

# Terra - la synthèse des étoiles

(exploitation des données astronomiques pour la synthèse soustractive et dans le processus de la composition)

Alexander MIHALIC

mihalic@club-internet.fr

**Résumé:** La pièce *Terra* inclut dans son processus compositionnel les données qui ont le rapport avec la Terre et les observations des objets célestes vus à partir de la Terre. Ces données sont "transcrites" suivant les différentes applications et transformations dans les paramètres musicaux. Les paramètres musicaux vont donc être modifiés en fonction des changements des variables comme par exemple le temps et la position de l'observation du ciel, ou le mouvement apparent des objets célestes. La transformation des données s'applique ensuite directement à l'écriture ou sur les paramètres de la synthèse.

## 1 Introduction

La composition *Terra* est la dernière pièce du cycle *Univers*, lequel est une "transcription des connaissances" sur la naissance de l'univers, description du système solaire et l'évolution de la vie sur Terre. Les pièces de ce cycle sont indépendantes et peuvent être jouées séparément. Chaque pièce est écrite pour cinq musiciens dont un percussionniste.

Quatre instruments utilisés dans *Terra* sont: trompette, cor, trombone et tuba. A cela s'ajoutent les percussions (utilisées dans toutes les pièces du cycle) et le dispositif électroacoustique. Le dispositif électroacoustique inclut l'amplification des instruments et la diffusion quadraphonique de la bande magnétique. L'enregistrement sur la bande magnétique comporte l'enregistrement de la synthèse soustractive dont les paramètres sont calculés à partir des données et des paramètres des objets célestes<sup>1</sup>.

D'autres données sont utilisées pour la construction de la pièce, comme par exemple l'évolution des espèces et les ères géologiques. Dans le présent article je vais expliquer uniquement les procédés utilisés pour la transformation des données astronomiques.

Je vais parler d'abord de la forme de la pièce, laquelle est étroitement liée à l'observation des objets célestes. En fait, l'apparition des "solos" pendant le déroulement de la pièce dépend des choix de l'heure, de la position et du temps de l'observation.

Ensuite je vais expliquer plus en détail la division des données pour leur exploitation dans la pièce. Les données sont séparées en plusieurs "couches" lesquelles sont traitées indépendamment suivant qu'il s'agit de données astronomiques ou autres.

Puisque le mouvement d'accélération global est un des éléments importants de l'écriture de la pièce, il va être décrit plus en détail, même s'il n'est pas directement en relation avec les données utilisées dans la composition, mais plutôt avec les pièces écrites antérieurement.

Enfin je vais donner une description de la transformation des données astronomiques dans les paramètres musicaux. Il s'agit d'un programme informatique lequel attribue les paramètres issus des bases de données des objets célestes<sup>2</sup> dans l'ensemble des paramètres musicaux. Cette transformation va être utilisée comme pour la synthèse, ainsi que pour l'écriture de la partition pour les instruments.

## 2 Forme

Dans l'ensemble de cycle *Univers* la pièce *Terra* représente une coda dans un crescendo continu, et dont le tempo s'accélère sans cesse jusqu'à l'explosion finale.

La pulsation rythmique la plus simple, il s'agit d'un battement, est la base de la pièce. Cette pulsation s'accélère pendant toute la durée de la pièce et cela suivant le procédé qui est expliqué plus en détail dans le chapitre Rotation de la Terre. L'accélération du tempo est accompagnée de la progression de la dynamique en un grand crescendo pendant la totalité de la pièce.

---

<sup>1</sup> Pour le moment les moyens techniques ne me permettent pas de faire le calcul du son en temps réel pendant le concert.

<sup>2</sup> Pour les sources de données utilisées, voir la Bibliographie.

Cette forme d'une lente évolution de la dynamique et du tempo est interrompu par plusieurs solos des instruments. Les emplacements de ces solos ne sont pas fixes puisqu'elles sont déterminés par le calcul de la pièce, c'est-à-dire suivant le choix de la date de l'observation du ciel (voir le chapitre Solos des instruments).

Les événements calculés par rapport à cette date vont donc "changer de place" dans la pièce. On peut (donc) imaginer la pièce comme un cycle fermé (une année), où le début signifie aussi la fin et les événements se déplacent suivant le choix du départ.

### 3 Couches d'écriture

Je vais appeler ici une "couche d'écriture", un ensemble de paramètres musicaux prenant le même modèle comme base de leur construction. Chacune de ces couches peut développer un paramètre plus que d'autres (comme par exemple le rythme - voir Rotation de la Terre). Les couches d'écriture sont donc complémentaires et leur assemblage engendre la composition dans sa totalité.

*Terra* se compose de quatre couches d'écriture. Chacune de ces couches prend comme modèle un événement en rapport avec la Terre. Les modèles pris pour la composition sont les suivantes:

observation du ciel

- rotation de la Terre autour de son axe et autour du Soleil

- mouvement des objets célestes

évolution de la vie sur Terre

- ères géologiques

- évolution des espèces

Ces événements se divisent (donc) en deux groupes suivant leur propriété d'être fixes ou non par rapport à l'observateur. L'évolution de la vie constitue un événement fixe où les données ne changent pas<sup>3</sup>. Le calcul de la transformation des données s'effectue alors une fois pour toutes et ne change pas.

Les événements variables changent soit par rapport à une date donnée (comme le solstice d'été, pleine lune), soit par rapport à la position de l'observateur sur le globe terrestre (comme les positions des corps célestes sur le ciel).

### 4 Observation du ciel

La position des objets célestes varie en fonction de la position de l'observateur et en fonction du moment de l'observation du ciel. En attribuant les paramètres musicaux aux différents paramètres des objets observés dans le ciel, le résultat musical dépendra donc du choix de la position de l'observation, du temps de départ de l'observation et enfin de la durée de l'observation.

Il y a deux types de données utilisées dans la pièce, lesquels sont traités différemment. En premier lieu, ce sont les positions du Soleil et de la Lune, qui marquent la forme de la pièce. Ensuite, ce sont les objets célestes apparaissant sur le ciel de nuit, dont les caractéristiques sont utilisées, après une transformation préalable, pour la synthèse soustractive dont le résultat est enregistré et diffusé pendant toute la durée de la pièce<sup>4</sup>.

Ces deux types de données sont étroitement liés à la rotation de la Terre autour de son axe, laquelle est prise en compte dans la pièce comme une pulsation.

Tous les paramètres musicaux sont calculés par rapport à la date du 22 décembre 1995 et pour la durée d'une année (jusqu'au 22 décembre 1996). Cette date a été choisie tout à fait arbitrairement et il est possible de recalculer les données et réécrire la partition pour n'importe quelle date donnée.

### 5 Rotation de la Terre

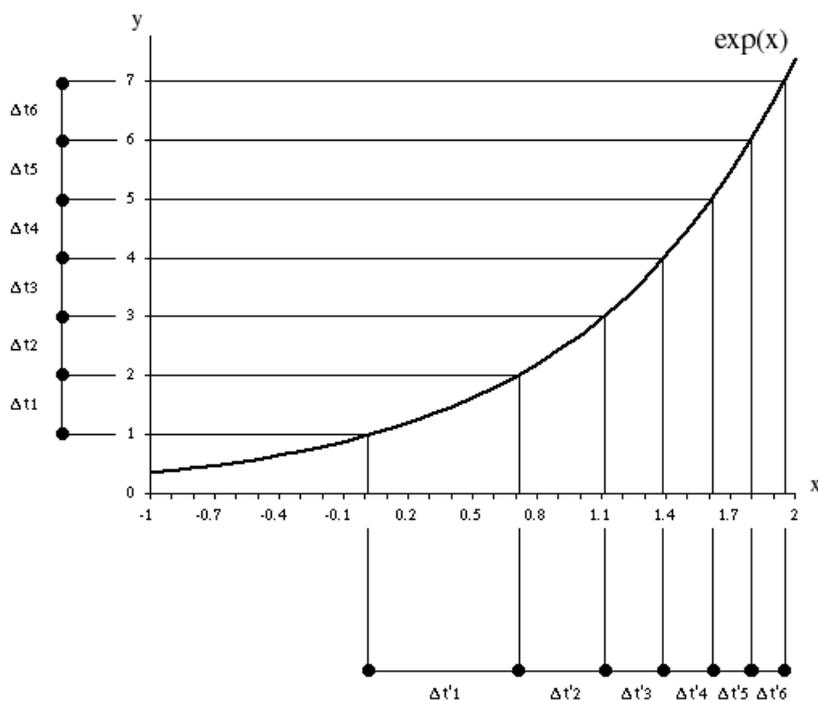
La base de la pièce est le rythme répétitif, interrompu par les solos des instruments, symbolisant la position du soleil et de la lune dans le ciel durant une année.

---

<sup>3</sup> Bien sûr, je parle ici de l'état des choses actuel, avec la conscience d'une évolution des connaissances (et donc des données) dans le passé et dans le futur.

<sup>4</sup> Sauf pendant les interruptions des solos.

Le rythme est en fait le battement où un battement représente une révolution de la Terre autour de son axe. Ainsi, il y a donc 365<sup>5</sup> battements pendant toute la durée de la pièce. Les durées entre les battements sont donc par définition constantes, mais elle sont transformées par une fonction exponentielle<sup>6</sup> déterminant ainsi la vitesse d'accélération de la pulsation (voir la Fig. 1).



**Fig. 1 La transformation des durées par la fonction exponentielle.**

Les durées sur l'axe  $y$  sont égales ( $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ ). La transformation est faite par la fonction  $\exp(x)$ , où l'on retrouve pour chaque  $y$  un  $x$ . Le résultat est donc une diminution des distances entre les valeurs  $x$  et ainsi la diminution des durées ( $\Delta t'_1, \Delta t'_2, \dots, \Delta t'_n$ ) transformées par la fonction exponentielle.

Pour pouvoir calculer les valeurs  $x$  à partir des valeurs  $y$ , il est nécessaire de connaître la fonction inverse de la fonction exponentielle, qui est une fonction logarithmique. Il suffit donc de déterminer les limites pour les valeurs  $y$  et le nombre de pas entre ces limites pour pouvoir calculer les durées transformées par la fonction exponentielle.

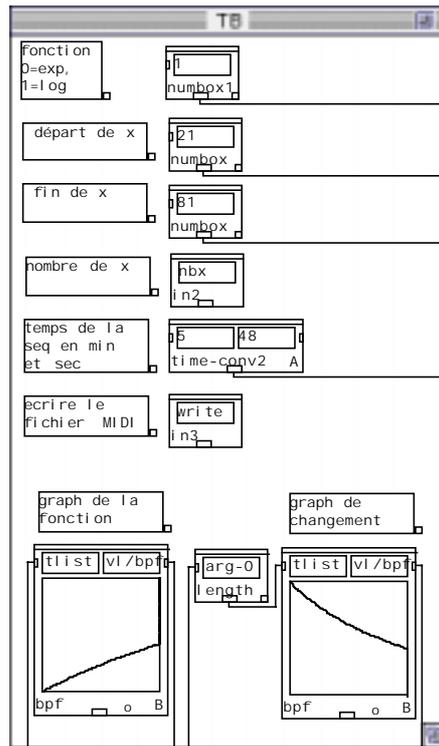
Le programme de calcul des transformations des durées est écrit avec le logiciel PatchWork, lequel permet une programmation graphique. La Fig. 2 montre les variables pour les réglages de programme.

L'utilisateur détermine la fonction pour le calcul (exponentielle pour le ritardando ou logarithmique pour accelerando)<sup>7</sup> et les limites pour le domaine de  $x$  (départ de  $x$ , fin de  $x$ ). Ensuite il détermine le nombre de pas entre ces limites (nombre de  $x$ ) et le temps total de la séquence générée (temps de la seq en min et sec). Après l'évaluation, le patch écrit le fichier MIDI correspondant aux réglages. Ce fichier peut être ensuite lu par le séquenceur MIDI afin de l'écouter et déterminer les changements éventuels pour produire d'autres séquences.

<sup>5</sup> Bien sûr il s'agit ici d'une année calendrier de 365 jours. Suivant la date de calcul il est donc possible d'avoir 366 battements pour une année bissextile. Pour des raisons évidentes il n'est pas possible de prendre en compte l'année tropique, ou l'année équinoxiale dont les durée sont: 365 jours 5 heures 48 minutes et 45 secondes pour l'année tropique et 365 jours 6 heures 9 minutes et 9 secondes pour l'année sidérale.

<sup>6</sup> Un procédé similaire est utilisé dans la pièce *Functions* pour les accélérations et les diminutions des durées.

<sup>7</sup> Il faut choisir la fonction inverse pour le calcul comme il est dit plus haut.



**Fig. 2 Réglages des paramètres pour les variations des durées.**

Les paramètres utilisés pour générer l'accélération dans la pièce *Terra* sont indiquées sur la Tab. 1.

Paramètre	Valeur
départ de $x$	21
fin de $x$	81
nombre de $x$	365
temps de la seq	5min 48sec

**Tab. 1 Valeurs des paramètres pour la composition *Terra*.**

Les valeurs de départ et de fin  $x$  indiquent que l'accélération se fait assez lentement pendant toute la durée de la pièce. En fait, en ajustant le départ de  $x$  plus vers le 0 zéro on obtient plus des extrêmes au début et à la fin de la séquence (les premières durées vont être plus longues et les dernières plus courtes).

Le nombre de  $x$  indique tout simplement le nombre de jours dans l'année pour laquelle est fait le calcul.

Le temps de la séquence est déterminé par rapport à la durée totale de la pièce. Une fois cette durée est défini, il faut enlever les durées des solos des instruments et on obtient ainsi la durée pour la séquence d'accélération.

## 6 Mouvement des objets célestes

Transformation des données de mouvement apparent des objets célestes est utilisée dans deux couches d'écriture. Il s'agit d'abord de mouvement de deux objets le plus visibles à l'oeil: le Soleil et la Lune, et ensuite de mouvement de tous les objets visibles sur le ciel nocturne.

Suivant le cas, ces données sont représentées par les solos des instruments ou par la bande sur laquelle est enregistré la synthèse soustractive issu de la transformation des paramètres attribués à chaque objet dans le ciel.

### 6.1 Solos des instruments

Les battements réguliers sont interrompus par douze solos du quatuor, trois solos de percussions et deux solos du quatuor avec les percussions (voir aussi la Tab. 2). Les douze solos du quatuor correspondent à l'apparition de la

pleine lune et les solos de percussions correspondent à la culmination du soleil apparente dans le ciel pendant une année d'observation.

Instruments	Événement
quatuor	pleine lune
percussions	solstices
ensemble	équinoxes

**Tab. 2 Attribution des événements célestes pour l'orchestration.**

Ainsi, l'apparition temporelle des solos correspond aux moments importants de mouvements de deux objets le plus visible dans le ciel. Par contre, le matériau pour la construction des séquences correspond aux données qui se rapportent aux objets qui se trouvent dans le ciel à ce moment donné.



**Fig. 3 Les hauteurs et les dynamiques des notes calculées pour la constellation "Aquarius".**

Le matériau pour les solos du quatuor est pris des données du zodiaque. Les données des étoiles de la constellation du zodiaque correspondant aux mois dans lequel se trouve la pleine lune sont transcrits pour déterminer les hauteurs des notes, la dynamique et leurs placements dans la séquence.

On peut voir la transcription des hauteurs sur la Fig. 3. La hauteur est calculée de la même manière que la fréquence des filtres pour la synthèse (voir la Tab. 3) où la classe spectrale de l'étoile fixe la hauteur de la note.

L'emplacement de la note est établi suivant la position de l'objet sur le ciel par rapport à l'observateur de gauche à droite (dans l'exemple, il s'agit en fait des numéros des mesures). La magnitude de l'objet représente la dynamique de chaque note (voir aussi la Tab. 3).

Le calcul des paramètres est identique au calcul de filtrage pour le "fond sonore" (comme c'est décrit dans le chapitre Ciel nocturne), sauf que dans ce cas les valeurs résultant de ces calculs doivent être arrondis pour la notation traditionnelle et les possibilité de jeu sur les instruments.

05 Jan 96      1 - lune (CAP)      Terra

The musical score is for the instruments Tr (Trumpet), Cor (Cornet), Trb (Trombone), and Tba (Tuba). It features a 1-second scale bar at the top left. The score is written in proportional notation, with time markers in seconds (e.g., 1.48, 3.76, 6.09, 8.35, 10.61, 12.87, 15.14) along the bottom. Notes are labeled with Greek letters (α, β, γ, ζ, η, θ, ι, λ, μ, ν, ξ, ο, π, ρ, σ, τ, υ, φ, ψ, ω) and numbers (1-18). Dynamics such as *pp*, *mp*, and *p* are indicated throughout the score.

**Fig. 4 Le solo des instruments pour la deuxième pleine lune de la constellation "Aquarius".**

L'exemple sur la Fig. 4 montre l'application concrète dans la pièce. La partition est écrite dans la notation proportionnelle et les numéros au-dessus des portées indiquent le temps en secondes. Le nom de l'objet représenté par la note est écrit au-dessus de la note par la lettre grecque ou le chiffre, tel qu'il apparaît sur les cartes. Le numéro d'ordre de la note est écrit juste au-dessous de son nom.

Chaque note comporte trois paramètres: la hauteur de la note, la dynamique pour chacune des notes et la position dans le temps. Les deux premiers paramètres sont indiqués dans la notation classique. La position de la note dans le temps est marquée par sa position dans la partition. Les chiffres en bas de la partition montrent le temps exact où devraient se situer les notes.

## 6.2 Ciel nocturne

Le "fond sonore" est joué par le dispositif électroacoustique où la synthèse du son est calculée en fonction de la position et d'autres données des corps célestes.

Le globe céleste est symbolisé par le bruit blanc qui est filtré. Le filtrage s'effectue avec les filtres "passe-bande". Chaque filtre représente un objet qui apparaît dans le ciel. Les données pour les filtres correspondent aux données des étoiles décrites dans la Tab. 3.

Etoile	Filtre
classe spectrale	fréquence de filtre
magnitude	amplitude de filtre
position dans le ciel	position dans l'espace

**Tab. 3 Attribution des données sur les paramètres de filtrage.**

L'application est faite à l'aide de logiciel PatchWork pour lequel j'ai écrit quelques bibliothèques spécialisées pour le calcul des éphémérides et leurs transformations en paramètres musicaux. Le résultat est le fichier texte directement utilisable comme le fichier score pour le programme CSound.

### 6.2.1 Classe spectrale

Une étoile appartient à une classe spectrale suivant sa température. Les températures varient entre environ 2000 et 40000 K. Cette donnée est utilisée pour déterminer la fréquence d'un filtre. Les températures de chaque objet sont attribuées par une transformation linéaire sur l'ensemble des fréquences comprises entre 40Hz et 12000Hz.

Ainsi chaque objet se voit assigner une fréquence qui correspond à la classe spectrale de l'objet. Plus la température de l'objet est grande, plus la fréquence de filtre va être grande.

### 6.2.2 Magnitude

La magnitude de l'objet exprime sa "visibilité". Plus l'objet est visible, plus sa magnitude est petite. Cette donnée sert entre autres à pouvoir filtrer le nombre des objets qui vont être prisent dans le calcul par la suite. A titre de comparaison : le nombre des objets avec la magnitude plus petite que 3 est 145, et plus petites que 4 est 410<sup>8</sup>.

La magnitude est attribuée à l'amplitude du filtre pour un objet donné. La transformation se fait en deux étapes. En premier lieu, les valeurs sont "renversées" par une fonction 1/x. cette fonction permet d'inverser les valeurs où les plus petites valeurs deviennent les plus grandes et vice versa. Pour cela, il faut "déplacer" les valeurs sur l'axe  $x$  pour n'obtenir que les valeurs positives.

La deuxième étape est la même que dans le cas de transformation de fréquences, où l'ensemble des données est transformé sur l'ensemble des amplitudes par une fonction linéaire.

### 6.2.3 Position

La signification de la position d'un objet observé dans le ciel est reprise dans la position spatiale du filtre. Cette position peut être soit frontale, dans le cas d'une diffusion stéréo, soit la diffusion peut se faire autour de l'auditeur, dans le cas d'une diffusion quadriphonique.

Le logiciel calcule l'angle de départ et l'angle d'arrivée de l'objet. Si la diffusion de la bande est une diffusion stéréo, le calcul de la spatialisation dans CSound affecte le son par la diminution de son amplitude et l'augmentation de la réverbération pour les objets plus éloignés de l'auditeur. S'il s'agit de la diffusion quadriphonique, le trajet est calculé pour le cercle autour de l'auditeur. La notion de hauteur de l'objet ne rentre pas en compte dans le calcul.

## 7 Conclusion

L'exploitation des données non musicales et leurs transformation en paramètres musicaux donne une nouvelle dimension à la composition traditionnelle. Le compositeur est obligé de mettre en accord non seulement ses idées et ses inspirations musicales, mais en même temps de suivre les "obligations" imposées par le choix de modèle utilisé pour la composition.

Il faut donc en même temps se plier devant les exigences du matériau, mais aussi trouver les solutions de l'intégration de celui-ci dans le projet musical, pour qu'il n'en "souffre" pas et pour que l'idée principale reste toujours l'idée musicale.

Comme pour la composition traditionnelle, le modèle ici n'est nullement une obligation imposée mais plutôt un guide à partir duquel le compositeur peut travailler et construire la pièce. À l'inverse d'une sonification des données utilisée par les scientifiques pour une illustration sonore, le modèle et les données scientifiques ne sont qu'une étape préliminaire dans le processus de la composition et non son but ultime.

## 8 Bibliographie

Le grand Atlas d'Astronomie, Encyclopaedia Universalis France, 1990

**Erreur ! Impossible d'ouvrir ce fichier.**

**Erreur ! Impossible d'ouvrir ce fichier.**

Mercoureff N., "MacAstro" version 1.6 © 1989-93

NASA, Astronomical Data Center FTP site, <http://adc.gsfc.nasa.gov>

---

<sup>8</sup> Ici il s'agit des étoiles visible par un observateur situé à Paris (latitude 48°52", longitude 2°20").

**Erreur ! Impossible d'ouvrir ce fichier.**

**Erreur ! Impossible d'ouvrir ce fichier.**

Vercoe Barry, Csound: A Manual for the Audio Processing System and Supporting Programs with Tutorials, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1992