

Introduction aux techniques de synthèse du son

S. Natkin 2008

(avec des emprunts à P. Cubaud
RSX 104 Image et Son Numérique)

Généralités

Construction d'un son par un dispositif électronique (ici numérique) .

Synthèse par tables d'ondes

Par exploration et altérations d'échantillons enregistrés

Synthèse additive

Par addition de signaux simples (sinusoidaux par exemple)

Synthèse granulaire

Multiplexage temporel de petits éléments dont l'ensemble des éléments sont contrôlés

Synthèse soustractive

Par filtrage de signaux riches en harmoniques

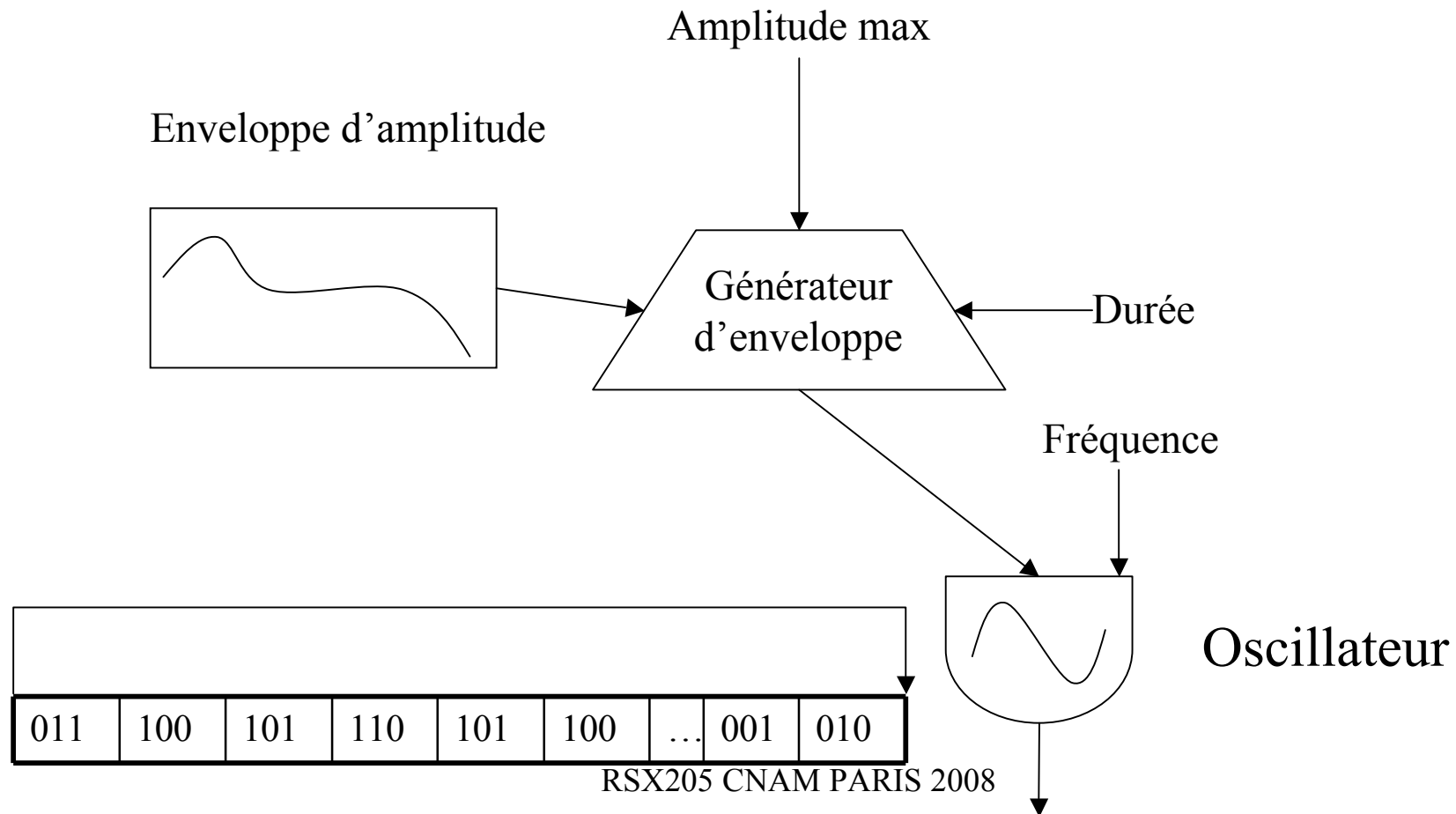
Synthèse par modulation

Par variation temporelle d'un paramètre d'un signal se décomposant selon une série de Fourier dont les harmoniques dépendent de ce paramètre

Synthèse par modèles physiques

Par simulation des lois acoustiques

Synthétiseur de base



Synthèse par modulation

Principe:

Moduler un Signal sinusoidal par un autre signal

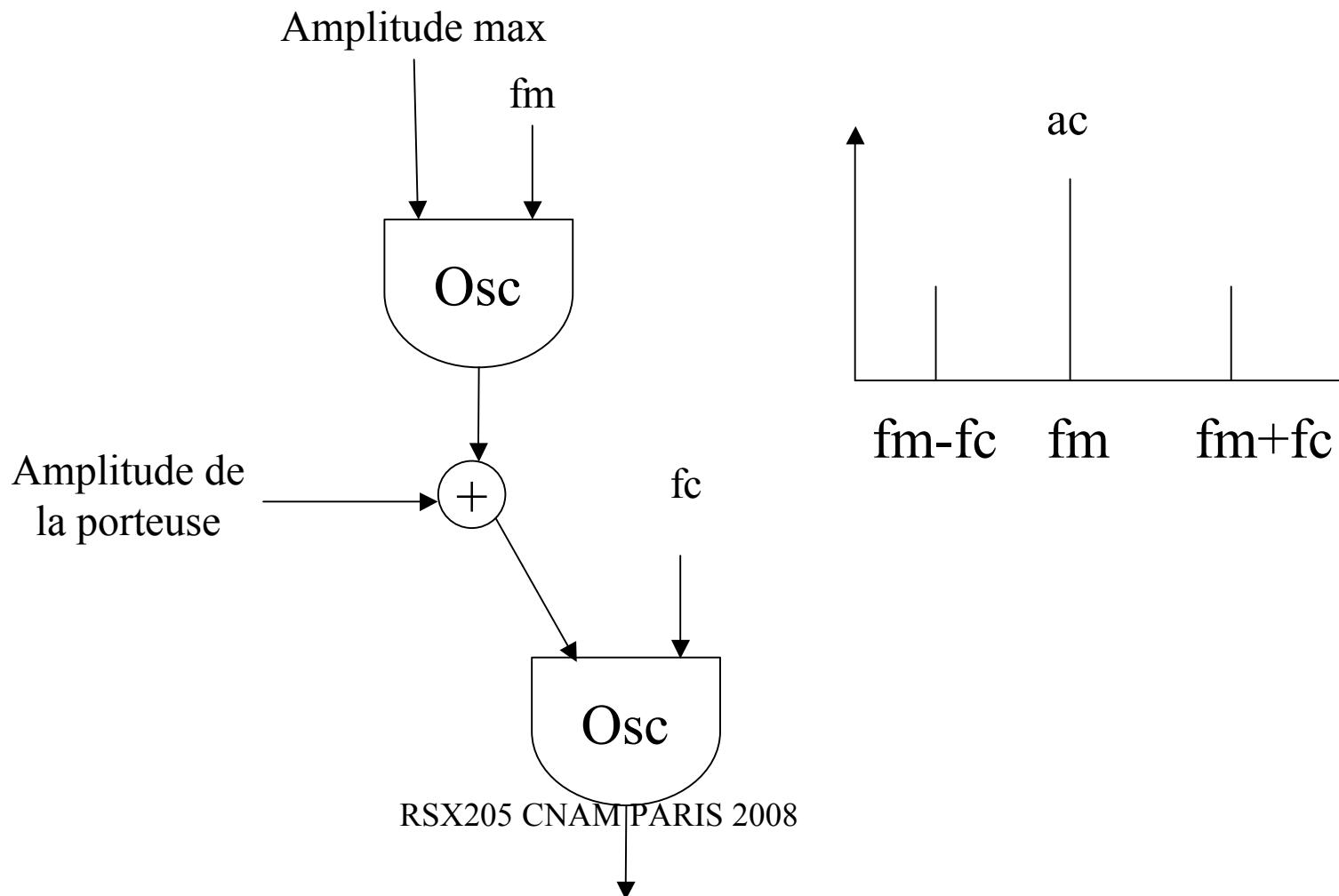
$S(t) = A(t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ Amplitude

$S(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi(t))$ Phase

$S(t) = A \sin(\omega(t) \cdot t + \varphi)$ Fréquence

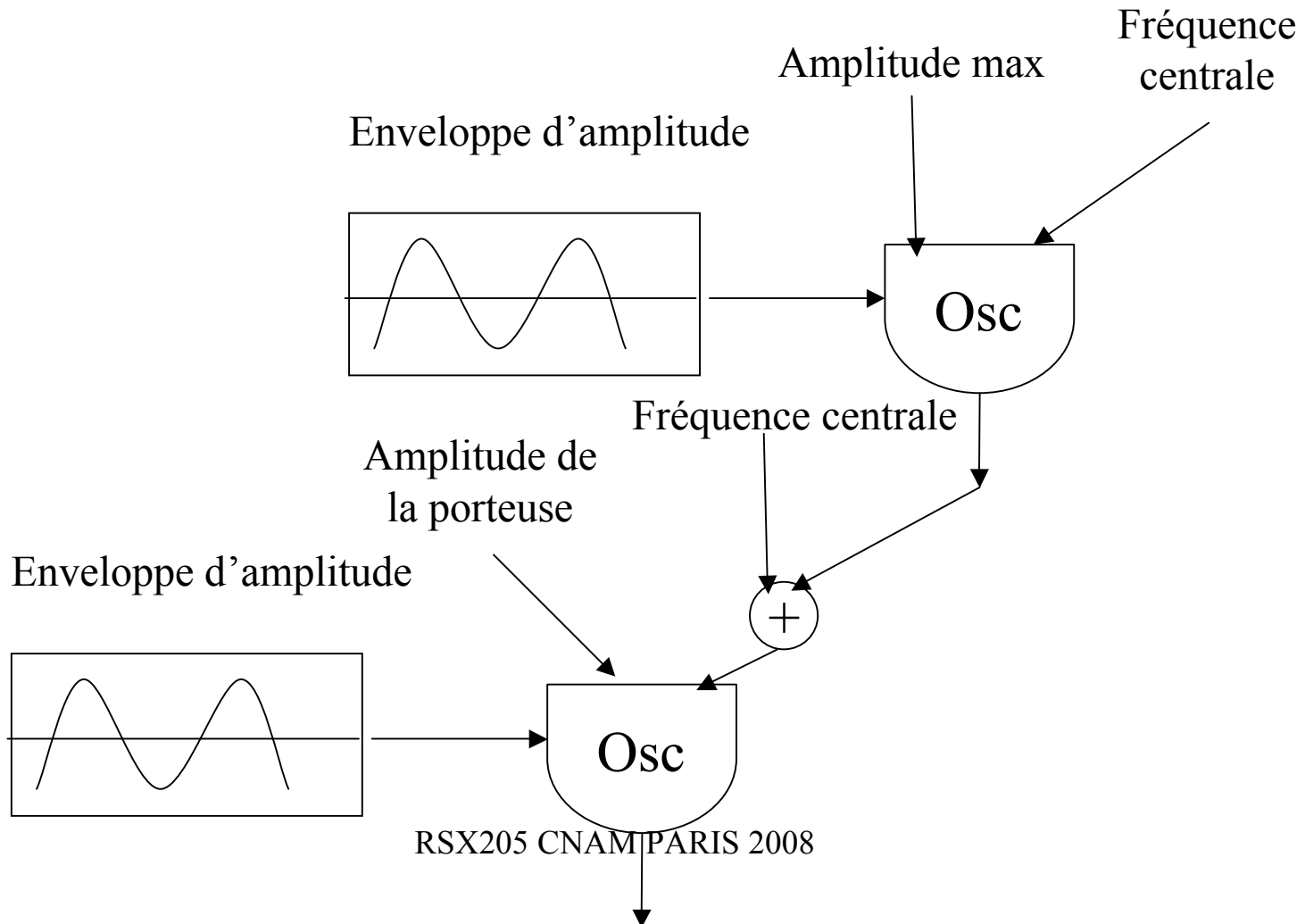
Modulation d'amplitude

Schéma de base



Modulation de fréquences

Schéma de base

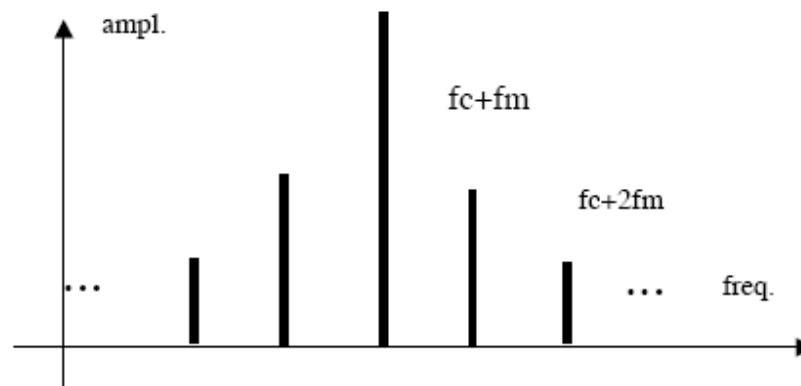


- une fréquence porteuse (fc)
- un signal modulant (fm)

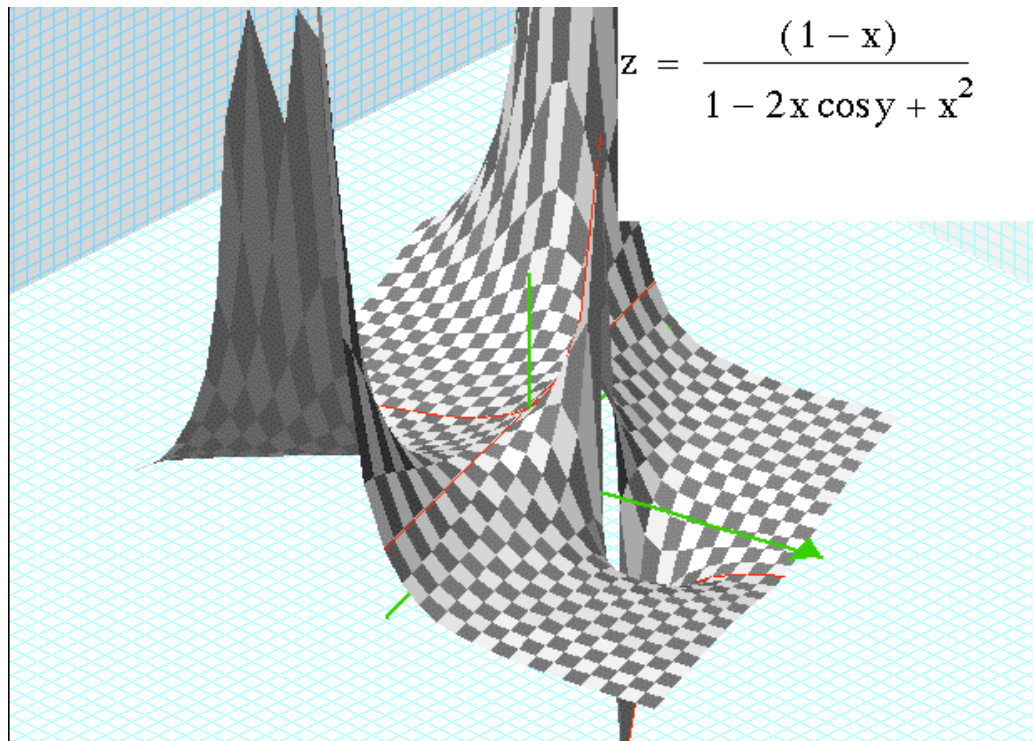
$$\sin(\omega_c t + I \sin \omega_m t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(I) \sin(\omega_c + n\omega_m)t.$$

⇒ Un spectre très riche (harmonique = fct de Bessel)

⇒ facile à fabriquer



Utilisation de fonction complexes



$$\frac{1-x}{1-2x\cos(\theta)+x^2} = 1 + 2x\cos(\theta) + 2x^2\cos(2\theta) + \dots$$

KSAZ03 UNAM PARIS 2008

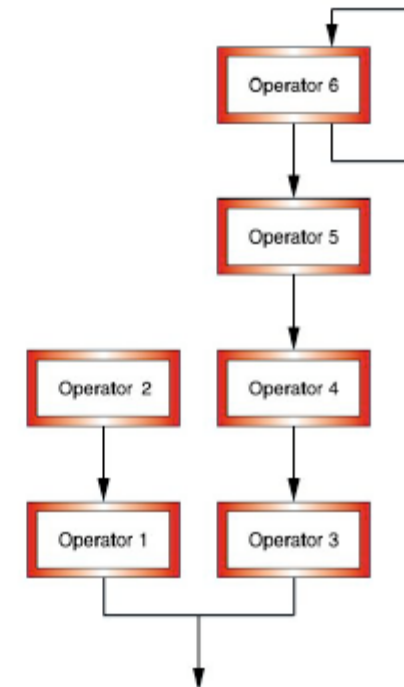
Ex. du synthétiseur Yamaha DX7 (1983)

- 6 oscillateurs controlables en freq. et amplitude ("opérateurs")
- un générateur d'enveloppe associé à chaque opérateur pour varier l'amplitude (si modulateur) ou volume (si porteur)
- plusieurs schémas d'interconnexion ("algorithmes")



Plein de sons sur <http://www.synthmania.com/dx7.htm>

(son Grovindug.mp3)

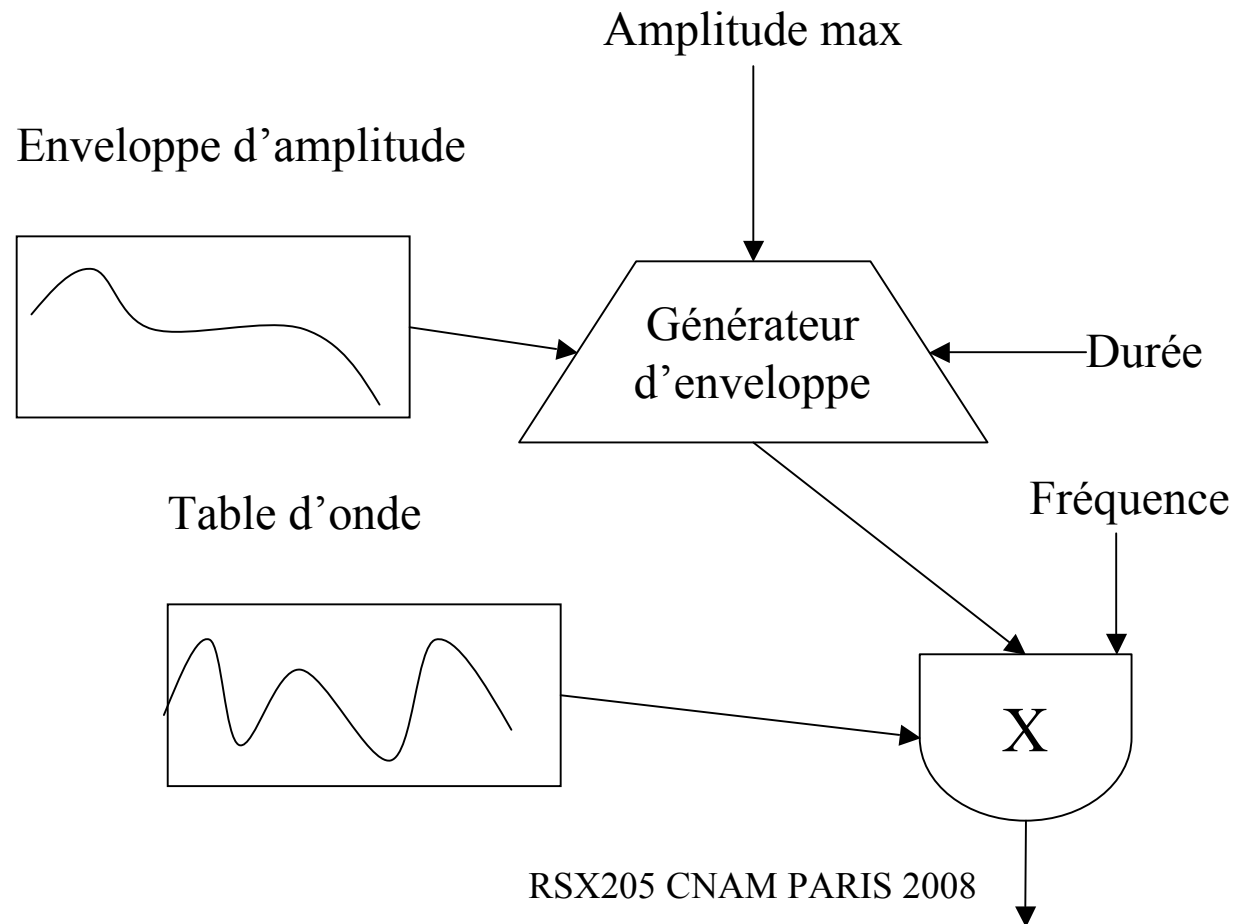


<http://www.soundonsound.com/sos/may00/articles/synth.htm>

Synthèse par table d'onde

- On part d'une table d'un son enregistrés qui est lue périodiquement
- On modifie le fréquences soit en « sautant des échantillons », soit en créant artificiellement (avec éventuellement un processus d'interpolation)
- Les échantillons peuvent être altérés en hauteur en suivant une enveloppe d'amplitude

Schéma de base



Utilisation de plusieurs tables

- Enchaînées (pour des périodes déterminées)
- Additionnée (Somme des constructions précédentes)
- Version plus complexes (terrains d'onde)
- Standard Microsoft Downloadable Sound Level (DSL)

Synthèse additive

$$y = 1 + \sin \pi x + \frac{1}{3} \sin (3 \pi x) + \frac{1}{5} \sin (5 \pi x) + \frac{1}{7} \sin (7 \pi x)$$

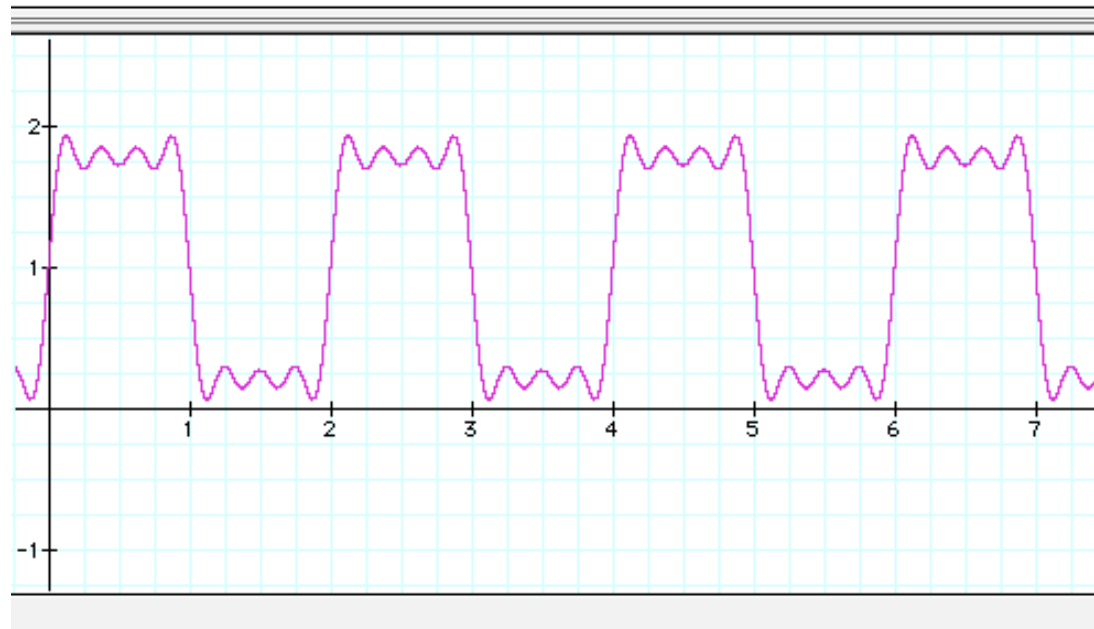
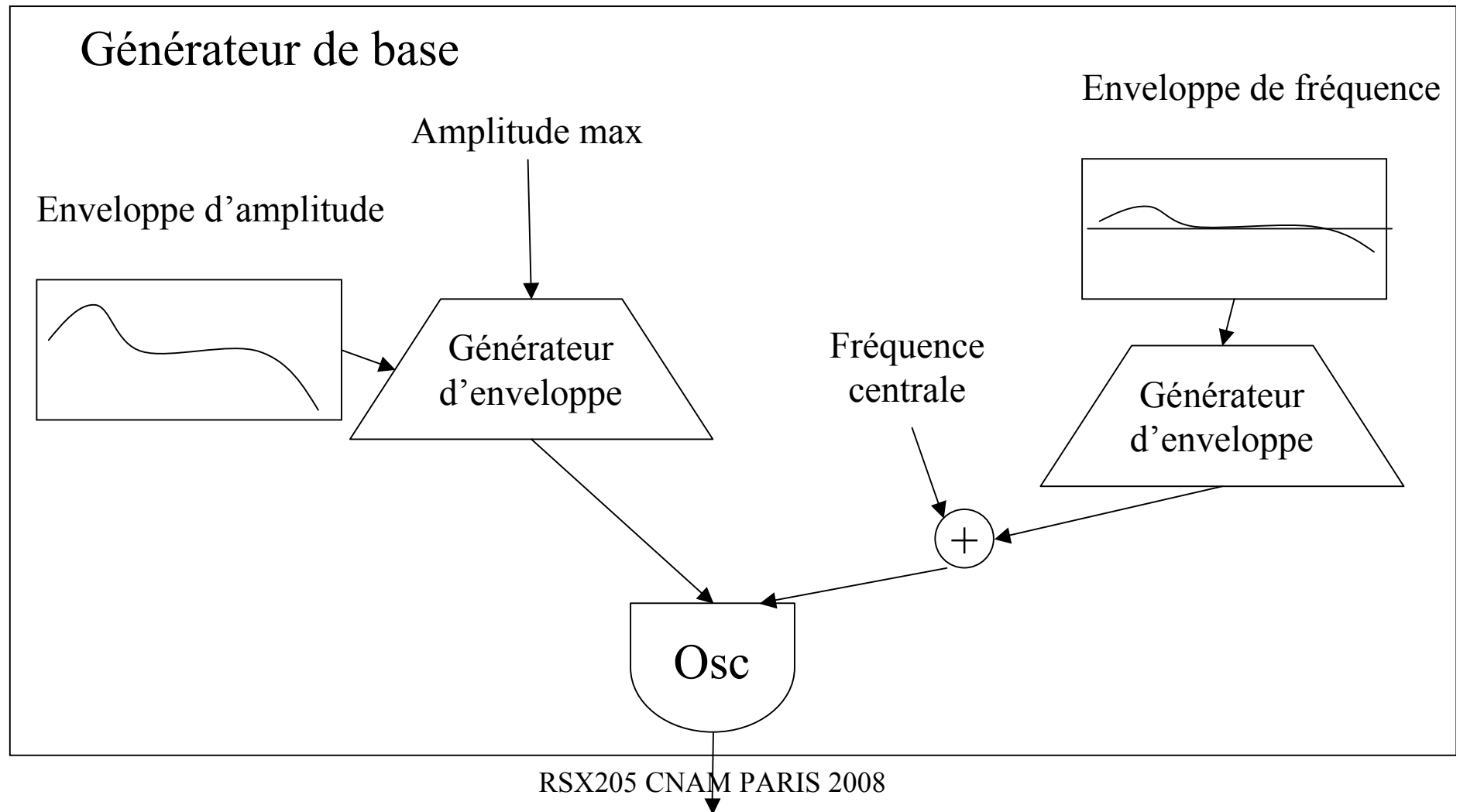
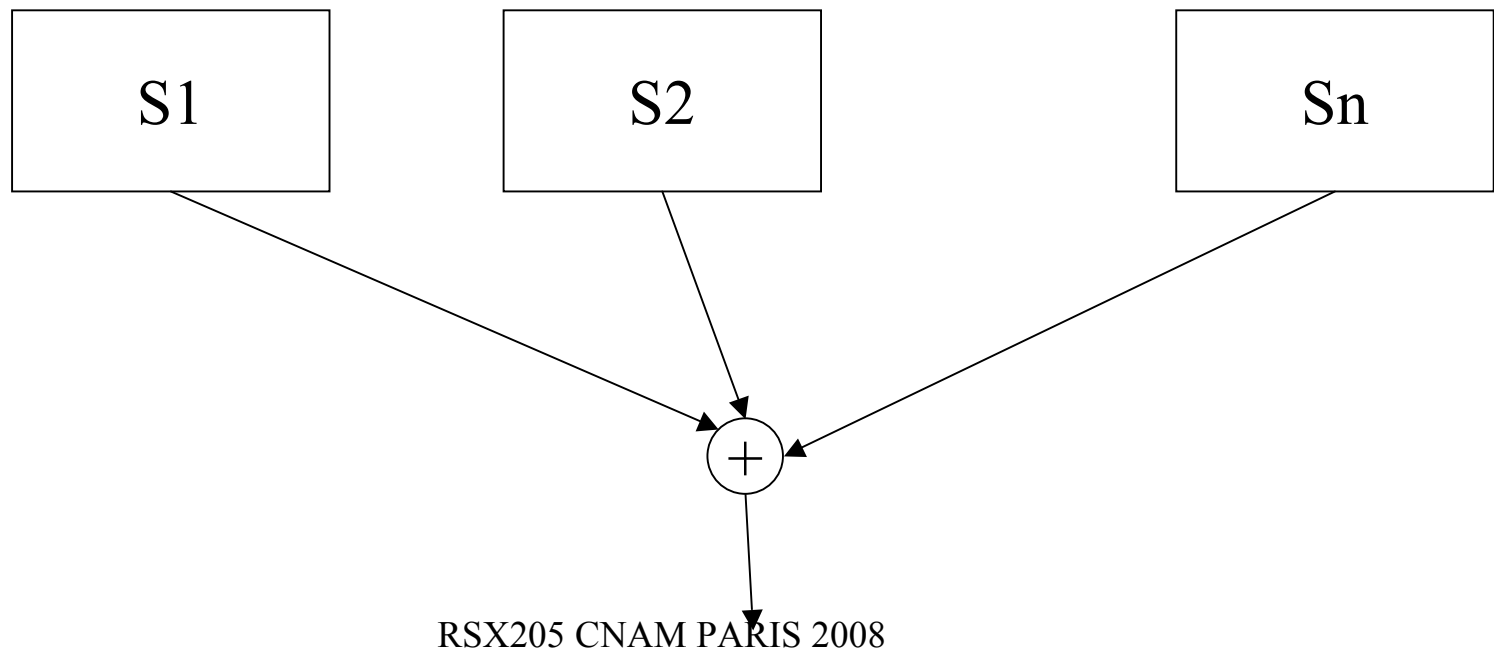


Schéma de base



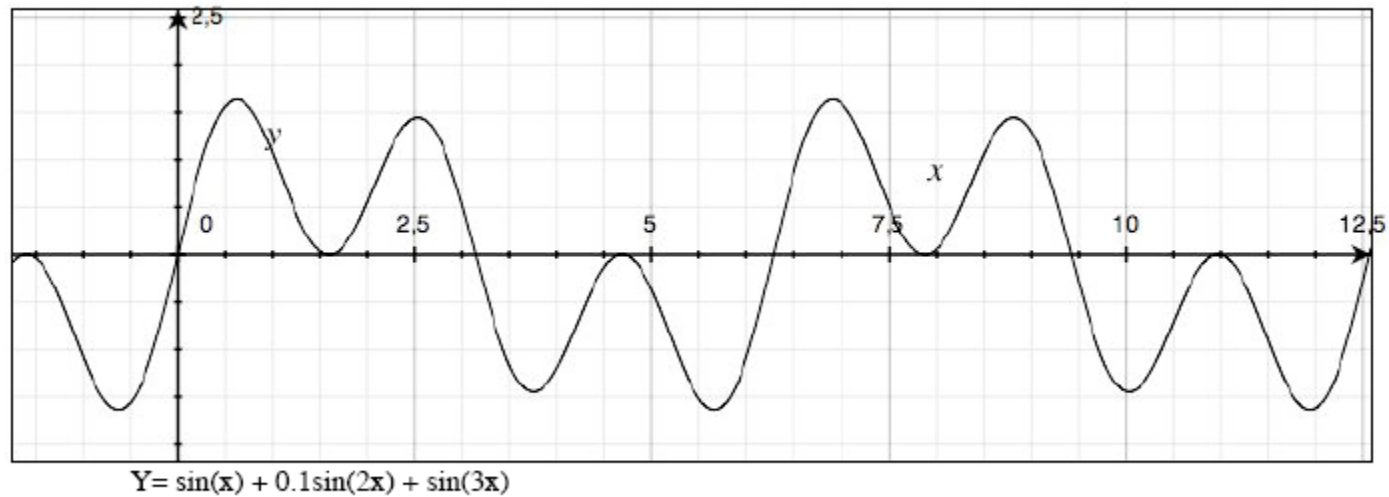
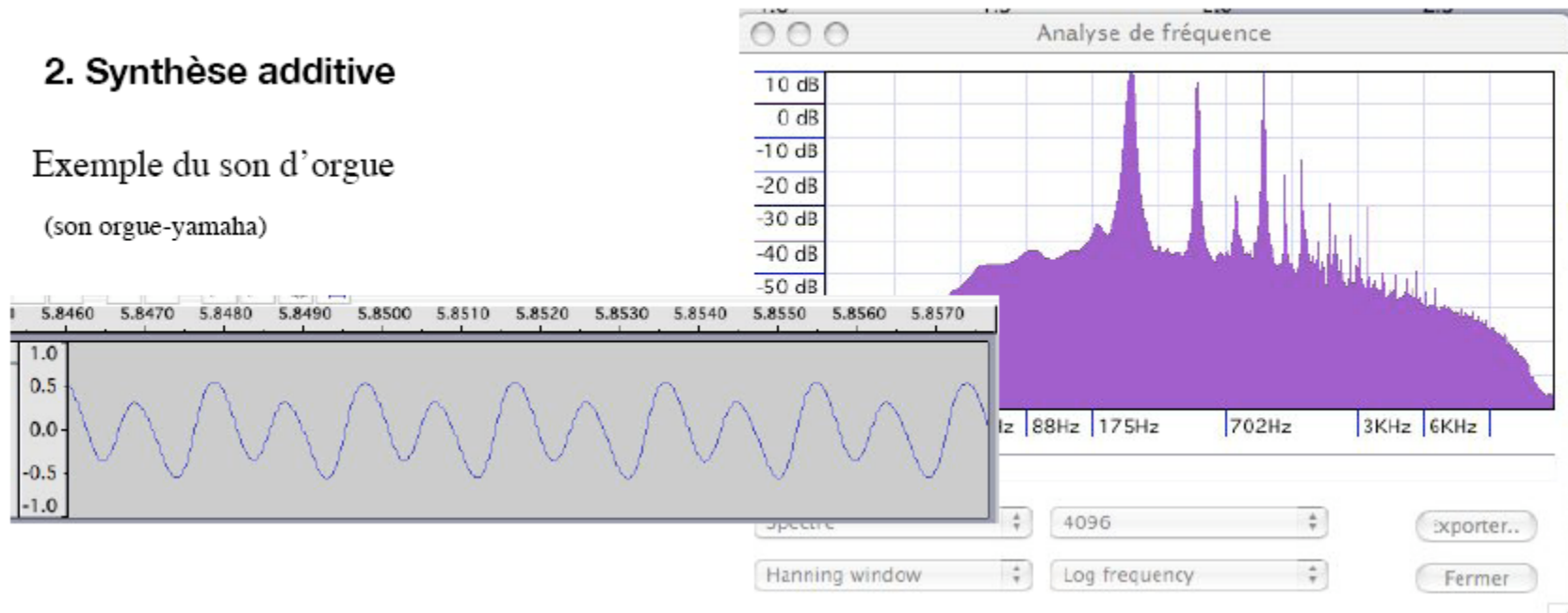
Synthèse complexe



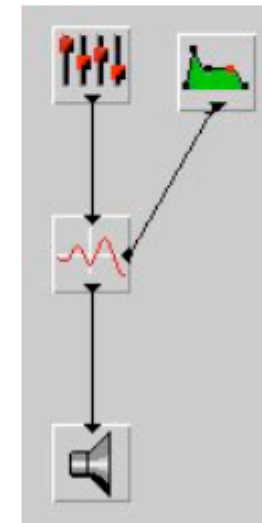
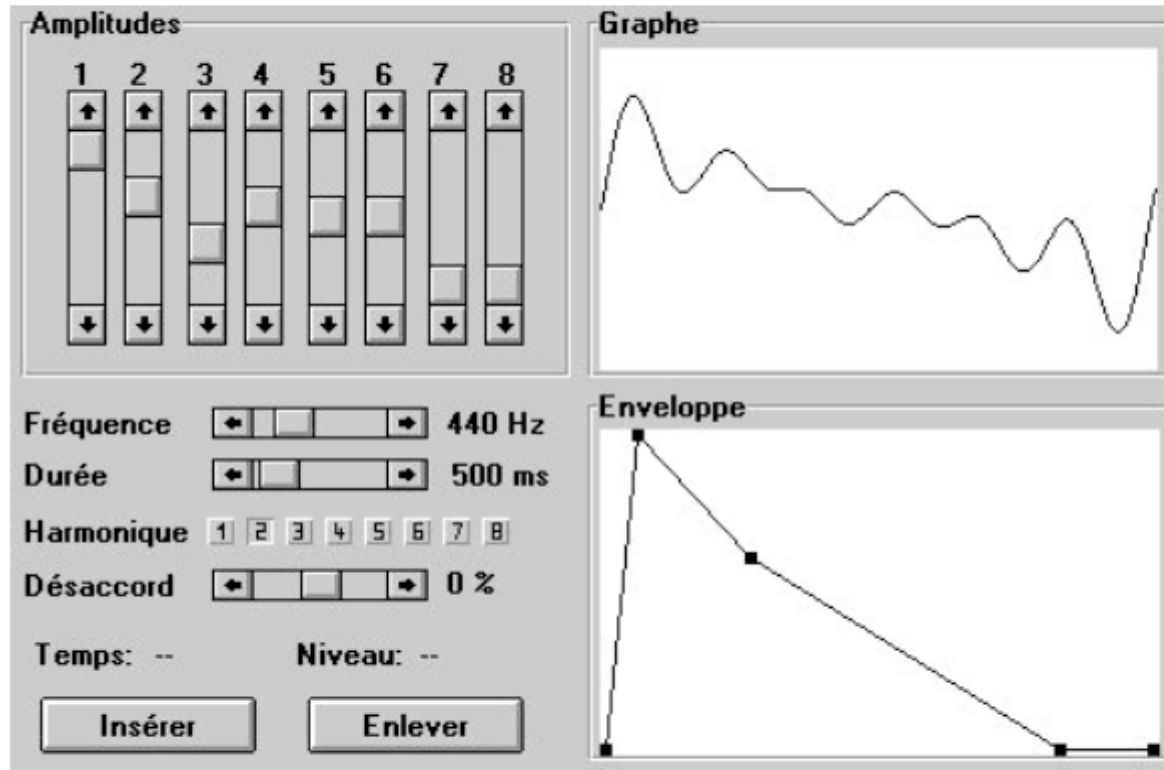
2. Synthèse additive

Exemple du son d'orgue

(son orgue-yamaha)



exemple avec VirtualWaves



(son synadd.wav)

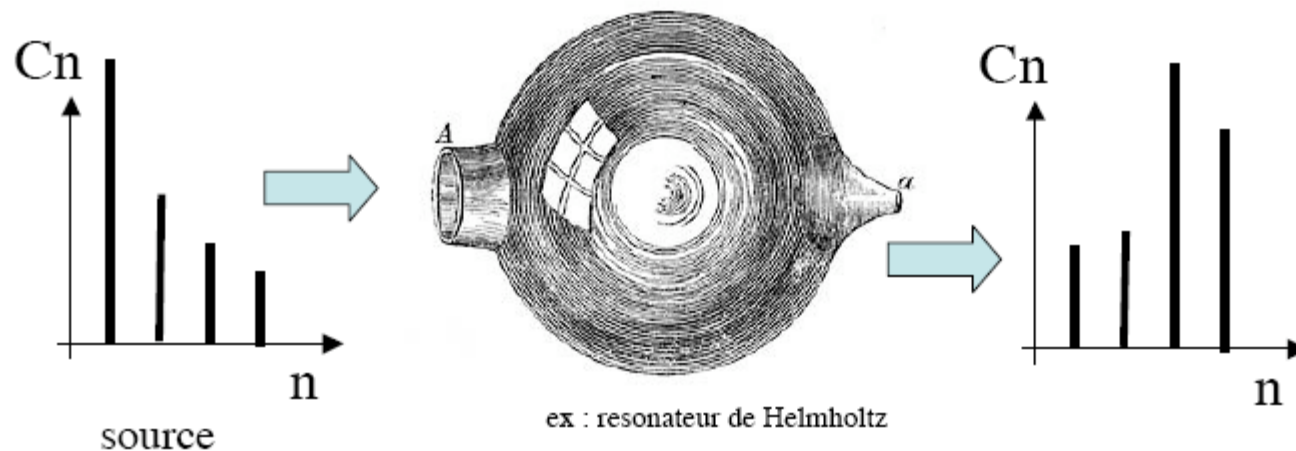
Daniel BEAUFILS, Gérard SERRA © INRP - TECNE
http://www.inrp.fr/Acces/JIPSP/phymus/m_pedag/syntadd/ac_synt.htm

RSX205 CNAM PARIS 2008

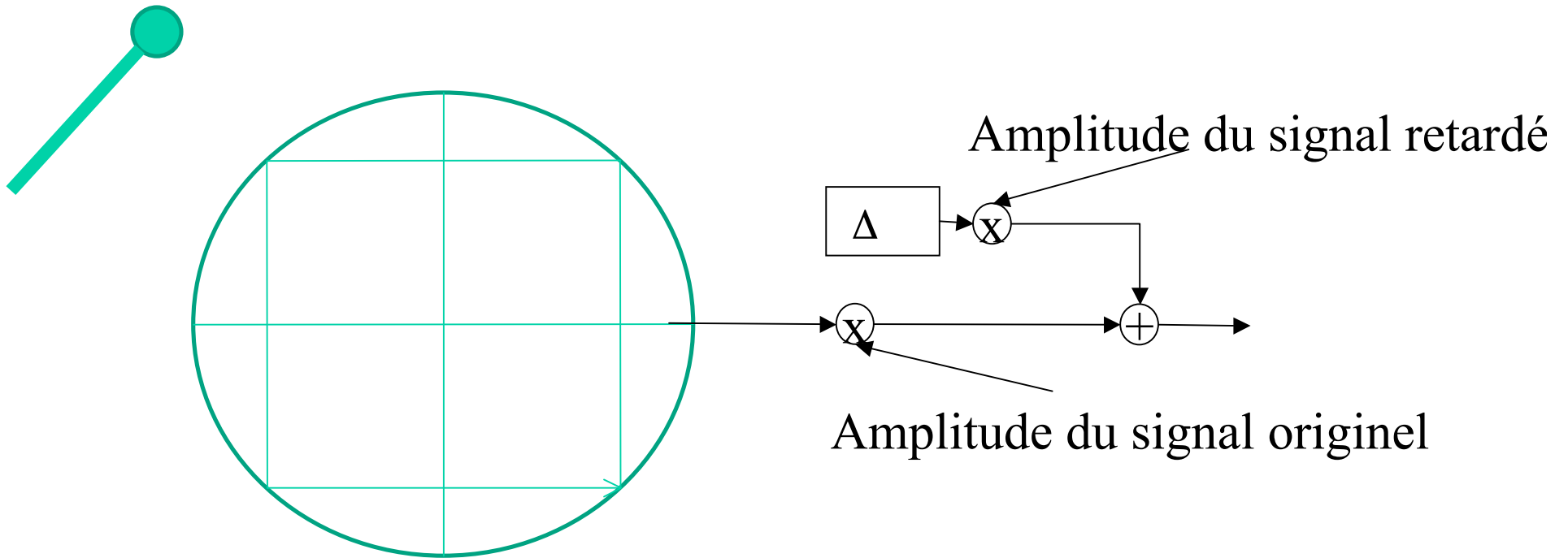
Synthèse Physique

Modéliser les sources sonores et en déduire l'évolution de l'intensité (pression) des ondes sonores

Source sonore : un excitateur + un résonateur (+ rétroaction)
ex : corde pincée-relâchée + caisse = guitare, clavecin, piano...

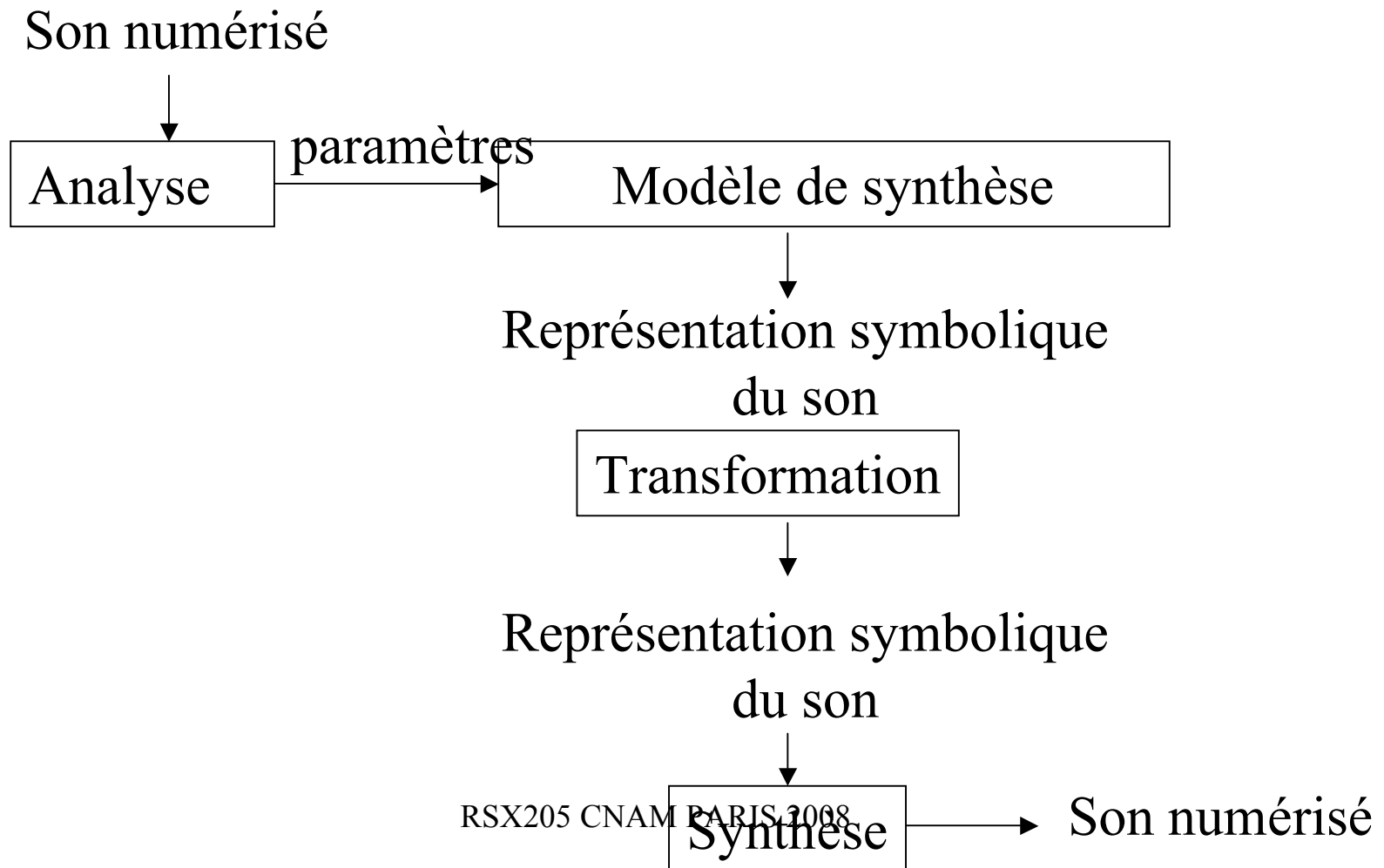


Exemple une percussion

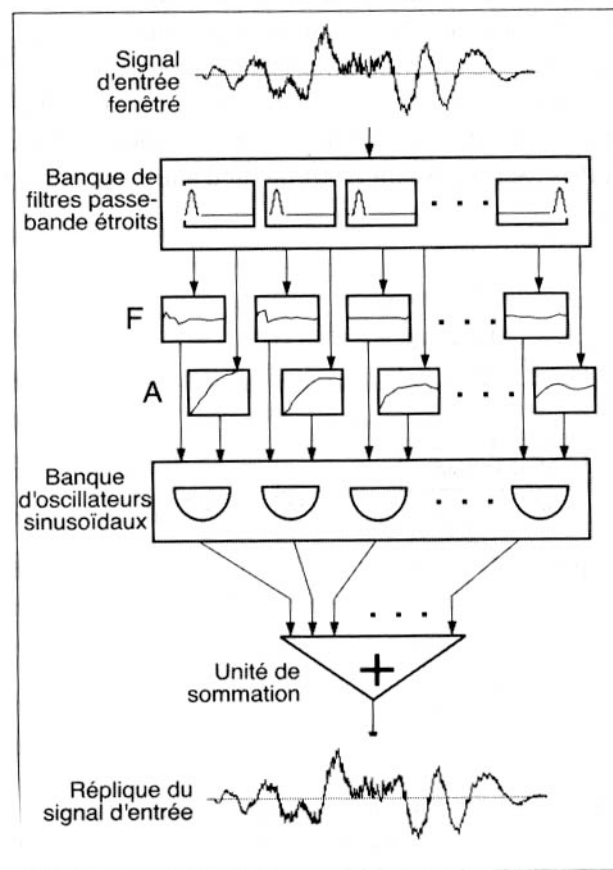


Analyse et re-synthèse

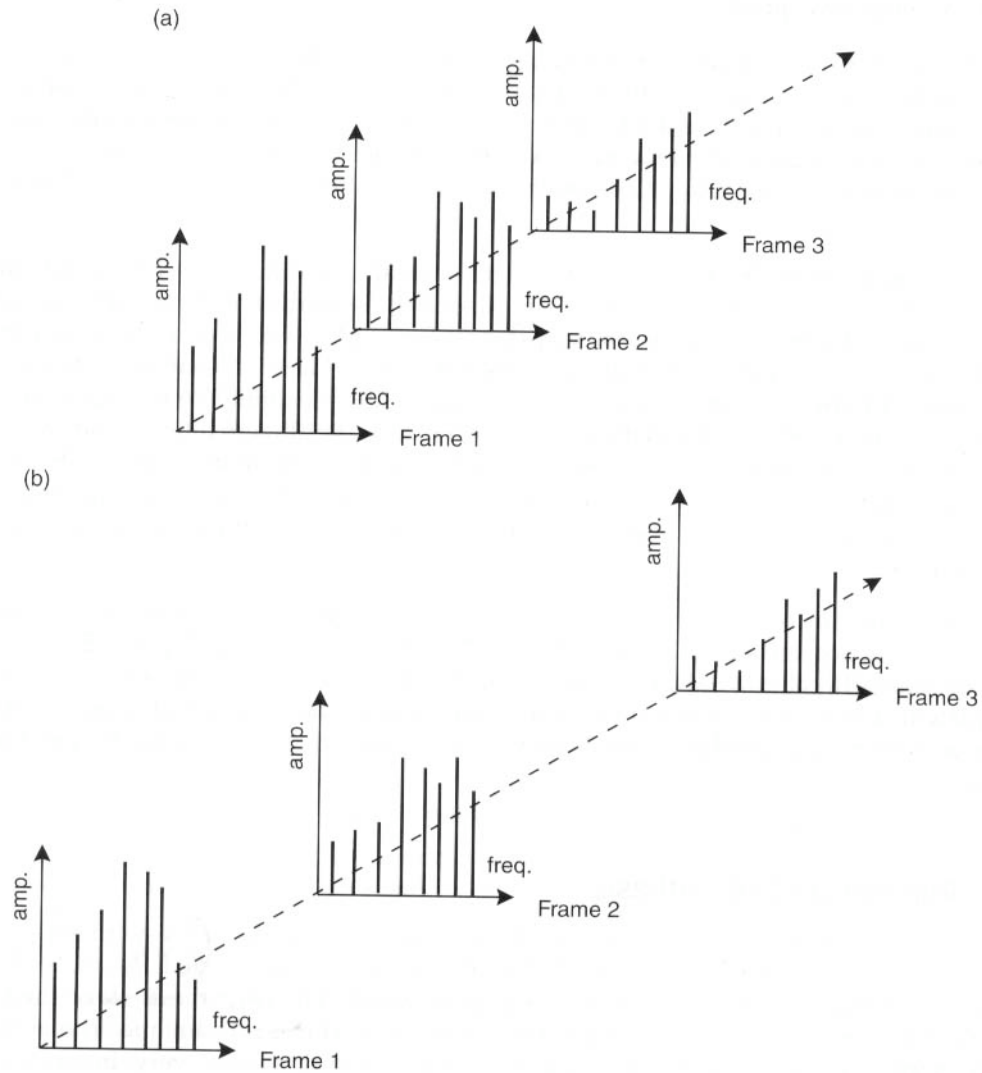
Principe général



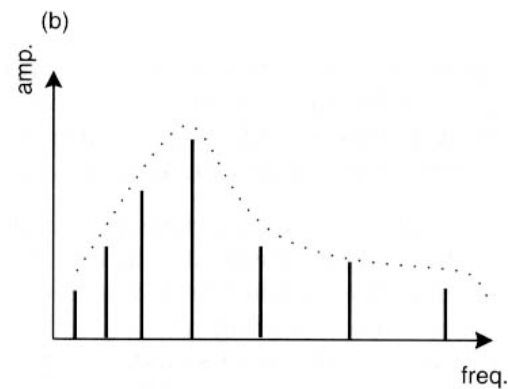
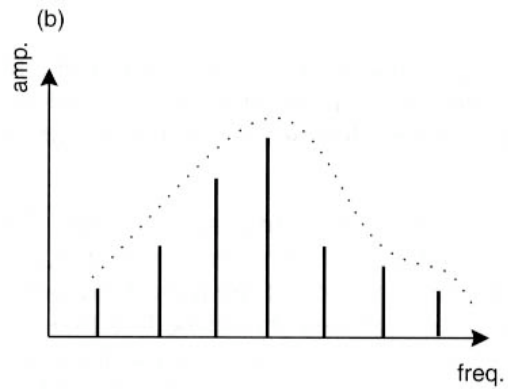
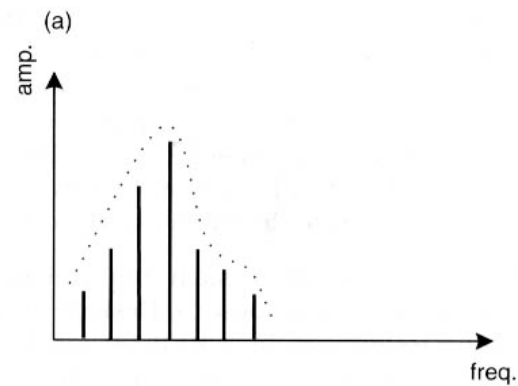
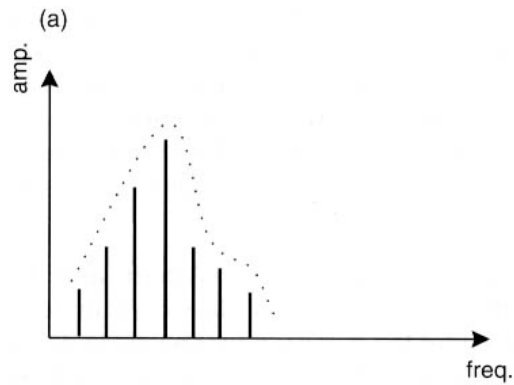
Resynthèse additive



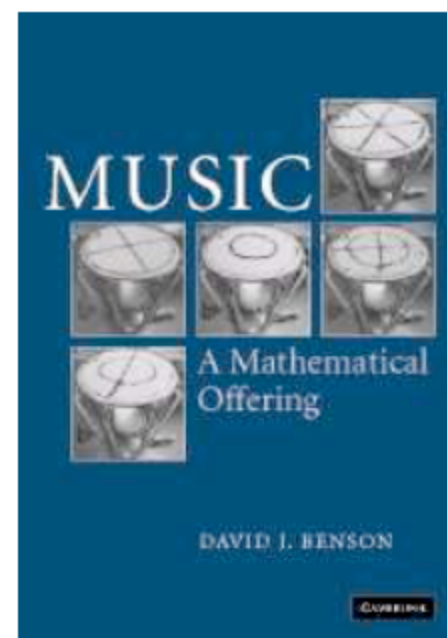
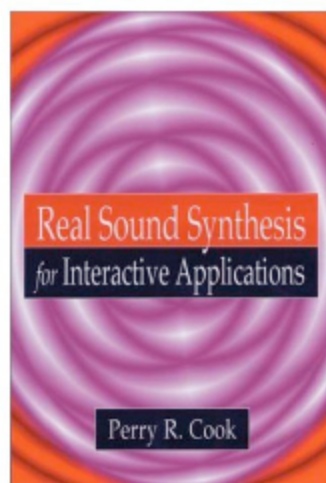
Transformation par resynthèse (1)



Transformation par resynthèse (2)



Bibliographie



<http://www.maths.abdn.ac.uk/~bensondj/html/maths-music.html>

Introduction aux techniques de génération musicale

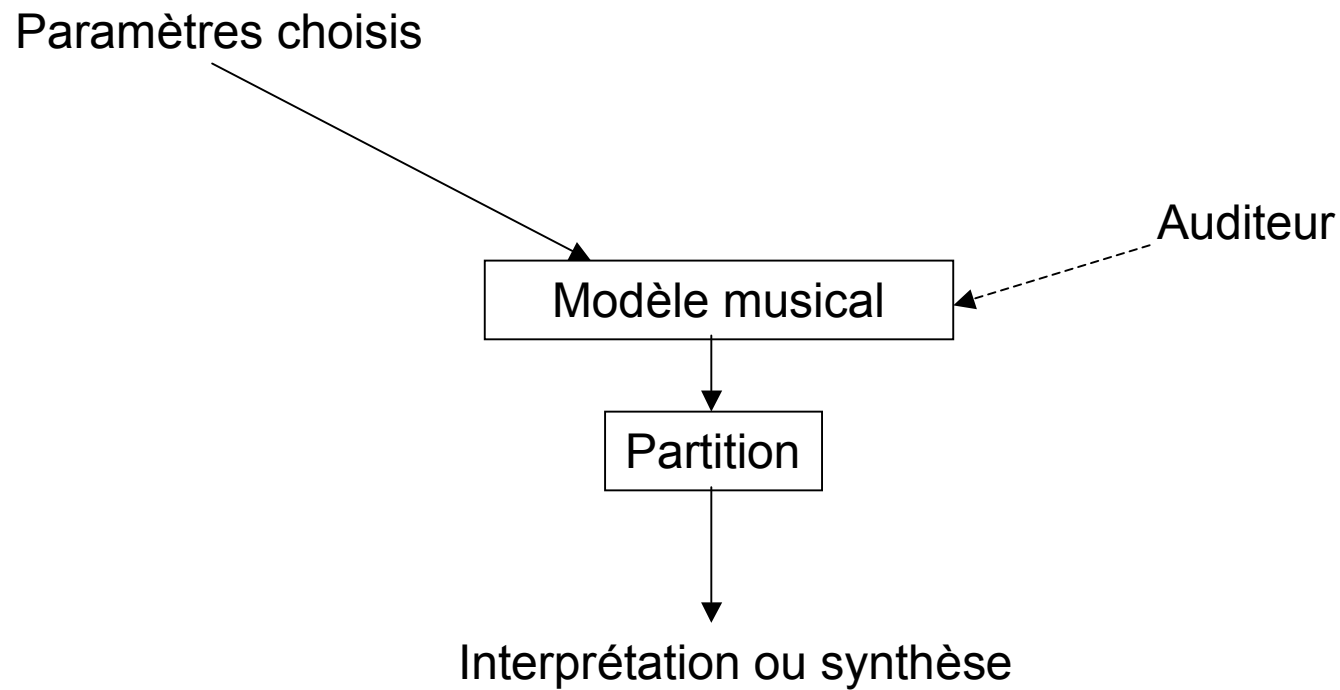
S. Natkin

2005

Quelques définitions

- Musique interactive: Musique dont l'évolution dépend des actions d'un auditeur (conscientes ?)
- Musique générative: musique générées par un modèle qui est implantée sous forme d'un programme:
 - Précalculée/ en temps réel
 - Déterministe/stochastique
 - Interactive/non-interactive
- On parle de musique lorsque ce qui est généré est une partition (représentation symbolique), qui est ensuite synthétisée
- On pourrait de même parler de son génératif en parlant de transformation générant directement du son, le modèle étant intégrés à la synthèse

Le principe général



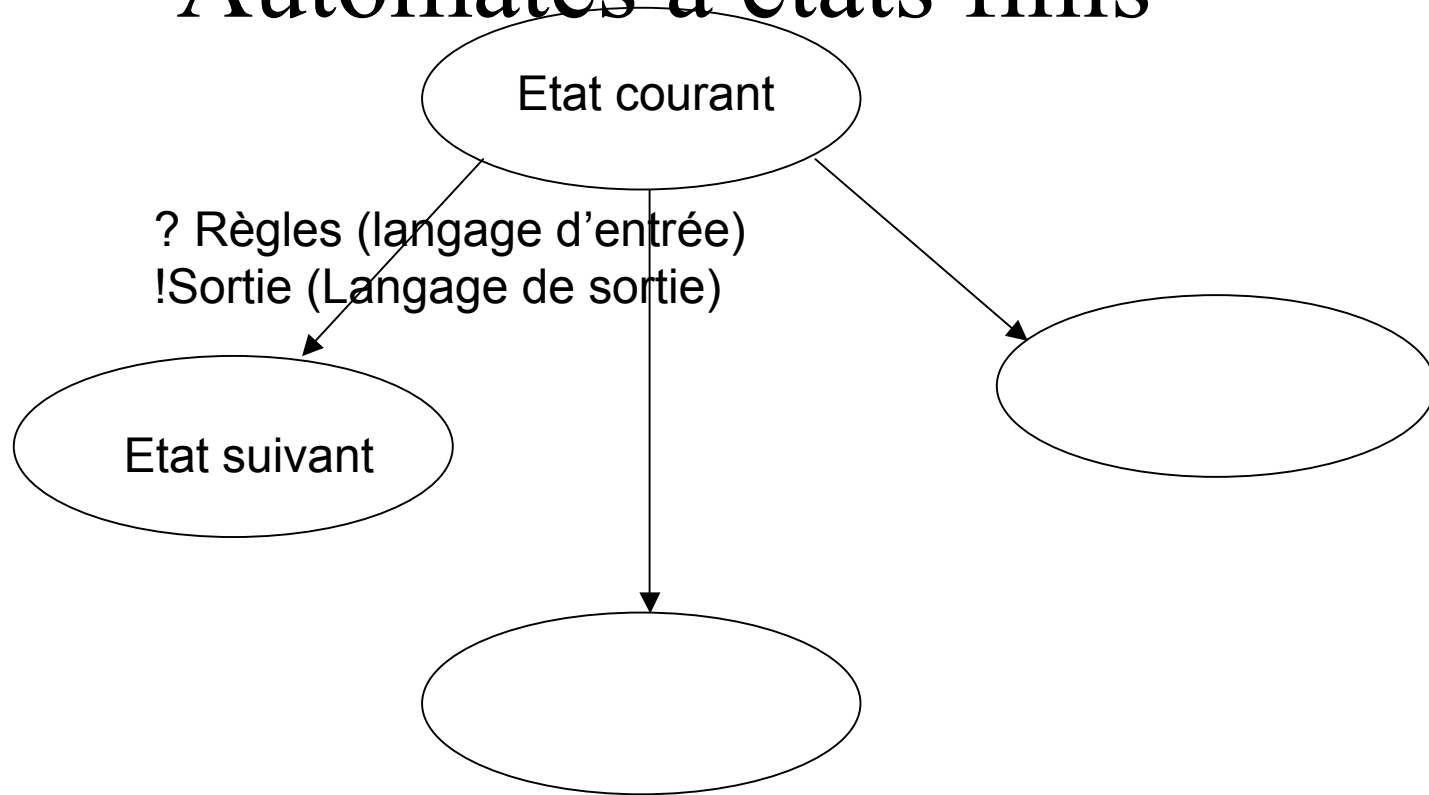
Que faut il générer ?

- Une mélodie
- Un rythme
- Une harmonie
- Une orchestration
- Une séquence de sons qui ne rentre pas dans un modèle musical conventionnel...

Les modèles peuvent être séparés ou conjoints

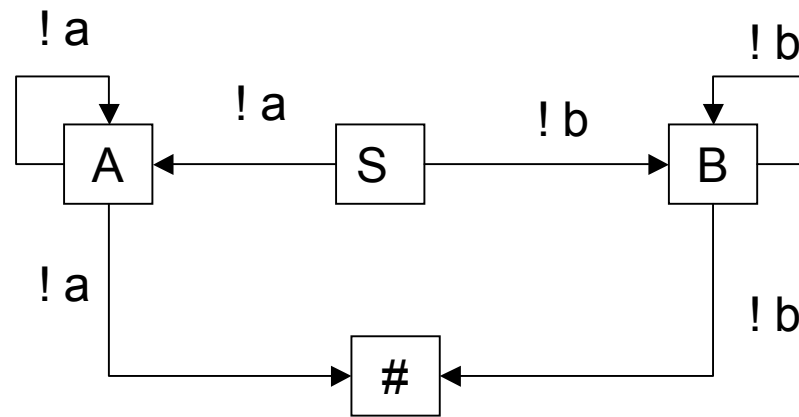
Les modèles états transitions

Automates à états finis



Automate déterministes si les règles issues d'un état sont exclusives
La séquence générée est soit le langage de sortie soit la suite des états

Un automates d'une grammaire



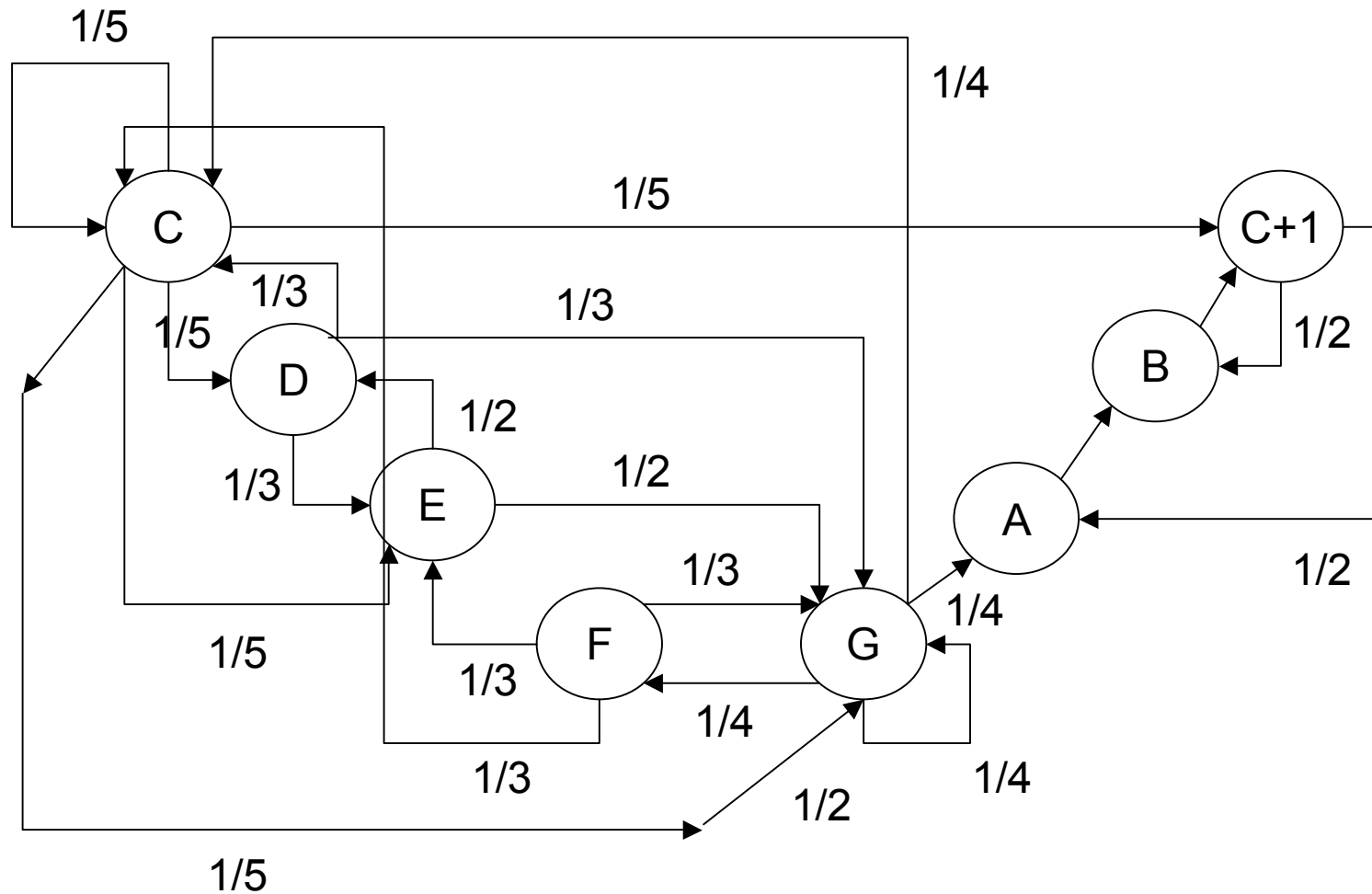
La grammaire générée aaaaa... ou bbbbb...
 a^*b^*

Exemple d'automate non déterministe:

génération de mélodie

- ?C !C,D,E,G,C+1
- ?D!C,E,G
- ?E!D,F
- ?G!C,F,G,A
- ?A!B
- ?B!C+1
- ?C+1!A,B

Chaîne de Markov



Représentation matricielle

	C	D	E	F	G	A	B	C+1
C	1/5	1/5	1/5		1/5			1/5
D	1/3		1/3		1/3			
E		1/2		1/2				
F	1/3		1/3		1/3			
G	1/4			1/4	1/4	1/4		
A							1	
B								1
C+1						1/2	1/2	

Représentation des fonctions de répartition (Tab)

	C	D	E	F	G	A	B	C+1
C	1/5	2/5	3/5	3/5	4/5	4/5	4/5	1
D	1/3	1/3	2/3	2/3	1	1	1	1
E	0	1/2	1/2	1	1	1	1	1
F	1/3	1/3	2/3	2/3	1	1	1	1
G	1/4	1/4	1/4	1/2	3/4	1	1	1
A	0	0	0	0	0	0	1	1
B	0	0	0	0	0	0	0	1
C+1	0	0	0	0	0	1/2	1	1

Générateur de musique

Symbol

C	D	E	F	G	A	B	C+1
---	---	---	---	---	---	---	-----

k:=initial

Note initiale symbol(k)

Générer un nombre a uniformément réparti entre 0
et 1

i:=1

Tant que $a \geq \text{Tab}(k,i)$ faire

i:=i+1

Ftq

Note suivante Symbol(i)

k:=i

Exemples

Suite aléatoire générée Initial=A

0,10;0,17;0,80;0,57;0,34;0,15;0,89;0,23;0;

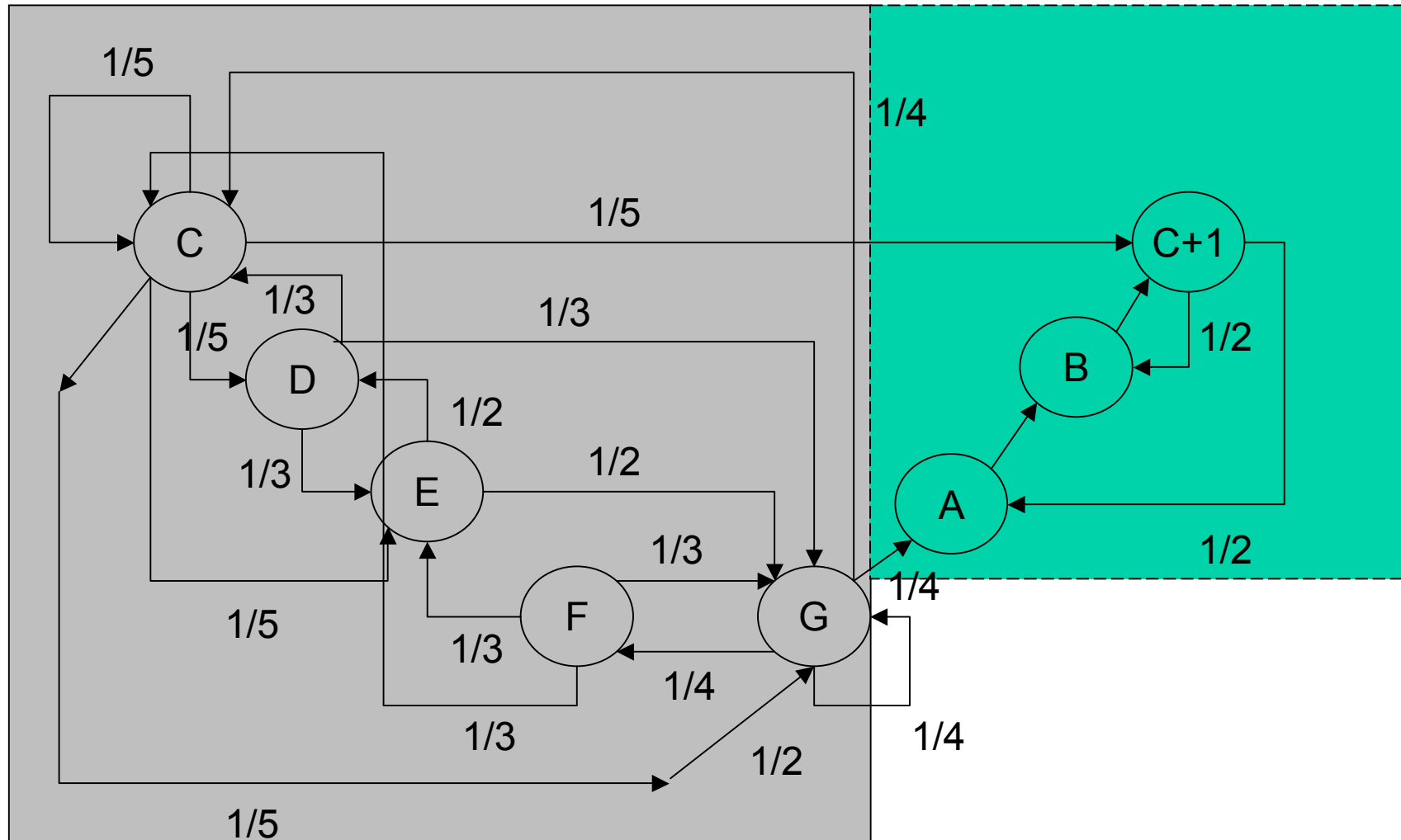
A;B;C+1;B;C+1;B;C+1;A;B;C+1

Suite aléatoire générée Initial=C

0,10;0,17;0,70;0,57;0,34;0,15;0,89;0,23;0;

C;C;C;G;G;F;B;C;C+1;A;B

Composantes connexes



Automates cellulaires linéaire, binaires

Etat courant à l'étape n

E_n = une matrice de $0, m-1$

de 0 (mort) et de 1 (vie) considéré comme un cercle (toutes les opérations modulo m)

Règle L'état suivant $E_{n+1}(i)$ dépend de l'état courant de E_n $E_n(i-1)$, $E_n(i)$, $E_n(i+1)$

Toutes les éléments de E_n sont traitées ensembles

Exemple

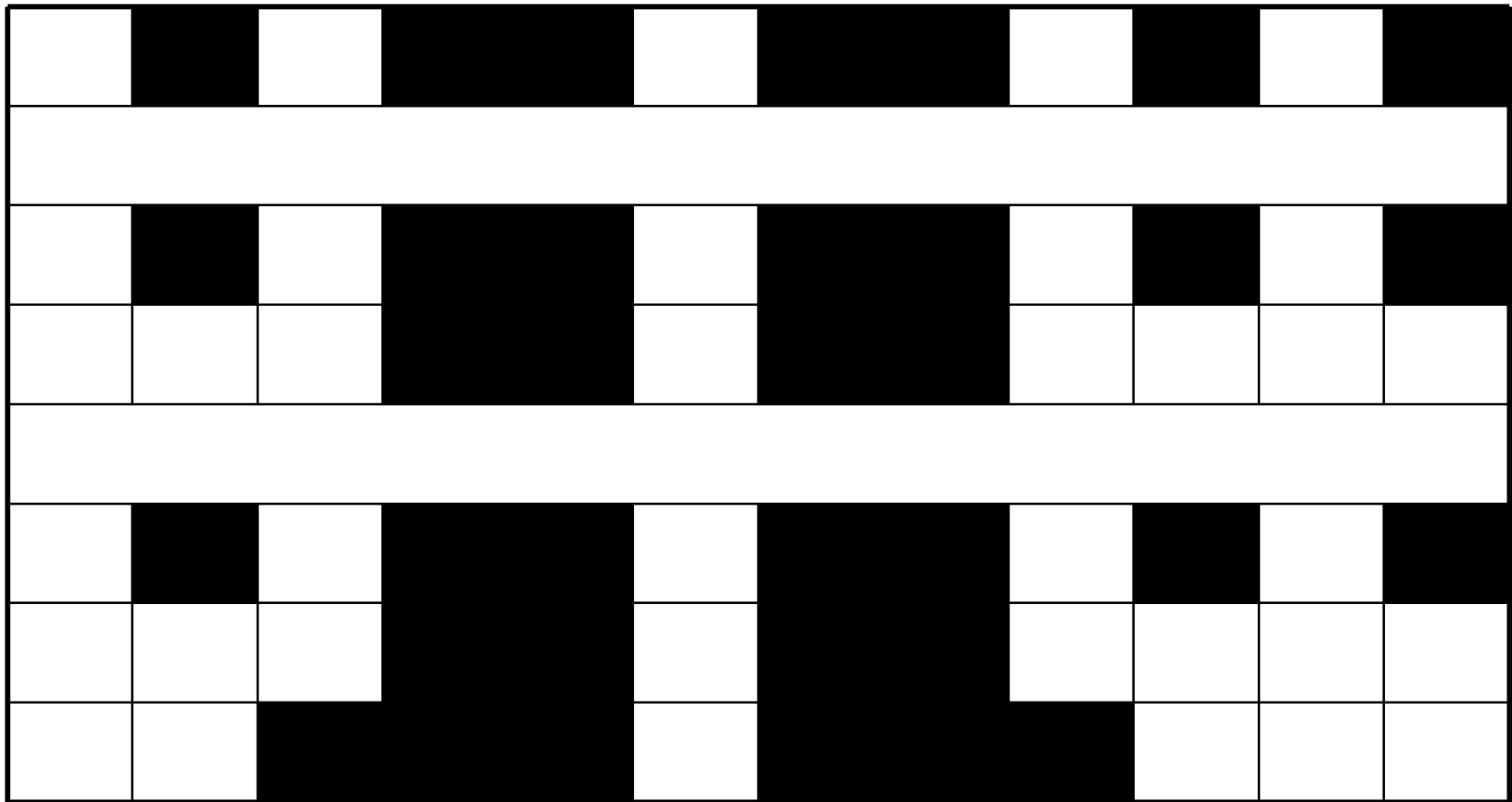
? $E_n(i-1) = E_n(i+1)$

! $E_{n+1}(i) = 0$

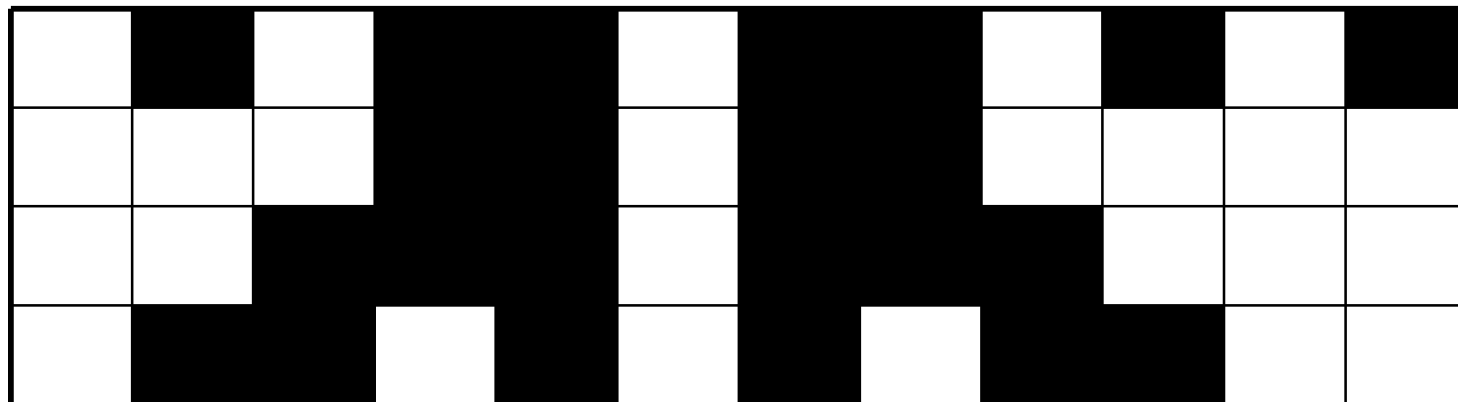
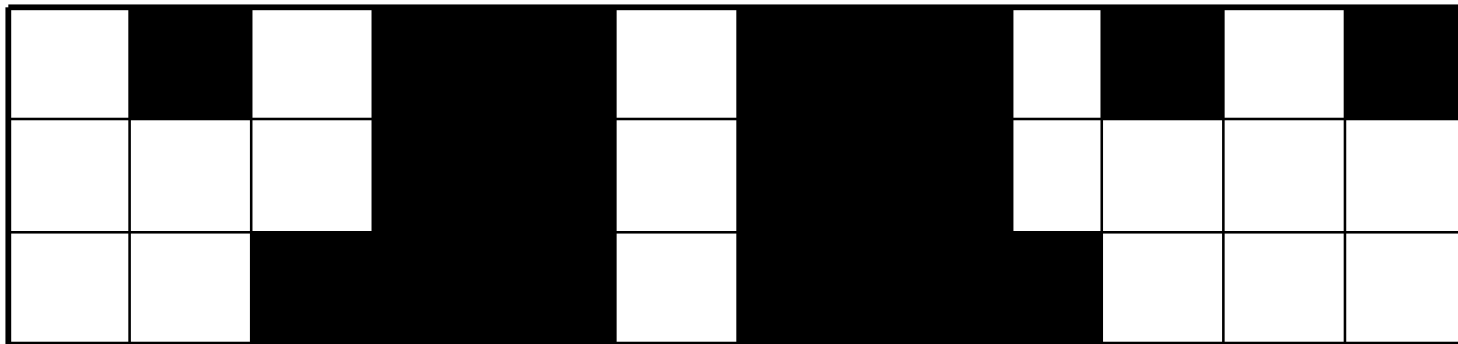
? $E_n(i-1) \neq E_n(i+1)$

! $E_{n+1}(i) = 1$

Exemple



Exemple



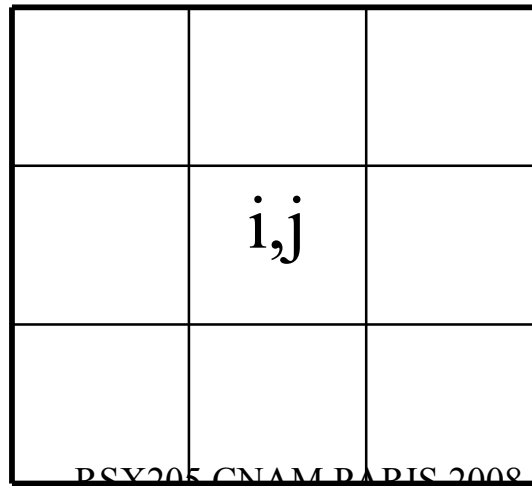
Jeux de la vie et la mort

Etat: Tableau en 2D traité comme un tore

$\text{En}(m,k)$ toutes les opérations faites modulo m et k

Notons $\text{Cardn}(i,j)$ le nombre de voisins de i,j tels

$\text{En}(k,l)=1$ (avec $k=i+1$ ou $i-1$ et $l=j+1$ ou $j-1$)



Règles du jeu de la vie et la morts

Naissances

? $En(i,j)=0$ et $Cardn(i,j)=3$! $En+1(i,j)=1$

Mort par surpopulation

? $En(i,j)=1$ et $Cardn(i,j) \geq 4$! $En+1(i,j)=0$

Mort par exposition

? $En(i,j)=1$ et $Cardn(i,j) \leq 1$! $En+1(i,j)=0$

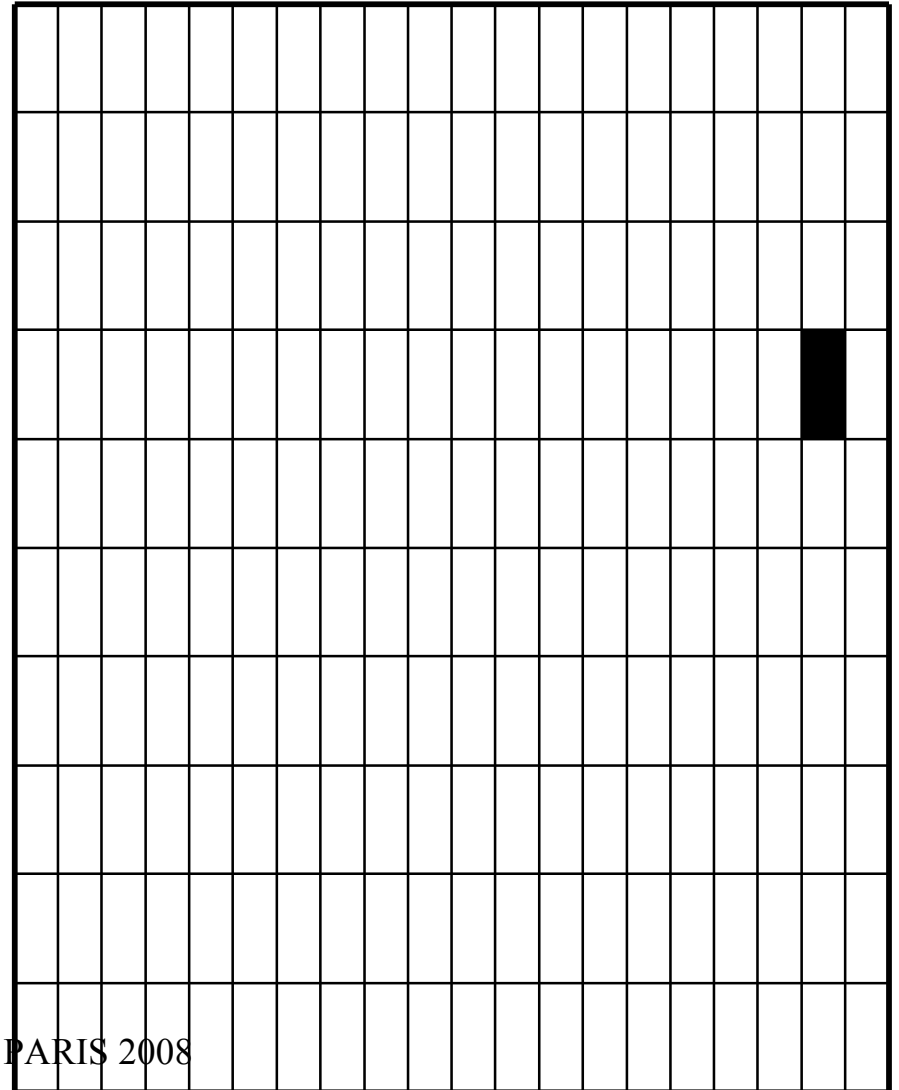
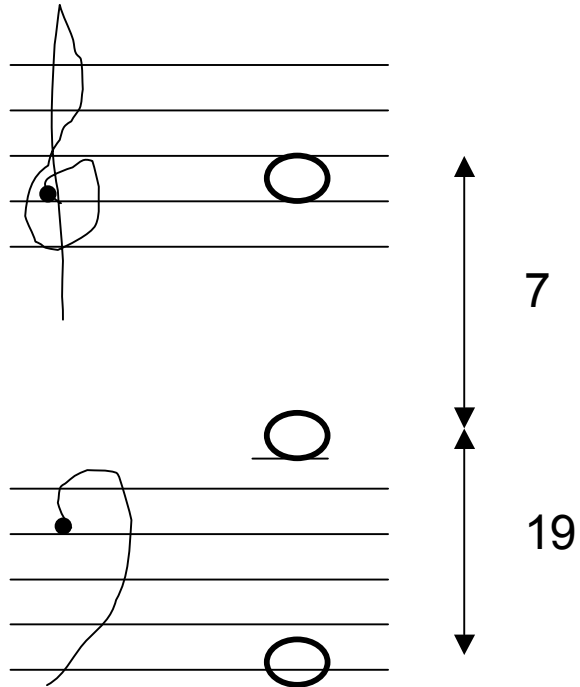
Survie

? $En(i,j)=1$ et $3 \geq Cardn(i,j) \geq 2$! $En+1(i,j)=1$

Dans tous les autre cas

$En+1(i,j)=En(i,j)$

Utilisation dans CAMUS



Algorithme de génération des accords

Générer ou choisir un tableau initial

Répéter

$i:=0; j:=0$

 Tant que $j < k$

 Tant que $i < m$

 Si $E(i,j)=0$ jouer l'accord

$i:=i+1$

 Ftq

$j:=j+1$

 Ftq

 Calculer le tableau suivant

Jusqu'à la fin de la musique

Compléments

- L'instrumentation est choisie selon un autre automate cellulaire
- Le rythme est généré en utilisant une chaîne de markov