources. D'autres techniques de latéralisation des sources ont été développées plus tard, mais elles nécessitaient une électronique plus complexe et plus onéreuse.

À la fin des années 90 et au début des années 2000, l'industrie musicale entame sa transition de l'analogique vers le numérique. L'avènement des stations de travail audionumériques (*DAW*²), plus flexibles dans leur utilisation, plus neutres dans leur

2 DAW : Digital Audio Workstation : station de travail audionumérique

façon de traiter les signaux et surtout moins chères, a eu comme conséquence l'abandon progressif des enregistreurs à bandes. Quelles soient bâties autour de systèmes à ordinateurs, embarquant *Pro Tools*, *Cubase*, *Pyramix*, etc., ces stations de travail audionumériques, en plus de la possibilité d'effectuer des enregistrements, permettent d'effectuer des traitements : balance de volumes, filtrage, égalisation, saturation, réverbération, modulation, retard et panoramique. Malgré l'ajout de quelques fioritures supplémentaires (possibilité de choisir la loi de variation du panoramique, réglage de largeur stéréophonique, etc.), le potentiomètre de panoramique règne encore.

Pourtant de nombreuses recherches ont eu lieu au cours du siècle dernier sur la faculté de l'Homme à localiser des sons dans l'espace. Elles ont ainsi permis de mettre à jour l'influence de plusieurs phénomènes comme la différence d'intensité, de temps et de phase et de montrer la prédominance de chaque mécanisme dans certains domaines de fréquences. Les mécanismes qui régissent notre capacité à localiser les sons dans l'espace qui nous entour sont plus complexe qu'une simple différence d'intensité.

Au cours de ces 15 dernières années, plusieurs tentatives de moderniser le potentiomètre de panoramique ont vu le jour. *Merging Technologies* a développé *PanNoir* qui permet de spatialiser une source autour d'une simulation de couple, *Goodhertz* propose le *PanPot* qui intègre également différence de temps, d'intensité et de phase ; au bout de ces démarches, on retrouve les spatialisateurs comme le *SPAT*

de l'*IRCAM* qui permettent de s'affranchir du système de diffusion en proposant un mixage orienté objet. Cependant, chacun de ces outils a sa propre interface. L'utilisation de cette interface est plus complexe que l'utilisation du simple et traditionnel potentiomètre de panoramique.

L'outil mis en œuvre dans le cadre de ce travail baptisé, DeltaPan, a pour objectif de proposer un moyen de latéralisation des sources plus complet que le traditionnel potentiomètre de panoramique tout en conservant sa simplicité d'utilisation et sa rapidité. En effet, contrairement au potentiomètre de panoramique qui agit que sur la différence d'intensité, notre outil permet d'exploiter la différence d'intensité de temps et de phase ; d'autres fonctionnalités supplémentaires seront décrites plus bas. Ainsi, notre outil de latéralisation offre aux mixeurs plus de latitude de mise en scène sonore que le potentiomètre de panoramique.

Dans la première partie de ce manuscrit, nous rappelons les mécanismes mis en jeu par notre système auditif pour localiser des sources sonores. Nous décrirons ensuite les fondements de la stéréophonie, de la prise de son à la diffusion en passant par le mixage. Nous présenterons ensuite notre outil, depuis l'élaboration de son cahier des charges jusqu'à la réalisation d'un prototype fonctionnel. Nous terminerons par la présentation de tests perceptifs permettant de mettre en évidence les apports de notre outil de latéralisation par rapport au potentiomètre de panoramique.

ÉTAT DE L'ART

De notre écoute aux pratiques de productions musicales

Table des matières

État de l'art.....	12
1 Approche physiologique.....	13
1.1 Localisation des sons par différence de temps.....	14
1.2 Localisation des sons par différence d'intensité.....	15
1.3 Localisation des sons par différence de phase.....	15
2 Pratique de la création de scènes sonores stéréophoniques.....	19
2.1 Création d'un espace stéréophonique dès la prise de son.....	20
2.2 Création d'un espace stéréophonique au mixage.....	26

1 APPROCHE PHYSIOLOGIQUE

Nous nous intéresserons ici au fonctionnement de l'oreille humaine. Au travers de l'exploration de plusieurs travaux de recherches nous chercherons à comprendre quels sont les mécanismes responsables de la capacité de l'Homme à localiser des sources dans l'espace et leur fonctionnement.

Cette capacité est le plus souvent décrite avec la théorie duplexe. Cette dernière prévaut que notre localisation des sources repose sur deux mécanismes, chacun étant prépondérant sur un domaine fréquentiel précis : la différence de temps pour les basses fréquences et la différence d'intensité sonore pour les hautes fréquences. La première élaboration de ce modèle est écrit par Lord John William Strutt Rayleigh en 1907. Si cette conception est toujours très présente aujourd'hui, c'est que ce modèle est assez proche du fonctionnement de notre écoute et permet d'expliquer en grande partie les phénomènes perceptifs. Cependant, nous pouvons trouver dans la littérature plusieurs articles nuancant ce modèle, que ce soit sur le nombre de paramètres responsables de notre capacité à localiser un évènement sonore ou leurs prépondérances fréquentielles.

Nous aborderons donc trois phénomènes distincts de localisation des sons : la différence de temps, d'intensité et de phase³.

3 Note : beaucoup d'études ont considéré, à juste titre, que des différences de temps et de phase était équivalentes. Il faut cependant rappeler que ces études employaient des signaux purs. Dans ce cas précis, l'équivalence entre phase et temps est direct.

1.1 Localisation des sons par différence de temps

Considérons une situation où nous entendons un évènement sonore quelconque. L'onde sonore qu'il produit se propage dans l'espace et met un certain temps à nous atteindre : $temps = \frac{distance}{c}$, où c est la célérité du son dans l'air (340 m.s^{-1}). Or, comme nous avons deux oreilles, le temps de parcours pour arriver à la première n'a, a priori, pas de raison d'être le même que pour la deuxième. L'existence d'un écart de temps dans la réception d'un signal entre nos deux oreilles est un premier paramètre nous permettant de déterminer la position d'un son dans l'espace. Nous parlons de *différence de temps interaurale* (ITD).

L'effet de l'ITD est prépondérant dans les basses fréquences. On estime d'ailleurs que son efficacité diminue grandement lorsque la demi-longueur d'onde du son approche la largeur de la tête (1400 Hz)⁴ car les neurones responsables de ce mécanisme deviennent incapables de maintenir le verrouillage de phase de l'oreille. Cependant, il a été démontré que la localisation par différence de temps est améliorée en haute fréquence pour des sons purs modulés en amplitude et en fréquence⁵.

4 Pierre Buser et Michel Imbert, *Neurophysiologie fonctionnelle: Audition. III* (Hermann, 1987).

5 Alan Kan, « On High-Frequency Interaural Time Difference Sensitivity in Complex Auditory Environments » (Audio Engineering Society Conference: 2018 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality, Audio Engineering Society, 2018), <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=19681>.

1.2 Localisation des sons par différence d'intensité

Lorsque que nous expérimentons une écoute naturelle, nous sommes sensibles à la différence de volume entre nos deux oreilles. Un évènement sonore ayant lieu à notre gauche sera perçu plus fort par notre oreille gauche.

Cette différence de volume est due à la forme de notre oreille, qui induit une directivité de notre écoute ainsi qu'à notre tête. Cette dernière, de par sa taille et sa forme, constitue un obstacle non négligeable pour toutes les fréquences aiguës. Cela provient du fait que les ondes acoustiques sont réfléchies par les objets dont la taille approche leur demi-longueur d'onde. Ainsi, l'ombre acoustique de notre tête n'atténue les fréquences aux alentours de 256 Hz que de 1 % et devient prépondérante sur les fréquences supérieures à 1400 Hz. Ce phénomène porte le nom de différence d'intensité interaurale, soit IID (appelé parfois ILD, pour *Interaural Level Difference*).

1.3 Localisation des sons par différence de phase

Beaucoup de confusions existent autour du terme de phase. Nous prendrons le temps de ces quelques lignes pour tenter d'apporter certaines clarifications. La phase d'un signal est un décalage temporel rapporté à une fréquence que nous exprimons en degré. Lorsque nous appliquons un déphasage à un signal, nous retardons chaque fréquence d'un temps qui lui

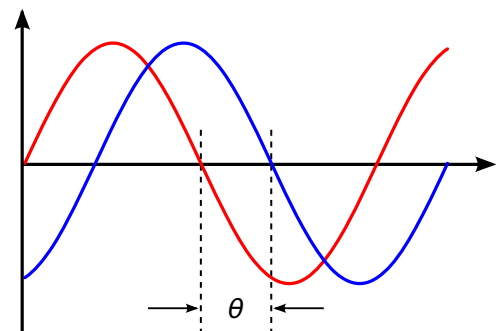


Illustration 1: Déphasage entre deux sinus de même fréquence et de même amplitude. Source du schéma : wikipedia

est propre. Lorsque nous sommes deux signaux d'amplitude identique mais de phase différente, les interactions peuvent être constructives ou destructives en fonction de ce rapport de phase. Prenons comme signaux deux sinusoides de même fréquences ; si ces signaux sont en phase ($\Delta \varphi=0^\circ$) la sommation est constructive et un gain de +3 dB est observé. Si ces signaux sont parfaitement hors-phase ($\Delta \varphi=180^\circ$) alors la sommation est destructive et aucun signal n'est présent en sortie de cette sommation. Ce constat est valable pour tout signal périodique.

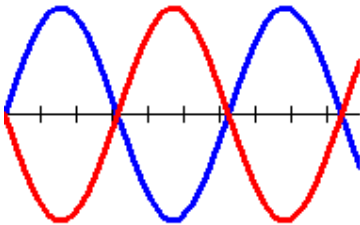


Illustration 2: Le sinus tracé en rouge est obtenue après une inversion de polarité du sinus tracé en bleu. Source du schéma : wikipedia

Cette variation de phase est à ne pas confondre avec ce que les ingénieurs du son appellent sur leurs consoles « l'inversion de phase ». Il s'agit ici d'une inversion de polarité du signal, ce qui est physiquement très différent. Les amplitudes positives deviennent négatives et vice-versa. La confusion des deux phénomènes vient souvent du fait qu'ils sont expliqués

à l'aide de signaux test, comme une sinusoïde. Effectivement, une inversion de polarité, ou un déphasage de 180° degrés sont deux opérations équivalentes pour un signal périodique, mais pas pour des signaux complexes. Cette ambiguïté s'accroît encore plus en anglais, où l'appellation des deux phénomènes est « *out of phase* ». Dès lors, la lecture de certains articles devient très ambiguë car la distinction entre les deux phénomènes à la lecture devient parfois très complexe.

Nous parlerons dans ce paragraphe de différence de phase pour des sons complexes. Ce phénomène n'est donc pas à confondre avec une différence de temps, bien qu'équivalent pour des signaux périodiques.

Il existe deux articles parus au JAES⁶ cherchant à évaluer l'importance de la différence de phase dans notre capacité à localiser des événements sonores. Le premier, *The Significance of Phase as an Auditory Cue*⁷, propose d'évaluer la prédominance des trois différences perceptives interaurales. Pour cela, l'équipe de chercheurs a choisi de mettre ces paramètres en conflit : ITD contre IID, ITD contre IPD et IID contre IPD. Plusieurs conclusions sont tirées :

- Un signal dont un de ses canaux stéréophoniques est en « avance de phase » paraîtra localisé du côté de ce canal.
- Il est possible de compenser un décalage de phase en introduisant un décalage temporel sur le canal opposé. L'ITD et l'IPD se compensent donc bien.
- L'IPD est efficace sur des signaux tonaux mais peu sur des signaux impulsionnels et des enregistrements de voix parlées

6 JAES : journal of Acoustic Engineering Society

7 Koray Ozcan et al., « The Significance of Phase as an Auditory Cue » (Audio Engineering Society Convention 114, Audio Engineering Society, 2003), <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=12508>.

Le second article, *The Importance of Phase in the Presence of Sound Sources Direction*⁸, reprend la même approche en incluant cette fois l'influence des HRTF⁹. Plusieurs HRTF ont été créées pour chaque sujet en balayant le plan d'écoute horizontale par pas de dix degrés. Les constats de cette études sont les suivants :

- l'IPD est très rapidement compensé par l'utilisation d'HRTF à partir de 20°
- l'ITD domine l'utilisation d'HTRF jusqu'à 70°

Ces études sont parmi les seules à envisager l'IPD comme un phénomène à part entière. Le principal auteur de ces articles, Koray Ozcan, à également écrit une thèse couvrant l'ensemble de ce sujet. Cette dernière n'est malheureusement pas disponible.

Si la conceptualisation de l'ITD et de l'IID est assez simple (l'ITD existe à cause de la distance entre nos oreilles et l'IID est la conséquence de l'ombre de notre tête sur certaines fréquences), celle de l'IPD l'est beaucoup moins. Il est en effet très compliqué de se représenter le fonctionnement de notre corps qui pourrait être responsable de notre sensibilité à une rotation de phase. La conséquence de cette absence de modèle physique est que nous ne pouvons pas proposer une amplitude de valeurs que peut prendre le déphasage des canaux ni une courbe d'évolution en fonction de la position de la source par rapport à un auditeur.

8 Koray Ozcan, « The Importance of Phase in the Presence of Sound Source Direction » (Audio Engineering Society Convention 118, Audio Engineering Society, 2005), <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=13200>.

9 HRTF : Head Related Transfer Fonction

2 PRATIQUE DE LA CRÉATION DE SCÈNES SONORES STÉRÉOPHONIQUES

La prise de son est le premier maillon de la production sonore. Le principe initial est d'utiliser un transducteur (un capteur tel qu'un microphone) afin de convertir une onde acoustique (onde sonore généré par la source sonore à capter) en un signal électrique, puis de le fixer sur support d'enregistrement (aujourd'hui, un disque dur). Nous détaillerons l'ensemble des évolutions de l'esthétique de la prise de son. Nous rappellerons simplement qu'il existe deux méthodologies complémentaires : l'approche multi-microphonique (ou répartie¹⁰) et l'approche stéréophonique (ou globale¹¹).

La première consiste à, sur un ensemble de musiciens à enregistrer, placer autant de microphones que nécessaires pour capter chaque source de manière optimale pour ensuite recréer la scène sonore au mixage (équilibre des volumes et des positions des sources dans l'espace). La seconde propose de capter l'ensemble de la scène sonore par le biais de deux microphones appairés, un pour le canal gauche de diffusion et un pour le canal droit. La disposition de ces deux microphones permet de modifier l'angle de prise de son, et la manière dont la stéréophonie va être créée (par différence de temps ou d'intensité entre les deux capsules).

10 Mario Rossi, *Audio* (PPUR presses polytechniques, 2007).

11 Rossi.

Même si nous associons généralement l'esthétique de la monophonie dirigée (multi-microphonie) aux musiques actuelles et celle de la prise de son au couple stéréophonique à la musique dite « savante », la réalité est évidemment bien moins binaire. L'emploi d'appoint pour préciser des instruments en musique savante est monnaie courante, et, l'usage de couple stéréophonique sur des instruments comme la batterie, en musique actuelle, est tout aussi fréquent.

Nous nous intéresserons dans un premier temps à dresser l'état des lieux de la prise de son stéréophonique afin de dégager des fonctionnements et des mécanismes dont nous pourrions nous inspirer pour la réalisation de notre outil. Dans un second temps, nous basculerons dans la partie post-production en étudiant les traitements appliqués aux sources monophoniques afin de recréer un espace stéréophonique. Nous attacherons évidemment une attention particulière au potentiomètre de panoramique.

2.1 Création d'un espace stéréophonique dès la prise de son

2.1.1 Mécanismes de la prise de son stéréophonique

2.1.1.1 Préambule sur la directivité des microphones

Nous ne ferons ici que quelques rappels de base sur les microphones. Il existe deux technologies de microphones, ceux à pression et ceux à gradient de pression. Les premiers sont connus sous le nom de microphone omnidirectionnel, les seconds sous le nom de microphone bidirectionnel. Les microphones directifs sont conçus par combinaison de ces deux directivités initiales. Le plus connu est le microphone

cardioïde, ayant la particularité d'avoir la plus forte atténuation à l'arrière. Il existe cependant toute une variété de directivités entre l'omnidirectionnel et le bidirectionnel. Michael Williams¹² propose d'ailleurs un large panel de dénominations : omnidirectionnel, hypocarديوïde, cardioïde, supercardioïde, hypercardioïde et enfin bidirectionnel. La création de couples de microphones stéréophoniques employant des microphones de directivités variées permet au preneur de son de façonner l'espace stéréophonique qu'il désire retranscrire

2.1.1.2 Techniques de prise de son non-coïncidente

Nous l'avons vu précédemment, l'Homme peut localiser une source dans l'espace en évaluant la différence de temps que met l'onde sonore de la source pour parvenir à ses deux oreilles (ce que nous appelons l'ITD). La prise de son globale utilisant deux microphones non-coïncident permet d'introduire une différence de temps qui dépend de la distance qui sépare les deux capsules. La décorrélation produite sur le champ réverbéré par l'espacement des deux microphones permettrait d'améliorer la sensation d'espace¹³. Ce système de prise de son permet d'approcher un des comportements de l'oreille humaine.

Nous parlons souvent de couple AB (en raccourci de couple AB de microphones omnidirectionnels) pour parler de couple microphonique non-coïncident. Il se décrit rigoureusement de la manière suivante¹⁴ :

12 Michael Williams, *Microphone Arrays for Stereo and Multichannel Sound Recordings : a variable two channel microphone array ; The training of the ear : experimental recording and listening tests ; More on microphones : a short tutorial*, vol. 1 (Editrice Il Rostro, 2004).

13 Rossi, *Audio*.

14 Christian Hugonnet et Pierre Walder, *Prise de son: Stéréophonie et son multicanal* (Eyrolles, 2012).

- L'emploi de deux microphones omnidirectionnels appairés¹⁵.
- Les deux microphones sont parallèles.
- Ils sont séparés de plusieurs dizaines de centimètres.

La définition de « AB » peut se révéler très floue dans la littérature. Chez Mario Rossi, dans « Audio¹⁶ », il décrit les couples AB comme « [...] deux microphones unidirectionnels dont les axes de référence forment un angle χ de 90° à 120° et dont les points de référence sont séparés d'une distance de 150 à 250 mm , sans écran interposé. ». Cependant, dans « Prise de Son ; Stéréophonie et Multicanal »¹⁷ Christian Hugonnet et Pierre Walder considèrent comme AB tout système de prise de son non-coïncident.

De part le décalage temporel introduit par l'espacement entre les microphones, la sommation des deux canaux génère un filtrage en peigne¹⁸, ce qui se traduit perceptivement par une perte d'information fréquentielle. Cela à plusieurs conséquences : la sommation des deux microphones est, a priori, à limiter durant un mixage, et un même mixage comportant des prises de sons non-coïncidente aura une moins bonne compatibilité monophonique. Cette compatibilité peut être contrôlée

15 Sont dit appairés, deux microphones d'un même modèle sélectionnés par le fabricant pour leur réponse en fréquence et leur niveau de sortie très proches.

16 Rossi, *Audio*.

17 Hugonnet et Walder, *Prise de son*.

18 Un filtrage en peigne se produit lorsqu'un signal est sommé avec une version de lui-même retardée. La réponse en fréquence de ce filtre prend une allure de peigne.

durant les phases de post-production par l'utilisation d'outil mesurant la corrélation de phase et en monitorant régulièrement le mixage sur une écoute monophonique.

2.1.1.3 Techniques de prise de son coïncidente

Également appelé système XY, les prises de son coïncidentes utilisent deux microphones directifs dont les capsules sont confondues dans l'espace et dont les axes de référence forment un angle souhaité par le preneur de son. De cette manière, il n'existe pas (ou de manière négligeable) de différence de temps généré par ce système de prise de son. On appelle parfois couple XY, un couple de prise de son répondant au critère suivant :

- L'utilisation de deux microphones cardioïdes.
- Leurs axes de références forment un angle de 90°.
- Les deux capsules sont coïncidentes.

Un autre exemple de couple stéréophonique coïncident est le couple M/S (pour *middle/side*¹⁹). Il implique l'utilisation de deux microphones, un unidirectif et un bidirectif. Le premier est positionné de telle manière à capter la source en face de lui. Le deuxième est positionné en coïncidence avec le premier de façon à enregistrer le champ diffus. Il faut ensuite réaliser un dématrissage entre les deux signaux pour pouvoir entendre le résultat sur un dispositif d'écoute reposant sur deux canaux gauche et droit. Le signal M est affecté au centre et le signal S est séparé sur deux

19 Littéralement « Centre/latéral » en français.

canaux, un pour la gauche (+S) et un pour la droite où la polarité du signal est inversée (-S). L'avantage souvent avancé pour défendre l'utilisation de cette technique est qu'elle permet d'adapter la quantité de signal latéral dans le mixage et donc de pouvoir moduler la largeur de la source. Dans les faits, nous pouvons matricer n'importe quel signal stéréophonique pour atténuer ou augmenter ses composantes centrales ou latérales.

L'avantage d'un couple coïncident par rapport à un autre non-coïncident est de ne pas introduire de filtrage en peigne en cas de sommation de ses canaux. Il s'agit donc d'une technique rétrocompatible avec la diffusion monophonique. Cette caractéristique n'est pas surprenante car les deux systèmes XY et M/S ont été conçus à une époque où la stéréophonie n'en était encore qu'à un stade expérimental²⁰. Il fallait donc que les programmes produits en stéréophonie ne souffrent pas d'une diffusion monophonique.

2.1.1.4 Combinaison des méthodes : stéréophonie par différence de temps et d'intensité

La quête de trouver le système de prise de son global qui rendrait compte le plus fidèlement possible de l'écoute humaine a fait naître une multitude de propositions de couple avec des propriétés différentes. En France, nous connaissons très bien l'ORTF : 17 centimètres d'espacement entre les capsules et un angle de 110° entre

²⁰ Blumlein, « British Patent Specification 394,325 (Improvements in and Relating to Sound-Transmission, Sound-Recording and Sound-Reproducing Systems) ».

l'axe de prise de son des capsules. Mais, beaucoup de pays ont développés leurs propres systèmes.

Afin d'unifier toutes ces techniques, Michael Williams a proposé un système permettant de lier la directivité des microphones, la distance séparant deux capsules, l'angle physique entre les microphones et l'angle de prise de son (SRA²¹)²². Il découle de ses recherches les abaques consultables sur le site internet : <http://www.mmad.info/MAD/2%20Ch/2ch.htm>

Ces informations sont très utiles aux preneurs de sons, car si un couple absolu et idéal n'existe pas, les abaques permettent de réagir rapidement face à un ensemble musical, un instrument ou une situation sonore à enregistrer, tout en tenant compte de la distorsion angulaire et du rapport champ direct/champ réverbéré. Il existe également un programme réalisé par Michael Williams qui permet de générer tous les paramètres d'un couple de prise de son stéréophonique pour un angle de prise de son voulu et vice-versa. Le code de ce programme est intégré en annexe de son article « *Unified Theory Of Microphone Systems* »²³.

21 Stereophonic Recording Angle – Angle d'enregistrement stéréophonique.

22 Williams, *Microphone Arrays for Stereo and Multichannel Sound Recordings*.

23 Michael Williams, « Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording » (Audio Engineering Society Convention 82, Audio Engineering Society, 1987), <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=4963>.

2.2 Création d'un espace stéréophonique au mixage

2.2.1 Potentiomètre de panoramique

Le potentiomètre de panoramique est l'outil le plus utilisé pour latéraliser une source au cours d'un mixage. Il est rapidement devenu incontournable, équipant toutes les tranches de consoles quelque soit leur gamme de prix. Il est en fait l'évolution du sélecteur de canal présent sur les premières consoles stéréophoniques. Les tranches de traitement de ces dernières étaient simplement équipés d'un interrupteur qui permettait d'affecter la piste en question au canal gauche ou droit du bus stéréophonique. Il était alors possible de faire bouger le signal en l'envoyant dans deux tranches de la consoles, l'une alimentant le canal gauche, l'autre alimentant le canal droit et en se servant des *faders*²⁴ pour positionner la source. Cependant, nous parlons ici d'une époque où le nombre de tranches de console était très limité et ce genre de traitement était donc forcément exceptionnel.

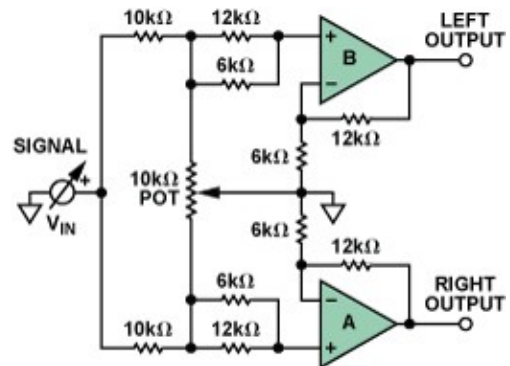


Illustration 3: Schéma électronique d'un potentiomètre de panoramique à faible de taux de distorsion. Réalisé par Chau Tran sur le site internet www.analog.com

Le potentiomètre de panoramique fonctionne sur un système similaire, un signal monophonique est reçu à son entrée. Ce signal est ensuite séparé vers les deux canaux stéréophoniques. Le potentiomètre vient finalement doser la proportion de l'un et de l'autre.

²⁴ Tirette de volume en français. Notons que cette formulation n'est jamais employée.

Une des subtilités du potentiomètre de panoramique est sa loi de variation. Comme expliqué dans « *Mixing Audio*²⁵ », il en existe quatre courantes : -0, -3, -4.5 et -6 dB. Ces lois déterminent l'atténuation appliquée au signal traité lorsque le signal est envoyé de manière identique au deux canaux (lorsque le potentiomètre de panoramique indique 0). La nécessité de ces atténuations provient de la sommation des signaux du point de vue acoustique ou électrique. Considérons un signal traité par un potentiomètre de panoramique ayant une loi d'atténuation de 0 dB. Admettons que, lorsque nous envoyons ce signal uniquement sur l'enceinte gauche (potentiomètre en position extrême gauche), celle-ci émette le signal à 80 dB_{SPL}. Lorsque nous mettons notre potentiomètre sur la position extrême droite, l'enceinte droite jouera à son tour à 80 dB_{SPL}. Dès lors, sans atténuation au centre, lorsque notre potentiomètre indiquera 0, nos deux enceintes émettront chacune le signal à 80 dB, amenant à une sommation acoustique de +3 dB dans le plan médian des deux enceintes. Nous aurons donc une sensation d'augmentation de l'intensité sonore au centre. Il en découle immédiatement l'origine d'une loi de panoramique de -3 dB qui compense très exactement la sommation acoustique des deux enceintes. On retrouve cette loi dans la littérature sous la dénomination « loi tangente »²⁶, ou encore « loi de puissance constante »²⁷. Elle est régie par les équations suivantes²⁸²⁹ :

25 Roey Izhaki, *Mixing Audio: Concepts, Practices and Tools* (Taylor & Francis, 2013).

26 David Griesinger, « Stereo and Surround Panning in Practice », 2002, 6.

27 Laurent Millot, *Traitement du signal audiovisuel: Applications avec Pure Data* (Dunod, 2008).

28 Griesinger, « Stereo and Surround Panning in Practice ».

29 Etienne Hendrickx, « Influence de la stéréoscopie sur la perception du son : cas de mixages sonores pour le cinéma en relief » (Theses, Université de Bretagne occidentale - Brest, 2015).

$$\begin{cases} G_{\text{sortie}} = \cos(\gamma) * \text{Entrée} \\ D_{\text{sortie}} = \sin(\gamma) * \text{Entrée} \end{cases} \quad \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha_{\text{enceintes}})} = \frac{G_g - G_d}{G_g + G_d}$$

où α_{enceinte} est l'angle formé par le point d'écoute et les deux enceintes, γ est l'angle incidence de la source de tel manière que lorsque $\gamma=0$ alors la source sonore est émise seulement par l'enceinte gauche, et lorsque $\gamma=\alpha_{\text{enceinte}}$ la source est émise uniquement par l'enceinte droite. Enfin, θ est l'angle d'incidence de la source sonore de tel manière que lorsque $\theta=0$ la source sonore est diffusée à la même intensité entre les enceinte gauche et droite.

Plaçons-nous maintenant du point de vue électrique. Admettons que notre signal stéréophonique soit amené à être écouté sur un dispositif monophonique par un très grand nombre d'auditeurs, dans ce cas, la sommation ne sera plus réalisée acoustiquement par nos oreilles, mais électriquement. Alors, la sommation de deux signaux identiques engendre un gain de +6 dB. C'est ainsi que nous aboutissons à une loi de panoramique de -6 dB, également appelée « loi d'intensité constante »³⁰.

La loi de pan de -4.5 dB correspond simplement au compromis entre sommation acoustique et sommation électrique, ramenant l'erreur maximale à 1.5 dB en lieu et place de 3 dB. Roey Izhaki³¹ avance également qu'une autre raison de choisir la loi de pan de -4.5 dB est liée au comportement des enceintes dans une pièce peu réverbérante. Dans ces conditions, la sommation acoustique dans les basses fréquences est plus proche de 6 dB que de 3 dB.

³⁰ Millot, *Traitement du signal audiovisuel*.

³¹ Izhaki, *Mixing Audio*.

Pour conclure sur la question des lois de panoramique, nous pouvons en évoquer une dernière plus exotique. Comme la plupart des phénomènes de masquages fréquentiels ont lieu au centre de l'espace stéréophonique, les signaux peuvent paraître légèrement plus fort sur les côtés lorsqu'une loi de panoramique de -3 dB est utilisée. La loi de -2.5 dB permet de compenser cet effet avec un léger gain de 0.5 dB au centre. Il s'agit de la loi de panoramique originelle de *Pro Tools*.

Dans nos stations de travail, nous trouvons différentes moutures de ce potentiomètre en fonction des signaux qu'il reçoit. Pour un signal monophonique, il fonctionne comme décrit précédemment. Pour un signal stéréophonique, il peut adopter deux fonctionnements. Le premier se matérialise par deux contrôles rotatifs, l'un gérant le gain des canaux gauche et droit du signal (parfois appelé *balance pot* par les anglo-saxons) et permettant donc de mettre le son plus fort à gauche ou à droite, et l'autre gérant la « largeur » de la source. Ce contrôle sur la largeur de la source est obtenu en envoyant une partie du canal gauche du signal dans le canal droit de notre bus stéréophonique et vice-versa. Lorsque le réglage de largeur est à zéro, les canaux gauche et droit de notre signal sont envoyés à même niveau sur les canaux gauche et droit de le bus stéréophonique de notre mixeur. La conséquence directe de ce mélange est l'introduction d'un filtrage en peigne. Ce réglage est donc à utiliser avec parcimonie ou, en tout cas, en connaissance de cause.

La deuxième implémentation possible du potentiomètre de panoramique stéréophonique est l'usage de deux potentiomètres, un par canal de la source. Le

signal n'est pas traité lorsque chacun des potentiomètres est respectivement à l'extrême gauche et à l'extrême droite de sa course de réglage. Sur le papier, ce système semblerait offrir la plus grande flexibilité de placement de la source, mais, dans les faits il s'agit surtout d'un fantastique générateur de filtrage en peigne, puisque tous les réglages, autres que sa position neutre, introduisent une sommation des deux canaux. Il est à noter qu'il s'agit de l'unique façon dont dispose *Pro Tools* pour manipuler le panoramique des sources stéréophoniques.

2.2.2 Lignes à retard

Les lignes à retard permettent, comme leur nom l'indique, d'appliquer un retard à un signal. Leur utilisation est souvent rattachée à la prise de son où elles permettent de réaligner temporellement des microphones enregistrant la même source afin de minimiser les interférences destructives. Nous les retrouvons aussi dans la catégorie des effets, sous le nom d'écho (ou délai) que nous détaillerons plus loin.

Cependant, nous pouvons également utiliser des lignes à retard pour créer une sensation de latéralisation reposant sur l'ITD. Le principe est de retarder le signal destiné à un des canaux gauche ou droit du bus stéréophonique de la console de mixage. Le son paraîtra venir du côté où il est émis en premier.

Il est cependant rare de trouver des délais conçus pour cette utilisation. Leur ordre de grandeur est souvent trop élevé (de l'ordre de plusieurs millisecondes) pour créer

une localisation précise de la source. À ma connaissance, seul *Reaper* intègre nativement un tel outil de panoramique « *Time Difference Pan* ».

2.2.3 *Autres effets*

Il existe une multitude d'outils autre que le potentiomètre de panoramique permettant d'agir sur la composante stéréophonique d'un mixage. Certains relèvent d'ailleurs plus de l'effet sonore que du traitement correctif. Dans les lignes suivantes, nous allons décrire chacun de ces outils, en expliquer le fonctionnement et donner quelques exemples.

Parlons tout d'abord de l'outil qui se rapproche le plus de notre potentiomètre de panoramique : l'égaliseur de panoramique graphique. Son but est de permettre de manipuler la balance entre les canaux gauche et droit du bus stéréophonique d'une certaine bande de



Illustration 4: Le "Stereoplacer" de Nugen Audio

fréquences. Il emprunte d'ailleurs son interface utilisateur à l'égaliseur paramétrique à représentation graphique. Nous choisissons donc une forme de filtre, une fréquence et un facteur de qualité. L'équivalent du gain sera la balance : lorsque l'utilisateur déplacera une bande de fréquences dans l'enceinte gauche via l'interface, le logiciel augmentera le gain de cette bande de fréquences pour le canal gauche et diminuera d'autant pour le canal droit. Nous citerons le « *Stereoplacer* » de *Nugen Audio*. Le but

de ce genre d'outil est d'intervenir sur un plan correctif, pour tenter de rattraper un enregistrement approximatif ou pour de la restauration sonore.

En restant dans les proches cousins du potentiomètre de panoramique, nous trouverons l'*Auto-Pan*. Son but est de créer un mouvement dans le champ stéréophonique en modulant le réglage de panoramique par un oscillateur basse-fréquence. On pourra donc régler la fréquence de l'oscillateur ainsi que son intensité qui détermineront respectivement l'amplitude du mouvement du potentiomètre et sa vitesse. Son utilisation est assez marginale et relève de l'effet sonore. Il existe une pléthore d'*Auto-Pan* et son souvent inclus dans les traitements livrés avec les logiciels de musique assistée par ordinateur.



Illustration 5: Le « MSED » de Voxengo

Nous avons l'habitude de concevoir un signal stéréophonique comme l'existence de deux signaux, gauche et droit. Or, nous

pouvons aussi décomposer ce signal en une composante centrale et une composante latérale. Il s'agit d'un matricage M/S (pour *middle-side* en anglais). Cette approche est principalement utilisée en cas de prise de son avec un système M/S où un dématricage est nécessaire pour pouvoir l'écouter sur un système reposant sur deux canaux gauche et droit. Mais, nous pouvons appliquer le même principe sur tous les signaux stéréophoniques. Pour réaliser un matricage M/S il suffit de calculer les

composantes centrale et latérale :
$$\begin{cases} M = \frac{L+R}{2} \\ S = \frac{L-R}{2} \end{cases}$$
 . En résolvant ce système par addition

nous obtenons
$$\begin{cases} L = M+S \\ R = M-S \end{cases}$$
 . Physiquement, le signal central correspond à la composante en phase des canaux gauche et droit. Le signal latéral est lui constitué de la composante hors-phase des canaux gauche et droit. Une fois que nous avons accès à ces deux signaux centre et latéral, nous pouvons manipuler la largeur stéréophonique du signal stéréophonique. Il suffit de changer la proportion entre les composantes centrale et latérale. Nous avons donc ici une alternative au réglage de « largeur », vu plus haut, proposé par certains potentiomètres de panoramique, qui réduisent la sensation de largeur stéréophonique des sources stéréophoniques en mélangeant les canaux gauche et droit. L'avantage du matriçage M/S est de ne pas introduire de filtrage en peigne. Il existe une multitude de *plugin* permettant de réaliser un matriçage et un dé-matriçage M/S, tel que *bx_solo* de *Brainworks*, le *M/S Encoder/Decoder* de *Voxengo*, et le plus complexe *M/S* de *Goodhertz* qui permet de réaliser divers traitements supplémentaires.

Si un traitement M/S permet de manipuler aisément l'étalement d'une source



Illustration 6: Le « Wider » de Polyverse

stéréophonique, il est évidemment parfaitement inefficace sur un signal monophonique. Pour palier à ce problème, plusieurs algorithmes proposent de générer un signal stéréophonique à partir d'un signal monophonique. Un grand nombre de traitements existent, avec une exigence de rendu très variable. Les plus cavaliers s'inspirent de l'effet Haas. Le signal monophonique est dirigé vers un des canaux stéréophoniques et une copie retardée de plusieurs millisecondes (généralement autour d'une vingtaine) et envoyée vers le canal opposé. En équilibrant les volumes des deux canaux, on peut parvenir à procurer une sensation d'élargissement de la source d'origine. Cependant, ce dispositif n'est absolument pas compatible avec une sommation monophonique, qui lui causerait un important filtrage en peigne. La deuxième méthode s'inspire du matriçage M/S et génère une composante latérale virtuelle à partir d'une source monophonique. Le principe initial est donc de laisser notre signal d'origine au centre de l'espace stéréophonique, de générer un nouveau signal à partir de ce dernier en le retardant de quelques millisecondes et enfin d'attribuer ce signal retardé à un des canaux de la stéréophonie et sa version en opposition de polarité à l'autre canal. Ainsi, si nous basculons notre écoute en monophonie et effectuons une sommation électrique de nos canaux, la composante latérale disparaît complètement. Enfin, une troisième méthode consiste à répartir le contenu spectral du signal entre les canaux gauche et droit. Nous pouvons citer trois *plug-ins* : « *Wider* » de *Polyverse Music*, *PS22* de *Waves* et « *Stereoizer* » de *Nugen Audio*.

Les traitements que nous allons maintenant aborder n'ont pas pour but premier de permettre de travailler sur la stéréophonie d'un mixage, il s'agit plutôt d'une conséquence de leur traitement. Le *chorus* et le *flanger* reposent sur le même principe. Il s'agit de retarder le signal entrant et de le mixer avec le signal retardé. Pour créer l'effet de modulation, la valeur du retard appliquée est modulée par un oscillateur basse fréquence. C'est cette variation qui va créer l'effet de changement de hauteur du son pour un *chorus* et l'effet de balayage d'un *flanger*. La différence principale entre les deux effets est l'ordre de grandeur du retard appliqué au signal. Pour créer une version stéréophonique de ces effets, il suffit d'implémenter deux lignes à retard, une pour le canal gauche et une pour le canal droit avec deux valeurs différentes de retard. On retrouve principalement ces traitements sur des guitares électriques et des synthétiseurs. Il n'y a cependant jamais de règle sur l'usage de ces effets ; ainsi, on trouve parfois des batteries, des pianos et des voix traitées par ce genre d'algorithme. Il n'est pas rare de voir des ingénieurs du son utiliser de tels effets pour élargir radicalement la stéréophonie d'une source. Nous pouvons citer par exemple le « *Microshift* » de *Soundtoys* et le « *Instant Flanger* » d'*Eventide*.

Le *phaser* est un autre effet de modulation qui permet de créer une sensation de stéréophonie à partir d'un signal monophonique. Un *phaser* utilise un filtre passe-tout dont la fréquence de coupure est commandée par un oscillateur basse fréquence. Pour créer un effet de stéréophonie, il ne s'agit, encore une fois, que d'implémenter deux passe-tout, un pour le canal gauche et un pour le canal droit, avec deux

fréquences de coupures différentes. De manière analogue au *chorus* ou au *flanger*, l'élargissement de la stéréophonie produit par une rotation phase est un effet subsidiaire. Il est peu fréquemment utilisé dans ce but. Nous pouvons évoquer le « *Blue Cat's Phase* » de *BlueCat Audio*.

En allant encore plus loin dans les traitements temporels, nous pouvons trouver les échos. Le signal entrant est retardé de plusieurs dizaines de millisecondes puis mélangé avec le signal d'origine. Par-dessus cette implémentation basique, on peut trouver la possibilité de réinjecter le signal retardé (paramètre appelé « *feedback* »). Le signal retardé est souvent traité par des filtres passe-haut et passe-bas. Cet effet est très souvent utilisé en mixage sur des voix, des guitares électriques ou encore des synthétiseurs. Les effets d'écho sont un premier pas dans le monde de la spatialisation des sources. Il est fréquent d'utiliser des échos sur des instruments soliste, pour créer une sensation d'espace et de largeur.

Enfin, nous terminerons par l'utilisation des algorithmes et des réverbérations à convolution. Leur fonction principale est de permettre de localiser une source dans un espace acoustique. L'utilisation de réverbérations simulant des espaces très petit, voir ne simulant que les premières réflexions peut permettre de créer un effet de stéréophonie convainquant.

RÉALISATION DE L'OUTIL

Conception, implémentation et optimisation du premier prototype fonctionnel du DeltaPan

Table des matières

Réalisation de l'outil.....	37
1 Présentation générale du DeltaPan.....	38
1.1 Cahier des charges.....	38
1.2 Décomposition en blocs fonctionnels.....	39
1.3 Problématiques de la transparence du DeltaPan.....	40
1.4 Problématiques liées à l'usage de filtre passe-haut et passe-bas.....	41
2 Réalisation du module de latéralisation en Δt	43
2.1 Mise en équation.....	43
2.2 Interprétation graphique.....	44
2.3 Réalisation du modèle physique dans <i>Max/MSP</i>	48
2.4 Implémentation des lignes à retard.....	49
2.5 Première version du module.....	49
2.6 Deuxième version du module.....	51
2.7 Intégration dans <i>Max/Gen</i>	52
2.8 Limiter l'introduction d'un retard uniquement aux basses fréquences.....	54
3 Réalisation du module de latéralisation en Δi	57
3.1 Description du problème physique.....	57
3.2 Modélisation de la directivité d'un microphone.....	58
3.3 Implémentation dans <i>Max/MSP</i>	62
4 Réalisation du module de latéralisation en $\Delta \phi$	68
4.1 Description du problème physique.....	68
4.2 Implémentation dans <i>Max/MSP</i>	68
5 Réalisation d'un contrôleur de largeur stéréophonique des sources.....	70
5.1 Intérêt d'un tel module.....	70
5.2 Cas des sources stéréophoniques.....	71
5.3 Cas des sources monophoniques.....	72
5.4 Implémentation dans <i>Max/MSP</i>	73
6 Mise en cascade des différents blocs fonctionnels.....	75
6.1 Optimisation du traitement du signal.....	75
6.2 Conception de l'interface utilisateur.....	76

1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU DELTAPAN

1.1 Cahier des charges

Afin d'être considéré comme abouti le DeltaPan doit satisfaire les conditions suivantes :

Technique :

- Réaliser une latéralisation par différence d'intensité.
- Accentuer où désaccentuer les fréquences aiguës lorsque la source est latéralisée afin de reproduire le comportement d'un couple de microphones directifs.
- Réaliser une latéralisation par différence de temps uniquement pour les fréquences en dessous d'un certain seuil.
- Réaliser une latéralisation par différence de phase uniquement pour les basses fréquences.
- Les différents étages de filtrage doivent être le plus possible transparents.
- Permettre de n'utiliser que la composante Δi du traitement.

Interface et ergonomie :

- Avoir une interface très dépouillée.
- Offrir un nombre minimal de réglages.

- Utiliser des termes perceptifs plutôt qu'objectifs pour la désignation des réglages.

Perceptif :

- Proposer une autre expérience de latéralisation stéréophonique qui soit sensiblement différente du potentiomètre de panoramique traditionnel.
- Améliorer la précision de localisation des sources près du centre de la stéréophonie.

1.2 Décomposition en blocs fonctionnels.

Le DeltaPan est composé de trois blocs (ou modules) de traitement principaux : un bloc dédié au traitement en Δi , un bloc de traitement en Δt et un bloc de traitement en $\Delta \varphi$. Eux-mêmes sont divisibles en plusieurs sous-blocs. Ces trois blocs sont mis en cascade.

Le bloc Δi est constitué de filtres opérant en symétrie par rapport à l'axe central du potentiomètre de panoramique pour chacun des canaux audio (gauche et droite). Leur fonction est d'émuler la réponse en fréquences d'un couple de prise de son stéréophonique lorsqu'une source se déplace autour de ce dernier. La fréquence de coupure et le facteur de qualité de chacun de ces filtres sont constants. Seul le gain est affecté par la commande de panoramique. Le paramètre de gain est piloté selon les courbes obtenues par l'étude des diagrammes polaires de microphones cardioïdes et omnidirectionnels.

Le bloc Δt se décompose en deux circuits à retard, respectivement pour les canaux gauche et droit. Les délais maximum ainsi que les courbes de l'évolution du Δt en fonction du placement du potentiomètre de panoramique sont obtenus par une mise en équation mettant en relation la distance entre deux transducteurs (microphones, oreilles) et l'angle d'incidence d'une source sonore dans le cadre d'une captation ou d'une écoute stéréophonique. Il serait a priori intéressant d'intégrer un module de filtrage afin de ne retarder que les fréquences en dessous d'un certain seuil. Ce seuil est déterminé par le fonctionnement de l'oreille humaine. Comme vu précédemment dans ce mémoire (cf 1.1), la littérature s'accorde sur des fréquences autour de 1500 Hz à partir desquelles la localisation par Δt cesse d'être pertinente.

Enfin, le bloc $\Delta\phi$ a pour objectif de déphaser le signal en dessous d'une certaine fréquence. La littérature s'accorde sur un seuil de 600 à 700 Hz au-dessus duquel le mécanisme de verrouillage de phase de l'oreille n'est plus opérant³². Nous utiliserons une transformation de Fourier rapide (FFT) pour filtrer et déphaser le signal entrant.

1.3 Problématiques de la transparence du DeltaPan

De part la nature même des blocs de traitement utilisés, notre outil amène des modifications sur le spectre des sources qu'il traite, que ce soit par les filtres présents dans le module Δi ou le filtrage en peigne engendré le module Δt . Cependant, il ne faut pas perdre de vue un enjeu majeur : le DeltaPan doit être parfaitement transparent quand l'angle d'incidence du potentiomètre de panoramique est de 0° .

32 Ozcan et al., « The Significance of Phase as an Auditory Cue ».

Cela implique deux contraintes : les filtres doivent avoir un gain de 0 dB et aucun des deux canaux ne doit être retardé (deux délais égaux poseraient un problème par rapport à notre étage de filtrage où les graves se retrouverait retardées par rapport aux aiguës).

1.4 Problématiques liées à l'usage de filtre passe-haut et passe-bas

Lors d'enregistrements musicaux, nous avons souvent recours à l'usage de multimicrophonie. Par exemple, un haut-parleur d'amplificateur de guitare est fréquemment repris avec deux microphones. Il existe donc une relation de phase très étroite entre ces deux signaux enregistrés. Il est d'ailleurs courant de procéder à une « remise en phase » des signaux en utilisant des lignes à retard pour minimiser l'effet du filtrage en peigne induit par la multimicrophonie. Dès lors, si le mixeur décide de ne latéraliser qu'un seul des deux signaux, l'usage de notre outil posera très certainement un problème. En effet, notre bloc de filtrage introduit inévitablement une rotation de phase et induit un filtrage en peigne entre les signaux captés par les différents microphones. Deux solutions sont envisagées pour palier à ce problème. La première consiste à réaliser un filtrage à phase linéaire. Cette option a un coût en puissance de calcul et en temps de latence lié à ce traitement. En effet, les filtres à phase linéaire introduisent un phénomène de pré-écho, ayant pour conséquence directe de « flouter » les transitoires des sources traitées. Pour minimiser ce pré-écho, il convient d'augmenter la fenêtre de calcul des filtres. La conséquence directe est de créer une latence nécessaire pour calculer la réponse du filtre. Au vu des filtres à

modéliser, nous pouvons anticiper que cette fenêtre devra être grande et donc introduire un retard plus grand. Cela disqualifie notre outil pour une exploitation « *live* » et le rend par la même occasion très gourmand en ressources processeur. La deuxième solution consisterait à ne pas filtrer l'envoi vers le bloc Δt . Naturellement, l'oreille ne sera pas sensible à la localisation des fréquences aiguës en Δt . Cependant, elle sera sensible au flou introduit par un décalage temporel entre les canaux. A priori, cet artefact n'est pas souhaitable lorsque la précision de localisation d'une source est recherchée. Rappelons que certaines recherches³³ indiquent que la différence de temps dans les fréquences aiguës permet une meilleure localisation des sources sonores. Dès lors, il sera peut-être souhaitable de ne pas filtrer notre bloc Δt .

33 Kan, « On High-Frequency Interaural Time Difference Sensitivity in Complex Auditory Environments ».

2 RÉALISATION DU MODULE DE LATÉRALISATION EN ΔT .

2.1 Mise en équation

Nous avons vu que lorsque nous écoutons un son, nous pouvons le positionner dans l'espace selon plusieurs paramètres. Nous nous concentrerons ici sur la reproduction de la localisation par différence de temps (Δt).

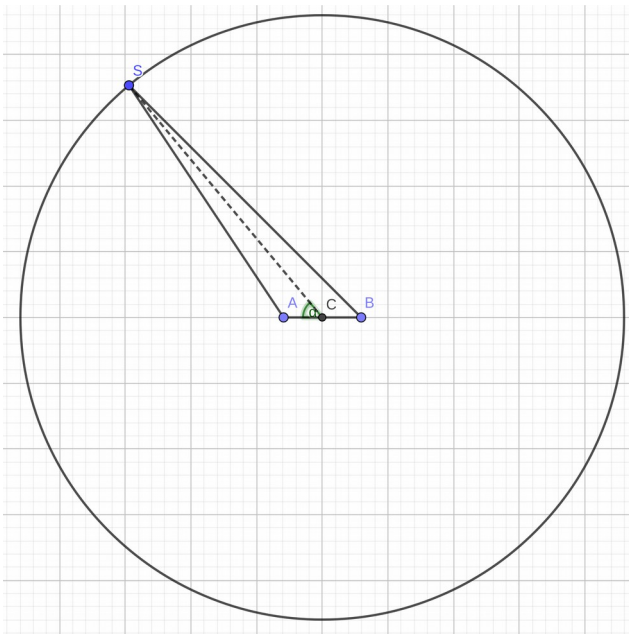


Figure 1: Représentation d'une source (S) tournant autour d'un dispositif de captation stéréophonique (A et B) ayant pour centre (C)

Il s'agit tout d'abord de schématiser le problème. Soit le point S, représentant notre source, A et B les deux transducteurs de notre dispositif de captation stéréophonique, α l'angle \widehat{SCA} , C désigne le milieu de ce dispositif ainsi que le centre du cercle SC sur lequel se déplace S. Les distances SC, AB ainsi que l'angle α sont nos trois variables. La différence de temps perçue entre les points A et B est

fonction de la différence de marche entre les deux distances SA et SB :

$$\Delta t = \frac{(SA - SB)}{c}$$

c représente ici la célérité du son dans l'air. On considérera que $c=340\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La suite consistera à exprimer l'évolution du Δt selon l'angle α et les distance SC et AB.

D'après le théorème d'Al Kashi, nous pouvons démontrer que :

$$SA^2 = SC^2 + AC^2 - 2 \cdot SC \cdot AC \cdot \cos(\alpha) \quad ; \quad \text{soit : } SA^2 = SC^2 + \frac{AB^2}{4} - SC \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \quad ; \quad \text{et que :}$$

$$SB^2 = SC^2 + BC^2 - 2 \cdot SC \cdot BC \cdot \cos(180 - \alpha) \quad ; \quad \text{soit : } SB^2 = SC^2 + \frac{AB^2}{4} + SC \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \quad .$$

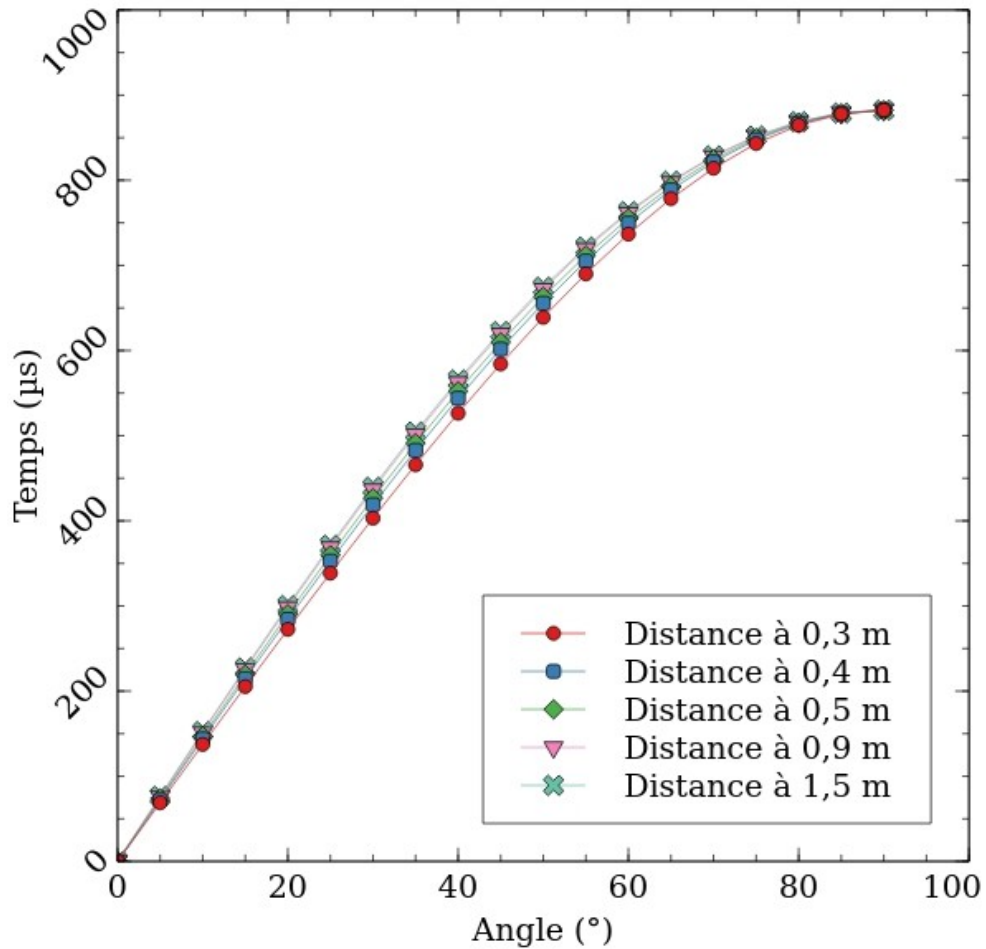
Dès lors, nous pouvons conclure que :

$$\Delta t = \frac{\sqrt{SC^2 + \frac{AB^2}{4} - SC \cdot AB \cdot \cos(\alpha)} - \sqrt{SC^2 + \frac{AB^2}{4} + SC \cdot AB \cdot \cos(\alpha)}}{c}$$

2.2 Interprétation graphique

Suite à cette mise en équation de notre problème physique, nous pouvons étudier l'influence de nos différentes variables sur le Δt .

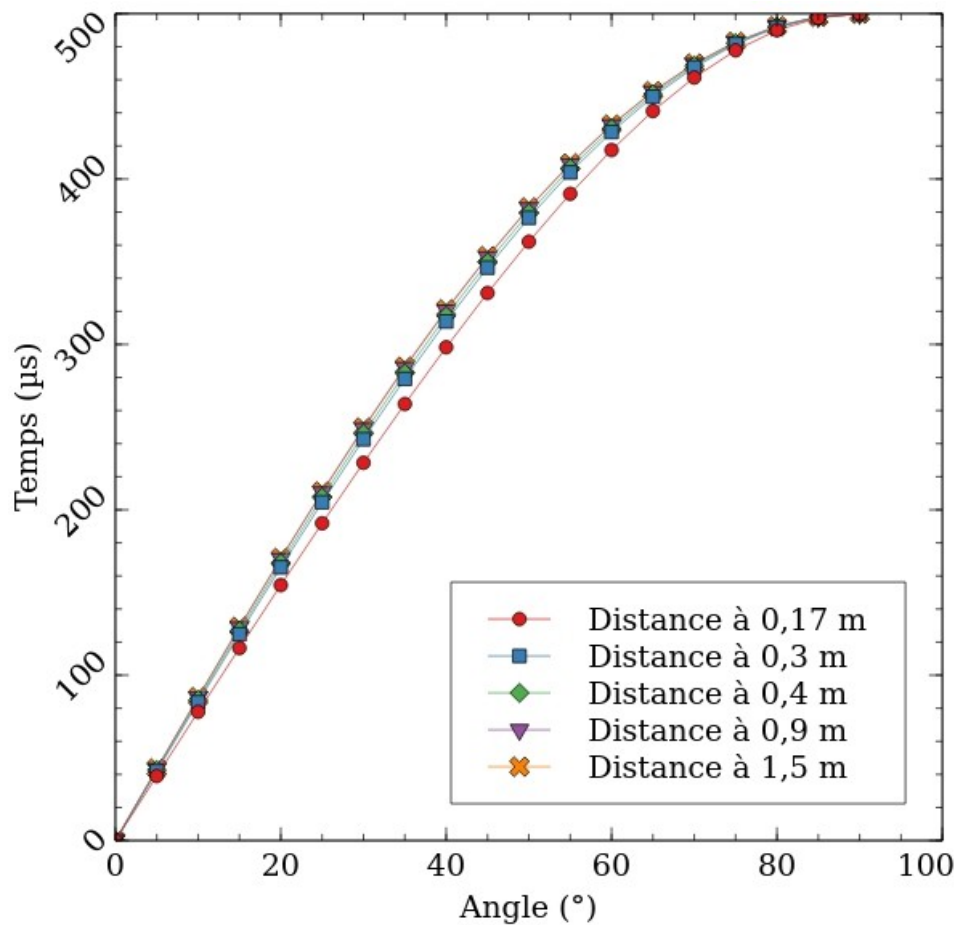
Le graphique 1 montre cependant une légère variation introduite par SC. Cela implique donc qu'une information de distance transparait dans la valeur du Δt . Cependant, afin d'être rigoureux, il convient de préciser que la variation du Δt induite par la modification de la variable SC est de l'ordre de 4 %. On peut donc l'estimer négligeable.



Graphique 1: Evolution du Δt en fonction de l'angle α pour différentes distance source-dispositif (pour $AB=30\text{ cm}$)

2.2.1 Influence de l'angle α sur le Δt

Toujours en étudiant le graphique 1, nous pouvons constater que l'évolution du Δt en fonction de α approche une allure de fonction affine sur une majorité de sa course avant d'adopter une forme plus parabolique à l'approche de son maximum.

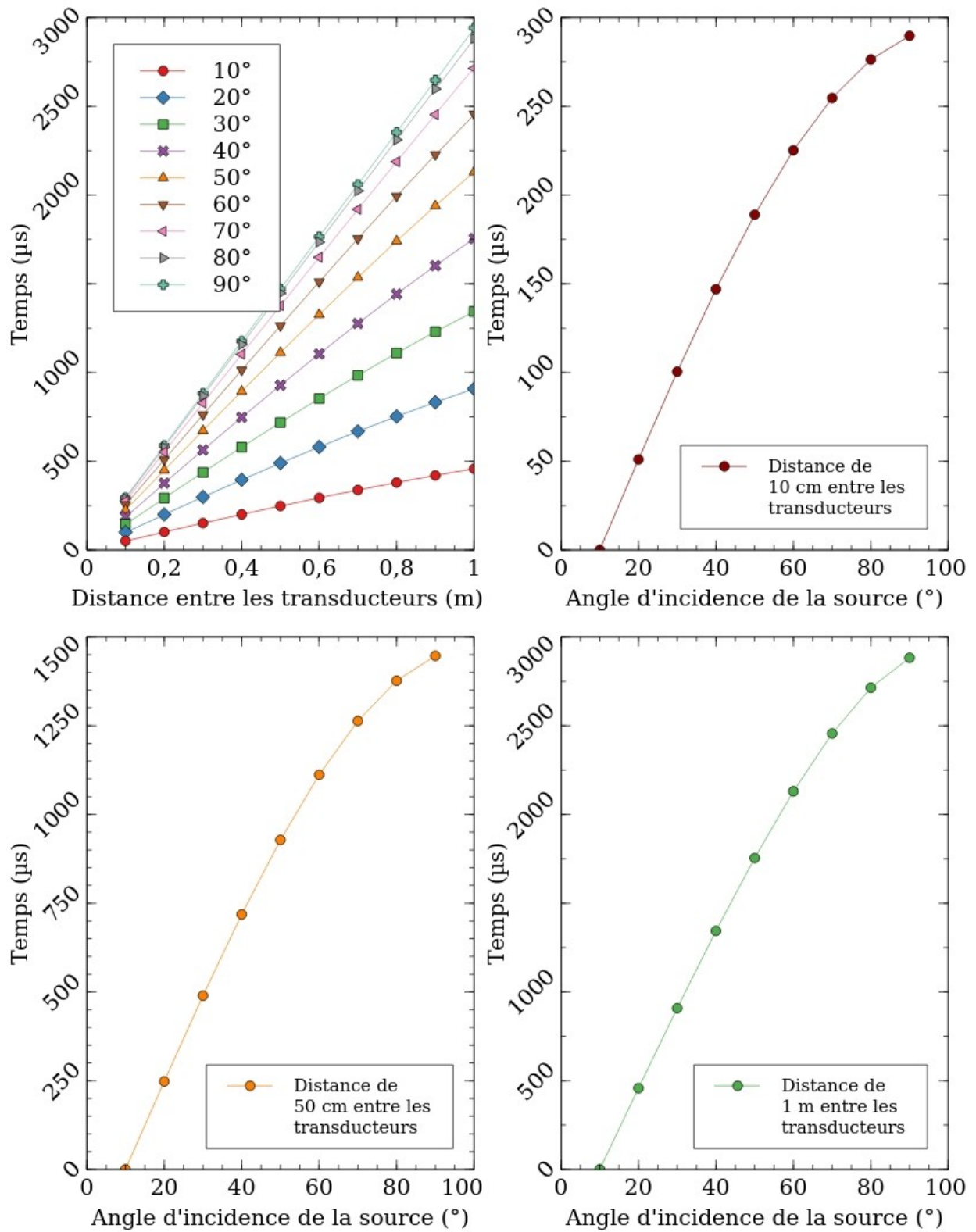


Graphique 2 Evolution du Δt en fonction de l'angle α pour différentes distance source-dispositif (pour $AB=17cm$)

De plus le graphique 2 nous permet d'anticiper que l'effet de la distance AB sur l'évolution de la différence de temps est limité à la délimitation de ses valeurs minimale et maximale.

2.2.2 Influence de la distance entre les transducteurs sur le Δt

En traçant les courbes liant la différence de temps à la distance AB pour plusieurs angles, nous aboutissons au graphique 3.



Graphique 3: Influence de la distance AB sur le Δt pour plusieurs angles d'incidence

On constate donc simplement que la modification de la distance AB à un effet linéaire sur la valeur du Δt . La valeur de AB n'a donc pas d'autre effet que de délimiter les valeurs maximales que peut prendre la différence de temps.

2.3 Réalisation du modèle physique dans *Max/MSP*

Un des avantages d'avoir mis notre problème sous forme d'équation est de faciliter son implémentation dans *Max/MSP*. Nous pouvons voir l'allure générale du patch dans l'illustration 13 (page 110). Nous en détaillerons ses différentes fonctions plus bas.

La première partie du patch permet de définir nos trois variables : la distance entre les deux transducteurs, la distance source-dispositif de captation et l'angle d'incidence de la source sonore. On notera que l'angle d'incidence (que nous nommerons θ) est lié à l'angle α par la relation $\theta=90-\alpha$. Il nous est beaucoup plus naturel de manipuler l'angle d'incidence de la source, il est donc préférable d'ajouter un étage de conversion.

La deuxième partie consiste simplement à résoudre l'équation trouvée au paragraphe « mise en équation » une fois nos variables fixées. La valeur finale de retard à appliquée est exprimée en micro-secondes.

2.4 Implémentation des lignes à retard

Afin de réaliser une latéralisation par une différence de temps, il convient de pouvoir retarder les signaux entrant dans notre outil de panoramique. Pour cela, nous devons utiliser deux lignes à retard, une pour chaque canal stéréophonique.

Nous détaillerons par la suite l'évolution des différentes versions de ce module.

2.5 Première version du module

Cette première version avait pour objectif de simplement évaluer la pertinence de l'utilisation d'une ligne à retards pour latéraliser une source. Son fonctionnement est donc très basique : on introduit un délai sur un des canaux en utilisant une valeur de retard générée par une fonction sinus et cosinus (respectivement pour le canal gauche, et droit). Il convient de noter que *Max/MSP* propose deux outils pour retarder un signal : le couple *tapin~/tapout~* et *delay~*. L'utilisation de *tapin~/tapout~* est souvent recommandée, mais elle impose la contrainte d'un temps de délai minimum forcément supérieur à la taille d'un vecteur audio³⁴ dans *Max/MSP*. Or, notre plage de valeurs est conscrit, pour cette première version, entre 0 et 1 ms, donc entre 0 et 44,1 échantillons Rappelons qu'une milliseconde de retard correspond approximativement au retard maximal généré par un couple AB espacé de 30 cm. Nous sommes donc dans le bon ordre de grandeur. La taille de vecteur standard de *Max/MSP* est de 64 échantillons. Le constat est donc rapidement fait, nous ne pouvons pas utiliser *tapin~/tapout~* car nous avons besoin d'une plus grande précision. L'objet *delay~*

³⁴ Un vecteur dans Max MSP correspond à un tampon permettant de fenêtrer le signal sur un certain nombre d'échantillons.

permet, lui, de retarder un signal selon un certain nombre d'échantillons et n'impose pas de fenêtre minimum. Il convient donc de convertir notre valeur en temps en un nombre d'échantillons. Pour cela nous pouvons utiliser l'objet « `mstosamp~` » qui permet de faire le calcul de conversion en fonction de la fréquence d'échantillonnage qu'utilise le moteur audio.

La partie commande est simplement réalisée par une fonction cosinus et sinus multipliée par la différence de temps maximale exprimée en millisecondes. Nous souhaitons également que pour un angle d'incidence de 0° aucun des canaux ne soient retardés. Il conviendra d'utiliser les deux fonctions suivantes :

$$Retard_L = \sin(\theta) - \frac{\sqrt{2}}{2} \quad Retard_R = \cos(\theta) - \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Cependant, le bloc `delay~` ne peut pas interpréter une valeur de commande négative. Il faut donc utiliser un mécanisme de compensation de délai entre les deux canaux, de telle manière que, lorsque une valeur de retard devient négative pour le canal gauche, celle-ci soit ramenée à zéro sur ce canal, puis que sa valeur absolue soit ajoutée au canal droit.

$$\begin{cases} \alpha > 45^\circ \Rightarrow Retard_L = \sin(\theta) - \cos(\theta) \\ \alpha < 45^\circ \Rightarrow Retard_L = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \alpha < 45^\circ \Rightarrow Retard_R = \cos(\theta) - \sin(\theta) \\ \alpha > 45^\circ \Rightarrow Retard_R = 0 \end{cases}$$

Bien que fonctionnelle, cette version est insuffisante sur plusieurs points :

- L'utilisation de sinus et de cosinus comme fonction de commande ne rend mathématiquement pas compte de l'évolution réelle du phénomène physique
- Lors des changements de valeurs de α , des « clics » numériques audibles se produisent.

2.6 Deuxième version du module

Cette version intègre la modélisation que nous avons conçue au paragraphe 2.3. Nous obtenons une valeur de Δt comprise entre $-\Delta t_{max} \leq \Delta t \leq \Delta t_{max}$. Lorsque $\Delta t \leq 0$, nous appliquons la valeur absolue de Δt au canal droit. Inversement, lorsque $\Delta t \geq 0$, nous appliquons la valeur de Δt au canal gauche. Les différentes valeurs de délai sont interpolées en utilisant le bloc *line~*. Cette fonction permet de générer des signaux en rampes à partir de valeurs numériques. On observe donc une diminution significative des clics numériques, mais encore insuffisante. On constate maintenant un changement de la hauteur du son lorsque la valeur de α change.

Cette version nous permet de facilement manipuler la valeur de Δt_{max} en utilisant la distance entre les deux transducteurs (oreilles ou microphones). La largeur d'un couple est un élément plus concret pour un ingénieur du son qu'une valeur de temps dont l'ordre de grandeur est trop petit pour que nous puissions nous la représenter. Nous pouvons également faire varier la distance de la source au microphone. Il ne

s'agit cependant pas d'un des enjeux de ce travail. Nous considérerons donc la valeur

de distance minimal qui est $d_{source-transducteurs} = \frac{d_{entre\ transducteurs}}{2}$.

2.7 Intégration dans *Max/Gen*

Afin de réduire encore le nombres de clics présents dans cette abstraction Δt , nous choisissons de générer notre ligne à retards en utilisant *Gen*. Cette librairie de *Max* permet de réaliser un traitement échantillon par échantillon (donc de s'affranchir de la notion de vecteur) et de manière synchrone.

Dans un premier temps, nous utilisons *Gen* sans aucune interpolation. Nous notons tout de suite une diminution significative du nombre clics numériques par rapport à l'usage de l'objet *delay~* seul. Ces clics disparaissent complètement une fois une interpolation intégrée dans le module *Gen*. Cependant cette interpolation réintroduit le changement de hauteur perçu lorsque nous changeons l'angle d'incidence de la source. Malgré le caractère « réaliste » de cet artefact (celui-ci se rapproche de l'effet Doppler), il pourrait freiner certains utilisateurs dans leur envie de créer des automatisations de panoramique et des effets de mouvements.

Afin de décrire plus précisément les très faibles valeurs à retard, il serait pertinent de suréchantillonner notre signal. En effet un échantillon à 44.1 kHz correspond à une valeur temporelle de 23 μ s. Si nous sur-échantillonons huit fois, un échantillon vaut

maintenant 3 μ s. Au vu de l'échelle de grandeur sur laquelle nous nous situons, nous pourrions obtenir une plus grande précision nécessaire à la réalisation du traitement.

La solution pour corriger le problème de changement de hauteur du son consiste à créer deux lignes à retards, une pour chaque canal (voir l'illustration 14, page 111 en annexe). Afin de clarifier leurs fonctionnements, nous ne garderons qu'un seul canal, et nous nommerons ses lignes de retard A et B. Le signal retardé par la ligne A est modulé en amplitude par un sinus (que nous appelons A) oscillant entre un minimum de 0 et un maximum de 1. Le signal retardé par la ligne B est modulé en amplitude par le même sinus mais de polarité opposé (que nous appelons B). Nous fixerons une fréquence identique pour les sinus A et B. Ce système nous permet de créer un fondu enchaîné permanent entre les signaux issus des lignes A et B. En amont du traitement audio se trouve le contrôle du temps de retard que doivent appliquer les lignes à retard. En entrée de chaque circuit de retard se trouve un objet *sah*, signifiant « *sample & hold* », soit échantillonnage et blocage, auquel est associé un seuil. Cet objet peut accueillir deux signaux : un signal à traiter et un signal de contrôle. Lorsque ce signal de contrôle franchit le seuil préalablement fixé une première fois, le signal à traiter sera échantillonné. Lorsque le signal de contrôle franchit à nouveau le seuil, l'échantillon du signal à traiter est alors transmis en sortie de l'objet *sah* et un nouvel échantillonnage est réalisé du signal entrant. L'objet *sah* de la ligne à retard A accueille le sinus A comme signal de contrôle. L'objet *sah* de la ligne à retard B est contrôlé par le sinus B. Nous choisissons de fixer la fréquence des sinus de manière à

ce que les changements de valeurs à retard soit le moins perceptible possible à l'écoute.

Dès lors, lorsque nous choisissons de latéraliser une source sonore à un point quelconque de l'espace, nos deux lignes à retard A et B prennent la même valeur de délai. Lorsque nous effectuons une variation de temps de délai en créant, par exemple, une automation de notre potentiomètre de panoramique, les lignes à retard vont alternativement changer de valeurs de délai. La fonction de fondu enchaîné permet de passer d'une ligne à l'autre de manière continue, chaque transition faisant entendre un signal retardé d'une nouvelle durée. Nous obtenons donc un traitement appliquant un retard au signal entrant qui ne génère ni clic numérique, ni changement de hauteur du son lorsque nous créons une automation de panoramique.

2.8 Limiter l'introduction d'un retard uniquement aux basses fréquences

Si l'on se réfère à la théorie duplexe, la composante temporelle de la localisation des sources chez l'Homme est effectif en basses fréquences. Nous cherchons donc à restreindre la zone de traitement des lignes à retard à des fréquences inférieures à 1500 Hz. Cette approche est développée dans *Localization, Coloration, and Enhancement Amplitude-Panned Virtual Sources*³⁵, où les auteurs propose une évolution du potentiomètre de panoramique reposant sur un découpage en deux bandes de fréquences. La bande allant de 20 Hz à environ 1000 Hz étant affecté à un

35 Ville Pulkki, Matti Karjalainen, et Vesa Välimäki, « Localization, Coloration, and Enhancement of Amplitude-Panned Virtual Sources » (Audio Engineering Society Conference: 16th International Conference: Spatial Sound Reproduction, Audio Engineering Society, 1999), <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=8030>.

panoramique de temps et la bande allant de 1000 Hz à 20000 Hz à un panoramique d'intensité.

Il nous faut donc séparer notre signal en deux bandes de fréquences, une première contenant le spectre audio allant de 0 à 1500 Hz et une deuxième contenant les fréquences comprises entre 1500 Hz à 20000 Hz. L'opération n'est pas anodine car elle implique l'utilisation de filtre passe-haut et passe-bas qu'il convient de correctement paramétrer pour que le recoupement des bandes soit transparent. Cette question a largement été couverte par l'industrie de la conception d'enceinte. Sans rentrer dans le détail, aucun haut-parleur ne peut reproduire parfaitement l'ensemble du spectre audio. Il est donc tout à fait commun de concevoir des enceintes avec plusieurs haut-parleurs, chacun se voyant affecter une zone du signal à diffuser. Il convient donc de filtrer le signal entrant dans une enceinte. Il existe un grand nombre de filtres, cependant, celui le plus utilisé dans l'application d'un découpage du signal par bande est le filtre Linkwitz-Riley³⁶. Ce dernier permet, lorsque les différentes bandes du signal sont recoupées, de conserver une réponse en fréquence plate, et d'obtenir une rotation de phase 360° entre les signaux : ils sont donc parfaitement en phase.

Nous avons donc pu comparer l'utilisation de nos lignes à retards avec et sans filtrage. Il fût préféré de ne pas conserver l'étage de filtrage pour plusieurs raisons :

36 Siegfried H. Linkwitz, « Active Crossover Networks for Noncoincident Drivers », *Journal of the Audio Engineering Society* 24, n° 1 (1 février 1976): 2-8, <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=2649>.

- Retarder uniquement la partie basse fréquence du signal introduit un filtrage en peigne dans la zone de recoupement des bandes peu élégant
- La sensation de localisation paraît accrue lorsque le signal est retardé sur l'ensemble de son spectre. Cela semble corroborer les articles scientifiques plus récents que nous avons vus précédemment (cf 1.1).

Ce dernier constat est cependant à nuancer. Il n'est obtenu que par le ressenti de quelques personnes, en dehors de tout cadre de tests perceptifs rigoureux. Ceux-ci n'ont pas été réalisés uniquement pour des questions de temps, et il serait très intéressant de mener ces tests.

3 RÉALISATION DU MODULE DE LATÉRALISATION EN ΔI

3.1 Description du problème physique

Nous l'avons vu précédemment, la latéralisation d'une source par différence d'intensité est l'approche la plus courante et connue. Durant la phase de mixage, l'ingénieur du son utilise le potentiomètre de panoramique pour créer son image stéréophonique. Ce potentiomètre est aussi indispensable au mixage, multicanal, qu'un fader de volume. Même les consoles d'entrée de gamme intègrent un potentiomètre de panoramique. Nous devrions cependant, en toute rigueur, appeler ce réglage « sélecteur de canal variable » : le son est envoyé plus ou moins fort sur l'enceinte gauche ou sur l'enceinte droite. L'effet de « panoramique » n'est qu'une conséquence de ce dosage. La conséquence de cette dénomination est, à mon sens, plus importante qu'il n'y paraît. Je crois qu'il s'agit d'une des raisons expliquant le peu de curiosité d'une majorité d'ingénieurs du son pour d'autres outils permettant de placer et déplacer une source dans le plan stéréophonique. L'outil « potentiomètre de panoramique » est nommé à partir de son effet et pas de son action, dès lors pourquoi aller chercher l'outil qu'il nous faut plus loin puisque nous l'avons déjà sous la main.

Une autre manière de créer une latéralisation des sources par différence d'intensité est d'utiliser un couple de microphones directif durant une prise de son. Comme son nom l'indique, un microphone directif favorise un angle de prise de son. Lorsqu'on sort de cet angle, le son est principalement atténué, mais aussi

spectralement modifié : c'est ce qu'on appelle le détimbrage. Cet effet est très connu des preneurs de sons, car il est souvent utilisé pour modifier la couleur de la prise de son. Ainsi il est fréquent de détimbrer une source si celle-ci est jugée trop brillante. Le micro est donc désaxé par rapport au cône d'émission sonore de l'instrument.

Afin de créer notre module de latéralisation par Δ_i , nous nous inspirerons à nouveau de la prise de son au couple en cherchant à émuler la courbe de détimbrage d'un microphone.

3.2 Modélisation de la directivité d'un microphone

3.2.1 Première approche : la directivité théorique

Pour s'intéresser à la question du détimbrage, il convient donc d'étudier les diagrammes polaires de directivité des microphones. Les microphones se classent en deux catégories : les microphones à pression et les microphones à gradient de pression. Les premiers sont appelés microphones « omnidirectionnels » et les seconds « bidirectionnels ».

Ces deux modèles théoriques sont assez simples à mettre en équation. On obtient simplement, en coordonnées polaires, que :

- L'équation d'un microphone omnidirectionnel est $\rho=1$ (où ρ est le rayon). Il s'agit donc de l'équation polaire d'un cercle. Le microphone capte une source de manière identique, peu importe son angle d'incidence.

- L'équation d'un microphone bidirectionnel est $\rho(\theta) = \cos(\theta)$. Nous retrouvons bien le comportement bidirectionnel, avec un maximum d'amplitude pour $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 180^\circ$ et une annulation pour $\theta = \pm 90^\circ$.

Il est tout à fait établi que les autres directivités de microphones sont obtenues par combinaison de ces deux directivités initiales. Ces combinaisons peuvent être soit acoustique (utilisation de labyrinthe), soit électrique (sommation de deux capsules à pression et à gradient de pression). Le modèle mathématique se comporte de la même manière. En sommant le modèle du microphone à pression et celui du microphone à gradient de pression, ainsi qu'en leur appliquant un coefficient, nous pouvons retrouver tous les modèles de directivité. Nous en déduisant l'équation suivante :

$$\rho(\theta) = (1-a) + a \cdot \cos(\theta)$$

On peut ainsi définir a comme le coefficient de directivité de notre microphone. Quand a tend vers 1, notre microphone devient de plus en plus directif, jusqu'à devenir bidirectionnel quand $a=1$. Quand a tend vers 0, notre microphone est de moins en moins directif, jusqu'à devenir omnidirectionnel quand $a=0$. Enfin, quand le terme de bidirectionnalité et le terme d'omnidirectionnalité sont égaux ($a=(1-a)$), soit $a=\frac{1}{2}$ la directivité de notre microphone est cardioïde.

Nous pouvons également affiner notre modèle encore plus en tenant compte de l'ordre d'un microphone. Notre équation devient $\rho(\theta) = \cos(\theta)^{n-1} \cdot [(1-a) + a \cdot \cos(\theta)]$ où n détermine l'ordre du microphone.

3.2.2 Deuxième approche : la directivité réelle

Le modèle précédemment établi ne rend pas compte du comportement décrit plus haut, selon lequel les preneurs de sons se servent du détimbrage pour altérer la couleur de leur prise de son. Cela implique donc que la directivité d'un microphone n'est pas la même pour toutes les fréquences.

Lorsque l'on se penche sur les diagrammes polaires fournis par les constructeurs, on se rend compte que, pour les basses fréquences, un microphone cardioïde tend à être plutôt infra-cardioïde. Pour les hautes fréquences, son comportement se rapproche d'un hyper-cardioïde.

On peut donc dire que notre coefficient de directivité a , défini plus haut, est dépendant de la fréquence. Mais cette relation n'est jamais clairement établie mathématiquement. Dès lors, nous ne pouvons qu'adopter une démarche empirique. Comme nous le détaillerons plus tard (3.3.2.1), nous utilisons une transformée de Fourier Rapide (*Fast Fourier Transform*, FFT) pour réaliser le traitement fréquentiel. L'intérêt d'utiliser une FFT est qu'elle permet de fenêtrer notre signal suivant un certain nombre de bandes de fréquences. Le nombre de bandes de fréquences est

dépendant de la taille de la fenêtre³⁷ de calcul de la FFT. Dès lors nous cherchons à évaluer comment faire évoluer a en fonction du numéro de ces bandes de fréquences plutôt que par rapport à la fréquence elle-même.

Par souci de simplicité d'implémentation, nous choisissons de garder a constant. Sa valeur nous permettra de rentrer aisément la directivité souhaitée de notre microphone. Nous introduisons donc le facteur de divergence de directivité (f_{dd})

Après la lecture de plusieurs diagrammes polaires, nous avons pu établir que l'utilisation de l'ensemble de courbe suivant permettait de définir de manière convenable la relation entre f_{dd} et le numéro de la bande de fréquences (n_f) :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq n_f \leq 21 \Rightarrow f_{dd}(n_f) = (1-b) + b \cdot \sin^4 \frac{n_f + 2}{15} \\ 22 \leq n_f \leq 425 \Rightarrow f_{dd}(n_f) = 1 + 2 \cdot b \cdot \sin^3 \frac{n_f}{270} \\ 426 \leq n_f \Rightarrow f_{dd} = 1 + 2 \cdot b \end{array} \right.$$

L'indice b permet de doser l'influence de la fréquence sur la variation de directivité. Si $b=0$, la directivité de notre microphone sera invariant en fonction de la fréquence. Plus b sera grand, plus les différences de directivité liées à la fréquence seront élevées.

37 Une FFT permet de transformer un signal du domaine temporel au domaine fréquentiel. Pour être réalisée, cette opération doit tout d'abord stocker les n premiers échantillons d'un signal, les traiter, puis passer au n échantillons suivants. n permet de définir la taille de la fenêtre de calcul de la FFT.

Notre équation polaire de la directivité approchant un modèle de microphone réel est donc :

$$\rho(\theta) = \cos(\theta)^n \cdot [(1 - a \cdot f_{dd}) + a \cdot f_{dd} \cdot \cos(\theta)]$$

Notons que nous choisissons que peu importe la valeur de f_{dd} , la valeur maximale du produit $a \cdot f_{dd}$ sera toujours 1.

3.3 Implémentation dans *Max/MSP*

3.3.1 *Première version du module*

De manière analogue à la première version du module de panoramique par différence de temps, cette première version du module consacrée aux différences d'intensité avait pour but de tester la pertinence de l'hypothèse initiale : existe-t-il un bénéfice à rendre cette différence d'intensité fonction de la fréquence ? Son fonctionnement est donc assez primitif.

Chaque canal se voit associé à un biquad, paramétré en filtres plateau, chargé d'amplifier ou d'atténuer les aigus. Lorsque l'angle d'incidence de la source est de zéro degré, les deux filtres ont un gain de zéro pour y assurer la transparence du traitement. Enfin, leurs évolutions est symétrique : lorsqu'un des filtres a un gain de x dB, le filtre du canal opposé a un gain de $-x$. Les deux filtres sont paramétrés de la façon suivante : Fréquence : 8000 Hz, Facteur de qualité : 0,607.

L'effet de latéralisation est bien réalisé par cette approche, cependant, lorsque le canal opposé passe en dessous d'un certain seuil, l'accentuation des aigus s'entend comme un traitement correctif associé à une égalisation. Ce modèle est donc largement imparfait.

Il fût tenté d'approcher plus finement la réponse en directivité des microphones en utilisant un ensemble de filtre, mais ce prototype fût rapidement abandonné au profit d'une transformé de Fourier rapide.

3.3.2 *Deuxième version du module*

3.3.2.1 *Modèle du détimbrage*

Le but de cette deuxième version est de mettre au point un module simulant le détimbrage d'un microphone. L'intérêt étant de pouvoir régler un certain nombre de paramètres, comme la directivité, la sensibilité et la divergence fréquentielle de la directivité. Comme introduit au début de ce chapitre, le traitement du signal est réalisé par une FFT ayant 1024 échantillon de fenêtre de calcul (pour une fréquence d'échantillonnage de 44 100 Hz) et quatre niveaux de superpositions. Une fenêtre de 1024 échantillons nous offre 1024 bandes de fréquences large d'environ 43 Hz, dont 512 en dessous de la fréquence de Nyquist sur lesquels nous pourrons venir appliquer notre traitement. Cette précision semble suffisante sur une grande majorité du spectre audio. Quelques réserves peuvent-être émises pour les deux premières octaves du signal, mais l'essentiel du traitement que nous ferons sera réalisé dans les hautes fréquences.

La notion de sensibilité d'un microphone doit être repensée dans une logique numérique. Nous nous attacherons à évaluer plutôt l'échelle dynamique d'un microphone par rapport à sa directivité. Nous rapporterons cette échelle dynamique sur une échelle en dBFS³⁸, où, le niveau maximal sera fixé à zéro dBFS et le niveau minimal défini par la plus forte dynamique du microphone. Nous appellerons cette valeur : « facteur d'atténuation » f_{att} . Si nous reprenons notre équation du chapitre 3.2.2 :

$$\rho(\theta) = \cos(\theta)^n \cdot [(1 - a \cdot f_{dd}) + a \cdot f_{dd} \cdot \cos(\theta)]$$

Nous pouvons remarquer que $\rho(\theta)$ est compris entre 0 et 1. Or nous souhaiterions le borner entre $-f_{att}$ et 0. Nous décrivons donc $\rho(\theta)$ comme ci-dessous.

$$\rho(\theta) = f_{att} [\cos(\theta)^n \cdot ((1 - a \cdot f_{dd}) + a \cdot f_{dd} \cdot \cos(\theta)) - 1]$$

Pour cette version, nous choisissons de limiter l'ordre de notre microphone à 1. Il en découle donc, que l'équation que nous chercherons à implémenter dans *Max/MSP* est :

$$\rho(\theta) = f_{att} [(1 - a \cdot f_{dd}) + a \cdot f_{dd} \cdot \cos(\theta) - 1]$$

Après simplification : $\rho(\theta) = a \cdot f_{dd} \cdot f_{att} (\cos(\theta) - 1)$

38 dBFS (Decibel Full-Scale) : il s'agit d'une échelle propre à l'audio-numérique. Elle s'étend de 0 dBFS à $-\infty$.

Enfin, comme vu au chapitre 3.2.2, f_{dd} est défini par l'ensemble de fonction

suisant :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq n_f \leq 21 \Rightarrow f_{dd}(n_f) = (1-b) + b \cdot \sin^4 \frac{n_f+2}{15} \\ 22 \leq n_f \leq 425 \Rightarrow f_{dd}(n_f) = 1 + 2 \cdot b \cdot \sin^3 \frac{n_f}{270} \\ 426 \leq n_f \Rightarrow f_{dd} = 1 + 2 \cdot b \end{array} \right.$$

Nous n'avons qu'à fixer b pour définir toutes les variables de notre simulateur de détimbrage de microphone.

Nous devons maintenant résoudre l'équation $\rho(\theta) = a \cdot f_{dd} \cdot f_{att}(\cos(\theta) - 1)$ pour les 512 bandes de fréquences audibles générés par notre FFT. Il convient donc de créer un tampon dans lequel nous stockerons les 512 valeurs de $\rho(\theta)$ une fois que celles-ci, initialement exprimées en dB, soient converties en puissance. Nous utilisons l'outil « uzi » de *Max/MSP* pour déclencher les 512 calculs afin de les stocker dans une liste puis dans notre tampon. Enfin, lorsque le premier paquet d'échantillons de la FFT sera traité, nous lirons la première valeur de notre tampon que nous irons multiplier à ce premier paquet. Ce dernier verra donc son amplitude changer. Lorsque le deuxième paquet se présentera, nous lirons le deuxième index de notre tampon et ainsi de suite.

3.3.2.2 Simulation de couple

Une fois le détimbrage d'un microphone modélisé, il s'agit simplement d'assigner un module de détimbrage par canal du bus stéréophonique. Il faut en suite déterminer

le comportement de chacun des modules par rapport à la valeur qu'envoie le potentiomètre de panoramique.

Nous sommes donc entrain de réaliser une simulation de couple. Nous avons donc quatre variables : la distance de la source au couple, la distance entre les microphones, l'angle entre les microphones et l'angle d'incidence de la source sonore. Nous choisissons de reprendre les caractéristiques d'un ORTF, à savoir deux capsules cardioïdes espacées de 17 centimètres et leur axe principal formant un angle de 110° .

Afin de largement simplifier les calculs, nous admettrons que la distance source-couple est très grande devant la distance entre les microphones afin de pouvoir négliger cette dernière. Cela nous permet donc de dire qu'une source située en plein centre du couple aura un angle d'incidence de 55° sur chaque microphone. Notre source se déplacera entre -55° et $+55^\circ$. La limite de notre image stéréophonique est déterminée par les points où nos modèles de microphones sont virtuellement parfaitement timbrés. Nous noterons que ce modèle correspond également au comportement d'un couple XY, où la distance entre les capsules des microphones est nulles, quelle que soit la distance source-couple.

3.3.2.3 Neutralisation du simulateur de couple

Notre simulation de couple en Δ_i est donc à présent fonctionnel. Cependant elle pose un problème important. De part son traitement fréquentiel, et la nature d'un

couple stéréophonique qui impose un angle d'incidence d'une source par rapport aux microphones non nul lorsque celle-ci est au centre de l'image stéréophonique, nous obtenons une altération du timbre de la source. L'utilisateur entendra donc une baisse des aigus dès l'instant où il insérera une instance de notre outil dans sa chaîne de signal. Ce comportement n'est absolument pas souhaitable, dès lors, il s'agit de compenser le détimbrage au point d'angle d'incidence nul.

Nous définissons $\theta_{compensation}$ comme l'angle pour lequel notre filtrage est compensé. Reprenons notre équation qui nous lie θ à l'amplitude en dB :

$\rho(\theta) = a \cdot f_{dd} \cdot f_{att} (\cos(\theta) - 1)$. Si nous calculons $-\rho(\theta)$ nous obtenons ce que $\rho(\theta)$ enlève à notre signal (cela fonctionne car $\rho(\theta)$ est exprimé en décibel). Il nous suffit donc de calculer $-\rho(\theta_{compensation})$. Notre expression de $\rho(\theta)$ devient

$$\rho_{compensé}(\theta) = a \cdot f_{dd} \cdot f_{att} (\cos(\theta) - 1) - a \cdot f_{dd} \cdot f_{att} (\cos(\theta_{compensation}) - 1) \text{ soit,}$$

$$\rho_{compensé}(\theta) = a \cdot f_{dd} \cdot f_{att} (\cos(\theta) - \cos(\theta_{compensation}))$$

Quand $\cos(\theta) - \cos(\theta_{compensation}) < 0$ notre traitement opère en soustractif. À l'inverse, quand $\cos(\theta) - \cos(\theta_{compensation}) > 0$ notre traitement opère en additif, donc le niveau global de notre source sera augmenté.

4 RÉALISATION DU MODULE DE LATÉRALISATION EN $\Delta\Phi$

4.1 Description du problème physique

Nous chercherons ici à mettre en application les résultats des différentes recherches de Koray Ozcan³⁹⁴⁰, indiquant que la phase joue un rôle dans notre capacité de localisation des sources, indépendamment de la différence de temps. Comme nous l'avons déjà envisagé au paragraphe 15, nous n'avons pas accès à un modèle physique dont nous pouvons implémenter une simulation, contrairement au Δt et Δi . Nous sommes donc contraint à adopter une démarche empirique, reposant principalement sur une évaluation à « l'oreille ».

4.2 Implémentation dans *Max/MSP*

4.2.1 *Première version du module*

Le moyen le plus simple de réaliser un déphasage de n'importe quelle angle est de réaliser une FFT. Cette FFT nous génère un réel et un imaginaire pour chaque réel qu'elle traitera. Nous pouvons ensuite exprimer ces coordonnées cartésiennes en coordonnées polaires. Dès lors nous accédons à l'amplitude du signal et à sa phase. Il suffit d'ajouter une valeur comprise entre 0 et 2π pour déphaser notre signal.

L'objet *pf~* de *Max/MSP* nous permet de facilement réaliser notre FFT en lui renseignant dans ses arguments la taille de la fenêtre de calcul (ici 1024 échantillons) et le facteur d'*overlapping*. À l'intérieur de notre sous-patch *pf~*, l'objet *fftin~* nous

39 Ozcan, « The Importance of Phase in the Presence of Sound Source Direction ».

40 Ozcan et al., « The Significance of Phase as an Auditory Cue ».

génère nos réels, nos imaginaires, et le numéro de la « boîte » de fréquences en cours de traitement. Dans un premier temps, nous réalisons notre traitement sur l'ensemble du spectre audio. L'objet *cartopol~* nous permet d'exprimer nos coordonnées cartésiennes en coordonnées polaires. La norme correspond à l'amplitude de notre signal et l'argument à sa phase. L'objet *+~* nous permet d'ajouter un décalage de phase. Notre valeur de déphasage est exprimé en radiant, nous devons donc convertir notre valeur en degré.

4.2.2 Deuxième version du module

Cette deuxième version part de la même base que la précédente, mais limite son action aux fréquences en dessous de 400 Hz. Nous pouvons réaliser ce filtrage en se servant des index générés par le boite *fftin~* de *Max/MSP*. Notre FFT ayant une taille temporelle de 1024 échantillons, le spectre audio de notre signal sera décrit par 1024 « boîte » de fréquences. Notre signal étant échantillonné à 44100 Hz, chaque « boîte » contient une plage de fréquence de 43 Hz. Les boites de 1 à 10 couvrent donc un spectre de 0 à 430 Hz. Il suffit ensuite d'utiliser un opérateur de comparaison et l'objet *gate~*. Nous posons la condition que, si notre numéro d'index est inférieur à 10, alors notre signal est traité par notre rotation de phase. Sinon, il reste intact. L'objet *gate~* nous permet d'aiguiller notre signal dans le traitement de phase, ou pas.

5 RÉALISATION D'UN CONTRÔLEUR DE LARGEUR STÉRÉOPHONIQUE DES SOURCES

5.1 Intérêt d'un tel module

Lorsque nous positionnons une source sonore face à un couple stéréophonique de tel manière que cette dernière soit perçue au centre, nous ressentons toujours une sensation de largeur, et ce, malgré une absence totale de différence de temps et d'intensité entre les deux microphones.

Nous pouvons expliquer cela en deux points. Premièrement, un instrument, voir une source sonore quelconque, n'est jamais un point sonore dans l'espace. Elle émet des ondes sonores multiples, émanant de plusieurs endroits de l'instrument. Cela s'entend particulièrement bien sur des soufflants où des cordes lorsque nous tournons autour d'elles pendant qu'ils sont jouées. Deuxièmement, un son est toujours perçu dans une pièce possédant une acoustique propre. Le dispositif de captation stéréophonique captera non seulement le son direct, mais également toutes les informations acoustiques du lieu. Ces informations sont décorréliées du signal d'origine et créer cette sensation de largeur.

De part son fonctionnement le DeltaPan est parfaitement transparent lorsque le potentiomètre indique une position centrale. Une source monophonique sera perçue comme telle si nous décidons de la laisser au centre de l'image stéréophonique. Il est

parfois intéressant de pouvoir intervenir sur ce paramètre, notamment pour des instruments électroniques, comme certain synthétiseur monophonique.

Pour des sources stéréophoniques, il arrive parfois de se rendre compte que la largeur de la source créée par la prise de son ne permet pas de l'insérer correctement dans le mixage. Certains panoramiques proposent, comme nous l'avons vu, de régler ce genre de problème par l'utilisation d'un double potentiomètre affecté à chaque canal du signal stéréophonique. Mais ce système introduit du filtrage en peigne. Un module M/S, quant à lui, permet de jouer sur le volume de la composante latérale pour élargir ou rétrécir une source. Il s'agit donc d'un outil de traitement correctif, qui peut se révéler très utile en phase de mixage.

5.2 Cas des sources stéréophoniques

Lorsqu'une source stéréophonique est détectée en entrée du *plugin*, celle-ci est aiguillée dans une matrice M/S et le curseur de « largeur » se positionne à mi-course. La détection se fait simplement par soustraction des canaux gauche et droit du signal. Si ce résultat est différent de zéro, alors le signal est stéréophonique.

Lorsque le curseur de « largeur » est au centre, le signal n'est pas traité. Lorsque le curseur est à zéro, la composante latérale est supprimée. Enfin, lorsque le curseur est au maximum, la composante centrale est supprimée. Le curseur agit toujours sur les deux composantes en même temps afin de maintenir une sensation de niveau constante. Ainsi quand une d'elle est supprimée, l'autre est amplifiée de 3 dB.

5.3 Cas des sources monophoniques

Comme vu précédemment, la nature du signal est évalué en entrée du DeltaPan. Si la soustraction de ses canaux gauche et droit est égale à zéro, cela signifie que ce signal est monophonique et est donc aiguillé dans le module permettant de simuler un élargissement stéréophonique pour une source monophonique.

Le but d'un tel module est de générer un certain nombre de signaux décorrélés du signal d'origine⁴¹ afin de créer une sensation de stéréophonie. Dans notre outil nous souhaitons que la sensation de latéralisation de la source reste inchangée. Cela implique alors une certaine symétrie sur les traitements que nous devons réaliser. Nous souhaitons également garder une très bonne compatibilité monophonique et ceux, malgré l'usage de ce module.

Nous réalisons donc, dans un premier temps une copie du signal d'entrée, mais retardé dans le temps. Ce signal sera ensuite séparé en deux, allant alimenter le canal gauche de notre système de diffusion et le canal droit mais en prenant soin de renverser la phase du signal pour celui-ci. Nous obtenons donc un signal symétrique : le temps de retard est identique entre les canaux gauche et droit. De plus, l'inversion de phase sur un des canaux rend le dispositif parfaitement mono-compatible, puisque les deux composantes symétriques s'annuleront en cas de sommation des canaux.

41 Gary Kendall, « The Decorrelation of Audio Signals and Its Impact on Spatial Imagery », *Computer Music Journal* 19(4) (1995): 71-87, [https://pure.qub.ac.uk/portal/en/publications/the-decorrelation-of-audio-signals-and-its-impact-on-spatial-imagery\(b911c0b3-0291-4b21-98aa-32e731a7fc77\)/export.html](https://pure.qub.ac.uk/portal/en/publications/the-decorrelation-of-audio-signals-and-its-impact-on-spatial-imagery(b911c0b3-0291-4b21-98aa-32e731a7fc77)/export.html).

Nous venons en fait de générer une composante latérale pour notre signal monophonique.

Le problème engendré par cette technique est que nous introduisons un filtrage en peigne sur chaque canal. Si ce dernier n'est pas vraiment un problème pour la compatibilité monophonique, il n'en est pas moins audible de part son caractère harmonique. Pour minimiser cet effet nous pouvons introduire une rotation de phase sur le signal retardé afin d'accroître sa décorrélation avec le signal originel. Nous choisissons d'utiliser une transformée de fourrier rapide pour permettre une rotation de phase quelconque sur l'ensemble du spectre du signal.

5.4 Implémentation dans *Max/MSP*

Afin de réaliser ce contrôleur de largeur stéréophonique, il nous faut une matrice M/S et un générateur de composante latérale à partir d'un signal monophonique.

Commençons par le cas d'une source monophonique. La génération de la composante latérale est très simple à réaliser. Le signal entrant passe par une ligne à retards *tapin~/tapout~* (fixée à 4,2 ms dans notre prototype). Pour accentuer la décorrélation, ce signal subit une rotation de phase supplémentaire. Il s'agit ensuite de l'envoyer en tant que signal latéral dans la partie dématricage de la matrice M/S, avec comme composante centrale le signal d'origine non décorrélé. Une fois le signal à nouveau de deux canaux gauche et droit, nous obtenons notre effet d'augmentation de la largeur stéréophonique.

Pour le cas d'une source stéréophonique, celle-ci passe simplement par une matrice M/S. Il n'est nullement besoin de générer une composante latérale, celle-ci existant déjà dans notre signal à traité.

6 MISE EN CASCADE DES DIFFÉRENTS BLOCS FONCTIONNELS

6.1 Optimisation du traitement du signal

Si nous assemblons nos blocs fonctionnels de façon linéaire, nous nous rendons compte que notre signal traverse trois transformés de Fourier rapides. Chacune de ces FFT introduisent une latence d'environ 23 ms⁴². L'ensemble de notre chaîne de traitement introduit donc un retard de 69 ms. De plus chaque transformée et transformée inverse de Fourier rajoute du bruit à notre signal. Il serait largement souhaitable de rassembler l'ensemble des traitements réalisés par ces trois FFT dans une seule.

Si nous regardons dans le détail les fonctions réalisées par l'ensemble des FFT, elles sont tout à fait cumulables. Le bloc Δi n'intervient que sur le module du signal et le blocs $\Delta \varphi$ sur l'argument. Cependant, une manipulation de la phase est également nécessaire pour notre génération de composante latérale pour source monophonique. Or, notre FFT est pour l'instant conçue pour traiter un signal stéréophonique exprimé sur deux canaux gauche et droit. Il n'est donc pas, en l'état, possible d'appliquer une rotation de phase uniquement à notre fausse composante latérale. Pour palier à ce problème, il convient de légèrement modifier notre chaîne de traitement. Nous devons d'abords nous concentrer sur notre matrice M/S. Il va nous falloir séparer ses deux fonctions en deux blocs : la partie matricage est effectuée dans le domaine temporel,

⁴² Pour obtenir la latence qu'impose une FFT, il suffit de diviser la taille de son tampon par la fréquence d'échantillonnage, dans cet exemple précis nous réalisons l'opération $1024/44100=0,023$ s

hors de la FFT, et la partie dématriage est réalisée dans le domaine fréquentiel donc dans la FFT. Ainsi cette dernière doit maintenant recevoir à son entrée une composante centrale et une composante latérale. Dès l'entrée de notre *plugin* (rappelons que nous considérons dans ce cas précis que nous traitons une source monophonique), le signal entrant passe par le générateur de composante latérale. Nos deux signaux, celui d'origine et celui décorréolé, sont ensuite transmis à la FFT. La composante centrale ne subit aucun traitement, à l'inverse de la composante latérale qui subit une rotation de phase. Nous pouvons dès lors procéder au dématriage de ces deux signaux, au sein même de notre FFT pour pouvoir appliquer les traitements suivant avant de rebasculer dans le domaine temporel.

Une fois l'ensemble de ces optimisations faites, la latence ajoutée par notre outil tombe à 23 ms. Celle-ci reste tout de même trop élevée pour une utilisation en temps réel.

6.2 Conception de l'interface utilisateur

6.2.1 *Quelle liberté donner à l'utilisateur ?*

Le potentiomètre de panoramique est un outil ancien. Il est parfaitement intégré dans la chaîne de travail de l'ingénieur du son. Il sait toujours où le trouver et comment le régler peu importe la machine sur laquelle il devra travailler. Cela est évidemment dû à sa grande simplicité qui se résume à l'utilisation d'un unique potentiomètre.

Si nous voulons espérer un intérêt pour notre version du potentiomètre de panoramique de la part des professionnels, elle doit conserver la même simplicité d'utilisation que l'original. Le nombre de réglages apparents doit être minimal. La conséquence est que l'utilisateur n'aura pas d'accès direct à un grand nombre de paramètres et peu seront configurable. Notre outil fonctionnera donc comme une boîte noire. L'utilisateur ne pourra pas régler indépendamment la proportion de Δi , Δt ou $\Delta \phi$. Tous ces paramètres seront pré-réglés à des valeurs que nous jugeons cohérentes.

Cependant le DeltaPan est plus complexe dans son fonctionnement et dans ses fondements. La présence d'un module de la gestion de la largeur stéréophonique des sources implique nécessairement un réglage supplémentaire. De plus, il paraît tout de même important de pouvoir laisser un minimum de choix quant à la proportion Δi , Δt ou $\Delta \phi$ créant la sensation de latéralisation. Un troisième et dernier réglage est donc à considérer.

6.2.2 Fonctionnement des différents réglages

6.2.2.1 Potentiomètre de panoramique

Il s'agit bien évidemment du réglage principal de notre *plugin*. Il faut donc le « mettre en scène » dans l'interface utilisateur afin qu'il soit directement identifié comme tel. Il est représenté par un potentiomètre rotatif parcourant une course de 270° et dont le curseur est initialisé au milieu de cette course.

Le potentiomètre renvoi une valeur de -50 à 50. Ces valeurs sont basculées sur une échelle de 0 à 100. Cette amplitude de données est linéaire. Cependant le curseur de corrélation agit sur la courbe permettant de décrire ces valeurs (voir chapitre suivant 6.2.2.2). Ces valeurs sont ensuite envoyées aux différents blocs de contrôle décrits aux chapitres suivants :

- Le bloc Δt (2.3) remet les valeurs entrantes sur une échelle de -90° à 90° correspondant ainsi à l'angle d'incidence de la source.
- Le bloc Δi remet les valeurs entrantes sur une échelle de -55° à 55° . Elles correspondent ainsi à l'angle d'incidence de la source. Ces deux bornes sont délimitées par l'angle de 110° formé par les capsules dans notre simulation de couple (3.3.2.2)
- Bloc $\Delta \varphi$ remet les valeurs entrantes sur une échelle de -60° à 60° . Elles correspondent directement au extremum de notre traitement de phase.

6.2.2.2 Curseur de corrélation

Ce paramètre permet à l'utilisateur de moduler intuitivement différentes variables afin de changer la sensation de latéralisation créée par le DeltaPan. Il agit donc sur trois paramètres (voir l'illustration 12 page 109):

- Sur la directivité des microphones de notre module Δi
- Sur l'espace entre les microphones de notre module Δt
- Sur les bornes des valeurs que peut appliquer notre module $\Delta \varphi$

La valeur initiale du curseur de corrélation est 50, sur une échelle de 0 à 100. À cette valeur, la directivité des microphones est hypocardiïde (la valeur émise est 0,3), la distance entre les microphones est de 60 cm et les bornes du bloc $\Delta\varphi$ sont -90° et $+90^\circ$. À ce réglage, nous avons un bon compromis entre la latéralisation par différence de temps et d'intensité. Afin de rendre le contrôle de panoramique plus souple lorsque le réglage de corrélation retourne 50, la répartition des traitements par la différence de temps et d'intensité sur l'ensemble de la course du potentiomètre est changée. Le traitement par différence de temps a lieu principalement sur le début de la course du potentiomètre pour ensuite être relayé par le traitement par différence d'intensité.

Lorsque le curseur de corrélation retourne 0, la latéralisation du DeltaPan repose plus sur des différences de temps. La directivité des microphones est presque omnidirectionnel (la valeur émise est 0,1), la distance entre les microphones est de 90 cm et les limites de déphasage sont -180° et $+180^\circ$

Enfin, lorsque le curseur retourne 100, le traitement de latéralisation repose essentiellement sur du Δi . La directivité des microphones est cardioïde (la valeur émise est 0,5), la distance entre les microphones est de 30 cm et il n'y a aucun déphasage.

Ces valeurs ont été choisies à l'écoute, pour permettre de conserver une sensation de localisation de la source le plus invariant possible en fonction de la valeur du curseur de corrélation.

6.2.2.3 Potentiomètre de largeur stéréophonique

Ce potentiomètre contrôle une matrice M/S permettant de manipuler l'impression de largeur de la source. Lorsque ce potentiomètre affiche sa valeur minimale, seule la composante centrale est entendue. Lorsque le potentiomètre affiche sa valeur maximale, seule la composante latérale est entendue. Au centre, les deux composantes sont entendues au même niveau. Il est défini deux modes d'utilisations du DeltaPan, un mode pour source monophonique et un mode pour source stéréophonique. Dans son mode dit « stéréophonique », la matrice M/S fonctionne de manière standard, car il existe déjà dans le signal à traiter les deux composantes. Dans son mode dit « monophonique », le DeltaPan génère un faux signal latéral par le procédé vu au paragraphe 5.3. Le choix du mode est à définir par l'utilisateur au lancement du *plugin*, ou dans le menu des options. La valeur du potentiomètre de largeur stéréophonique est, par défaut, 0 pour le mode « monophonique » et 50 pour le mode « stéréophonique » sur une échelle de 0 à 100.

6.2.2.4 Menu des options

Ce menu permet d'accéder aux derniers réglages du DeltaPan :

- La sélection du mode « source monophonique » ou « source stéréophonique »
- La sélection du mode « zéro latence », qui permet de court-circuiter la FFT responsable de la grande latence du DeltaPan. Une loi de panoramique tangente remplace notre module de Δi initial et le module $\Delta \phi$ est inopérant.

- Le module de calcul de la latence de DeltaPan. Le bouton poussoir « Ping » génère des impulsions permettant de calculer exactement la latence induite par le DeltaPan. Cette option n'est présente que dans la version *Max4Live* du *plugin* afin de combler l'absence de compensation des *plugin Max4Live* dans *Ableton Live*. Le temps de latence est à indiquer manuellement dans la console.

6.2.3 Choix de l'ergonomie et de l'apparence de l'interface utilisateur



Illustration 7:
Interface principale
du DeltaPan

Le canevas de *Max4Live* et d'*Ableton Live* n'offre pas une grande liberté pour créer interface du DeltaPan. Ses fonctions sont assez sommaires, mais poussent à une certaine forme d'efficacité. Le potentiomètre de panoramique est positionné au centre de l'interface,

afin de tout de suite attirer de l'œil de l'utilisateur et de le

designer comme réglage principal. Afin d'accentuer sa place dans l'interface, un corrélateur de phase est inscrit à l'intérieur du potentiomètre. Son but est à la fois d'indiquer l'influence du traitement sur la corrélation de phase du signal sortant et aussi d'apporter

quelques couleurs à l'interface. En arc de cercle au-dessus du potentiomètre de

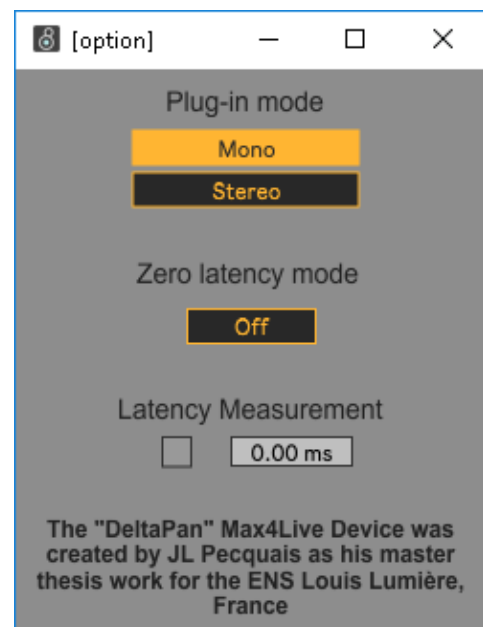


Illustration 8: Menu des options

panoramique ce trouve le réglage de largeur stéréophonique. Enfin au-dessous du potentiomètre, nous trouvons le curseur de corrélation.

Le logo du DeltaPan sert également de bouton pour accéder au menu. Ce dernier s'ouvre dans une nouvelle fenêtre. Les différentes options y sont simplement lister avec les boutons correspondant. Des infos-bulles s'affichent pour chaque fonction lorsque la souris de l'utilisateur reste au-dessus du titre de la fonction ou du bouton.

RÉALISATION DE TESTS PERCEPTIFS

Comparaison entre le DeltaPan et le potentiomètre de panoramique d'intensité

Table des matières

Réalisation de tests perceptifs.....	83
1 Protocoles de test.....	84
1.1 Test 1 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans l'écoute de sources isolées.....	84
1.2 Test 2 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans l'écoute de mixages de musiques actuelles.....	85
1.3 Test 3 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans la réalisation d'une tâche de latéralisation des sources pour un mixage de musique actuelle.....	86
2 Analyse et interprétation des résultats des tests.....	88
2.1 Résultats du test 1.....	88
2.2 Résultats du test 2.....	89
2.3 Résultats du test 3.....	91

1 PROTOCOLES DE TEST

1.1 Test 1 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans l'écoute de sources isolées.

Nous cherchons à comparer le DeltaPan avec le potentiomètre de panoramique usuel (suivant une loi tangentielle). Ce test concernera des sons isolés et extraits de leur contexte musical initial.

Le sujet est installé au point d'écoute idéal d'un système stéréophonique (60° de scène sonore). Les stimuli diffusés fonctionnent par paire : le même son est entendu une fois traité par le DeltaPan et une fois par le panoramique suivant une loi tangentielle. Le but du sujet est de trouver les différences entre les versions A et B d'un même son. Dans un premier temps il lui sera demandé quel est le son préféré. Enfin le sujet devra écouter X et devra déterminer si X est A ou B.

Le but de ce test est de savoir si un auditeur, averti ou naïf, entend une différence entre le DeltaPan et un potentiomètre de panoramique appliquant une loi tangente, puis si oui, lequel préfère-t-il ?

Afin de réaliser notre comparaison, nous utiliserons le corpus de couple de stimuli monophoniques suivants :

- une basse
- une guitare électrique

- une voix de femme
- une batterie

Chaque stimulus est entendu une fois avec une valeur de latéralisation statique aléatoire et une fois avec un mouvement allant de gauche totale à droite totale en aller et retour. Ces stimuli sont répétés une fois, de manière non consécutives. Cela nous porte le nombre de couples de stimuli de notre test à 16. Le temps de réponse du sujet est évalué à 60 secondes par couple de stimuli, nous arrivons à un temps de test 16 minutes.

Le test est réalisé dans la salle de mastering de l'École nationale supérieure Louis-Lumière, sur un système *Amphion*. L'interface de réponse est réalisée avec *Max/MSP*.

1.2 Test 2 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans l'écoute de mixages de musiques actuelles.

Nous cherchons à comparer le DeltaPan avec le potentiomètre de panoramique usuel (suivant une loi tangentielle) mais cette fois-ci dans un contexte musical.

Le sujet est installé au point d'écoute idéal d'un système stéréophonique (60° de scène sonore). Trois mixages sont diffusés : un de RnB/Hip-Hop (morceau 1), un de Rock (morceau 2) et un de Pop-Folk (morceau 3). Chacun de ces mixages est décliné en deux versions, en tous points identiques, sauf pour l'algorithme permettant de latéraliser les sources. Les versions A du morceau 1, B du morceau 2 et A de

morceau 3 utilisent le DeltaPan. Les autres versions utilisent un potentiomètre de panoramique classique. Le sujet devra faire part des différences qu'il entend, ou non.

Le but de ce test est de savoir si un auditeur, averti ou naïf, entend une différence entre le DeltaPan et un potentiomètre de panoramique appliquant une loi tangente dans le contexte d'un mixage de musiques actuelles, puis si oui, lequel préfère-t-il ?

Chaque morceau est écouté une fois, et le sujet peut passer d'une version à une autre en cours d'écoute. Les morceaux durent en moyenne 3 minutes.

Le test est réalisé dans la salle de mastering de l'École nationale supérieure Louis-Lumière, sur un système *Amphion*. Une justification aux réponses apportées est demandée aux sujets. Les réponses sont reportées à l'écrit sur un questionnaire papier.

1.3 Test 3 : Comparaison du DeltaPan avec un potentiomètre de panoramique usuel dans la réalisation d'une tâche de latéralisation des sources pour un mixage de musique actuelle.

L'ambition de ce test est plus de confronter un certain nombre d'experts (ingénieur du son, étudiants en école de son) à notre DeltaPan plutôt que d'essayer de faire une comparaison équitable entre deux outils finalement assez différents. On pourrait donc comparer ce test à une phase de bêta-test. Les personnes acceptant de passer notre test doivent réaliser quatre tâches de latéralisation des sources : une fois avec le DeltaPan, une fois avec un potentiomètre de panoramique, le tout pour deux

morceaux différents. Le potentiomètre de panoramique utilisé est donc celui de la console. Nous n'avons pas cherché à rendre ce test « équitable » pour aucun des outils. En effet, le DeltaPan possède plus de fonction qu'un potentiomètre de panoramique. Par contre, ce dernier est directement intégré dans la tranche de console de *Live*, son accès est donc facilité, et l'utilisateur peut rapidement régler la panoramique de plusieurs sources. Ces morceaux sont des extraits des morceaux 1 et 3 utilisés pour le test n°2. Les multi-pistes proposés étaient pré-mixés afin que des questions de correction des défauts des sources ne soient pas évoquées. Il est à noter que ce troisième test a été réalisé une fois les résultats des tests 1 et 2 connus (voir *Résultats du test 1* et *Résultats du test 2*, respectivement pages 88 et 89). Ce sont ces résultats qui ont motivés le choix de ces deux morceaux en particulier.

Le logiciel utilisé par les sujets est *Ableton Live*. Ne s'agissant pas d'un des logiciels standards de l'industrie de la production sonore, une rapide explication du fonctionnement de l'interface du mixeur leur était donnée en début de test.

Les étapes se déroulent de la manière suivante. Le sujet prend place dans la pièce, au point d'écoute idéal. Une fois introduit à l'interface de *Live*, nous lui expliquons celle du DeltaPan, en passant en revue chaque réglage et chaque option tout en clarifiant les dépendances existantes. Le sujet est ensuite libre de réaliser les quatre tâches de latéralisation des sources, dans l'ordre de son choix. Une fois celles-ci réalisées, il doit remplir un questionnaire (cf annexe page 106).

2 ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES TESTS

2.1 Résultats du test 1

Du côté des sujets experts, la reconnaissance entre le DeltaPan et le potentiomètre de panoramique usuel est clair, avec une moyenne de 3 fautes par sujets sur 16 stimuli écoutés (78,57 %). Au cours de discussions post-test, beaucoup d'entre eux ont relevé qu'il était difficile de faire la différence pour le stimulus de basse, il s'agit en effet de celui ayant obtenu le moins bon score de reconnaissance avec 66,65 %. Lorsque la source est en mouvement, le résultat de reconnaissance est de 68,59 %. Malgré ce résultat plutôt faible, plusieurs personnes ont remarqué un artefact de phase lorsque le son passe au centre. Le résultat est bien meilleur pour des sources statiques, avec seulement 37 fautes sur les 120 stimuli statiques (soit 86,67 %).

Les données obtenues sur la préférence ne sont pas exploitables. Il en ressort principalement que les résultats ne sont pas consistant d'une répétition à une autre pour un même sujet. Ainsi on observe que pour un même stimulus, un sujet répondant une première fois qu'il préfère très largement la version traitée par le DeltaPan répondra la fois suivante qu'il préfère complètement le traitement par le potentiomètre de panoramique classique. Les répétitions ne sont pas assez nombreuses pour en dégager une tendance.

2.2 Résultats du test 2

Cet exercice de comparaison est tombé dans un biais. Comme il était demandé aux sujets de trouver une différence entre les mixages, les sujets en ont trouvés, même lorsque ceux-ci étaient identiques. Par exemple, plusieurs personnes ont relevées des différences sur l'introduction du morceau de Hip-Hop alors qu'il n'y en avait aucune.

Cependant, au vu des réponses obtenues, nous pouvons quand même dégager deux points :

- Les différences entendues entre les deux mixages sont très tenues. Il s'agit du constat le plus important car il a une implication très importante sur le deuxième point.
- Toutes les différences identifiées par les sujets relève de l'esthétique.

Les sujets ont trouvé les mixages réalisés avec le potentiomètre de panoramique plus large, contre des sources semblant plus large avec le DeltaPan. Quelques personnes ont également fait part de différence spectrales, cela étant lié aux différents démasquages produit par la latéralisation par différence de temps et d'intensité.

Nous pouvons conclure du tableau de résultats 1 que sur les deux premiers morceaux les résultats sont très ambigus et ne permettent pas de dégager clairement une préférence. En particulier sur le morceau typé Rock où le nombre de personnes n'ayant pas de préférence et n'ayant entendu aucune différence est de 5. Le

rassemblement entre ces deux valeurs est proposable suite aux discussions que j'ai eues avec les sujets n'ayant pas de préférence. Ces derniers ont toujours avancé que leur non-préférence étaient lié aux trop faibles différences entre les deux mixages. Cependant les résultats sont beaucoup plus tranchés pour le morceau de Pop-Folk, où une large préférence pour le mixage réalisé avec le DeltaPan a été manifestée.

	Morceau Hip-hop	Morceau Rock	Morceau Pop-Folk
Nombre de personnes ayant préférées le DeltaPan	4	4	8
Nombre de personnes ayant préférées le potentiomètre de panoramique	5	4	4
Nombre de personnes n'ayant pas de préférence	1	3	1
Nombre de personnes n'ayant entendu aucune différence	2	2	0

Tableau 1: Résultats numériques du test 2

Nous pouvons apporter une piste d'explication : l'arrangement du morceau de Pop-Folk est beaucoup moins dense, laissant ainsi plus de place aux détails spatiaux générés par l'utilisation du DeltaPan. Aussi, dans cette esthétique il a largement été préféré l'utilisation de notre outil. Il s'agit d'ailleurs du principal constat des préférences exprimées par les sujets. Le DeltaPan offre une alternative esthétique qui n'est, techniquement, ni supérieur, ni plus valable au potentiomètre de panoramique traditionnel.

2.3 Résultats du test 3

Sept personnes ont accepté de passer ce test. Parmi elles, quatre ont également passées les deux premiers tests. Elles avaient, à ce sujet, toutes notées que les différences entre les différentes versions de mixages du morceau 1 du test 2 étaient trop ténues pour être significatives. À l'inverse, pour elles, il existait une différence notable sur le morceau 3, leur préférence allant plutôt (3 cas sur 4) au mixage réalisé avec le DeltaPan.

L'interface utilisateur est visuellement plutôt appréciée, les avis allant de « sobre et efficace sans être particulièrement avenante » à « très agréable et très accueillante » ou encore « donne envie d'être utilisée ». Il fût remarqué plusieurs problèmes d'ergonomie : Par exemple, la *hitbox*⁴³ du réglage de panoramique étant beaucoup plus grande que le bouton visible par l'utilisateur, elle empiète sur le *hitbox* du réglage de largeur centrale (*center width* dans le *plugin*). Plusieurs personnes ont donc eu du mal à « attraper » ce paramètre avec leur souris. Un des sujets s'est trouvé également déstabilisé par le fait que l'interaction avec le réglage de panoramique se fasse par un geste haut-bas de la souris plutôt que gauche-droite. Certains retours font par de leur incompréhension face à la présence d'un corrélateur de phase. En effet, sa position et ses couleurs n'ont pas du tout fait sens pour deux des sujets. Encore un autre sujet à fait remarquer qu'il serait bon de rappeler sur quoi agit le paramètre « corrélation » afin d'en expliciter son usage. Enfin, un dernier sujet à judicieusement fait remarquer que le paramètre de largeur centrale pourrait

⁴³ Zone de colision entre la souris et l'objet

« s'ouvrir » de son milieu vers ses extrêmes plutôt que de décrire un mouvement de la gauche vers la droite.

L'ensemble des options disponibles dans le DeltaPan a été unanimement jugé adéquat. Plusieurs personnes indiquent qu'elles trouvent de réglage de largeur au centre particulièrement intéressant. Le nombre de réglages est aussi trouvé suffisant par tous les sujets. Néanmoins, l'un d'entre eux suggère que l'on pourrait, au vu de l'effet de chacun des réglages du DeltaPan sur le son, les réduire au nombre de deux. L'influence de chaque réglage est jugé sensible à l'écoute. Cependant un sujet indique qu'il n'a pas manipulé le réglage de corrélation, et un autre que ce même réglage est trop fin dans ses valeurs intermédiaires. Un autre indique que l'effet du réglage de corrélation est largement dépendant de la nature de la source. Sur la question de la dénomination des différents réglages, seul le terme « corrélation » est critiqué, par deux personnes, jugeant son appellation trop floue et pas assez évocatrice.

Six sujets sur sept ont préférés utiliser le DeltaPan au potentiomètre de panoramique pour le morceau 1 (R'n'B). La principale raison étant la présence du paramètre de « largeur centrale » qui leur a permis d'atteindre une mise en scène sonore plus satisfaisante à leurs oreilles. Un des six sujets regrette qu'il ne soit pas possible de réaliser un effet « *hard pan* »⁴⁴ avec le DeltaPan, particulièrement dans une esthétique comme celle du Hip-hop. Le seul sujet ayant préféré le potentiomètre de panoramique n'a pas précisé son choix.

44 Cette technique de panoramique consiste à placer les sources dans un seul des deux canaux de la stéréophonie

Tous les sujets ont préféré utiliser le DeltaPan pour le morceau 2 (Folk). Ils évoquent une sensation « d'espace », « d'enveloppement », de « douceur » et l'envie de mettre moins de réverbération. De la même manière, les résultats sont unanimes sur le potentiel sonore offert par le DeltaPan. Une majorité des sujets (cinq sur sept) trouvent que son utilisation rend leur travail plus fin et précis et l'apport sonore du DeltaPan conséquent sur un mixage musical.

CONCLUSION

La conception du DeltaPan, outil logiciel (*plugin*) réalisé dans le cadre de ce travail, est le fruit de recherches menées autour de la latéralisation des sources sonores et leurs perceptions par l'Homme ; le DeltaPan est constitué de plusieurs modules.

La simulation de couples microphoniques nous a permis de mettre en évidence les corrélations existantes entre la latéralisation fondée sur la différence d'intensité (Δi) et la différence de temps (Δt) et ainsi de proposer une approche beaucoup plus globale de la latéralisation par différence d'intensité en y incluant une prise en comptes de ses effets sur le spectre du signal audio traité.

Notre module Δt permet d'introduire un retard entre les canaux gauche et droit et offre l'avantage de pouvoir être manipulé sans générer de clics numériques et sans engendrer d'altération de la hauteur du signal traité. Cette approche permet d'automatiser le paramètre de panoramique et donc d'envisager la création de mouvement (chose impossible dans *PanNoir* de *Merging Technologies*).

Le module de latéralisation fondé sur la différence de phase ($\Delta \phi$), implémenté avec l'intention d'améliorer la sensation de localisation des sources, n'a pas permis d'atteindre les objectifs attendus lorsqu'il est employé seul. Cependant, il permet d'améliorer considérablement la compatibilité monophonique du DeltaPan tout en

conservant l'effet introduit par le Δt . Cette amélioration a été constatée grâce à l'implémentation d'un corrélateur de phase dans l'interface graphique de la version *Max4Live*.

La possibilité offerte par notre outil de maîtriser la largeur des sources permet à l'utilisateur de gérer tous les paramètres en lien avec l'établissement de la stéréophonie de sa scène sonore. La réduction de la largeur de la source ne nécessite pas de mélanger les deux canaux d'une source stéréophonique évitant ainsi l'apparition de filtrage en peigne inhérent à la réalisation de cette opération par une méthode conventionnelle. Par ailleurs, notre outil offre la possibilité d'accroître la largeur de la source. Pour un signal audio monophonique, le traitement consiste à :

- prendre le signal audio original, lui appliquer un Δt et un $\Delta\phi$ sans agir sur sa polarité
- prendre le signal audio original, lui appliquer un Δt et un $\Delta\phi$ tout en inversant sa polarité
- faire la somme du signal original avec chacun des deux signaux obtenus plus haut.
- envoyer les signaux résultants aux canaux de gauche et de droite.

Les tests perceptifs réalisés dans le cadre de cette étude ont montré que les sujets étaient capables de dire si l'opération de latéralisation de sources isolées était effectuée au moyen du DeltaPan et au moyen d'un potentiomètre de panoramique ;

par contre, ils étaient incapables de faire un choix en termes de qualité sonore, entre autres, entre un procédé de latéralisation et l'autre. Le fait que, contrairement au potentiomètre de panoramique qui n'utilise que le Δi , le DeltaPan utilise une combinaison de Δi , Δt et de $\Delta \phi$ pour latéraliser les sources sonores, pourrait faire de lui un complément de choix pour effectuer cette opération ; la préférence de l'un ou l'autre de ces procédés dépend du contexte musical et de l'utilisateur ; dans une certaine mesure, ce sentiment a été corroboré par plusieurs écoutes comparatives de mixages. Les sujets ont constaté que les mixages produits avec le DeltaPan donnaient l'impression d'être moins large que ceux réalisés au moyen du potentiomètre de panoramique ; cependant, les sources sonores paraissaient avoir une plus grande largeur dans les mixages réalisés avec le DeltaPan. La réduction de la largeur des mixages réalisés par le DeltaPan pourrait être expliquée par la faiblesse de la différence d'intensité engendré par le DeltaPan en comparaison avec un mixage réalisé avec un potentiomètre de panoramique. Par ailleurs, les sujets ayant participé à une opération de mixage en utilisant le DeltaPan et en utilisant le potentiomètre de panoramique ont, en grande majorité, préféré utiliser le DeltaPan. Leur choix est justifié par le fait que le DeltaPan offre plus d'options que le potentiomètre de panoramique et qu'il permet de créer une plus grande sensation d'espace sonore.

En complément des écoutes réalisées au moyen d'enceintes acoustiques, des écoutes au moyen de casque sont à envisager. En effet, quelques tests préliminaires d'écoutes effectuées au casque ont permis aux sujets de mieux distinguer un mixage

réalisé avec le DeltaPan d'un même mixage effectué au moyen du potentiomètre de panoramique. Cette distinction était plus marquée pour des sources isolées que pour des sources mixées. Par ailleurs, les sujets ayant participé à ces tests d'écoute préliminaires de mixages réalisés au moyen du DeltaPan ont constaté que l'écoute au casque de ces mixage était moins sur-latéralisé ; à notre connaissance, ces observations n'ont pas fait l'objet d'étude.

Afin de réaliser les traitements à l'origine du Δi et $\Delta \phi$, le DeltaPan exploite les avantages d'une transformé de Fourier rapide (FFT). Le recours à la FFT permet de réaliser une simulation plus réaliste de la directivité des microphones (point de départ de notre module Δi) et d'appliquer le $\Delta \phi$. L'inconvénient majeur de l'utilisation de la FFT est la génération d'une grande latence (plus de 20 ms). Pour contrer ce retard, une option, proposée à l'utilisateur, basée sur un modèle de panoramique appliquant la loi tangente en remplacement de la FFT, a été implémenté.

Même si le DeltaPan affecte le spectre des sources sonores, il n'engendre pas de colorations notables du mixage ; ce constat pourrait indiquer que le calcul de la FFT ne semble pas affecter le spectre de manière perceptible ; une étude plus rigoureuse de cet aspect est à prévoir. Néanmoins, le recours à la FFT affecte la phase et rend plus compliquée la chaîne de traitement.

Une méthode de calcul de $\Delta \phi$ ne faisant pas appel à la FFT est à trouver. Cela devrait permettre de simplifier la chaîne de traitement et ainsi réduire les ressources et

le retard rendant ainsi possible le traitement en temps réel nécessaire pour plusieurs applications telles que le spectacle vivant et l'enregistrement en studio, entre autres.

Si la latence engendrée par le DeltaPan constitue sa principale limite, il convient également de noter que, de par sa nature à agir sur le temps et sur la phase des sources qu'il traite, le DeltaPan n'est pas à recommander dans une logique de latéralisation d'appoints dans une prise de son globale. Dans le cadre de cette approche, une remise en phase des appoints sur chaque microphone du couple stéréophonique permet d'obtenir une différence de temps entre les canaux gauche et droit de l'appoint et donc de le placer au même endroit que la source présente dans le couple de prise de son global. Cette méthode assure donc une corrélation de phase maximale et une scène sonore homogène.

Une autre extension de ce travail pourrait consister à développer une méthode de mixage tournée vers le système M/S en plus du système gauche/droite ; cela devrait permettre d'aller plus loin dans la réflexion sur l'élargissement des sources sonores déjà étudié dans le cadre de ce travail.

À la suite du dernier test perceptif, l'idée de procéder à une refonte complète du DeltaPan a émergé. Ainsi, nous pourrions fusionner les fonctions « *correlation* » et « *center width* » en un seul paramètre appelé « *largeur* ». En effet, la sensation apportée par la diminution de la corrélation dans le DeltaPan et donc l'augmentation de l'effet Δt sur le signal amène à une sensation de largeur. Ainsi, le DeltaPan aura un

comportement analogue à celui d'un potentiomètre de panoramique variant suivant une loi tangente (rendant ainsi possible de réaliser des *hard pan*) auquel on affecterait un réglage de largeur. Nous disposerons alors d'un outil encore plus efficace, plus simple d'utilisation, plus conviviale mais plus complet.

Pour rendre notre *plugin* exploitable sur la plupart des STAN⁴⁵ du marché, une version de notre *plugin* compatible avec VST3 est en cours de développement.

Même si *Ableton Live* est reconnu comme étant un logiciel de musique assisté par ordinateur de grande qualité, il présente un grand nombre d'inconvénients lié au manque de son ergonomie de son module de mixage. Le manque de compensation des retards lié aux traitements réalisés via *Max4Live* dans *Live* associé aux problèmes de compatibilité directe entre *Max/MSP* et *Max4Live* rendent la cohabitation entre *Live* et *Max/MSP* moins évidente qu'il n'y paraît. Ce constat justifie le choix du framework *JUCE* pour mener à bien le développement du DeltaPan. Le portage du DeltaPan en C++ est envisagé grâce au soutien de Monsieur Maxime Biron, ingénieur en informatique.

À l'issue de ce travail, nous pouvons dire que par sa simplicité, sa facilité d'utilisation, ses possibilités de paramétrage, le DeltaPan constitue une alternative crédible au potentiomètre de panoramique qui trône au milieu des consoles de mixage pour réaliser des opérations de latéralisation des sources sonores ; ainsi, le DeltaPan

45 Station de travail audio-numérique.

ne demande qu'à se développer en vu de son amélioration et éventuellement de sa commercialisation.

BIBLIOGRAPHIE

Thèse

Hendrickx, Etienne. *Influence de la stéréoscopie sur la perception du son : cas de mixages sonores pour le cinéma en relief.* Thèses, Université de Bretagne occidentale - Brest, 2015.

Ouvrages monographiques

Buser, Pierre, et Michel Imbert, *Neurophysiologie fonctionnelle Tome III : Audition,* Paris, Hermann, 1987.

Hugonnet, Christian, et Pierre Walder, *Prise de son: Stéréophonie et son multicanal,* Paris, Eyrolles, 2012.

Izhaki, Roey, *Mixing Audio: Concepts, Practices and Tools,* Taylor & Francis, 2013.

Millot, Laurent, *Traitement du signal audiovisuel: Applications avec Pure Data,* Paris, Dunod, 2008.

Rossi, Mario. *Audio,* Paris, PPUR presses polytechniques, 2007.

Williams, Michael, *Microphone Arrays for Stereo and Multichannel Sound Recordings,* Vol. 1. Editrice Il Rostro, 2004.

Articles de périodiques

Blumlein, Alan D. « British Patent Specification 394,325 (Improvements in and Relating to Sound-Transmission, Sound-Recording and Sound-Reproducing

Systems) ». *Journal of the Audio Engineering Society* 6, n° 2 (1 avril 1958): 91-130.

Griesinger, David. « Stereo and Surround Panning in Practice », 2002, 6.

Kendall, Gary. « The Decorrelation of Audio Signals and Its Impact on Spatial Imagery ». *Computer Music Journal* 19(4) (1995): 71-87.

Linkwitz, Siegfried H. « Active Crossover Networks for Noncoincident Drivers ». *Journal of the Audio Engineering Society* 24, n° 1 (1 février 1976): 2-8.

Articles de colloques

Kan, Alan. « On High-Frequency Interaural Time Difference Sensitivity in Complex Auditory Environments ». Audio Engineering Society, 2018.

Ozcan, Koray. « The Importance of Phase in the Presence of Sound Source Direction ». *Audio Engineering Society*, 2005.
<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=13200>.

Ozcan, Koray, Simon C. Busbridge, Peter A. Fryer, Gary P. Geaves, et Jon P. Moore. « The Significance of Phase as an Auditory Cue ». *Audio Engineering Society*, 2003.

Pulkki, Ville, Matti Karjalainen, et Vesa Välimäki. « Localization, Coloration, and Enhancement of Amplitude-Panned Virtual Sources ». *Audio Engineering Society*, 1999.

Williams, Michael, « Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording ». *Audio Engineering Society*, 1987.

INDEX

Index des illustrations

Illustration 1: Déphasage entre deux sinus de même fréquence et de même amplitude. Source du schéma : wikipedia.....	15
Illustration 2: Le sinus tracé en rouge est obtenue après une inversion de polarité du sinus tracé en bleu. Source du schéma : wikipedia.....	16
Illustration 3: Schéma électronique d'un potentiomètre de panoramique à faible de taux de distorsion. Réalisé par Chau Tran sur le site internet www.analog.com	26
Illustration 4: Le "Stereoplacer" de Nugen Audio.....	31
Illustration 5: Le « MSED » de Voxengo.....	32
Illustration 6: Le « Wider » de Polyverse.....	33
Illustration 7: Interface principale du DeltaPan.....	81
Illustration 8: Menu des options.....	81
Illustration 9: Patch principal du DeltaPan, partie 1/2.....	107
Illustration 10: Patch principal du DeltaPan, partie 2/2.....	108
Illustration 11: Traitements réalisés par la FFT (patch DP_fft).....	109
Illustration 12: Mise à l'échelle des valeurs générées par le réglage de corrélation (patch control).....	109
Illustration 13: Calcul du temps de retard à appliquer pour une source arrivant avec un angle d'incidence donné (patch ctrl_delai_pan).....	110
Illustration 14: Système de lignes à retard, sous Max/GEN (patch vdelay).....	111
Illustration 15: Mise à l'échelle des valeurs générées par le potentiomètre à destination du module de delta p (patch ctrl_phase_pan).....	111
Illustration 16: Modèle de détimbrage pour une capsule (patch détimbreur).....	111
Illustration 17: Mise à l'échelle des valeurs émises par le potentiomètre vers le bloc de delta i (patch pan_pot_curve_di).....	112

Illustration 18: Mise à l'échelle des valeurs émises par le potentiomètre vers le bloc de Δt (patch pan_pot_curve_dt).....	112
Illustration 19: Matriage M/S et ajout de la composante latérale générée pour les sources monophoniques (patch switch_MS).....	113
Illustration 20: Génération d'une composante latérale à partir d'une source monophonique (patch wider_mono).....	113
Illustration 21: Menu des options (patch option).....	114

Index des figures

Figure 1: Représentation d'une source (S) tournant autour d'un dispositif de captation stéréophonique (A et B) ayant pour centre (C).....	43
---	----

Index des graphiques

Graphique 1: Evolution du Δt en fonction de l'angle α pour différente distance source-dispositif (pour AB=30 cm).....	45
Graphique 2 Evolution du Δt en fonction de l'angle α pour différente distance source-dispositif (pour AB=17cm).....	46
Graphique 3: Influence de la distance AB sur le Δt pour plusieurs angles d'incidence	47

Index des tableaux

Tableau 1: Résultats numériques du test 2.....	90
--	----

ANNEXES

1 QUESTIONNAIRES DE TESTS PERCEPTIFS

TEST PERCEPTIF N°2 - Écoute comparative

Vous allez écouter trois mixages de musiques actuelles : un de Hip-hop/RnB, un de Rock et un de Pop-Folk. Ces mixages ont été réalisés en deux versions, A et B : une utilisant le DeltaPan, l'autre un potentiomètre de panoramique d'intensité suivant une loi d'atténuation de -3 dB. Tous les autres traitements ainsi que la balance sont identiques. Vous pourrez alterner librement entre les deux versions pendant votre écoute de chaque morceau. À la fin de chaque écoute vous devrez remplir la grille de réponses correspondante.

Questions préliminaires :

- 1) Quel âge avez-vous ?
- 2) Êtes-vous un professionnel ou futur professionnel du son ?
- 3) Êtes-vous musicien ?

Morceau 1 :

- 4) Avez-vous entendu une différence entre les versions A et B ? Si oui, comment la qualifieriez-vous ?
- 5) Quelle version du mixage avez-vous préféré ? Pourquoi ?

Morceau 2 :

- 6) Avez-vous entendu une différence entre les versions A et B ? Si oui, comment la qualifieriez-vous ?
- 7) Quelle version du mixage avez-vous préféré ? Pourquoi ?

Morceau 3 :

- 8) Avez-vous entendu une différence entre les versions A et B ? Si oui, comment la qualifieriez-vous ?
- 9) Quelle version du mixage avez-vous préféré ? Pourquoi ?

Autres :

- 10) N'hésitez pas à laisser un commentaire ou une remarque.

TEST PERCEPTIF N°3 – Évaluation du DeltaPan en phase de mixage

Au cours de ce test vous allez pouvoir, librement réaliser un tâche de latéralisation des sources. Vous travaillerez sur deux extraits de morceau : un de RnB et un de Pop-folk. Vous aurez également deux versions à réaliser, une avec le DeltaPan et une avec le potentiomètre de panoramique d'*Ableton Live*. Il vous sera ensuite demandé de répondre aux questions suivantes, le but étant de comparer les deux outils.

Questions :

- 1) Que pensez-vous de l'interface utilisateur ? La trouvez-vous accueillante ? Vous donne-t-elle envie d'utiliser le DeltaPan ?
- 2) L'ensemble des options disponibles vous semble-t-il adéquat ?
- 3) Le nombre de réglages existant sur le DeltaPan est-il suffisant, insuffisant ou sont-ils trop nombreux ?
- 4) L'influence de chaque réglage sur le son vous paraît-elle sensible à l'écoute ?
- 5) L'effet de chaque réglage vous semble-t-il en adéquation avec son nom ?

MORCEAU HIP-HOP :

- 6) Avec quel outil de panoramique avez-vous préféré travailler ? Pourquoi ?

MORCEAU FOLK

- 7) Avec quel outil de panoramique avez-vous préféré travailler ? Pourquoi ?
- 8) A l'usage, les propositions sonores offertes par le DeltaPan vous paraissent-elles intéressantes ?
- 9) Vous semble-t-il que le DeltaPan vous a permis d'être plus fin dans vos réglages ?
- 10) Vous semble-t-il que le DeltaPan vous a permis des choix de mixage qui ne sont pas possibles avec le potentiomètre de panoramique par défaut d'*Ableton Live* ? Si oui, ces choix vous semblent-ils conséquents sur l'ensemble d'un mixage ?

2 CAPTURE D'ÉCRAN DES PATCHS MAX/MSP

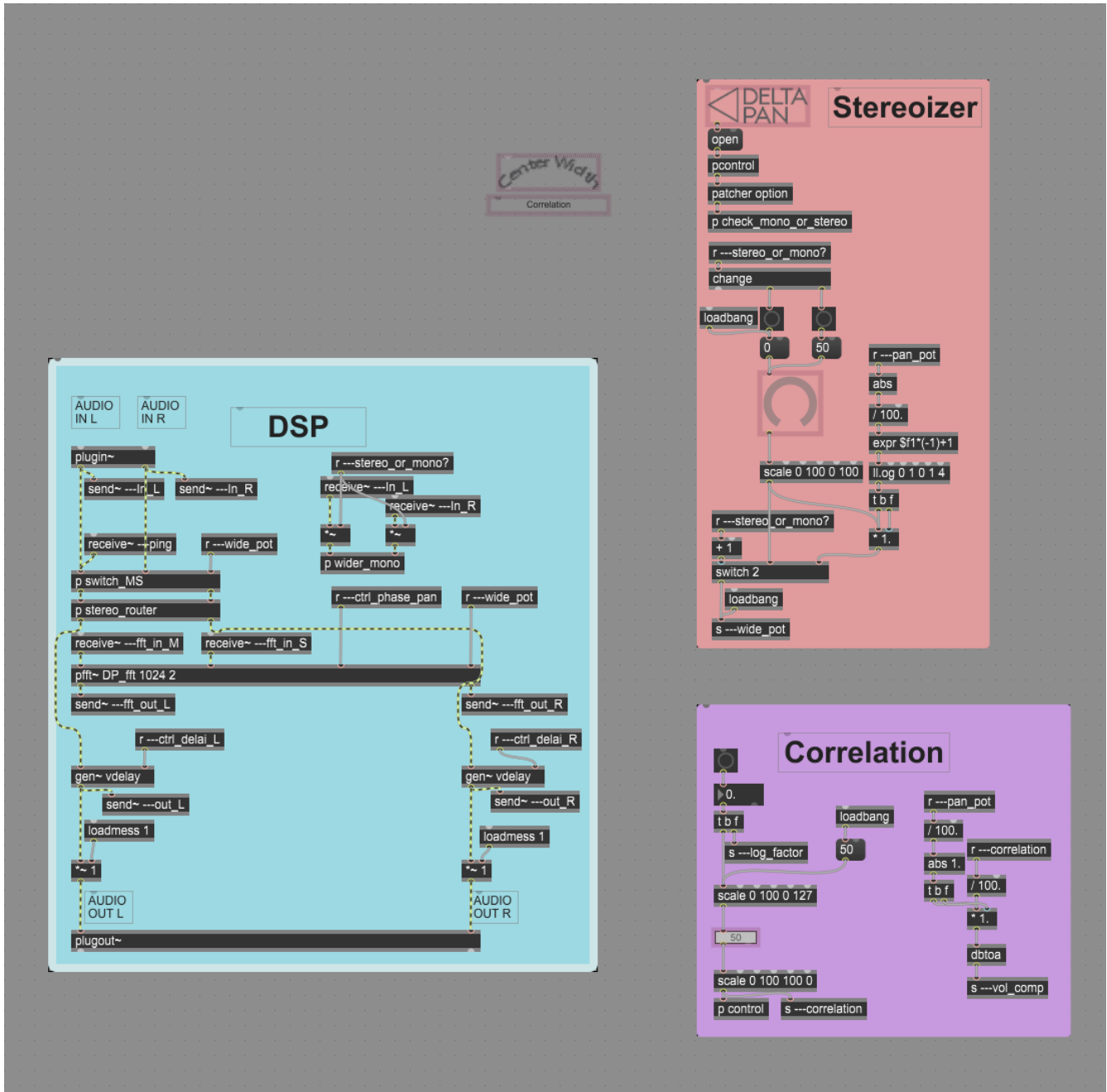


Illustration 9: Patch principal du DeltaPan, partie 1/2

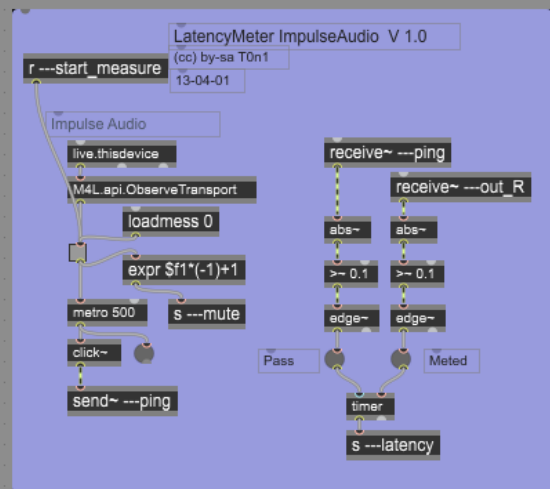
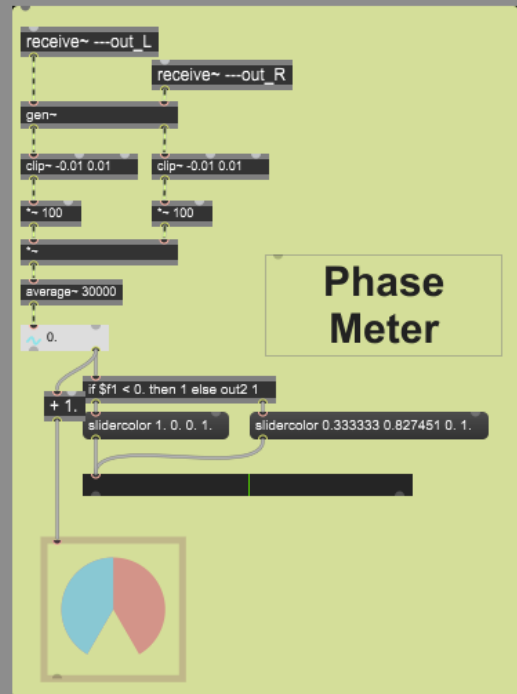
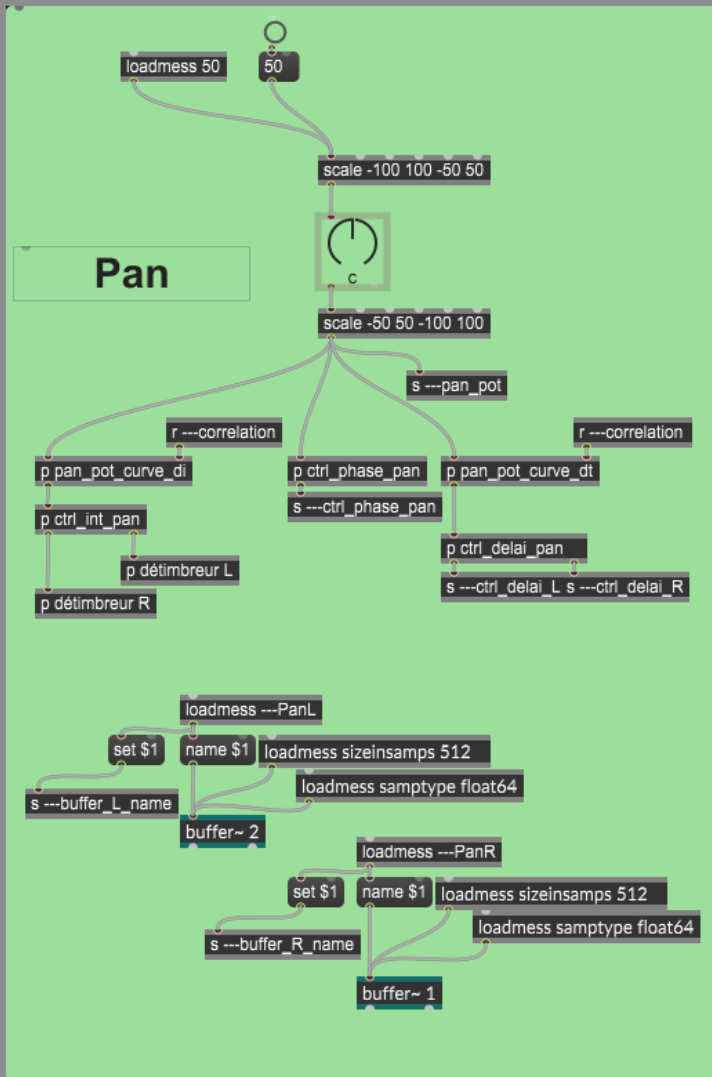


Illustration 10: Patch principal du DeltaPan, partie 2/2

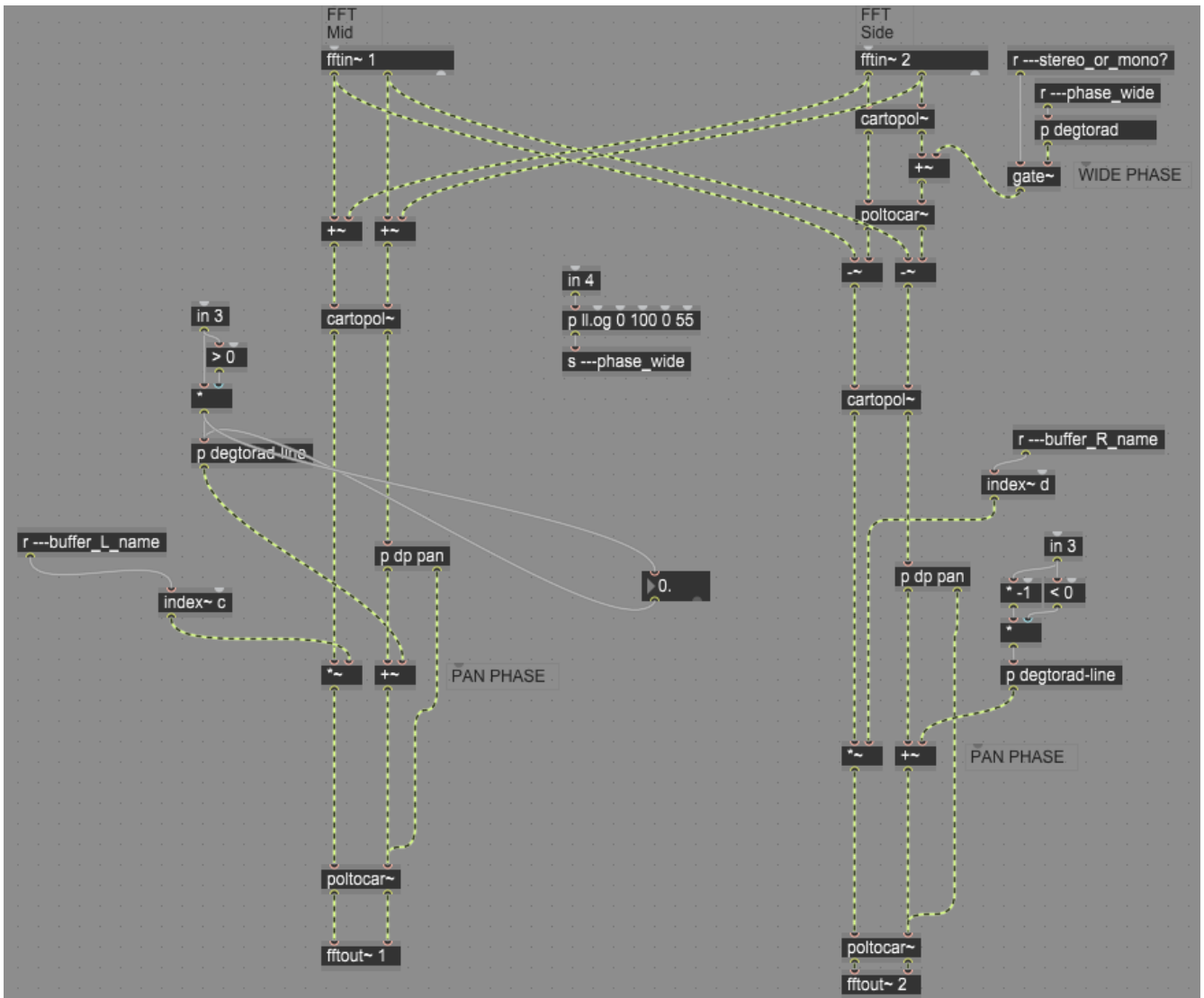


Illustration 11: Traitements réalisés par la FFT (patch DP_fft)

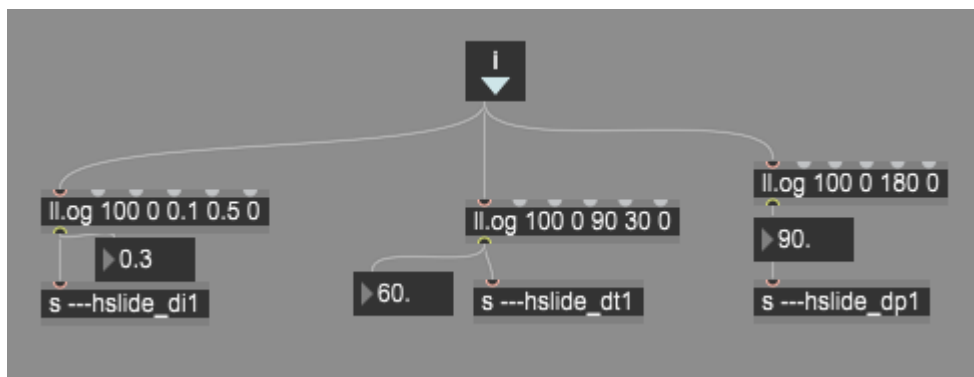


Illustration 12: Mise à l'échelle des valeurs générées par le réglage de corrélation (patch control)

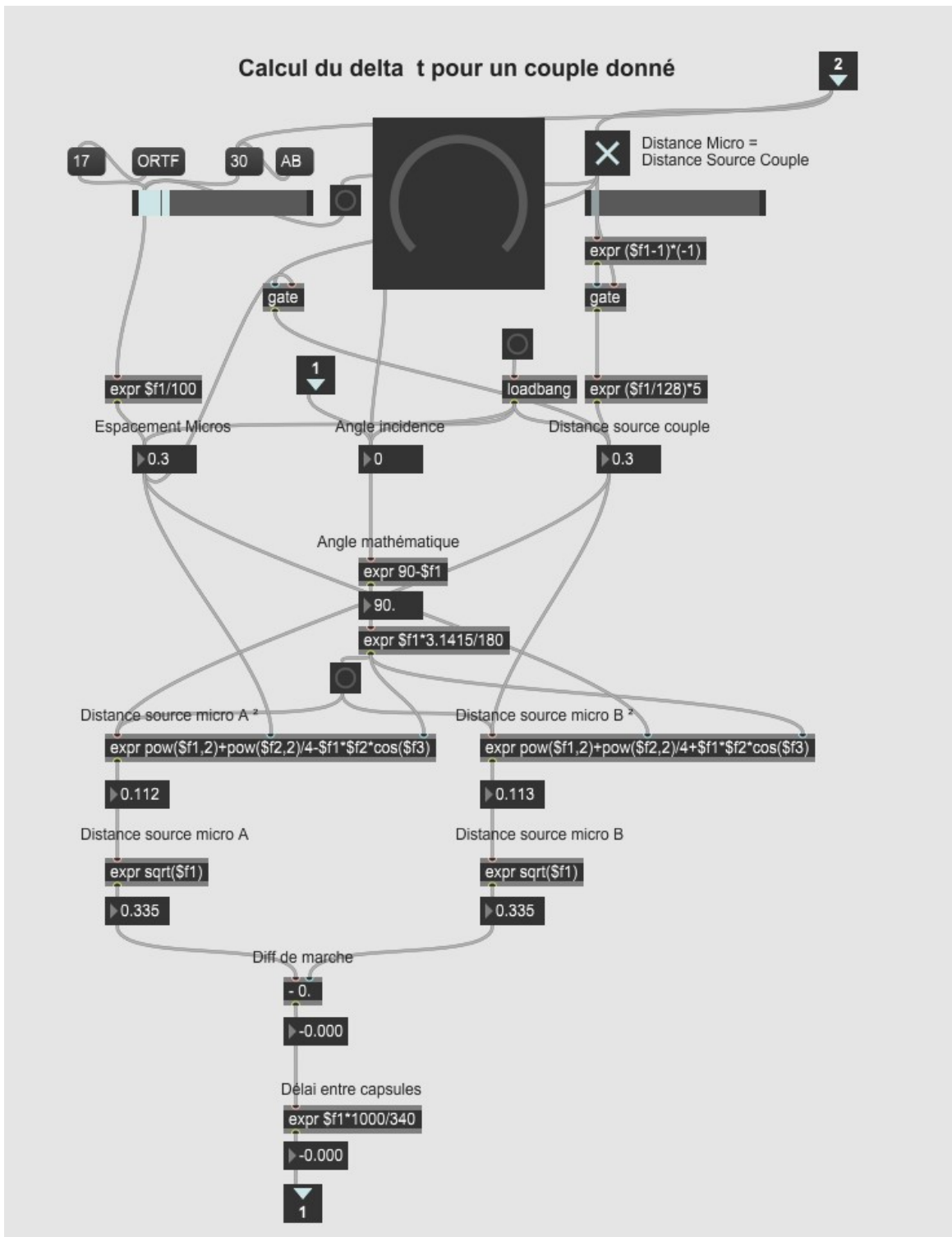


Illustration 13: Calcul du temps de retard à appliquer pour une source arrivant avec un angle d'incidence donné (patch `ctrl_delai_pan`)

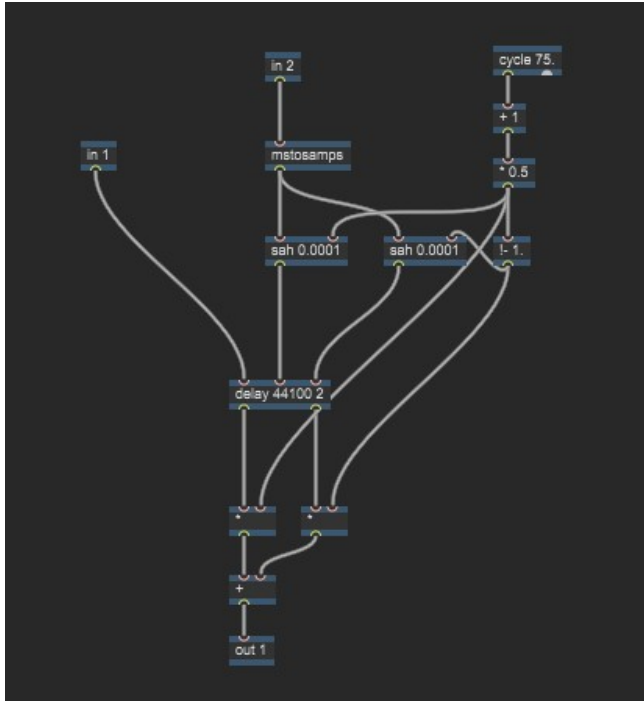


Illustration 14: Système de lignes à retard, sous Max/GEN (patch vdelay)

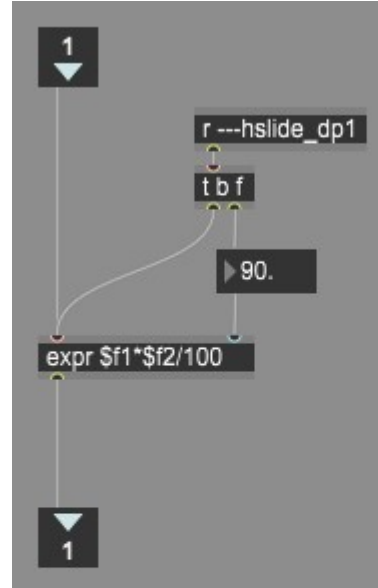


Illustration 15: Mise à l'échelle des valeurs générées par le potentiomètre à destination du module de delta p (patch ctrl_phase_pan)

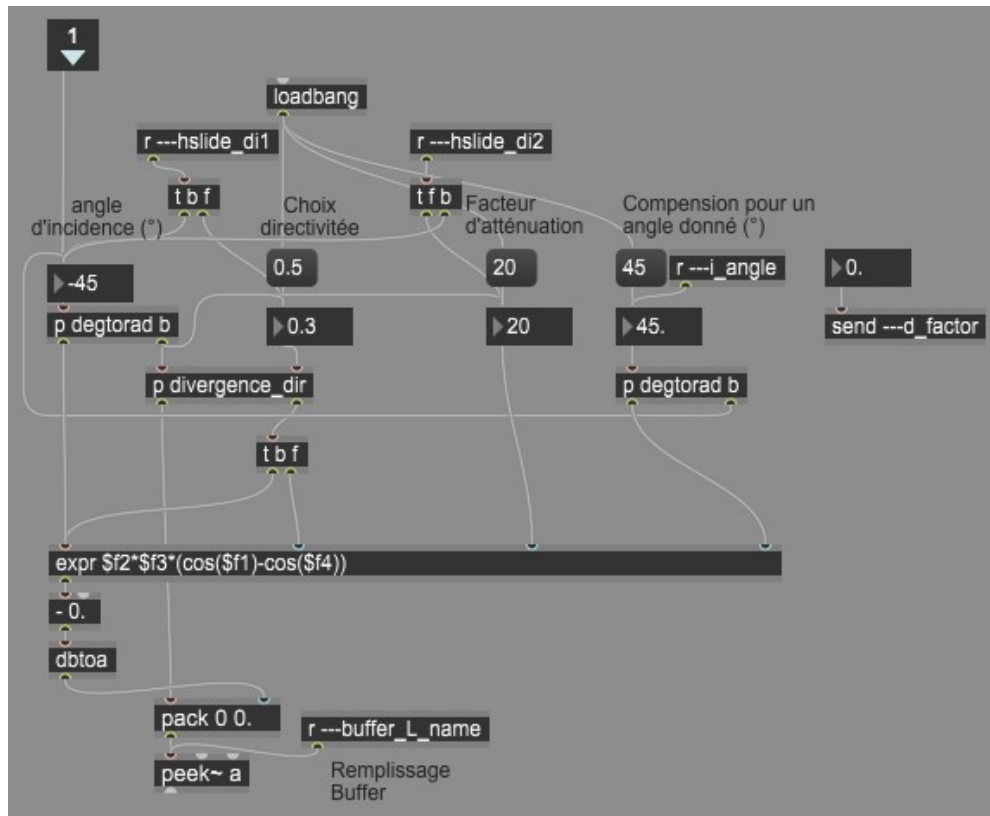


Illustration 16: Modèle de détimbrage pour une capsule (patch détimbreur)



Illustration 17: Mise à l'échelle des valeurs émises par le potentiomètre vers le bloc de delta i (patch `pan_pot_curve_di`)

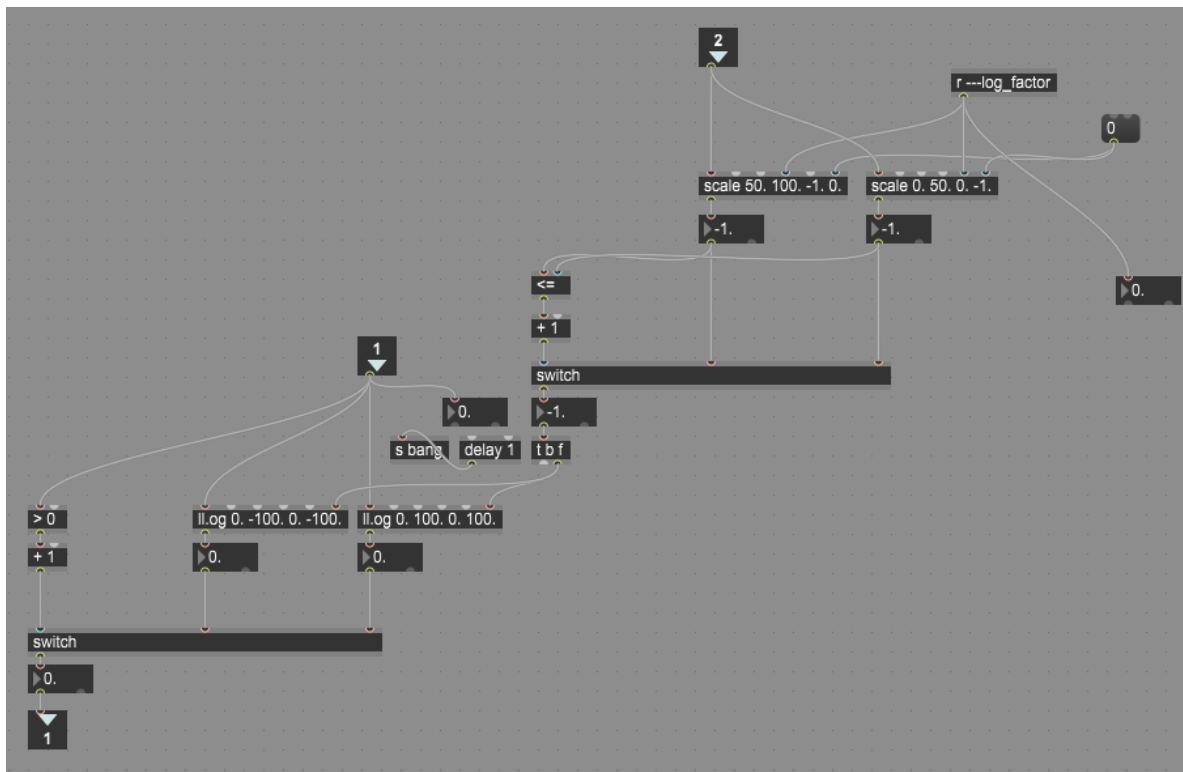


Illustration 18: Mise à l'échelle des valeurs émises par le potentiomètre vers le bloc de delta t (patch `pan_pot_curve_dt`)

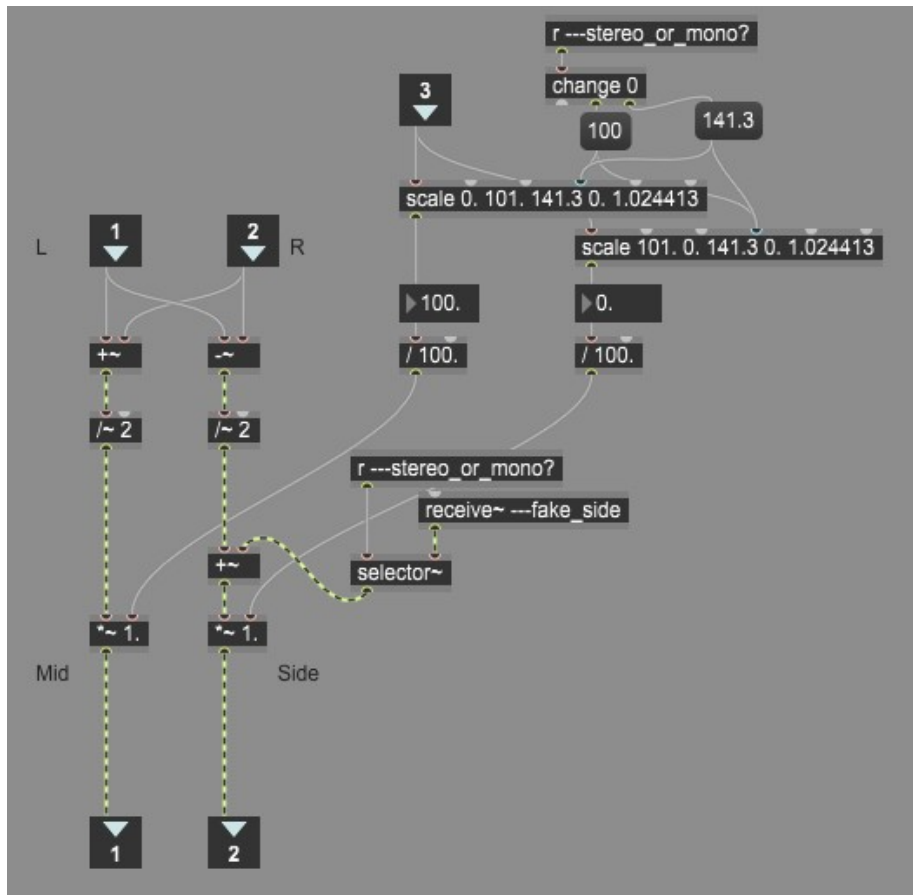


Illustration 19: Mariage M/S et ajout de la composante latérale générée pour les sources monophoniques (patch switch_MS)

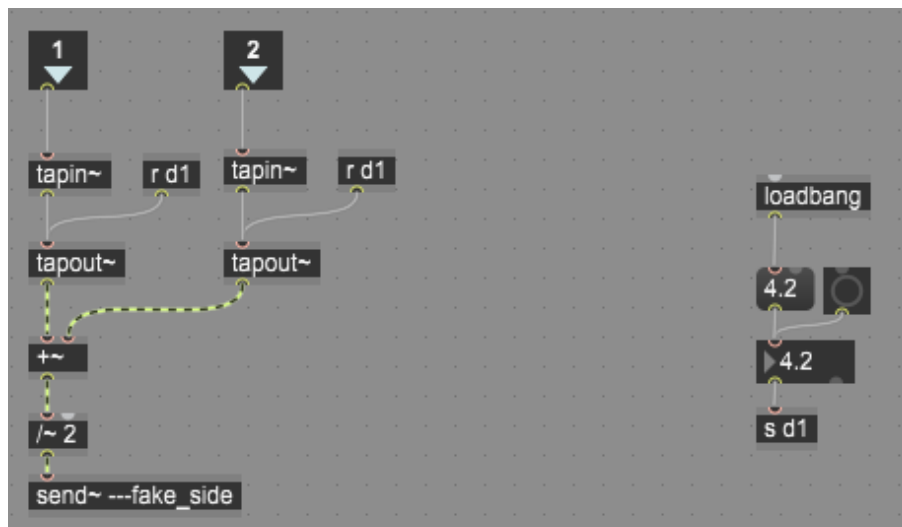


Illustration 20: Génération d'une composante latérale à partir d'une source monophonique (patch wider_mono)

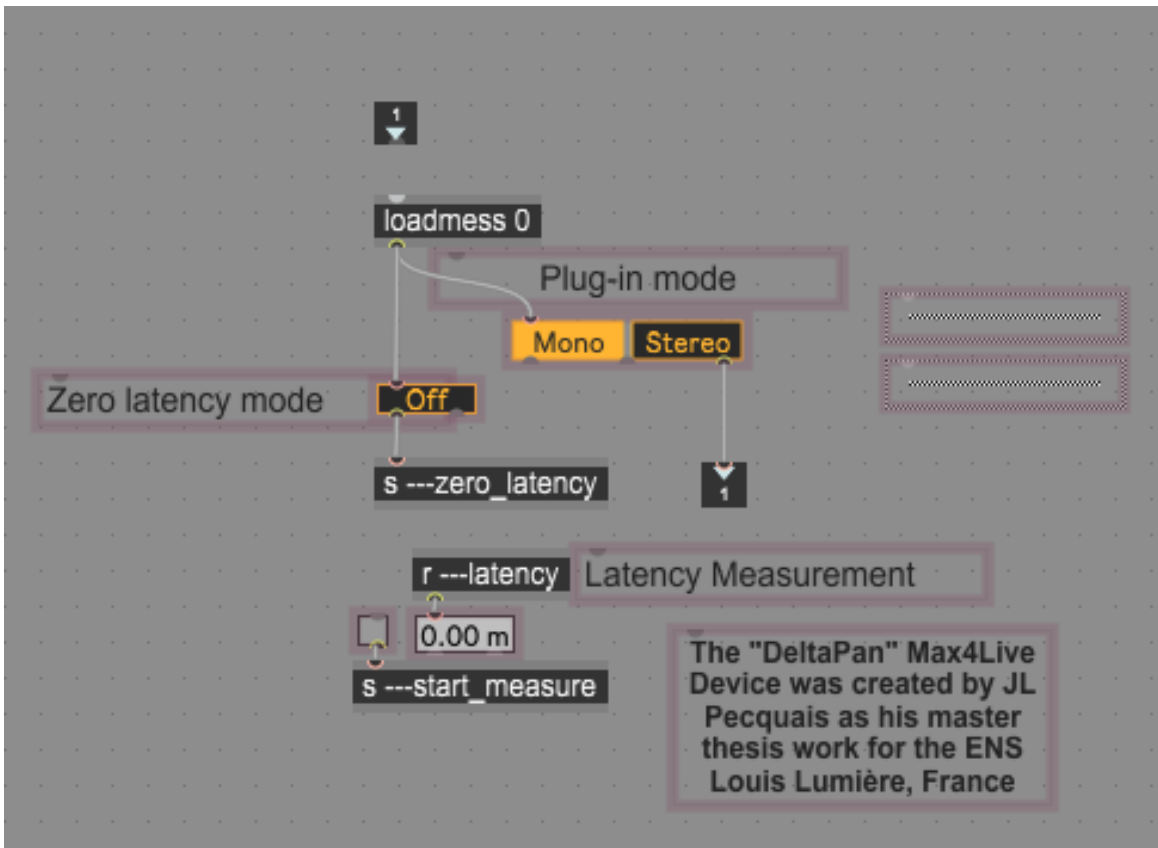


Illustration 21: Menu des options (patch option)

3 CODE DU DELTAPAN

Max/MSP propose une fonction fort intéressante, consistant à pouvoir générer un code à copier-coller pour partager ses créations. Les pages suivantes sont consacrées au code du DeltaPan, ainsi, chaque lecteur possesseur du logiciel pourra étudier notre panoramique en détail et pourquoi l'utiliser.

La version inscrite sous-dessous est issu de *Max4Live* et est optimisé pour ce dernier. Il est possible de l'importe dans *Max/MSP* au prix de quelques réglages nécessaires pour faire fonctionner le patch correctement.

3.1 Pré-requis : fonction ll.og

Ce sous-patch « ll.og » est un équivalent de la fonction « scale » présente nativement dans *Max/MSP*. Elle présente l'avantage de simplifier la modification exponentielle ou logarithmique de la mise à l'échelle des valeurs entrante.

```
<pre><code>
-----begin_max5_patcher-----
1279.3oc0as0bhhdE9YSU4+PWj7PxrFm9zW3x7196XqolBwVCypfEfy3tSs+
2WnavnIJdhoAFyCfzz1muy24Jzlec6MiblltUk6P9B4uHiF8qxQFoGqZjQMC
LxYU31nkg45I5jn9Y5zu6Lt9dEpsE5woS1M17zjhjvUJ83+YVb3xc2JYyp3j
kpB8ZwZFMdlldpkq6Sbwt4tNrH543jEeKSEUX.oTHlPGSXTY0INahr5hITxw2
S.oaJZj.r0jxi+wMjfxuPy3l4V70qUFA3LeYZXov9p99+2s2Tct7zX77y1US
UY6oDYkLQgJ6apjvoK0hghfndtHKNJcYZlAWzI9diqNxpNxDiIvqz5Wn0cJc
4RjGEVKyIAGgsAm8l6AhySN9fiGhtiYYzrJgyMmz1GHX+uTkmxAhfNduCvoM
hriYDCZwF5Ll3LMLYgyKq3zEGRltk+YHz27IMRtby+IB0JHv6N9.NhEi0V3g
HHPy9TMkxf2ZDPDdzFyFm7whMNI4vrB4vakbbEWkjiID98R0tGgdZM0JHMzi
u9jWf0omtfaVDVnHrKH5XkdjsR0Tt1swWSLBuyQ0WTRqtfh1jrNL5uKyuQt
fJzGKHys0fLtmo.s1KxDwYUZxTedrMJTeBBKqTlJxx37Bq3U4gft.ec1HI6p
zqxVNV9swTbo6dc944dNlh+Acrth7vBPvaf0651CyVNY.sM1h4J2yKy2+brk
vVdYwQta.ffa+80eakJ00bg5szzc.4NF4NN4NA4NocnpV6VuoHotiBeuqhFt
daTo0BL4s2cJXBLMYyL8v2FaIsdj40Thp.AWB97qrRB4pkDK8Zl.Y60pnway
zlg40LYUFR+1I9frjVA0tFS0lF2Ze6RWia.y7bexlimMYzwx5zbunzUqTIFa
2NgGmLS00K2dSyasEbto2a.75MMW1aZd6sTSMpL31aZtn2z7VaJlI38sly6K
Mm0ZCtfoaC3Ecty0bl0qCTVEdlICZ8cVFmnhR2Xf.yJulU.QmaBcNSg4QFrY
ma0u75Kl13LK36Paas005vDIvw4yPw4W.8VDAgG1Abn2hH.qGQn1tNi7P4wGd
```

```
3g6mC0c+b1iet7Sb8mdBd7S202s57m0S5o5q9T4TDkwHe70J0Xk2wLSffr4L
y92I86gG5wzr5bDudqN0Hr5FuhyyS2jE0rh065BYOLNSkWDmDmDmlr2jfCmT
Z1LkdCmm1biF.7gF.dX.fqYRVPb.J44Y04UQv7yIuJmahniX3p2LEgMnPnr
cQBLnHvavQfKFGuNEAAXPfu8b88wHu.6Fpgy0m2kgZvfBgfAGA9ncz6Ly.fp
pF0tdtnBsZfks70wY1YcouNcXg.76AKb1jNmJqNzWU15R.fqEmtDA9CMEfp1
dWB.FtLdL6k.hhky4cnQmNj..W+FcIBBFZa.vQWC.5pDvBz0.fAsR3opBA8V
6.cJBfAGABrH.FzngtDARrTfkJBHPU0ga0Ah68kYOMjQ6aAhxGp1NaC4gxDx
rWiC8s7jnjPYG4g19Q6pVAGZ..n5FlaQJGWZHoce5aQeJPJlGwxhBzGSqsVT
dtXJbYSBEUZAtck246RsC2mEjHnJTRhHwP8leEtd80TY40KhQ5NqB+t4+HJ+
wlqiSLwa1cMmL00ha9JleN0NgYQ0GwnhJ1jY1cvst062mypzRHjrItAEU5ek
n0adY0tIlunZno5M471aJmv+CbQ3L5A
-----end_max5_patcher-----
</code></pre>
```

3.2 Le DeltaPan

Voici enfin le code du DeltaPan

```
<pre><code>
-----begin_max5_patcher-----
24222.3oc68ltiabjk1v+tGf4dfnfAZqszw9xGloegVsjrjkbIYqk1CJvhLq
pnDKRZtTZYvqud95+M36RX7M1WDYjjL2yHRlIYxRznaIUjrXfWsbhSbhyxy4
+9e+e6uczoi+r+ri57+Sm+Ym+1e6+V8J+sfWS+J+skuve6nK694dC6NK3CdT
uwWdo+n4Gc6v2bt+mmG7Fu7hty767b+49SW8lCGLxu23EiB9Dnku5jo9yTeE
cm0X7nSx9iLZwkCFMzedvyDt7U0a7n4m0smerWbP+fG+3S+vcfT7pG8jty6c
wfQmexT+dyMSQnfK7HTIDvHDJFhn2tChQ7PHJGH..tH3kfbjGRhXbg.iCdU7
s6vIdfN+WQFdiWLe43CDEK9vhYyGb1fdAytTi9YC9ZvnGC7.Au7+2+8+M8eq
9qaa8RvH+0oIsoWAFNta+K8mMqC7nHwwXPFnHHiK8n3D3i.R8.BB1BnBpDyU
uDWMcTXIJeLZ0y17Zy+xDeyS3ni57e0NPBTgHAQIAjFJPv1NTLsycTyc1Mu6
z4mboe2YKl5mMj.xBRDEuehoD0.bLhfTasTyc1D4QvRg.f4PFA0f.Z6BPloA
jgcm60p2WbP5fKKDJjPrmZpRXA.gjELoYhx150uRfa9m4IzixbZQKTnmxxPn
mp1IvXbNhwBwjwafP+rAmOp6v1Xk1UnfTDTv1mQh.Y9KWl22EA9h26yEjHB7
BlziofCDQ.BeIknyVw3ekdefCSTFo3IJE3wVOQAnjSz1lFe+00YZmu6L3M+9
6.uwsbxV.mPBL0IRHjsry976403J++TK80QMYb.JHkXIojGQ5mSQdBFRoCPv
vHitA0QgsPEAa.hfwtZnHEI73JAjHpGamnh51H8qDjJd+BDFy7HINKtCAX6
qjLpLf5AcxwtLigEaEDgFcaAm6IHp+TfQ.y0sffcp.vP0716zEymqtZ1xGYU
cmNp6k9Ie++I7+JxTcp5SntX6I9i5d5v32+rbPC.b.zjJ6kYb.SI1HMuBLvV
R8eVIsPKeuYcuxu+Icm0e5.0Lze8+ZVHhsDxzPxxvE9i0a4qu5MhHDCG057Rv
sXe9AitZvrAgfGJqOwkpkpfYiGHq2d1EimN0qmXl0NeEBEhAi06rits5uFsF
Lh8QWBWnv2KTVz8+nokzP0mjFzgSs16kzPGjzJxgbZww0+nndeZ0b5tSGzcX
m6MdXeGz8CJ9zNo5J.EIbQfABWBK7iVT0kA2D0kkuyJ0ehZDZnEuuiTBzP29
PSdVGz8zY+YchLRGN6S.jIPFLIvbAfeZjRhL6.6HqYrCBbPa99N1809yN.OX
0PuLcmCj5B5ozNk.8jeaidLW12tmid9802uV23xcA733jGG.JC7PNCdm1Uey
1v+de.BEtr68ZADNevkQBc5luEFQbIhEZu4EeKLS9gvyFnt6bMftktDeccup
R7yCMdXvj.XR+7recypCWqpFPLnG2yuXvr99Wmme8oxqDONyUarnQDx3TRp
.QT5gt3Jqzavn4K+qFP02yIOyq6jAdu3zY9Sux+0S6NZ1DkzR8gtLoanq.jZ
KrRCYsaSy1.l4d41mb4jECm424tK50XbYPXmmLu6vA8rGI4E6iIljFSYHGis
gjn.jDJihj5QeuwCG0078.7v.njAA.BGS.X4s0uDlinT..BXBk885WR+VHnT
BoBl5wbasxG2tDMrI7uv22q2M5b5WtyrtcdMXDr9ji4bGhJKSVrk0FBQKxML
P7c.j6.pS7QTB9DK.E.bJ7gRaQ3yyLooRPR00Ibacvt5Nc9MsjdMhaRwj3f
T3FBhJS8X1.GZC.Nygiw0+7g94aJXh2eyLETvbJjeBjvSfY3nID0dhofwgsM
zPuB9xZqF5odjSG2gB.02UxjT2DdxHoZD0uMHM08Y6oLq3i0n0Ajb2P0ozCF
G81u7J0prR3rylehiApu3bYKyz5iorLforvRHAlSn5Y61bSP0sGL5jWY+rFQ
KIBUYLqUJnADBfwwhvL2ABAs5jTYo3vybIybtM0FSKMPZERC02gIsv4IcVBC
</code></pre>
```

sxLVZRmYpCD8GexT0CMhwCK2qfRWAep9BcI . ERoI5GJ0a8JCrtcdXK1H0eZJ
CaNavP+q7mNKQkV72Np6jIQd8DF8bY20XtkoXsMFJTj7ZQLnYpu1gwluB75W
t6TEpMWAY5TowCqedcBjp+lF22e5nECBFPqsSY0PKXsUeN3rIguXrFlvp2e8
hAM. jgffkKyLdzlHhd3kR747gi68Q+9wF5GMdh+nAihVlMwe+99m0cww4mjy
ZS70vxBtI62M9I5qmFm0cP+wizCj3qL5We4i7elksvgejQcmj0utRDVg048t
yTS1EYns6zr7T4QyG0dX72a8u4P+yLG99SFLZTR. c93IE7tSGb9EE8ae5X06
dYge8Au0rSVLx71mnDR1eh1D+DevtCGFpRHwS3ycGM3R0sE0AQHXZCV+tl64
bwrDSG0bX74s4stJq2x3ey0Mn+7KBdXwDOT+BClRtv5n0K68Gbt+r4Idw4c0
eVhWZ17uXVBh9ZKNMbi9Iy8ubhtDMR7IhUtZw1TGUQZ72nPEpIUUpNo6nSlq9
+C69oXeJLUqlx5CPremLsQM7vDSnUTa4nIzhVf1TW0ZlklYDPS9ZPYskZxuf
L0llmF0BzpZgl0b0t1PCqMZyCwSa9ZasQiqUZcKwyqsZeKRCrkZgKSSb4ZiK
WibYZksPyb4ZmsQCsUZocRScQZqKwicIZsKQycIZuKVCdtZwyQSddZysSid1
Z0SojIo18zefDZ4MpIiq6HuqLjopbrpe2LTmi4AozH1ToSlJ+BmRqQ99Acs1
pp++lBaBFVi56+4nd85uE22WqU. 1df0rMvGjs1lvGbqAeoswHYcIVLzhJBZQ
tHYZzrijYzmqAwkst6MBuR6d0ZBcQP8aAzr+oyG2cC14CrR7DgCPRS8QiS6L
gJcNwifx0dpoHnDEVvwWugxa0QIv. q9970tBzFwRbvARDT8gkl7d65DfxcQ3
7Z. fpdf53TldRmNXxfpukm15Ab130w1M. NY1C3PyIUTfs. NpbsAIR701fPb2
4i6e5FnFE6hRAV0ZEraJThbQcv0anbVutC86nq52N5+0niDTLvxJ. XcQMq. a
16StdhqADYj1AsSFwxUSAE. nLG. TZvknLwk55GdthlPvdPBj9CPAn5J. nN. q
Pig. PH+5Iv1a7rpCjDW. RtIaf3wiMtc1fQUGLc4. 9kfIY0FLCPkqazEWKYR
SV6cZmC9Bos6czMDkckwSsNtTlMnlH. RZx8rLW6GL60evRVC1MdwzdKmFg1F
0ICDou+r4CFsJFb+y0wsR+oqtTRkGmLWfM7c1vj5xvjj8Gd7z9lFMca6S. bI
S. vNXBPbrFfsyjTvNMNw6rwIB4x. EQ1cTnSCzcHhBbZfpwe3tYf573b2. nZ
m76v. Ety. TsGzcXfB1cHpaleH2cCTmNuZ2Y9BzM08hc2. 0oM8vcmkVPm2yW9
3L5GHdxvEoX1b0JixDKUNAVwbC57gi0s6vv78YUuhokW9CEazt5Gh7uif80a
Vddm+z8T6LdrXy7ZwLpNs. fBTA4HPA2Vy1bCXafN2pJnivxDecuGcRVPJwpJ
qh8MU9Q0MSwIpIpSbSkxCEY5Up8TD6YU. wXkJhEVSJKQL19JhEqNuhVwSNfV
zxQKyFRBwj4y. aPKvNEGdUEvARo6yHrH3fTz9fga0AVAMx3x13LSHCqM8wQH
Fl1MxfJCYPL4d0zDDqzu50c7IIZzIE6p53Lv1k. EM. nj0f918QTBX2Fs8WPZ
l+P0bY7z+rCJe3AmC7TtYyHgdCF1Tx0Lw96g1a. JUt4yHx0BT5b01rBQn7zZ
yr8bbCmEPj1fPNWxc6Gxk019segUoqIE6rAjXqJHiJ5bh0ZakfRtQNMqXSuq
QCrspZZPz. V6nQpHxa2g2kZJHlyVe3scXgkpc20x0UDwfv5nmcNhkmLVDZFH
UtIDAEyx0tQwxTtzMcXbJNv41uf57PQX6PA23CEL1bUk0TBBCSh0YFghewNB
EELBgM7HzpkSXyKZQcZ8DrCV0oNsdB1AqmTqW0oM95YPXZsBtzqmnlerXEvH
Z9whsCEVh3wW+CEN0mrrbwrIGLBmFLMqvaFA5u. g2FFXXtH71viErKikcgJP
6GgzczwHPjKxV6DLzIcT6DLZ8IcnlWYg0mt. adyhgtH9muxhkuw5z8nrT83
+thD3UIo1Qpz5nIni2fVX8UiGdh5xeSbf2+KjzXkLnGwFPHFMfkKklquJfae
tt7GBhBq8D4Hi5xDSvAdPjdUeXEuAcp4Xk0RM29z5. 8bXssPrtUBEDRmHAH
LwP88DtGUJ4XHgPM3. A1Bwg4cNsyYN. C. GgANwii. .0qxCeolByYd74YtcHj
FCntYtBEYsuf51Fd. N19hxAhcf7fqfFHRGEHzzEfff0. pfZHo9Vo9grp. 3r8
aYLzf6FZnaQDI1dvgsq9ZeLlkwNkjSGUhwB0pfQIJf. ZdoMQZnwDD5Md5T+
gFSlrVX. yb5TSL1ixX7HMvdAocAep8Z8MZfsUZnXp. WR7Tn. T. YDCweiUZHw
PLQg. DhLja8ohpiBaZ6FXxfdy6Me5v0SiHrtYzPQnagPRLlyfToZQTxUqddH
0w+DBBv4LLiiV6a516DWI0CInPAfnz0c9j7xQqLG9RxxSVL3jgi0er2jHKH
AsAA+9Ctr64w60HIYKT6aBIEpemCPDRBSHkDX3ZnVnUp1MC3KaNBVLqsc8bC
aIXW50a1FYRIYGPnn1yq4EqjKCPAZXg2v1bXqYC8jdiGMe53gNvy8DjqScJz
KIKu2xNhk7xlcF0IeE7YBFXhqfgos4InatE0eayw8l9McX9WyL8MAIVVY9pG
dfu50vw8sN9p0TXpbZq++Xz3Q9+iZk75uXvn3IsQvKDHMqPk4iG04YctxuiR
P9u0uS2EpEQ0lodcG9kNZml40ZlZr0Y9E9cBy20NCF0eQ0+9cN8KAu7hY9cF
eVv+7A9Cm28kcG404deoi+ny6dtRQZv6X5YqcN0e3vve51c9x3Ec9zfgC6nD
lmpdpq9tuzu6LkJGchZ3040W30x7Y60cTmo9516YmAy6Lebv24qm1s2G00yt
eQ0. VNat+3QyFGssgku0dDgmo4pYZugZ08n6mKIS8jb0wXcFTYQkfsbnDq1J
. sohJH3BTUNom4kmEPf. 2nv. Ia9cr8wLFCVAR2mDJS6dd2YQ4KEXb17T8KP
. e2TUJY139JuAKVztTt47SIbY01L30oI6YE42fFqoMwBqV0zhvBtE8uwpHBm
tBcKpWNlPhcS1SGSU3wVzaG+mv+qDsWihawiI9HVz1GSsdVbqDLwG0Y6dLUK
02DkNbhhdwZbUAg8i0N0e8Yatb3Diu7vol2Pu4x0klryHk83DLRvf3vd4UFJo
gbrUZbh9VwLmM30PZiTCfDswkzZix3yjmGhfVhpiLGMEqw+tsTGAs00AAxQe

TXIbJbHA9KnCzjMy+l3Bt6FkVowXi8KLXTd8Xl1rzqQA.mzrUxCeIdk6W4hQC
lu5RDaUEZkZZicU.Grx0In1P3ffpg2k0Xa92c50QttSvUf514Q050p6F0IH0
Yz2QY1fKwnQH0KpVL6tXZ2gcztxYXm9CN6L+oJnS8qMpu9y13pVStn6L+YwL
3r4KuZUjuC8sei7U304tiBd1c62e08nT2MScmyAJ4Gk9EuN04LyUt5NJ31S5
w6pA+YiUiV8UoTK.2ti5JopKUoWcWemrw880+Vm9kIJBIXzD73Ti7fi9v457
6PMxmLcb0+YyTe0dc94wASktpK2otl2p4j5I42ct9HPy8+NUc+wQW0cvPsRx
aa9bpwzjwyMHi5m+8iLcsRkpmo+9QgWab7B06tDC164v4oRPz65Qp+iSQPqu
rm.sSurWgVs75.neoThB3ed20SB7TvCB7YhRXZVmd5USiq.d5y57R+d+whtC
l0Q8Nwn9qK6pw4zKhyT+zmF08iFgM027C+4W04Yiwnd4movz+5+2opE+GMSq
RbN1nQmFT8Tq0ACIZtKxw9XDajEBveD13+Zi27YfZRVHhp+DqNYKfDFoBY3MG
B72Lm3f0U5kx0rX17AmMn254PCci0sXSL1JK4VfI+8xYASDrcEZHZwtAYfaK
itzCxPm.9hXDKr1E79cMhs1SrBq1h8hyNyxiACs1LzpmZSZ01N+v1IjHpiKX
VzWYjQwP35rrT+2n8paX99jGWayVJZPERZXW.Hh0T2tr75TGGdXnYKdq8Zj
y6dZI5xR7AJD2CIicDZ49ZGukofifi8lcrXkHTMr9EWuFrpEMNJ7txLWbpM1
V0WQffvGsE9P61sn6l1PfoT0XE7winE64iGMV0EeUfUy1nGypqeBZKW+Tm7R
57+nCv86chr87VHNhgFst.0T3gAub3hyui5dn1dNfweVrHMY3l3Xfx4P.i8t
Prwcm4z.Ub2d2s5AEUkgEJm1jjQaB3P4x+b0igElLc77w5MGqzr8bxy7BxpB
Hv8XJR0MRbRrXGUEAgo8Qp.HWqYosdUnIXNVEZM3Xgae4lA1JUJ0xpASyWj
2s9hsz5xAEVLZ0dJHtBRwn5rV4LohyQ1kmxk1TwElZ7Bk8DJq9ARdXtwmYdg
G18jh6h7BuVACgnvrHkR8vTlfinqqXl1Fdjw1016B0wru8YTqnjDpE6wfXfg
upDIpp6H1H6h0Wn1HXDJ.JCq7thxzVb9oZ7sMIb9s237NuvZKwDl1hSF08jKU
WA6+i80Wh.5JXoLRVRDbHEAJR8qJV4KqVTA2DgEmexn0Tdc4ROEV7UX0EEzj
aSLYeh1AoDBfwwhvbtPtA4lcbFoaAk4vVpBAEM0UiSBjKqWPBBjKYAZVj
3cIjb1jA8Jq9avPOLmKT62oTTPATET2PpCP..JkrFkVR8qw7BTQHUmun9Ev
TAQBnrHUhh+kmZx.4xKcFcRud1f4tUNMjB04infZpZcfffAPNcoBMMCMivb04
gP1x0jkEUC1SxPJsfPJPRvXoX8T4rwJae5NaR32NrkNMLGo1h54qCcbPJNG
qDiRsB+gAy04xtJqc9bjpRne24cCqyMtRIyQSL0s6St2Ge00BN6duejm5+d4
8ex403Wn9tp+4quu50N6A09s5w+J4Kd23ao+W03Yw9xm7K07d09Lu6w026c0
9ddd2+Cu83G7vG7q09iuE8afG99du9A0Tx59ke8Wd3hG7xQe7s+5We5S+vSG
850NzZ8NdnvG+79W9teb5n27zKF850cwE0V9a9W4+xG95qdLdf7Ku5o+xq+i
e6YxiQ8942305g+za+zve7AfKF8vYw7KS9p23Kd4W09qm8gSQuvG2G8gtWl6
S033mMC+iSu5Ye4c25m+Bo6KtjL89W8tGiE2EP3u7wS0+W+I+Km9dxna87u9
F+W7YxZq.792Z1q+44i7FPDM+l2Cd6hIS0t2Ye4iyu7C0f+ZBgbqWyHu3Q0A
9wGLDNk+bh3tOY7K93o7Ydd+709pdu7IOx6pG06Ku+908bvadeu406ce590Z
vmP8H03U+A9Y07In403GAR6+Yxw25wGKezWu88GC69S287a8.ue7o05KX96l
z69WIu24W8n0b0a9I.Gb2u9q+5Se7Sd9qe1ve4Ih28Sn299G9jIuGbr09ye5
Su8Q0gH7F06x0bVuGN3cSAu+80539e8ge9W0lceue8md5Uuc3GmQ9vG9veb4
C9wE+1ru16wm6070+3Uj6M3sCeN8VjK9L69SDe4m95neQ1E7tG8x6wd3YnEe
fN92lCUW1omu3wt2CdIhd0wf2AG8A7v090W548vGx4d3m7piwub3G6QN9IKt
2Yx0+p2b5qWzW7S7u9ttuq2v0St2st63iu7c05m6+ldm+hez6Eu4m9zn6il+
Ax09S088y+zG9v7905X9upFjCd3W7+v6Ye5sxe7ddec5S94i+3SeK9s0aP2d
+QW1E2cn5K7i2B2ewstq2w8+wm7qu7yeP8t+7an0Y36mbq2Kda+K+E1UK9oG
9IrPxt2iGe9CPW7Nl3rY03sz03oFmu4gdi9sYuWnlpc9zal3e1u8L7om+o69
0Ec+s9K5qd4dHF18q01402G+j090AG+4m+T.+3m+kGwd8m7+ke5VmN+peD8z
6e0Kd487+wwPzzG7pq.26r208tKd+SdrM2W9L8SS48ur6hmN+Xuyd6yXer6S
dLu+Gu2mIm1s+47KeyvI8EzKu0U2+E7W0q04qux6rm732s3X53m+S9WA+3ae
w4uir.N4id+1SGIj8evwm9KdSuTMUu+ytx609ii+3Wdu48hG8kEydA6C09Ln
+yF5eo.4eqecxuMiM9tuG7qegb5at2KUKru9Tzv28popuoE9bz095Ke9vmdq
27a0a3m94e7KG033G+9e62dp2Ke+6o+5i+zu7S08q2+W977690yN94Kn054u
+zoe4AWPd84v2sXg+mexKHfec16Qu5te8XkDvS942f6eWum9vG38x+n6095W
03AKd5Yvgui7lqd2qt28l8Gw8rex+Ue7d2y6EcGq2Qd5WFhezad708j9uRsV
.lx61c15a42d4w3tw9lm7ifye5kwpzzL9B4re9c3SGu3w0wWBjus236+k00+
Qdyt7yG0my4u3WnDw3u7vGM9h07y006V28q+7GomNlc4GPe5V74u+Rw4u8Y2
RR08meB5IdCeK7Q07Ku6X+eQgS2+OF+Knm9.kPzm8N9mezUm97eR5e2Sm+U+
Ymx8+xGd4Sdyw08c0n26z5179vq+ke9W9vebu6N7rM47wDd0csMC20ihVN+y
0YnDmeBUa8Yp+iqNIBIQpycDAGfF3l0n1BT8ZKkgK7vPQVGFpNgDBYP0eKHK
ueHDAR0rx1q1E6t2xt5U5U+LuxsbheIPEV7sPNTDXNClg7DRfxB2kWPbmRsD

YjCiwH5oCxpIHLiHXFcIiI.wpWRhATHL7lMhf9m.EBjPNigo55NVlHcGJLv
nG0s2b0Pd1vA88m1a7PSwN906ntu.fca0eoDzB9Kf95Rafje7viihyr7ZYEm
NoGBFsh4kp66qm2.DEKMuTFY6Qf7WrYF31w9CJzctXIi3gZQRpW4Erjw.ccM
nlSrOyPrIQN4NX9ftCyLx2YkKHwRJ2ze0gQcOpuByMNqkMzRmwtkEtzUNarI
n2pnWlLWkx1RdlUrJIoo0jgRpQBbPs86UGqcQYCTvKFJ.vvbPNIR.ZiHw49
iV0N1NjC0K24diG12AlQhYC1nuYaBvAhCN4BXA6PEKrrq2LaUKC3ajpmu+rI
dmulZkHVA8LpQLzv+bLiPIgBpbIzC9lrD5AGJg9VcIzWdsyWqUMeYcYkDMYk
BDwstGrTdimCBCSjN55rA1o1vRUxF3sZxcEXMUGczlF40b1Ia.JCpbWtCElP
pFcNPry4.lan7NnEA0DBuVjZcWykcuo99WUFXgUk2DXHi3pL0loZuVb8V0tj
JyV.kY.TjyMywVMfpF.av1+JmJ3vP5fjrhB41jj7G4sco9jAiRz1PqkShJCY
LXkg9KvfqW6qUHZ8e1NxRovqmPpdmMr12YSrSJSw2X2T4KKusmoibG6RXs2l
MEu8j1pA88pFtkpPZQMDHhs8rolu+Q4Pl6RZ+IWLZeoUtzzieX6nQF5V+ion
9jRDemFKhaxaG+0hj.400eFGIVlcfdpGm9+EIxyar+8Qnh8ueHCyWEdPNlvf
xULfqoS.WjC9gN6f+FgSnihg.Obv+oiBLhSnv5F0oEimBCadkEdFV3ysF7Lu
3KM3rNe2YvN+GZja9E9paF0wenlCPWLGs19S2PxLobdfURlTnZkjJzI+4Rjj
.JCicOzSQcnTs1mR9ScbDK.0bPziXSDcQHRhP0ElmARGE7jkGntlnPDFNXxe
14NpkJ8VW.zYjKqr0fCrJV3RPBjSP2iPtZTRiirInvGjzx.4vVEN88cIsZQJ
SHsRJKuT0nkAVWtX37AFSQV2k05Np+.0e3yWZboPmkjPsckH0eiCRWMHGBo
xXshpTsUeu3keuHI.JCxANBDxYT8+hq99QrDeu5IZh5lX02lXURmEX5Tv2Fg
CnA1AqqRkFLw21peUxxeUBVhfACDks0Lch3o95TeGhjSvxK8v05xN+hwyLeZ
2.SzwqWdMNHqzZnHqIHHrxtLFVBYfv1XDx3xPc80jw7htbdQ0qajauxtx.vQ
uBhS0uxxPjI9c+XrqYPjB.N.YS+uxFiYqx1w.SbCPVLEICFubg.go48qhV9q
tTVSIwndRHj9eokZQVxoQIbG0Qy7WmKbqV8RbSJyCS+bf5Gwss7khKulNY0w
q19qWJ.g+ZUWw2hK00e5FnXKqTjQuaKdNSDS.Gzi90kTWB8erLNks37F0FAZ
.5DIOSmkVgzVISxz.Ns7JSFZRifaIDSDAIu9sy7esgKp40SIuxep5j+oRYB
nB1Lko1J6LYR.SrXx2mLYJfYX0cglUN04YmD.U1WBAEKsColrxPmsapa5Eqa
iERiYMSqWMe2J30uy2Acn2qVrD.JjGzz8.GrPMcAb1tv.3aXCGsoWm01w0Yp
nXXvzq73pka.WjJQJ96rREm12xLsvVJltV+CleJs15J.EhkLhvtQD6pU4bm5
5EVml63hsXGqKJVlXrSAKTVn.FvDJU.ATHofXoz1WyRLfuwTx7ur6HGxwdBv
Q3fo6hnXDDxXR4plTwaE0l08xI5mUmfy0izWkicN4y5NerCPVwmBP37jRPZy
yEHDjfoKkfBybGqXPiXN.Dukck5ZnTMBFLRCny5PwmJcaDRV7wM5DDu78hPl
ncgj0mtJTwe1.RICkXyYFGL2x0U4PQvfDNBGTa1CyUZofDzpZ5Df+FRWetD0
6DYRIHLYiijpe.WJAcPwkFIKvQ0VIPU9dwVmtP7PRigy+Ym5A5PtpFiG3DN
gHZCVCUFxsRCZbmHn8oDNpqtV6ewX9TvZ713hfa2bDY0RvGVGfuf6p8tBkF.
o1amXtHrLe+FB7mzw89TrikQs1hih270K+LZv21sfWBMrjLL8X.gwe2B9gBH
7P038PADV0L0VoLUyI6kQp+.24v7j4M+zK6F.DrxZ6P1LLRajtVsHv4JvJyX
9D8rhsFEv0za745rYnCPya3EwD7r7PwRaddgvE0H20j71ISv2XRY7JJjElFa
PSqUpsKj0XvGthvWFXxpy2qKaQkfN3JsIszR0CgBLVIRGYA36e8I5n3DvSm
oQzpfTkW53AXSXyUCR1San1WDDt+S50A5dgLiKvPwGZpgVwNpmSZMHLUJf.u
7pe0FHPa4fvfJ.BbtC6Vf3fjBRP1MXP51mgckUJwRslP15pfDCtV2TLrtD0j
7cTIG4ZQzs0K3Hqq1MdqeDh2QqwHqqYK8YUMcoRBrCvrbX2ZpUxcR81Qpixv
E0JFgYszw5Ff1SeRoNaFJ4lgS85NzW6cAi0FP7r8XMKqD.R5lKqEbol40IBV
xftuqhHPSDPb1dtOqdeb7F+dgE.AWYANGprCmhog4eMGI7HDFQgY3vN6.ji7
PRDiKDXbP2N.e6.ZHnF4LXsAQMPtUfjk8RUP1qDJKi5gYs3XyGXFe0qkrhgE
zhEhX5dABkttj.yHrPBVykLg4Mkm24zNm4v7zYUI.Vx8JkSfznhalP2tFHR5
ZsKKAY.2PENgBU1gsXo39bbCAiHGLk1IiVB0pyeR.0zRI11hYS5lJ9wApLF
N97STGwLe7TWzXTbbjgR0d7cRXDRPQf29JLzIciYwn0yzBKBXg5XMVzFx1.n
SCv3wKWT8yI1zE9bSu0Jv9L6CBktgAXbRLXsnc+FQv0t4n.GLbnD6FxnOzQn
JYeFFSIXIYYt22Fyr021YvJSC.SJhZvjNAGEBNAy4GrK2WjqbwmFn1JQxjrR
K.YHujS0YdTrjKW0MBUVQ4wf.YTpp.pdILAR3LBAPPRlrMIZbqNnjFvPlzQ7
.iT3ADHvxx51XSTVzJ6GgPhqXBf5o9G5l4w596RaqcD5pw2jBst0ASaTIPPY
RLdohSA0ScQdLWYw4x8JsB6uysP8cpI1.IDWQDJB6IgBDDsLaG2oMzlb0LIH
HrpCVC9+DgtUdwU7TlBIpSWUHAKHwqs1rkUee9edXTMI+byu+NvabKnKsRCg
y3Ah6Q4w0nZRAw1Cd7CA85CG1ofotBCXoZiAhpdw0MBX7F.CM1dktmNyE4Af
y.AScCTLFH.RJGD11e2.SuZxSxmzcZISF02gSVQNqu.qjBTWMQHDPwxWiCaY
NH9UALZL3q9S2X+CWX8LHTyYYB.RGddofBA59ElwA5z.26r03Q3Ic5cgeu0F
Xgl1RMiMat3hvRbKrFuXBobsAIJq2zvKTHW2PogYvG+GRR9nII0BYJuHLNvr

Vlgi4TZoNjk7GxR9CYIEsJmw+m+mcVazk882gxyvMjI0QMDXJls44BYDaL1p
IAWN2v29LgChH1hVDSZAh1yRFNpsSPHCVwoCWbDnPk1Sbb6YJ4s. sMSI0CKx
+MVZpn0B7Ichvl60Px12VB2bvGChu1QJHB1xngwE6. t3wsn. U3EI. b0Xzf. o
sqS2bhgXDFs7hD6pv. kK. 3v7uX0wjUbeZUPP9Wxp+e8uTVUc5T+ES63. Y7HK
lahfrj7gh1o15+cTJZRHNbMoBulDK3dKcH1DnWIYebYI5gZI9vsjNbKoF4h.
2oRWRpTqhYak8JNzS7Rm6AdE6P5s0sjhEyuZrmKBMERGRJrGdJtNMyLveaKX
p+oyG20cXBYmPT3gAYDMiVeQGFFHLZM+tyv2766Md12+cmAuwcL+CxMtQ9XF
opM8uvMdlaiRP6gUpYPnQFbhRfdneEtwdokoIMjj70HktgpvVkyAL9dJZkIW
pZ0ls1Suy0IGPwp1Bu5+XPvpDr0K1ys0iZy6bVmS0ZS4Nir. JCe0. Mt4uNzr
mIqJsUktVUqrH2EsDPaQLPvQhBz9nvTkrRPXQ6Fk4gpwoocpcBSsxxqyUZBW
dKtmuGHMUEdCQA0CtT8KE+ZIGE0KeGnm6bMhftQxfgJgdPYTu5kwYp6yjPxL
+Q80hr8STv. 1iszRoInL. Qcp7n. QHkiPgtwThae7nPXTn1AIItxa22RjGUHzs
eiUbkaF8+TwluitoDkr3103nEg59srEkZKKgC7xdeWcbm6sNHg. tCrVR0FEi
MVXvQWk. I0Jt6njDTgsb6QHvQJplzou+4J02c6WEa9kHK2DpY9FcaXsYdFC
SWYNqV08K0. Yc. BRfN4Gnf7BVPxufLCZPdANffGXQ. DxMHBIBjFMASHY. Eh
RsWLLiirtJ+XJXSbErJ1BkGeAaiwPQwYvXMTV7FJ0lCkG2gxh8fEwen7XPX
SbHrJVDNE0hhhIQ4wknjXSTR7IJIIFEEGmhibiUQNwqHuXVXWbKxN1EoTjTAE
50Pw4PbZs82e7nPUac9e+e5bm+Qmi61eP2Qo9ExU4ewN8oft7ZvVMB0Sp90A
gSfHMAoqaLgXcaAjSYLJRFQ. rlvIPoTBUjA8INqLw4kaNr197yR7wgaXHyFH
TaguPH. pa9fv1. lGd09br5njiRczCH6ZHdUuynDVHP50. EfMPnEaEhKRi3YJ
. Cy1y3kX5W4l+0zXdpz9qXeMkJLmUutk. JHY. qJpk7yJwNAlwDA1zfsYLWcY
VBuhr5TvlLkLq8f03Z0vJrAX09XpU. rnR. 1Dlx1JqVy. vyJgRyB1sfWEKh51
DIxsTmEL1nwIz1wIBuyFmDm. T1NabhvNsvysZFF8CD+ZskkjwotceEsxujjN
NyDON4bYK4x1AJq302eT0cnhlVAGdUZLS0LLP. wNAR41F6nq+xcaSVYx+A+1
XieazwBw3qFb90K2A02bvYMG7by9hmaJ2ECIXIG2LxUXmQt1pzhfzE8Mjrje
ppSGLjaB6rqcvPugClnYnjhwXbQXL2ALFPhiwj8TeHTFrNoiRqe08t1Sz2uo
q5ZLafTLyDfOYf+nHLDUuPblj3ltjA5UrILEYFSVeY4ZNSQlZThYMVZZSg
l2jgIN1Z1SBScvgsSEh4De0MuWYwSpkfBL2wVSdr1rG6L8wEyeJyDHGLCxFs
grybH6LIXFyhrzzH6L0xVSjr1LImMUpLykryjIKLaxBSmrv7oxMgpPynJvTp
hLmxdSpX2rpLU6k0wTY+As53pTQyIy0PgGSUXM. UbIIInonKNhCnfVzHACVkv
f4bdkEmYYW1ckiIBYXlv1ecHHj0va8cmA27kCzlrBXX7HFq9WN1WVJT3i+fq
7yKc0sK1QEVsNEsLHBaAcBjIcU9FdgXUihG3I17cEBqWA. hHq. Bv2tK. AJk9
d3czkp1MQa9R. 01k. ttZ0nPJDurF500FR9ow+d+pQ5x. v5xAn7xBn7xCnZKm
3LGuYw0. VrgCAJpWkZoSXrurAZya7BYiab4a4HkrFws1X. CtiMA7fgXIsL3a
SUF5rcZvlq4iIcaY. xDkjsSUduvXrdJAUI0lWdtU4K. nxV. Dts. fJMcyprn+
dDvmYt9UAoe1sf0Ri9RARXgQ5R. UYsvsMCY1Bfs0Uk+QGBTTCaInNpSh. Kf8
EtNrknRbysMFjZxDJBklvfYLCEvZpD9VAcYIi+z20avnu0f8M9Ak4M232+8
aiuQMrYxZ6rxXoBZ1ec3xM001JPMssBQQobP1g8UI4zlaE3h. zMhs65Vna7C
Ppd6EoF1dQEGU8kLTXGZrftw+Z+8xtUGXMrJf1fUAHCcvh5iNu6beatweoKE
vMYCAhVDMpkyZA1ZkXA++8FioQ0wNcVlry. GrbfQwAMrNyhuw8fnHHaz8HKs
Tb1jSax5yUTQNXlaYwAI6hknrqrjJDlEGuUIwTsjspt. 1NncFIZRlKXRNqD4
UxA4sdjPzCDjLK8fk42PVkIQV0IwFINs4SBWmC3V2TP6Dc2lC5cAsrIg1EzN
JLIZmSBnySBX6ZR37Vhhd. G0suIQLg60SQsAskNEAsooHyYQqESQzd8TLXU
DdsdUTap+90dQpyJ9ksOE+jJoyD0tLDNaGAiz9VI. UZknccDL04ymVNSaSSB
z0. K5J5Dib1Dn14jvMycZoqDHW1Ds0kSTmUNQagRSNusFYgUWv84YHZ06xAj
JNAaQSAbkTos0IE59Lb0SJDUIK0vsJwPXy59vjevzExoMDxRVy1MsBzrffVL
QxJCRZIq46dLmABcnf9Czur. BiIgbYSTT+sVVC7lI5ewkGEyBKZrBfXNbSfX
nk7lvVDZUANm0dTFHP4Ymj8RwXhUjZmIwvBS4Uxx+byA0sNGTr3xS8mVMLs7
pG2AX2NlajEoluBStKbETWdQL5woJxF6S5qcoljEecPGJD0IMqi55BSQZbvB
GVXvA0CGowlyyBCdiWVpmuf5knEyWoRh8fa8SQooIo9RiP+tfMM2TLlZ+Yl
SHZfEs2vVoRGtCsZLCRTJv4. qutFGcfrl193XahjWkTWH6SzNiTRkDWFmX9N
afJdtLPk6vAJ2kApX2wuUbm3MW3tafFH0grVfc2wvUxmPTYNe5bbwYabJHJa
J. 1ESg8EUZHmf5c23DJ10NKCJbhwyHwBNvu1IG1aqVhFQZWWHGAnG5HZsMl
01zGMW1QzNvq1w9XG3U6C7pcZ8zG5HZUpinIIlsZ5PyA. PJhJ3B0w. 3CcDsC
cDsCcDsCcDsCcDsZoinwkYz3tPG5HZabGQCpIX+VAXdnkcnkcnkcnkncs2kMY
XJ+ZqgnVeqhAyl08b+eez8Vb1Ywyy1fM88FuvnKA4rScPk5TGnjqM5jn6o5p
+iAAXJjF3UGA1iQHBPtYHujQDDhRcHtXe7. 1td7pau0pjGimrbkjYKV1o4nV

1o4H5LLJAvvwY1aKEXLTQ4zRw1VtUfYe+09mI7onKfLNOPlYKHYSKcRoMKHm
5hSaE8A0pau49K196i5+2UZG+q+0nEFcv0oNAHpLXGiLotHl4IEPLBiHHCA2
ILDG41WKPPtPrzzOzVz. TJZfCc7MyiBEJyF4HDKTHDTqN9t1gsz70WMAaPLN
g5frHjuLIMQNPilPobuCMKbm68Ge4D+QANjahxJqNKF0QMLF52o+3Qi9q+Um
u++8+4F041XHtTsmKgZjL41XHRra1GWLDdw3AetS+A5YvffqFnT+4WuHV4s0V
k9MpPvITHLjR0gXdffJmwogr7kiI0hKE7RNG+vBkM0mMn2JqpgaW3MTb7u0XT
uA80Mg2FPlrT6MoPOCpJ7HINZIPKaaDUqhVzbagC425FrDiIfJp4EJQIEt2G
OSqJlBDY03NPQtKGhprbfrKt4PN0oV31NRmxsx46R47yQ07QjB8dbQ1wmqs5
Q+P44Ctr7rYb. a82SZetEADyxmKQgxzY5Y5r3IuDSKImiU5JZ0FLPaFL7ler
vsEXB1s0ziFp0KSocxmRSS+IiGLZdnTCzPENDN1SxAR. jHjHscDAwKMu2qYm
eHaW4wg1ELAolNaJhISOAop4m5eSYBLUZbztceLn599o9X7vtoFc6iV1IaIn
fqafwBv98IfRW4P. jNPHwr0UxRi6184ZzItPZ8DGikChSDgjzeFhx4+dM6Dz
dcNYrvlAiysKGhYsZkQ9HuKGhPTACQXSNDI1NDoff+jNA15kz1+XWApMYDfv
gCI2BKTPawFTyCMbWNP4GJPaGJvFcnPETZ0XCNXHRaAlrtSR1lvhPxbMgMi
2aGbBk8y5. m9uISaJLkksV94z98N0mCSL11JsEFAsBXzFqL2lvXlVpZKjBaZ
HsknyzZCPZ9SRPvej+pMrM8nA1VL. ISUT4KyfZ1AiSNtpY0nE59cAaxQCwZr
IKk. ITVZbwQPEVks20x3sZ3om0RgY4Pwx83P156QPPTVUzjSVr02GRhr0KCH
jHWuLjw60rSP202VvDbkQKrBLnY65mHqu1DoPECKei04tXY4s3xQU94qxL4p
XY4oXpbTb43L7uCgMySORTcBGNEkgwWJaz+5eMevkmN0ewzN0a0GHYveEKN0
qBmdNotExix3PrXY2wjHfd5+cX5DFXHmHcoilsDeSVJnqv77JAzrJ+yUh0YU
1mYUxm4TtmkTpmYVlMqRE1xJuynk1I1fPF6n4lJEhAiEl7rqqyxpoyRqmyhq
kSapiy7pgSKpeyhpcyhqayhqYyhpwyRpUyhqSyxpQyRq0SqqMy7pkyhqIyBp
GyBpEyBpCSWU1kt1KyptKKulKSwuk0a5t1+z4i65dAzWZFCy3F5CCTPu21ov
dusyc36jLSqsJUUpI1gKXdQMuzJkN. aUvIUoiZmTCu7TRiEjwTHSp2ZG9TbNi
jasgtMvoksZ3a9cmgu422a7rff38cL+CxMtQ9PHIuTvWBAR. 50iPJPwo1p25
MsyctycFbRPJ74dF4. KMs7HHpm. EuWlp1PlHwGY78Tj6zfJq4jmcRfcJNier
REWPA0SPGBIc0f. A6gp5m24rPPhLnRSFND2jMbXTcoMynEqIS3vxjttX1vA8
80o+. j6hVBnsHlwtAAZEXpRGMJJUXRwfJn5UZZmd1XboIXEjlvkBYP9dfzT
qJiqi2qpcHgqo5RM0YlSk5P0Ve9Vwf. 6L+Q80xr804rt8l0dZEt0D3H2QwrR
acI1FXb6VepJcH8MJTbVlq750Mc17yCLrkJ178zMkrzk9Ak5b1nEg59kKEkZ
YKVR8vkZYacbsysNfg. tCXVT7mPoGiyIRvJxx4ZBdA7pfdLDtgch6QHvywnj
RTE1ahT2f5. 8R1xnWRFMJ8RhIGnWxRCQQ4gon7PUTV3JrHjEkG1BaBcgUguv
oPXTTLXJOTfKdNiRBoQIg0XS3clCzKYr20c5kjaHx1LYmuCzK4A5k7. 8Rdfd
I2LT6. 8RliLKBw0PujaL8RpcCUq. X0vtjGXWxCrK425MDjAJq30Wy00mzevz
J37KgLzWVtsQxqG21jE6dbvuM132Fj. ZnXBA9PiA4fmaN3418e02TtKFRj3
NtYjqPXe+EESPw6un0oCFxMqd10NXn2vASTVo. KfiwEgwNzCww. RbLlrm5Cg
xf0IcTZ86o20dh99McUwiYcjhY1ivHc5EDEgg5EhybjD2zkLPuhMgoHyXx5
KKWYyJxjLRLqWRsaJz7lLLwVybRXpCFZxp2vB0ifw2JzRsDTf4N1Zxi0l8X
mo0tX9SYl. 4fYP1XJjclCYmIQ1XVjklfYm4Q1Zhj0lI4roRkYtjclLYgYSVX
5jEl0UtITEZFUALRUj4T1aRU9lUkoZurNlJ60nUGWkJZNY9AJ7XpBqNlBkHA
J2ixikqDXvpTGLmyqr3LK6R. rbLQHCyD19qCAG7Adqu6L3lubf1jkCZvQPLV
8ubrurTnvG+AW4mWJgZWriJr9dJZMQHCohRjIcU9FdgPm4o5bgSoeWr46JDV
uB. DQVadfucW. BTJ88v6nKtsah17k. psKAbc4sQgTHdYY2iLbGh. c8b0HcsB
XcMCTdsCTDMTskSbli2rKs. K1vg. 1T+1oMbH6Vhu89k0. y9z. EJ0AW9VNRI
qQbqMFfFVR216bhXIsL3aSUf5rcZvlq4iIcaY. xDkjsSUduvxrdZvn46KKB2
p7E. TYK. B2V. PkltYUVze0B3yLW+pfz0yVvGoQeo. I4PnDR. gEeLno2LjYJ.
1VWU9GcHPQMrkf5nIBr. R+35vVh5vJL21XPPISnH5NIXLCLwL7AqoR3aEzM
mL9Se+rAi99. 953GTl2bie+2uM9F0vlIqsyJikJXHe8e3xM0z1JPMssBQQob
P1g8UIYAmAE3h. zMhs65Vna7CPpd6EoF1dQEGU8kLTH+7UPpques+dL2pCrFV
EPavp. jgNXQ8Qm2ctuM2quzkB3lrg. QKhDoxYs. asRrf++diwzn5XmAXS1Yf
CVNvnqsFVmYw23dPTDjM5djKvJNaxo. Y84JpHGLysrqfjcwRT1UVREByhi2p
jXpVR2VU. aGzNiDMIyRLImUh7J4f7V0oroQKEM+FxpLixpNI1HwoMer35b. 25
lBbjqyAAs0MIXRmElDsyIAz4IARcmIbdKQqBfYz7W1GmhTnESQPaZJxbVTjZ
wTDSw0Eov7+Mt1rJRA6a6EoNq3W19T7SpjNST6ZR3rcDLR6ak. ToUh10QvTm
0ehAZcqDTz0. K5J5Dib1Dn14jvMycZoqDHWlDs0kSTmUNQagRSNusFYgUwv8
4YHZ06xAjJNAaQSAbkTos0IE59Lb0SJDUIK0vsJwPxy59vjevzExoMDxRvy1
MsBzrffVLQxJCRZiQ46dLmAbcnf9QDrG. PXLITHahh5u0xZf2LQmsp7nXVXQ

iU.DygaBDCsj2D1hPqZC87wix.AJ06jrwJFSrhT6L4BVXJuRV9maNnt04fhE
Wdp+zpgokw83N.61wbirH07UXxcgqf5hXkQONUQ1XeResK0jr3qC5PgnNoYc
TwwXJRiCl6vBCVXZYn1tvf23Elk54KndIZw7UpjX03V+TTZZRpuzHzuKXSyM
Eio1e1YKhFXQ6MrUpzAU2DMyfDkBbNv5qqwQGHqos0N1LH4UI0Ex9DsyHkTI
wkwIluyFnBgKCT4NbfxcYfJ1c76qvIdyEt6FnARcHqkQ2cL7K1IDULymNGwB
1FmBhx1BfcwTXeQkFxFInd2MNGh8iyxfBmXr7Lxkfc7qcxg81p8nQJs0ExBZ7
uH.8PGQqswr1TYZnh1Ad0N1G6.uZefWsSqm9PGQqRcDMIwrUSGZN..RQTAWn
NF.enincnincnincnincnincnUKcDMtLiF2E5PGQai6HZPMA62JP1CsDsCsDsC
sDsqs8trICS4WaMzw5aULX1rtm6+6it2hyNKdd1Drou23EFcIHmcpCpTm5fPL
0LkprcGnLbeI8Jn6v5p+iAAXJjF7ZBrGiPDToxrdIiHHDkxQbwd7Arc8+U2d
eTiCf004JIOWrruyQKuuyw01tSv3T.GGmYltTfoQEkgKEan4VA188+3e1oak
AYbdfLyVPNCosJsYA4TWiZqnc3Qc6M2ewzeeT+++RW4e8uFsvnQtN0P.QkA6
5l9j5d8DIX0smvL0o.hQXDAYX9NggQI29JDRkahklWh1BLfRAFnziECP.lG
EJTLVxUJVCEMA0pywqcDLmM9USHn5LkDJIXhz9xDXkTOLJNQwsGhrEt299iu
bh+n.G3MQYUVMei5nFFC86ze7nQ+0+py2++9+bi5biNDWp90LF8L1oCQhcyV
8hgyKF03yc50POaFb0.kxR+5E8Ju0ypTAREBNgBggzAJDyCDZ4LNMdPMokbo
fWx43GVnrG+rA8VYQNb6Bughl+8Ai5MnutA91.xmkZqJE5YPUgGIwo0Ag1rM
hpUQ6Zts+g7a6CVhwDPE0HCknjB26iZjqh0BQVMtCTj6xgnJKGH6h4tV0RBS
vscjNkKoy2cz4meq4iHE544hr50WK6i9gxy+cY4Uz3.15umz9qKBHlk+ZhBk
oyRzzY.TdI0VR9JqzUzpmXf1LX3M+XgaKvDraoGMTqwlR6fPk1l9SFOxz7P
oFnoogRXX0IGHAPHPhz1QfucAuWyn+P1txuBsKXBRXP0QBy7YxzSVpRkm5eS
YBLUZtmkceLHml9iwC6Jazs0xYmbZhB2tAFK.62y.JcUDAP5.pDytWIKMta2
mqQm3Bo0SbLtbwW.Io3a1Sb69bM6D2d8RYrfmAi1sKghYsJlQ9NuKghPTACQ
XSNDI1NDofF+zPA15kz1+nYApMYnfvgCR2BKTPawFTyCmbWnNr4GJPaGJvFc
nvftZYCYCNXnNcYjLEXHRaWjx5NtoL4Nj49kYYxcdu2N3zR6m0AwwXSl1TXJq
us7yAkY74vpe4DQSRZKhBZEHPMFEuMQzLmr1VHE1zPZKQut81E003CEj0VhrZ
uaS0ZfsE6hxTaU9xLnFcv.c+5hM4ngXsbSva7Rnfx3Ejfh4JaGjjwa0vS0qW
4yx+ik6ThL0whfffb0TuImrXquZjDUEGQfvTqbDQFetlch6ttuBl3YYKAYNSN
1t9ewZi2IEpFY4arNoJkkGjWNpx0QJyLIJkKAJSk7jKgmG+cHrYd5QBYT3vo
njMKRqSuw2g9ctCD.zEHSm6PacV2bthGNokguL69pVlAzDyndLfTvvnk9jC5
IHBjDvWmpCzTQYKmfKked40.PR.RrBYrGRPD2fDrRKJEPiRLbYpgtyfjgCtX
2qeJLk7nq5tVx7A9Cm28kqq+silLc77w5G8p0xjXu655bMZBvP8v.IFYpPj
w3RdPBaP3TphzBbSbWowl9YEB4UfvrfK+okiAPV0+Xe5LiartN18U0iQFcJ3
rVYwkpUG0Um.L9Zjp23glJX9e1A3AopIS7+BFerXg.g93BFroG0Teenb.jrC
Bc1AfNq7WCUnsRSVQ5ztp6vE9i0akR3UpfirhboB0CBc0MZpTD4CLb7nyyUL
J1mbvnAyUnZFKxIdhcCDjy6AF90DttD4PgHeFkPyz41MpVBmY9rVndVqpsUV
lS+Ai9XPYlG8xfqN0YSTqGmINKL0KbjLBRenHBrpSsIji2XDk4JBA51V9RvD
BhYrcJydbw1a.T54nLNDKV1gmk.08+LLG3Mwd0M0ddzoZbM1zQ.D5wqPF7WR
X5QpUpPiSQBGc54wdHAPx5+.zDGA04N24NJcomLY77irFmgHQg.MQYhV7idH
b0cEZIoDHHdlzWfpFPkmtIx9s0y2nGpj8zLJSGj4bGV7wtPBQISA3b1p9Htx
jzThYZFMEIQLtPfw.vRS5K.LhNWRmpaQG9KyCdcpzT6RLJE78UJXlkq0aYtw
DWHlgrSwTWweIgLNe2Xqhd118b+zPQdH.JKD.4nporPflJo7cpArS0Z05Md5
T+gwJkgryNrX6hXEqAAQoIvCrHXCCBuRohfztLmeSPCdgnAkB8vvRPCV6BML
zo27oCU1GM+jIkpzMJV.JVWAjARHYPBz3Femho.VPUxNViMrYXLaB1KZkkq4
wZQYwXQqspMCL1JKVJJGFJpD1IJS1IJR0aVFiDcTzjE1EJZwxm0hx1KhJiGh
JkChJl+grg6gxi2grfygJhugJlqgJlmgJhigJgegJlagJiWgJkSgrl0gxiKq
JlGgJfCgJf+fJf6fb00Xo4Knr3Jnx4InzbdT8VTl2oCg54dgsVZ1VCwliLor
kEXQ4IcNb2TIkEA02phvSo3SXZ3GB0rVL7zXk4GWVwZJIr+Xnjv1GpbjBjtB
nznu+Ne2Yve.B.276NCc2k0HP6j0B4JJHpt4BaaafReSPCwT4b03Vd42QV1
mUzRShMgBzJIoDWNLNBQntK4fXVhMTrw9s2mctfSEqXnHA.o3MN0WICUaUKT
0AqzbkjkBfVr0LXrviZKbA1egCjkV.0j3AZKWLYbqyqENeGkG6NLD2QEC.2
97TF.aQIMMn4ShKh0o6.w17YTl0UNIp4SbZDy5DAo4So7fSNcXzbHuTV5mxv
vecRuESux+j9Cbvo9.WcUID3ASFih314G6us8NI1XRMASenCBkAGoynvCdm7
f2I03cx4Zs.2uUKsza0FFkAYQbmcq1cHAg+a33y0QoIX93ote2WZo2dQH3d
PJ.fHDXXF7YvqLB2UqGuRwN6V1YSJ02QTVfyzvDp8hRnxcdzs2Gcmab5o1EJ
BxDccJBDow6tW502YeZfZ14NCVRJm1PMXDQhV08s221DdqNvJ3bajshChwwZ
ySzke2FXy+nCnIb7eH1fkHvN1zXJkVUMFSXS88DJVs0qTZ3PuwmqLVLHs+8V

80xwdikm71E7ZJHh715FRsSsTmmzlnxQzzvBtP19fzVigeHZUwuP6v10vuZ+
TRV41oJ7LoGLZe9Tx+yJDiSr0XSn5p8SropldhPVi0BiUdb52XZ0QvJpURfH
Fdmk+ssZcXU0VjIY6S.Xg60CJ.S0LHH0b5.UVgUEavJmkSWBYDrwFLx92MEM
XkBknF6UgU.nfkp2e0tSCRI4eioVqpaJIlrU75zMiVdwnpcunRoe7Pda00hZ
oNuox4Bis9gfZZ1J6IoFTESqLjsZnM4D8NIxPsEvhRsbcuJ7Bdsojvqwnra
qI+xlmeGsN00nMNoJYe1J073BqEQ6kTLKY7FcGjSd10B0Vsk6PrISJ0p8LS4
NJwFseD1UVzszHhaGcwcEYQa+PDK1Q4GJE4x94cA8LZ+HLX+LYWPJmV2oIj6
HMN10BC1rrKzaSr+H2s.ObZuxklu4g3.iJRaQYM8VfGNsmLFwMeJbikNsL0r
YMMxdA3l2.Vj0zHIqMQqsaAN10dFsGmVA9VQsLxMR2GsCNbCUGEGCrML.g3c
jYfPgSBh6BPzggHpf8JMJJhsm1X0ToJIYtMIWzcluabpCuDdwiXxVurJNE.7
PwoT4hSgJME20+.w4bnzTNTZJM0w4TwZJ.RJMXy11j8Rd53a5ZJfV0z2EZp5
9fNgx9cPpCp0mKlMbPe+S50A5dL1X.Kk3Dl56gs+kvHA7ny2cFTyfn+PRd8v
tLnjXII5HIK0m85DwnvwGnBEqUJwsTVAo1PQPXwJNweKl1CMFCfXueiHMeTX
st2Lw2BCFG5MtMeLgkNsL0vzEAoEIy.I1F1Ep7fCAhSd6U0m.kp.yK8IfteEQ
jhvJPMGysaMMcL2dZ5fVLiBSnzDrqb1zzA8fmPprmpF7vzsDD5RDyow5zt6f
yPN3LjCnC0IxX+NUicNgkWRo17xGyL2+vpZ0BrUu7Ye+gc+RUUpZOXooJLIjR
ECm778TtIsYHwEBLZAtzRYwklyyXjJ5YLIMJKVs26YrF1EbPLOLQJizG23xC
rfsJ2cPinl5.K3TM0VGR+MX5AVvoLLxdkyCrfsJjgPPGXAm7vFH9.K33nRID
gEQr5.K3XEK3rDzf3CrffiUvr4tdX3AVvoZrHDc0B+1ArfCvTw+H19LwW8eT
AVvASrFavjuAYAGL0V7ACveaxBNXVE0JwUWKLHpfXusUqiq5MCYXz9D.5.K3
bGn1Rr1fEbVBYTw0FVv4NUgFbHkdn3psmgPE.dfgbrigP4nqa2Mpg4AmkH1x
KFcMiGbHRA8eEGbfGbVoilHNvCNTfk6cPgL57Adv4.03TZAVya07fCldfGbb
XDpMaa2vCN0B4ifZEiPJo0yfKAqyjcgHn0y2Qf10eGAZ+7cDn0y2QGnpsJ
U8PZdZwGxuYArC7FzAdC5.uAU3fg6jQ16BV1vggHYGYNA1sqprKHMGGFhjcD
0CgosHpZBSZQbXUqhbut1v9RYIw1g2frmfN.GJSvj7FjtjHF3VMBRhtV3br
LJWP.qrBmCkegy6CE0mtQhKL0ZRf61gLSAXJwxCE02ghm6Pwy0Hgecb29Uq
74Pkl1W57TRqXzTuJlP72Nqfrlq6SU0JkBaZWIP.euuwDeyBSyFjcIhZQPdt
1xnxFqjeJoxCpB9vJu5UMzPUMh06frprhR0klkVHfrtQm8IomRqqNDEW26t1
IR0E14Z4B0klMMHygZRSeoDWCYSzNQ5YI4koItraJAtaEfrT0PHHSK5fkTiw
7eikgexpVPEqTPseXAPES9nxqftkx0L7A5eyhhwboXCzTp86I44WkwCrsVI1
j3AZ2QJmyq.obVdQqZjgPh.nSzRUYubcISP5A+0+ZX2AcTu+T+N85NY1hgpq
QGadGwUQwZwj1RlZjY0gIMKJk7RRGMAq.8yT5EnwLzSUXVAXcrzzDPSg.886
Nr2hgc5unSe+gy61oy7NSFuXZmEi5za7hIC86ze7nQ+0+xFrma32TiIUgG3w
qIjOpa8xeIAZocegErPtCxBTmDyAjpkZe45zEym0dTSXJS4IYOM3rZjokYi
HK+y1mGeJ0n3uWYU7cf231eu50p.2RUd8fpteUPI8E.RRx9nN1Ay12cT0+N0
ePuoi67e1Y0K7pfPZ049AJ.h8KqiClRuf43TTt5Dr7iEME0CfStoNhl7KjtI
2V2ZskkWLqxfQRXsr16PooUZ0e74mm.6yC5vQfNCCvfooPtxzfr4PqPZ4dlP
nMugZK2kDmq8wuydjPTtCaBqkNrBcz+EZ+qpCqHzvsUwa6FYJjF6vUfCZDLK
iPChvay7XWg.CjWAfo7PWAv66.ycumUW2wnK0Tc24M0sw2dtHd40XVXYRuGi
3u33W+HavbTfrkAxI4343MGx4kdhAjJiHjSf6o8diu0v+0HwMtIsB8SAnsGd
X7+nrkR8FAtCZpCl6AMwyFRxyAGMuAebfsF7Yt0Yti0B.+fnpndyIKl2dacL
E21XxC9XRK0ECCBvp468htn1hjKiZqAD19ZTti0kNBBahjqQscQ59Qy5sBck
JRiATPvpF13DyLtt9VX8p7vDHBs3.W7fcsM6fVuf0Ff5W6NxDqwap.mUzMy
YKvN56XExDrailTKybpfa4IMKg6yIN0pNK153AvOfIU4Lhxs6LZ3VLIffoI
d9sDY1K2.AMMxILYHy9rj1cpTRDQ41JbIByM91bRVUht06rN886boNY38ce
eX4sT.LJ.h3l3KI361P80XwNhVpKWHdyj6YsuF6nmp00TrshjT9Ma9TWYFtm
BBhLI2ztu16sJX1eLct1uG2nYZoBFrx3QNAXeNzj1hqyqAKQn7dMAupQDAWY
fY5csP5NJIMZN6i.a1VNF85wVtIi+jdG2u+62FciaY9ATv07CjaE19euYuwy
TuL9FtSBvTnk6JYFuefnxq0ak67+9+WENUdY4NSZXaS9Z2NSRUYE4vTp8vvgg
Qp72xvpqcGFd2JjUSKdg0nrUbXXicMFnnbtXlnpqnLfi1Z6wo.m9TMrGj.o+
.TTAm0gY1BVHSx1B+Vy2SP4loA+a.aqtylaaEBXoR9U1Vwt9nkuR1VgfVpne
WaaUoRVRfV.pBH.xRcWdlzzgm2CEYt6nyGp8o47K9q+k50G7GKpfqMQkGaMR
Pb.I17LAZT1eMxNbLnxr3uQDRtWz1EcR6Suzo9cd4iBhaLXxv4KRMmenxsp0
xs+6T9UukFi4.nBgi1VzGD0vNLBUky+mhacDktyPg3CtT8DiSSJgiqkuC0q1
iJLrpQEEdYvBE56784sZFs1CF0aPee0NNqhpenjqo11xsq.1faxrnYqaB.VXc
haYmKb6tIS8r00xLUJ7hePbcsI6Nx71jIq65vvVkefh898R0LftXzuoHl1rp
DQwAIM0iaTiR156kXVZbNBjKbHtebdEGr0ntBU2GwgpL20DsFu1N6vZrNoh0

7YLq4osUIq8zwwjzVDEXKrdUJq0yKGzex3AilGJzPCyGCCONRwgIwcreBDb9
NNzVZfzaWvEr10qEh5bVsy3mvHiEOJ8cnk+3NnoMXOj.2U7iqv5NhTVLoahU
sU3sg6QwLpw5exDrUhHqexDpCJVlw0Edw9PpqQFTppMIvXMUnygMuFEVKRuu
fz1FLV2tAdr1S2EC07GBwsdvr8rIGLPW0xzjCF6EY3MdSgfY8QDM0vvr1HJ
Vy25NzkYhSVWv4RgdpJ7vFLDF4nmvehfLGRwIY7SPi2TL7SXv00rScq4rdj
bG0NpbXhtqrrwggHcG09DXVqIh0769o1e2RPy0Xr15KZyqJhZsA0Tby0X1D8
hamF9G1wizJPYMI79AF1UPqV115mL0CZ30KR7SHSc5B.o+ok2Qz3V4c0UDSg
rx59Wamtfo0FuQ2BJF.sn9yCQz1ZIC1qxjmtqSkz+KFSdD.7R6fLkdF1qszw
Ay5Dhjti.EaRvHANmXKLIHT1VjZEMGPYy0XruynEnzAUrU8F6wo171iaR5gf
epU2y2zYPmSyLhwkWEMyZGMb0nXGcaDLnE0mRQ1ei9xu4JxjsLPvRpD.s9G2
AR4NL23N02LYoPgysFsw1IbZt0rtEBY8g4x12GqH1S2jF1RZPiv12ulHq0oW
H2QVu6vPjsq5hjV6oFbyeACj0mk.ksmF.pPTPijE0FFgAFzU7kNvlgWFZaH7
J7I9IiYzUCAY7S10ICyV8srK1u4jcfNAHDxpo4NXWJz9docyq3EJbRtamz4Y
ENIIrSVRYNEIrFdI09aM27dYeh1D4qrSlkvsWdtLh1pvehYJI1P2tD7Ss5lk
bVhrE0qg3nyZyOwL7jUnhsD+THG1hJEQZzcH0TDQ+1p6Q0S2Uchz.o0191GM
t31GMkFR19nk3Ts05LZLZYVQTM4b9YNLmwt1xryZNC29y4ICWbt5A7mYOUQY
MUKZ1xXdTLBQ4.A.vEPs2ZkHhmDxY.DEKAL8KQ.xp2bvmM37QZF2b0+JbmYc
CKCF4.pfJDU3dfjnBg.8nHAKQHTbvqXnmic01jnBAhToM+5CdxK98Qu3wecm
0pCxr0jT9FF35F1Z1bUBiDHHgXz.AFGf4gfTffKVJBIS0HQpsMK1f.0ayQ.d
QHf1nhjxLsDT3Au5kknYLqtKur4NDVzb0vHgHq9D.xiI47U50f1KHR.ELuiN
r+vB0A9mMnWpZWHVkcnaCd0+gJ9i5+m5CVTiMwNEUV3onAYaaDDhq9YAlQTx
KghJxcv4mQmpNb3orviTj7zaD3BGR4IBiEqNPUv29S3fV03mzMDvIimm87Ej
kz0svSKfxLNDUcTgGWY5DGQX.Yf4BbVYyXXtmWzDmYVYznPcADZVng.4QXXH
lvWtAnkAFS5L6SCTS1Sd9qxFJvYAEq4zXaMthpdQLGggqLi.RpWaqhMfLWwK
1kaNavP+q7mNKYUgcT2ISh75wun1BD+v3fuKwsW+ZCFYds0kc1QS8uZvxuh0
E.3QZdmcvbExrXp41Qe1Eg5pN5xwpKVNZwfn2sb8819aGER9ouYUP8NZ3HI0
57p20JIIiF1mcCpaEI2TuzwyzniNUcisdezuerw9Qim30ZvnjUM252uu+YcWL
b9IwJtvH0bwr0vxSSy9cWcIw6NMJYzez4SGze7H8.I9Ri90W9H0WiyPZIw1S
AejQcmj0ut4Fu48tyTS1EyNs6T8JWxwGhVe40wiGF+8V+aNz+r4gu+jAiFkD
Pm0dRAU6zAmeQQ+1mNV8twV3WevaM6jEiLu8IJo4mnujeh0X2gCC22m3I74
tiFbY249yGb4x9Xvp20TILwLq2zwCGFedadqxx5s5qj+64qzpn+hDEqoqdUX
swChrR8kgIctvrEmFts+j49WNYntGjE+Sn114VNj0.00bq+rBMn9x6+Dgk0D
DVwLuc7KZUmECbwM3KPEZ8Ynxoa5P24A2e67YpKtiq.zXAuYZjcLcNarb+qu
PEXY1r49S8Gex3omboRq8+mJzmrKmRtwF9uhFkXi1qPpdWzcz49cpRqkfaI3
X5Sm1QW43RKHccG6716jF2YMITUNiiJLxQz8WopY9CUSmwSqvIakSTLg3CFR
qKZvu4NYqP4I+d9CtX0vABm08i9mLScUxJvCkSrNly3LlxCQv1LFEleqvtP
xaujF0GlgAK+yMzKUz2eouCiY4XvfbTe+fYnd6tCrw2g9cf.nmxD5NALJD70
7.Hhxzm7QXlccdgLsnBFX1.zThHP92Zr4Zk4iasvY.xw.ljmd+kNwMxcZIMs
nWch2Q0xVzC.91TtCWU4tU6XMxc6yzH70Dr76t4FRq0pIA00sgZrVXUS.PBq
29sG.PU05hxYxbHFEd3GntrvHoCoszNCX6A03ky61ffhza2iZnZG0LirJzjE
vBaE1HF1yxNXCrcqEipNfHKmvCkAxQMIff1tLS4yNZS6l.YGZYiRpUYQwtFht
Kbde7QMPS4.QPg5YZuS7WUoa+WdKYAgYlHAvIs149yUyH2m5LKE22wy7hrJ6
l+o5pQtaTF21SHvFa5wj8UmjUQ.hYc7w12Ane306fbGeH1hOnvcMs53GVXqM
tJ9f1ZK7Ddom8W3oZh0k2QcVp.ZuW9oRQmGZ80E2dxOMF+Nac41z30Ys0UuV
yWL7VWK7AW2qo4kvLH0mpbQJx1YvfZILNp87DBdKvYaVOX.Mt7q8LyzVfdRH
sHVamPaSDkT6gHVsmxcjsHJtHPLG2po3h.AnbqlhK1cnHp8ihPWq04VAQgva
07DRyqFEZ0iVx1BjJf8mvzhH3.XyK8FDPIK2KAKfaYfSiwHjVvXrQoLAGH90
3th10bfB+n6J1RA3h4Wmq85PWY00sOZ4zQ0tJy8sEYUTTPHaQAhhnEU0c5Fw
HMc06y8XHAAXkLgITZn1UAhdSGHu.HpvJvEK.dbQxB0DJUH.BJQXAX7RY31N
qgfliJGbcHJrxbwPVZhbXuAhlzQWbtlsGt.IvhgDZFXFA6NhAIBRokm821EZ
JKrsTzJjYgImMx7gBM8PglDnPSqZnrTl3LwMpp+jLtzPhFvaAZgcyYAlM2j
MIhV6h7Hd33t8CdttmE1kVrfdjgIrgHCsxs4obPSgPEV2oDuJDwXn8vSn.TK
sjbarr3mV01E7RbSx1dMK3Fp3Q5zG59F0hzRIKD1zDcrp.3.a4B1LjIgfBA
TTZROQCIjeiUI.Q6CGpV5nX6D0LKu91JWTrCaf1VU69K1Lu6jH7Wn CZ0rDe.
gsbWm+Pa0Hs2XkUv81AUvdQ5WAUNYSCta0RHBSGxwDpkjnbBp8R0RkKdHamM
Sj6qYYZU2cAAkduAHEajDL0952favfVv4AFZ7IDj9lZKFDhrUDZexWVUKltx
KzivNu0g50bEjIrTvgzVq9v1JmCgNvZ9MdnKaQcS7VTNova0oSGy0twTSlir

1mwWsnD1khZ0oBZyCKX660v3sPaQw9gyVXYBZeK1Iv14Fe3vaQIal8ITypCv
Zzz6gVWCmuAyNkf1Jxjk5Ny+jIcGYexovYNmaJoIGaHDraRNkxZjB04m27NI
AQTHYpiQoQHRtGDBtjBYL.j13cRgxlJrI6jkbAl5T6A.g8XX7p1FQ4cZlc.
0wWdm2ISffw7x0HitGPBzn7dkv1EMN2eze14JMR7EGZ.Mtyh9bFziPXDHtsK
QrrGz.ZeYtT0.Dm4R+8F7XU3wdxHWZohvh2pvYHK+HZthHglRAZG1ZQTyXG5
rHPlqsXmLmvfcPe45ryl+mcdvKOQ82AMT60ABL9zlj0z14dzESmkAwanJsld
zkEFQr4MiImUVrSSgPY0n+pDt6nS616im0UM06GaFYgJfhsVho6CubLhfLBA
YHWFUF0foXlTvw.hI6m0zFBCwKR.0zliRyxSc1SF6E5N57vT3iuN4yN5zy6M
dnIYM+mcTiMISs.PTF2xQThTcICuXu..oeIAK5+wucmnsa2i1Lc7jwSwk1jd
zJulz0RNPdzUcWeAiXuQzDyLps6LcC.Dg4RBkRYpicTvszCofUDRJEKwVh5y
IDHFRhkK6wKoesH3sue+g9wQsPvAZPOMDEEYtub.pg3DJP8fUh1PZJTKir5A
Vh3ndc0X+Xjwh5oneXTwsMCRtKNwyUGDsEE2UkThuFVhSKhiXDgbUyxRGGI
jxXPnPrtaLlWktdXtLmVwmes4YVP.4MpdIiKlG6066e9TeyEbwf06JFDLquC
zk0Fk7U1tjeHyb0iIPYq9iXcLMyktWca6ht28UcGtve7Yyjf0qELFNdz4YtE
H1m5R0Vn3Pwr2d1Ep8lk+srb5CVmz0a9M3yc+78Uhj9SKaGsR.SsihfYTD1H
CQUpJ4TojxvToforplv7IJDnaHlpWjqTzJy50Jb+LGPU69wTjTYqJOX+jfD8
EMZASpXrQ10ShNTXzaa8KQY0xtdx568L+hA893Heyhoga6Jv30cKYkpTwhnt
A0zQ0TGp4QTGpI.R0Y8FUsLEpp9WRwxJYHwKjVmfNw0JSqP169camsR8zsi8
Gaoc1lMccDSPphm0dyAiFLwsSJCAqLUDXhhe9e0KmsQc8XtJLJcv0HJNrx3r
SWU0dBGRks31.INCCSoD0HSBEqrVps82SxwKlyfX0BTJCrwqgLTioLIVvVZQ
QfIGh0FwndKbvKs9indcTiYnVMY7LNXimgl.mqK0IoPo0muzJZcOgwnLYFyY
xv0DNw3or.AwUpDa3EBKB2UGNXP8n14wBMhd45hd8.15WHJ7d8L0UyTpx4pI
Yz1CY70Dj5CwTaIXRLNbeAkw8VZLNn4tCiH08Ux3JLo1+zxWP3NtfvjxX9fE
ywpqznNUEikgFfiwP0M4TqM5aVhBpy1FZEgKhI9Gf+1MJQMzRzxWDHEeydcF
MG41800RgYozRQUlXrUtWuH5kQAHLA+fEEemVALex34JT3JRxvetbcIc53D0h
v4F49nQ7LSY.6ehLqdhv56ARS4AlDHRvAAaigPhzzJIQMrGCAjUnPMB6WIkK
7RBCPSNmsZHfjM4JuUK7DZsA6Bqdhx5a+rPXyCLFuWtg0PqTfjbKWstPZ2P.
RIMnsvJcJhZbglDiJ0yC2Y06CrzsuhZTxBaCjRq0cjBz19ABsRngTe0PFU6
T.356IZ2Qs029BtcJCv1c00wCzpc9r5aeA2p8E7ZDRsZegPVe0PqDSo029B6
L6FUeaKXVYwfn9zdyraaAGDWiesdNskiARSdNMypcqTd8A7DqT0.puGnU6VY
02oXLv1FRAVcWlnDM+F9.sSts9TwSs7hJ0m9ApUp.qwaFQsBT4358AVpTCu9
1HRsSUSMJ0Pr9b55YeA0JKQH024zT6baRmtFZkE50ngAT6zsgp2GX4yvZ7At
kcPAwJcor5SHkXmpz5ybYhc2.o9N.lXkq.vj58AVtPS8sMjXklMVMtFZ2crp
w0P319AZmYhMoiBsaHfkm380vxsLrisyCLj569.Xqz+g.0lYHXqLkjUe1ths
Rg6RdvuNdfVsYsFCKHFrkefH6twSM5.cjUaLXnFtejcCADqA0Ggry0Wz56jN
DaaKZQs1iv0ytUjc2CKuXsh2ZCAddG1h1ZCgjWgrdEtI14WWQStG2JKIQ0ms
xns8cjQVc3jrI8pqcCAHuIMtDY0QlXfUd2tv6wIMILXyUCg7lDERBDX67Q.A
ryWFHMY3dfRqx2mDacubP+iIGLZ9rkM64L5BFLD0nZQgAsufj+jgJ137L9Id
.s6RLL0V7eRwM95ehkwyK38pEckPo02MJeLgm0jPgQPDyODNw3M67xtj0nFC
nITxsUc0zCzt.8we1QlR0c90v5ZFB11A5BZwfvg0XXYfLg0lmWSKjLt0lBWW
OQ6BYIi1fmBZ6fnAOEDZwz2qS0R1EMbT84f0ncAKtFuAu4IVt0E0XNF.sk1l
vZLdwPpClwgp0Giz5C0v0zSzgqLTS5lrKfbvZL3JP6BIGrFiTs4QBs6QVw.q
kJ8qQsoc1E5QHAUi0Rh8VLTsaKsKzFPXMZjhCwCDhqSIVqT9TqR01o7QVy0Qn
U0w5ZSocHn03bDaYxiUiilfXYPFw04rzNapqQoU6By3xzLqVdhVF4hZ79XX6j
WqUbE6j6xpkGoc1YApS4U6z0go03izpDdjTu0PKjcpuGnkQMFwihNVFMQDNG
0qB1lCBTS5dWKitFuF2DYwvzf0XlW.sKbZPTMdWwCiCs9lkvst0Drz+sFZD
Wg1cKPPMps.ZY40wi1hAsS2.rFMZ.Zm.acp4GtsypsUFCT1jrFsLBXk5Norl
ehkZyfrFkc.1sRviiHwpM317HSqeMjm0RzG3CdZI6+6I686Yz22KnnumpeuG
1ACxqOu+u+uo9.++Sel5Y2

-----end_max5_patcher-----

</code></pre>