



HAL
open science

Le paradigme d'analyse par la synthèse

Christophe d'Alessandro

► **To cite this version:**

Christophe d'Alessandro. Le paradigme d'analyse par la synthèse. Fabien Lévy, Jean-Marc Chouvel, éditeurs. Observation, analyse, modèle: peut-on parler d'art avec les outils de la science?, L'Harmattan, pp.219-237, 2002, Les cahiers de l'IRCAM, 2-7475-3284-4. hal-03574857

HAL Id: hal-03574857

<https://hal.science/hal-03574857>

Submitted on 15 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le paradigme d'Analyse par la Synthèse

1 . Introduction

Le propos de cet article est de discuter des rapports entre analyse, synthèse et perception dans le contexte de l'analyse musicale. Il s'agit de défendre l'idée que la synthèse peut s'envisager comme un outil d'analyse. Ce propos sera examinée plus particulièrement sous deux aspects : au niveau de l'analyse du signal sonore et au niveau de la perception des structures sonores. Dans le domaine du signal sonore, cela implique qu'un objet sonore sera « bien » analysé lorsqu'on sera capable de le « bien » synthétiser. Ici les guillemets signifient que la notion de « bien » devra être précisée par la suite. Dans le domaine de la perception des structures sonores, l'analyse par la synthèse intervient au niveau de la génération (synthèse) d'hypothèses pour analyser une situation donnée. Il s'agit donc de perception « située », au sens où la perception d'un objet dépend à la fois de l'objet lui-même, mais aussi des attentes et projections du sujet, qui sont mises en rapport avec l'objet dans un processus de comparaison.

Comme préliminaire, il faut préciser l'objet d'étude. Ce n'est pas la musique, en tant qu'acte créateur, au moment où la musique est un acte créateur, mais les traces et objets qu'elle laisse. Au moment de la musique, il n'y a pas possibilité d'analyse pour le sujet engagé dans l'acte musical : interpréter, improviser, composer. Le musicien, tout comme le bon orateur, met son auditoire « sous le charme », dans une communion physique (par les vibrations sonores), mentale (par la perception et la cognition) et spirituelle (ce qu'il y a en plus). L'analyse musicale comme l'analyse de la parole ne peut donc étudier que des objets, les traces sensibles de l'activité créatrice. C'est traces peuvent être mémorisées, devenir des « informations », et entrer ainsi dans le domaine du « traitement de l'information » et être étudiées par les outils de la science. Cette position précautionneuse nous permet de « parler d'art avec les outils de la science », dans la mesure où l'on possède des « objets », « traces » ou « exemplaires » de l'activité musicale: par exemple du son enregistré, une partition, un corpus d'interprétations. Mais bien sûr on ne parlera jamais que de l'art en tant que « fait », non de l'art en soi: de l'art en tant que « faire », en tant que processus créateur, bref de l'art par, pour et avec lequel vit l'artiste.

Dans la seconde partie de ce texte, les travaux qui ont introduit la méthode d'analyse par la synthèse seront rapidement décrits. Ces travaux ont porté d'abord sur l'analyse du signal, puis sur la perception linguistique. Dans la troisième partie, l'analyse par la synthèse sera envisagée comme un paradigme générale paradigme. Dans ce cadre les conditions d'application et les limites de ce paradigme seront examinées. La quatrième partie est une discussion de l'application de ce paradigme aux problèmes de l'analyse musicale

2 . Origine de l'analyse par la synthèse en analyse de la parole

2.1 . Analyse par la synthèse au niveau acoustique

La méthode d'analyse par la synthèse a été introduite dans le cadre de l'analyse du signal. Le terme même apparaît à la fin des années 50 pour l'analyse du signal de parole. A cette période, deux avancées scientifiques significatives se conjuguent: d'abord la théorie acoustique linéaire de production de la parole vient d'être établie; ensuite, l'ordinateur commence à être pensé non plus comme une machine à calculer, mais comme une machine de traitement de l'information, y compris de traitement du son. Le problème posé alors est d'analyser les paramètres acoustiques de la parole. Pour le linguiste, il s'agit de trouver la base objective, physique, des fameux « phonèmes », éléments structuraux de base de la phonologie. Pour l'ingénieur, il s'agit de coder la parole, afin essentiellement de réduire les coûts et d'augmenter les possibilités des télécommunications.

Voici comment cette idée d'analyse par la synthèse est apparue. Le problème technique était d'estimer le filtrage effectué par le conduit vocal dans la production de la parole. La théorie source/filtre de production de la parole nous montre que ce problème est un problème mal posé: en effet, il faut estimer les résonances du conduit vocal alors que l'on ne dispose que du signal sonore final, qui est une convolution entre deux composantes, la source et le conduit vocal. On ne peut estimer directement l'une que si l'on connaît l'autre, mais on ne connaît que leur combinaison.

Par contre, on dispose grâce à l'ordinateur d'un moyen de générer un signal sonore hypothétique, un artefact, et aussi d'un moyen de comparer cet artefact à l'exemple naturel. Écoutons les auteurs de la méthode d'analyse par la synthèse présenter leur idée (traduit librement de l'anglais, j'ai souligné certaines expressions):¹

« Le terme d'analyse par la synthèse est utilisé pour désigner un processus actif d'analyse, qui peut être appliqué à des signaux produits par un générateur dont les propriétés sont connues. Le cœur d'un système d'analyse par la synthèse est un générateur de signal capable de synthétiser complètement et uniquement les signaux à analyser. Les signaux synthétisés par le générateur sont comparés aux signaux à analyser, et une mesure d'erreur est calculée. Différents signaux sont générés jusqu'à ce qu'un signal atteigne une valeur minimale d'erreur, alors les propriétés du signal généré sont affichées. Il a été suggéré qu'un schéma de ce type pourrait s'appliquer à différents niveaux de représentation: acoustique, graphique, phonologique, morphologique et syntaxique. »

On peut remarquer et souligner trois aspects: « méthode active d'analyse », « le cœur est un synthétiseur », « la méthode pourrait être un paradigme général ». Ainsi, dans une situation où l'analyse est difficile, à cause d'un problème mal posé par exemple, notre capacité à reproduire le phénomène étudié nous permet tout de même de connaître les paramètres de l'analyse. On pose donc qu'un phénomène est bien analysé lorsqu'on sait bien le synthétiser.

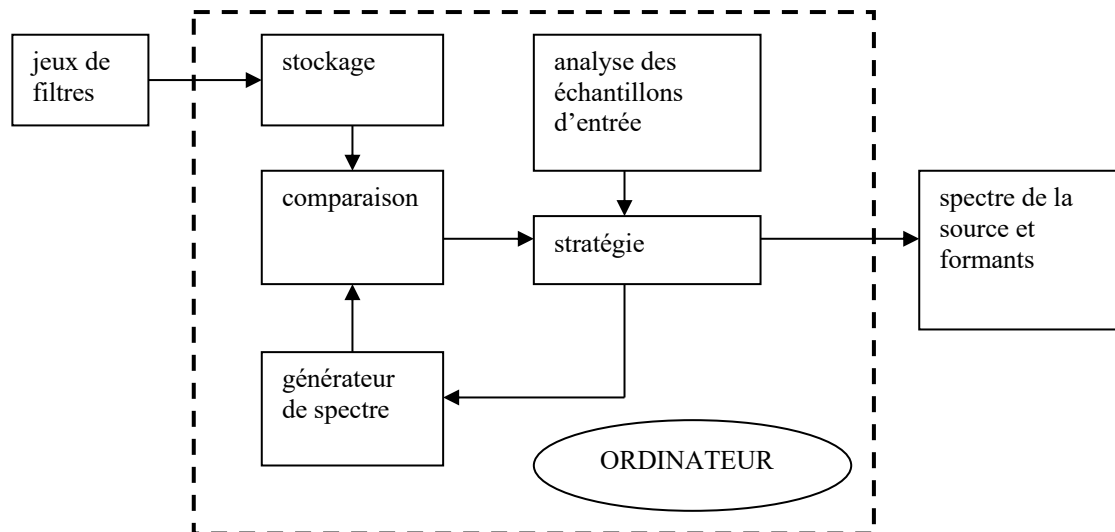


Figure 1 : Analyse par ordinateur des formants et de la source vocale par la méthode « d'analyse par la synthèse », (d'après Bell *et al.*, J.A.S.A. 1961).

L'efficacité pratique de cette méthode a été prouvée à maintes reprises en traitement de la parole. Dans l'article initial, il s'agissait d'estimer les résonances du conduit vocal (formants) et le spectre de la source. La figure 1 illustre ce processus. On doit mettre en œuvre un synthétiseur et un comparateur, et à partir des échantillons d'entrée utiliser une stratégie pour optimiser les paramètres

¹ Bell, Fujisaki, Heinz, Stevens, House, « Reduction of Speech Spectra by Analysis-by-Synthesis Techniques », *Journal of the Acoustical Society of America.*, 33, n° 12, décembre 1961.

d'analyse. Ainsi on va réussir à trouver les bons paramètres d'analyse en réduisant la distance entre analyse et synthèse. On postule donc que les bons paramètres d'analyse sont ceux pour lesquels la synthèse est proche de l'analyse, ce qui semble raisonnable, du moins si le modèle de synthèse est valide.

Beaucoup de techniques du même genre sont aujourd'hui utilisées en codage de la parole pour les télécommunications. Le codage optimal du son est estimé par un procédé d'analyse par la synthèse. La figure 2 donne une idée de ce procédé: la distance entre le signal à coder et les signaux de synthèse est progressivement réduite, jusqu'à une analyse satisfaisante.

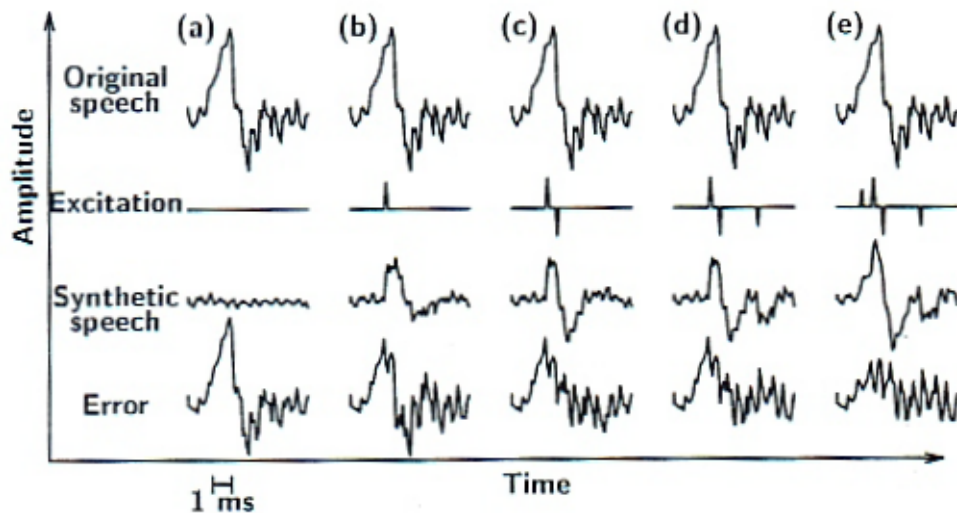


Figure 2 : Codage multi-impulsions de la parole . Cinq itérations d'un processus de codage utilisant l'analyse par la synthèse (a,b,c,d,e). Au début l'erreur est grande et le signal synthétique très différent de l'original. A chaque fois que l'excitation contient une impulsion supplémentaire, l'erreur décroît et la synthèse s'approche de l'original. On obtient ainsi l'analyse de l'excitation comme série d'impulsions, (d'après Atal et Remde,² 1982).

2.2. Analyse par la synthèse et perception active

L'analyse par la synthèse peut s'appliquer également au niveau cognitif. Elle a été proposée, toujours dans le domaine du traitement automatique de la parole, comme modèle de l'accès lexical³. Le problème est ici de comprendre comment à partir du signal acoustique l'auditeur retrouve des mots de la langue, comment un signal est analysé au niveau lexical. Voici une exposé de la méthode⁴ (traduit librement de l'anglais, j'ai souligné certains termes):

«L'auditeur produit inconsciemment une version «synthétique» du signal d'entrée, basée sur une analyse auditive grossière. Si les deux versions sont proches, l'analyse est considérée comme bonne. Sinon, un traitement plus élaboré de l'entrée est mis en œuvre. Un tel modèle incorpore des

² B. Atal & J. Remde, A new model of LPC excitation for producing natural-sounding speech at low bit rates, Peoc. Of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, p. 614-617, 1982.

³ Dennis Klatt, Speech perception : a model of acoustic-phonetic analysis and lexical access, Journal of Phonetics, 7, p. 279-312, 1979.

⁴ Douglas O'Shaughnessy , *Speech Communication :human and machines*, IEEE press, 2000.

processus cognitifs ascendants et descendants, et fait l'hypothèse que l'auditeur ne décode les détails de la parole que dans la mesure où il ne peut les prédire du contexte»

Ainsi, pour reconnaître les mots, les mots-candidats proposés par les niveaux linguistiques supérieurs sont comparés au signal d'entrée, et adaptés jusqu'au meilleur candidat, qui est supposé être le bon mot entendu. Il faut souligner les aspects cognitifs (ascendant et descendants) de la méthode, et aussi son aspect contextuel : en fonction des connaissances acquises sur le contexte, l'étape de comparaison est plus ou moins réduite. Ici, contrairement au niveau acoustique, la « synthèse » n'est pas la génération d'un signal synthétique, mais ce que les auteurs nomment « une version synthétique du signal d'entrée », qui de plus est « inconsciente », et dont on peut s'interroger sur le statut exact. Cependant, comme au niveau acoustique, l'analyse est réalisée par la production d'artefacts et une étape de comparaison. La figure 3 montre un schéma de ce processus. Le signal de parole est analysé par le système auditif, qui en tire une représentation spectrale et des traits phonétiques. Par ailleurs, le contexte permet de formuler des hypothèses lexicales (de prédire, d'attendre les mots possibles). Ces hypothèses sont comparées aux représentations d'entrée pour décider du mot perçu.

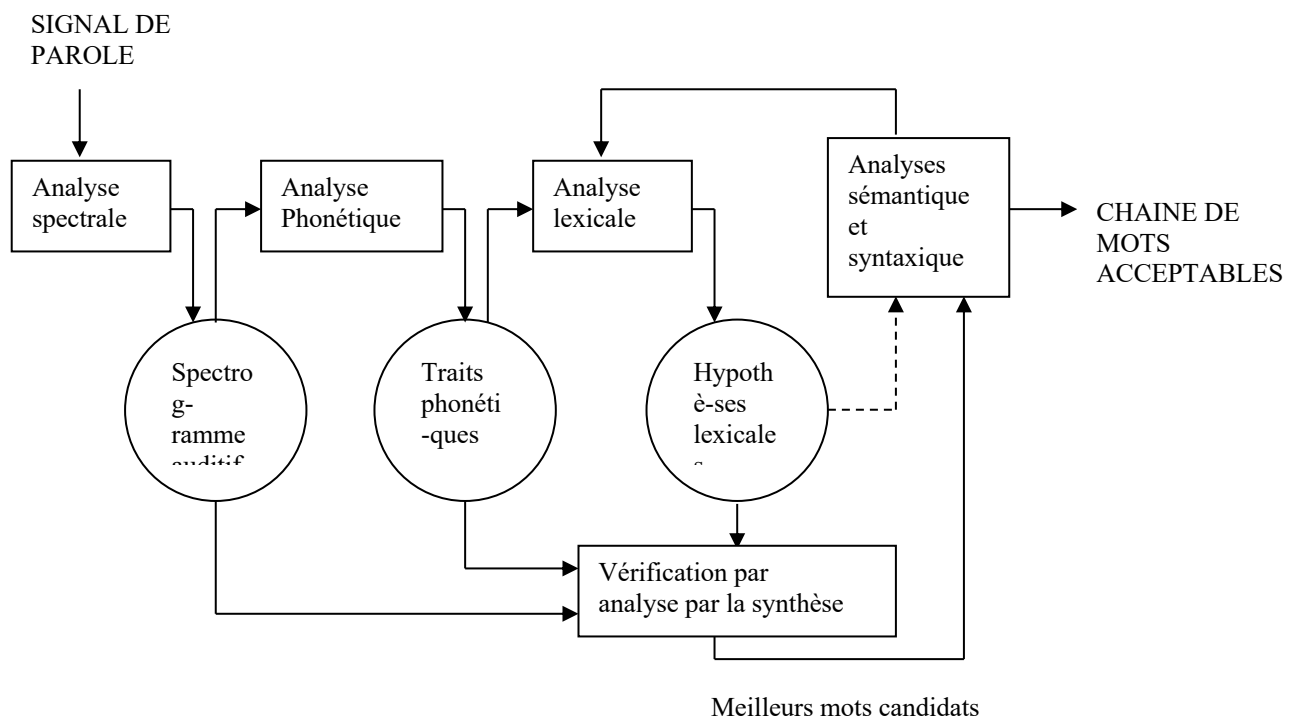


Figure 3 : modèle de perception de la parole utilisant la méthode d'analyse par la synthèse, (d'après Klatt⁵).

3. Paradigme d'analyse par la synthèse

3.1 Principe

Après ces deux exemples d'application à l'analyse de la parole, nous pouvons maintenant généraliser la méthode, afin d'étudier ses conditions d'application en tant que paradigme d'analyse.

⁵ Denis Klatt, op. cit.

Ce paradigme postule que dans une situation où l'analyse est difficile, notre capacité à reproduire le phénomène étudié nous permet d'apprendre les paramètres de l'analyse: ainsi on pose qu'un phénomène est bien analysé lorsqu'on sait bien le synthétiser. A quelles conditions la paradigme d'analyse par la synthèse peut-il s'appliquer? Il faut pour cela réunir un triplet qui comprend :

1. Un modèle du phénomène, et un jeu initial de paramètres pour ce modèle.
2. Un synthétiseur, capable de produire un artefact étant donné les paramètres du modèle.
3. Une procédure de comparaison entre l'artefact et l'objet à modéliser.

Remarquons que le résultat produit par l'analyse est également sous la forme d'un triplet, puisque l'on obtient:

1. L'analyse, ou les paramètres de l'analyse
2. L'artefact, la synthèse
3. La distance entre l'exemple analysé et l'artefact

Comme l'avaient annoncé les auteurs de la méthode initiale en 1961, ce paradigme semble très général : on a vu que pour la parole il peut aller de l'analyse du signal acoustique jusqu'à la perception d'objets linguistiques. Souvent la perception, ou un modèle algorithmique de la perception, intervient à l'étape de comparaison. Ainsi la compétence humaine est impliquée dans l'évaluation de l'analyse. L'analyse est active, puisqu'elle implique une production. L'analyse est évaluée, puisqu'elle implique une comparaison et une mesure d'erreur.

La figure 4 illustre le principe de la méthode. L'exemple est analysé, change de représentation, par le modèle d'analyse. Il est comparé à l'artefact, obtenu par le jeu initial de paramètres de synthèse et le modèle de synthèse. Cette comparaison permet d'optimiser les paramètres de synthèse (donc d'analyse). Lorsque la comparaison montre une distance suffisamment faible, l'analyse est arrêtée. On obtient alors les paramètres d'analyse, l'artefact et la distance entre l'exemple et l'artefact.

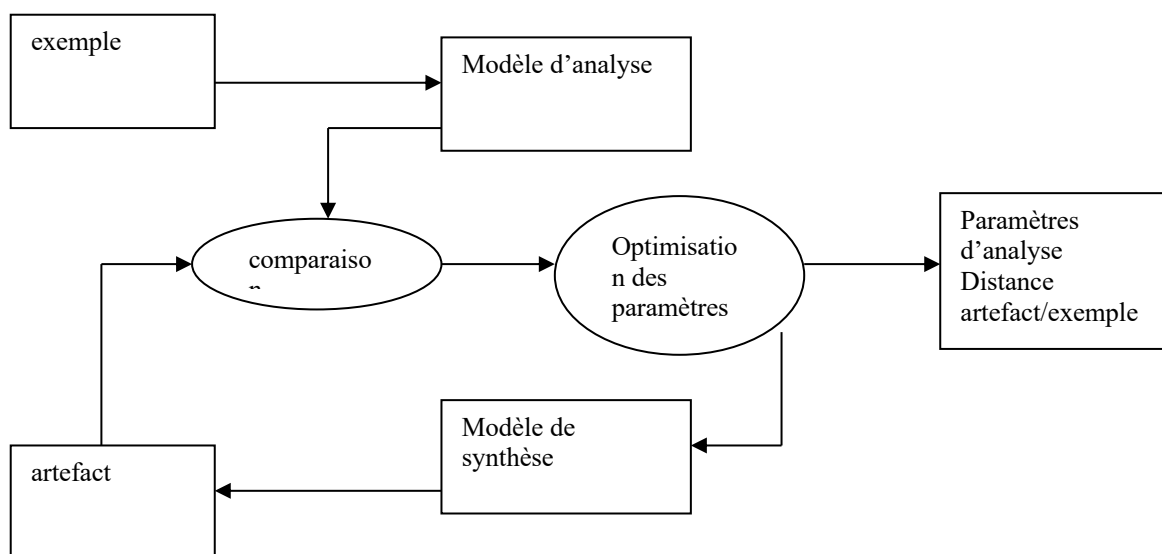


Figure 4 : Paradigme d'analyse par la synthèse.

Après avoir présenté le principe de ce paradigme, il faut également en aborder les limites. L'analyse par la synthèse est constitué d'un triplet analyse/synthèse/comparaison. Trois types de limites se présentent donc naturellement: les limites de la synthèse, les limites de l'analyse (et des modèles) ; les limites de l'étape de comparaison.

3.2. Limites de la synthèse automatique

Nous allons considérer la synthèse vocale car c'est certainement le domaine de la synthèse qui a été le plus étudié, et c'est aussi le domaine qui fait intervenir le plus de procédures. En effet, la synthèse musicale se limite souvent à produire un « instrument » synthétique, joué en temps réel ou non. Au contraire, en synthèse vocale, on cherche à synthétiser un texte automatiquement, donc en plus de l'instrument il faut les procédures de calcul de tous les paramètres acoustiques.

Les techniques de la synthèse vocale (tout comme de la synthèse musicale) ont une histoire assez courte. Des moyens de synthèse électronique du signal existent depuis les années 40. La théorie acoustique de production de la parole existe depuis les années 50. A la fin des années 60 est apparue la synthèse à partir du texte⁶, c'est à dire la génération automatique de parole à partir d'un texte quelconque (donc avec un vocabulaire illimité et une syntaxe sans contrainte). Ce type de synthèse utilisait les règles et les traits de la phonologie. Les années 70 et 80 ont été marquées par la prise en compte de règles pour la prosodie. Le mouvement récent est marqué par d'une part la recherche au niveau pragmatique: style, attitudes, émotions, et par l'utilisation massive de l'informatique et du traitement du signal, plutôt que de connaissances et règles implicites explicites. Cependant, en synthèse vocale, il faut noter que l'analyse automatique des textes reste très limitée. Il n'est actuellement guère possible d'aller au delà (et même de traiter convenablement) du niveau syntaxique. Pour des textes quelconques, aucun modèle d'analyse au niveau sémantique ou au niveau pragmatique ne résiste à l'automatisation. Ainsi la machine ne traite pas automatiquement le sens, et encore moins l'interprétation du sens. Sa capacité analytique se cantonne aux aspects les plus formels du langage : comment s'en étonner ?

La synthèse actuelle est peu apte à traiter de la variabilité contextuelle, à adapter à la situation le synthétiseur. Sans doute la partie la moins bien traitée reste-t-elle la prosodie, la mélodie et le rythme, tout ce qui a trait à l'interprétation du texte.

3.3. Limite de la comparaison

Le processus d'analyse par la synthèse peut aussi être considérablement freiné par le problème de l'évaluation, de la comparaison entre l'artefact et l'exemple. La comparaison est souvent perceptive. Ainsi elle n'est pas forcément automatisable, et donc coûteuse en temps. La comparaison est parfois d'une complexité impraticable dans une situation réelle. Il a existé de nombreux modèles d'analyse qui permette a priori de synthétiser tous les types de sons. Mais l'ajustement pas comparaison successive de tous les paramètres de synthèse peut se révéler tellement coûteuse qu'on ne va guère au delà de quelques exemples.

Un autre problème lié à la comparaison est que, parfois, cette comparaison n'explique guère les paramètres d'analyse, c'est une comparaison aveugle. Peu de connaissances sont alors gagnées par la comparaison. Par exemple, la comparaison peut être globale, alors que les paramètres sont très localisés. On risque alors d'obtenir un ajustement moyen optimal mais des paramètres mal ajustés.

3.4. Limites de l'analyse

Une meilleure analyse ne donne pas forcément une meilleure synthèse. En synthèse de parole (comme en synthèse musicale d'ailleurs), les meilleurs résultats actuels sont parfois ceux qui utilisent le moins d'analyse explicite. La synthèse par échantillonnage (sélection et concaténation) par exemple, qui est de plus en plus employée n'utilise quasiment pas de modèle. Ainsi la synthèse peut progresser sans analyse, par le jeu de la puissance informatique, qui permet de stocker et de sélectionner d'immenses quantités de données.

⁶ On pourra écouter une histoire de la synthèse de la parole à partir du texte en français dans l'article de Christophe d'Alessandro, *33 ans de synthèse à partir du texte en français : une promenade sonore*, Traitement Automatique des Langues (TAL), 42, n°1, numéro thématique *Synthèse de la parole à partir du texte*, Christophe d'Alessandro et Evelyne Tzoukermann (éditeurs), Hermès, Paris, 2001 (article et disque compact).

Ainsi, les progrès de l'analyse ne se traduisent pas forcément en progrès de la synthèse: parfois la synthèse progresse uniquement par la puissance de calcul ou la capacité de stockage. Une autre limite de l'analyse est que même si le modèle d'analyse n'est pas exact on peut estimer ses paramètres, et obtenir des synthèses. Mais alors le paradigme d'analyse par la synthèse peut se révéler trompeur, puisqu'on peut estimer des paramètres faux pour obtenir une synthèse acceptable, avec un modèle faux.

3.5 La synthèse crée l'analyse

Le fait de produire un objet, une synthèse met souvent en lumière des aspects ignorés de cet objet. En linguistique par exemple, avant la synthèse de parole, les études sur le lexique, la syntaxe la sémantique, etc. ignoraient presque complètement les aspects prosodiques. Même la phonétique et la phonologie traitaient du son sous l'aspect presque exclusif des phonèmes. Mais la synthèse de la parole a nettement mis en lumière que la prosodie, mélodie, rythme, qualité vocale est un élément essentiel de la communication. Certes la prosodie ne participe pas (du moins en français) au mots et donc à la sémantique lexicale. Mais elle participe à la pragmatique du discours. L'évidence de l'importance prosodique en linguistique est apparue grâce essentiellement à la synthèse de la parole. Alors, à partir de la fin des années 70 se sont développées de véritables théories pour l'intonation. Voici un exemple où les insuffisances de la qualité en synthèse ont suscité un très important développement de l'analyse.

La situation est identique bien sûr pour la synthèse du son instrumental, quand la pauvreté du résultat sonore suscite de nouveaux modèles d'analyse. On peut même dire qu'en acoustique, la synthèse a suscité la plupart des modèles de représentation, donc d'analyse du signal. C'est la pauvreté expressive de la synthèse qui continue à susciter des recherches sur l'analyse des règles d'interprétation musicale, par exemple. Et c'est aussi la synthèse qui en valide les résultats.

Enfin, l'utilisation de la synthèse a amené une attention très importante au son, au phénomène sonore en tant que tel, qui a été sans doute une des grandes sources d'inspiration de la création musicale de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle.

4. Analyse par la synthèse et analyse musicale

Parole et musique ont de multiples traits communs : ce sont deux systèmes sémiotiques, qui traduisent une intention de communication, qui passent par la médiation de gestes, et dont le support physique est l'onde sonore. De fait, la parole a souvent servi de métaphore en analyse ou en composition musicale : la plupart des sciences du langage ont, à une époque ou une autre, été mises à contribution dans le domaine musical: rhétorique (à travers l'étude du « discours musical »), syntaxique (par exemple les « grammaire » du système tonal), phonologique (par exemple la composition de pseudo-systèmes linguistiques), phonético-acoustique (par exemple les « musiques spectrales »)⁷.

Dans un certain sens, le paradigme d'analyse par la synthèse semble employé depuis longtemps de façon implicite, et sans le secours du traitement de l'information, en analyse musicale. Ce que j'ai nommé artefact ici pourrait bien porter le nom de pastiche⁸. La synthèse serait la production de pastiche. La comparaison serait l'évaluation du pastiche, quand à l'analyse, ce serait les règles de production du pastiche.

Nous allons passer en revue quelques domaines d'application de l'analyse musicale, en suivant les niveaux linguistiques, depuis le niveau acoustique, jusqu'au niveau pragmatique. En effet, il semble

⁷ Voici, entre autre, quelques ouvrages des années 70 marqués par l'influence de la linguistique, à un niveau plus ou moins métaphorique. Henri Pousseur, *Musique, sémantique, société*, collection Mutations-Orientations, Casterman, Tournai, 1971. Jean-Jacques Nattiez, *Fondements d'une sémiologie de la musique*, Collection 10-18, Union Générale d'Édition, Paris, 1975. Nicolas Ruwet *Langage, musique poésie*, Paris, Le Seuil, 1972.

⁸ Pastiche au sens donné par Jean-Jacques Nattiez, *Fondements d'une sémiologie de la musique*, Collection 10-18, Union Générale d'Édition, Paris, 1975.

que le paradigme d'analyse par la synthèse puisse s'appliquer dans de nombreuses situations d'analyse, depuis l'analyse du son instrumental jusqu'à celle de la forme ou du style d'écriture d'un compositeur, voire de l'interprétation.

4.1 Analyse du son musical

Le niveau acoustique de l'analyse musicale, l'analyse du son musical, est bien sur un terrain d'élection de l'analyse par la synthèse. En fait on retrouve ici la même problématique et les mêmes méthodes que pour le traitement automatique de la parole. Dans de nombreuses techniques d'informatique ou d'acoustique musicales intervient une étape d'analyse par la synthèse: codage du signal, analyse de paramètres d'un modèle, analyse du timbre d'un instrument etc. L'analyse du son musical est la partie la plus facilement accessible au calcul, donc celle développée depuis le plus longtemps dans le champs de l'analyse.

4.2 Analyse de l'écriture musicale

L'analyse de l'écriture musicale peut se passer du son (au moins en tant qu'exercice) et se situe au niveau du lexique musical et de la grammaire musicale. L'exemple le plus ancien d'analyse par la synthèse, bien avant l'utilisation de toute machine électronique et de toute automatisation, est bien sur celui de l'apprentissage de l'écriture. Apprendre en imitant, principe pédagogique aussi vieux que le monde en général et que la musique en particulier, peut être considéré comme un archétype d'analyse par la synthèse. Dans le passé, il s'agissait d'imiter le maître, soit directement, soit par le truchement de l'écriture: ainsi le premier manuscrit conservé de musique pour clavier, le court traité de Conrad Pauman au 15^{ème} siècle est-il un recueil d'exemples à imiter, afin d'improviser une seconde voix à l'orgue sur des prototypes de cantus firmus. En passant par le petit livre d'orgue de J.S.Bach, prototype d'écriture contrapuntique sur le choral Luthérien, qui a aussi une dimension explicite d'apprentissage par imitation, on en arrive à l'écriture « de style », au pastiche d'écriture⁹. Ainsi l'élève acquiert-il la compétence en analyse musicale par sa confrontation directe avec les textes des maîtres prototypiques d'un style. L'élève synthétise, dans la mesure de ses capacités analytiques, le professeur ou un jury d'auditeur comparent, et évaluent la qualité stylistique, l'élève corrige. On a ainsi un processus typique d'analyse par la synthèse. Comme dans tout processus d'analyse par la synthèse, le produit de ce processus est triple:

1. une meilleure connaissance générale du style. De fait le niveau de finesse stylistique des classes d'écriture a sûrement augmenté dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle.¹⁰ L'adéquation au style est ce qui correspond à la « mesure de distance entre artefact et exemplaire ».
2. un apprentissage pour l'élève, ce qui correspond à « l'analyse »
3. un corpus sans cesse augmenté « d'artefacts » : motets à la Palestrina chorals variés à la Bach, mouvements de sonate à la Haydn, de rêveries à la Schumann, de préludes à la Debussy, de variations à la Webern. Rien qu'à Paris, la fureur analytique fait qu'il ne passe certainement pas une semaine sans qu'un paquet de nouveaux choral de Bach soient produits. Ceci marque bien que les artefacts produits n'ont pas forcément une grande valeur (ou du moins pas une grande diffusion) en tant qu'objets artistiques, mais ont une grande valeur en tant qu'outils d'analyse, outils de la science pour parler d'art.

⁹ voir par exemple les nombreux ouvrages pronant une écriture « de style » : Jean-Michel Bardez, Elements pour un cours d'écriture, Alphonse Leduc, Paris, 1983, Evelyne Andréani, Antitraité d'harmonie, collection 10-18, Union Générale d'Édition, Paris, 1979. Jacques Chailley Traité historique d'analyse harmonique, Alphonse Leduc, Paris, 1951-1977 A Dommel-Diény, l'harmonie tonale, Delachaux et Niestlé, 1963.

¹⁰ la notion de style historique est en effet absente des traités plus anciens, par exemple Noël-Gallon, Marcel Bitsch Traité de contrepoint, Durand, Paris, 1964, même chez les auteurs particulièrement conscients des contingences historiques de la musique : d'Arnold Schonberg. Arnold Schonberg Théorie de l'harmonie (Harmonielehre), Universal Edition, Vienne, 1911 (nombreuses rééditions, dont Theory of Harmonie, Faber & faber, Londres, 1978). Arnold Schonberg, Preliminary exercices in counterpoint, Faber & faber, Londres, 1963

On peut remarquer que lorsqu'un terme manque au triplet d'analyse par la synthèse, par exemple une possibilité de comparaison des artefacts à des exemplaires, le processus est souvent voué à l'échec. C'est par exemple le destin de la « fugue d'école », qui, sans correspondre à une réalité musicale attestée à fini par disparaître du paysage pédagogique.

Pour l'écriture musicale encore, il faut remarquer que ce sont souvent les classes d'analyse, depuis le précédent fameux de Messiaen, qui forment de véritables classes de « synthèse », c'est à dire de composition.

4.3 Analyse du style d'interprétation

Un domaine plus récent d'application de l'analyse par la synthèse est le domaine de la pragmatique pour la parole, que l'on peut mettre en correspondance avec celui de l'interprétation pour la musique. Ici il s'agit du style d'interprétation, de la communication d'affects ou d'attitudes par la variabilité du signal sonore. Les dispositifs de synthèse sont de précieux outils pour mettre à l'épreuve des théories ou des règles d'interprétation.

Dans les recherches récentes¹¹ sur le style musical, plusieurs programmes de règles peuvent être appliqués à une même partition musicale : dans le style baroque, certaines valeurs de notes suivons le principe des notes inégales, ou bien le balancement rythmique du swing dans le style jazz. Les règles d'interprétation peuvent affecter les durées, mais aussi la force, changer légèrement la hauteur tonale et le vibrato, changer le tempo, insérer de courtes pauses, etc.

Voici un processus d'analyse par la synthèse appliqué à un aspect de très haut niveau dans la musique: celui de l'interprétation.

4.4. Perception de la musique

Il semble de plus en plus évident que la perception musicale, tout comme la perception en général, n'est pas seulement un processus passif d'analyse. La perception est active, et elle est située. Cela implique que la perception n'est possible que grâce et en fonction des propriétés cognitives du sujet : mémoire, attention, prédiction et anticipation. Ainsi le processus d'analyse par la synthèse proposé pour l'accès lexical en perception de la parole est-il sans doute valide de façon plus générale en perception musicale. Les attentes et prédictions de l'auditeur, que l'on peut formuler comme des hypothèses, ou des artefacts, sont sans doute au cœur de la perception et de la cognition musicale. Ce type de fonctionnement est particulièrement sollicité par certains compositeurs. Ainsi dans la musique de John Cage par exemple¹², l'auditeur est souvent invité à projeter une structure musicale sur les événements sonores proposés. Moins la pièce est déterminée par le compositeur, plus l'activité de l'auditeur, sa capacité à créer des « artefacts » mentaux, ce que l'on appelle « entendre » est sollicitée. Ainsi le processus d'analyse par la synthèse peut-il être envisagée comme une négociation entre l'auditeur et l'œuvre.

4.5. Conclusion

J'espère avoir montré dans cet exposé à quel point le paradigme d'analyse par la synthèse peut se révéler productif dans le domaine de l'analyse sonore, et dans celui de l'analyse musicale en particulier. Le paradigme d'analyse par la synthèse peut s'appliquer à divers niveaux d'analyse, depuis le son jusqu'à la forme ou l'interprétation et le style.

Pour mettre en œuvre un tel paradigme, il faut développer des modèles d'analyse, bien sur, mais aussi des modèles de synthèse et des méthodes de comparaison, si possible automatiques. Ici comme ailleurs, l'automatisation des procédures est une épreuve pour les théories, dans la mesure où l'on ne peut automatiser que ce qui est bien formalisé.

¹¹ voir par exemple <http://www.speech.kth.se/music/performance>

¹² John Cage, Je n'ai jamais écouté aucun son sans l'aimer : le seul problème avec les sons, c'est la musique, La main courante Paris, 1994. Daniel Charles Gloses sur John Cage, collection 10-18, Union Générale d'Édition, Paris, 1978

La qualité de la synthèse est le reflet, souvent décevant mais toujours honnête, de la qualité de l'analyse. La synthèse automatique nous montre alors dans quelle mesure limitée, partielle et élémentaire on peut parler d'art avec les outils de la science.

Remerciements :

Je tiens à remercier ici les organisateurs de ce colloque pour leur invitation à discuter de synthèse dans le cadre de l'analyse musicale. Cet exposé est aussi le fruit de nombreux échanges d'idées avec en particulier Jean-Marc Chouvel, Boris Doval, Jean-Sylvain Liénard et Philippe Tarroux.

Résumé

L'analyse par la synthèse est un paradigme introduit dans les années 1950 pour l'analyse acoustique de la parole. A cette époque, le développement des méthodes de traitement de l'information a permis d'automatiser la synthèse de la parole, et d'établir ainsi une boucle entre analyse et synthèse. Ce paradigme postule que dans une situation où l'analyse est difficile, notre capacité à reproduire le phénomène étudié nous permet d'apprendre les paramètres de l'analyse: ainsi on pose qu'un phénomène est bien analysé lorsqu'on sait le synthétiser. Ce paradigme est donc applicable à de nombreuses situations, à condition de réunir:

1. Un modèle du phénomène, et un jeu initial de paramètres pour ce modèle.
2. Un synthétiseur, capable de produire un artefact étant donné les paramètres du modèle.
3. Une procédure de comparaison entre l'artefact et l'objet à modéliser. Souvent la perception intervient à cette étape de comparaison.

Ce paradigme a également été proposé pour rendre compte de la perception de la parole. Dans ce cas, le modèle suggère que les niveaux cognitifs « synthétisent » des hypothèses en fonction du contexte, qui sont comparées au signal reçu et permette ainsi de percevoir les mots. L'analyse est active et contextuelle.

Les problèmes liés à l'analyse par la synthèse sont aussi discutés : les limites de la synthèse, les limites de l'analyse, les limites de la comparaison. Dans certaines situations, les exigences de la synthèse ont obligé l'analyse à forger de nouveaux modèles.

On montrera que ce paradigme est utilisé en analyse musicale, de façon plus ou moins explicite, dans de nombreuses situations, depuis l'analyse du son instrumental jusqu'à celle de la forme ou du style d'écriture d'un compositeur, et qu'il est même probablement à la base de la perception musicale, pensée comme négociation entre l'œuvre et son auditeur.

Christophe d'Alessandro
LIMSI-CNRS
Bâtiment 508, université Paris XI
BP 133 - F-91403 Orsay

Chargé de recherche au CNRS (analyse, synthèse et perception de la parole, informatique linguistique et acoustique musicale), organiste titulaire de Sainte Elisabeth (Paris).