Essai de modélisation des dynamiques géospatiales en 3D+1D par automates voxelaires

Igor AGBOSSOU, Maître de Conférences, UMR 6049 ThéMA, Besançon

Pierre FRANKHAUSER, Professeur, UMR 6049 ThéMA, Besançon

Plan

I. Contextes scientifique et opérationnel

II. Géovoxelisation

III. Formalisme général des dynamiques

IV. Fonctions de transition 3D+1D

Contextes scientifique et opérationnel

Acquisition et production de données géospatiales 3D

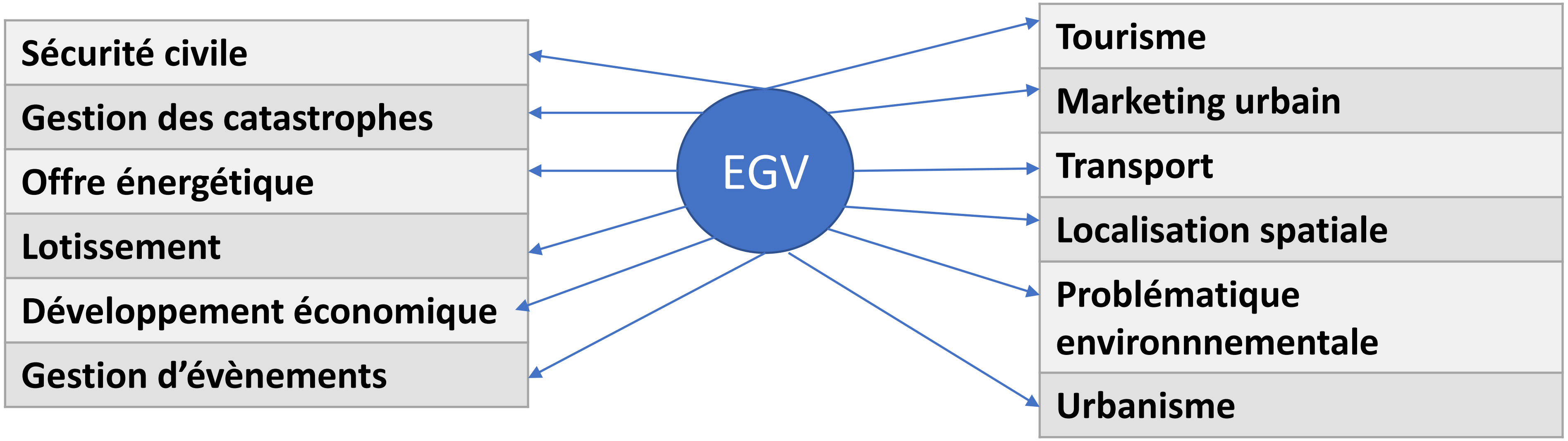
Développement des modèles 3D de ville

Production de paysages 3D

Conception et déploiement de bases de données spatiales 3D

Développement des environnements géographiques virtuels (EGV)

Applications opérationnelles



Contextes scientifique et opérationnel

Questionnements

Comment assurer le géoréférencement dans les modèles 3D

Comment rendre compte de l’altimétrie ?

Comment rendre compte des changements d’echelles spatio-temporelles ?

Comment assurer l’intégrité référentielle et la cohérence sémantique lors des changements d’échelles ?

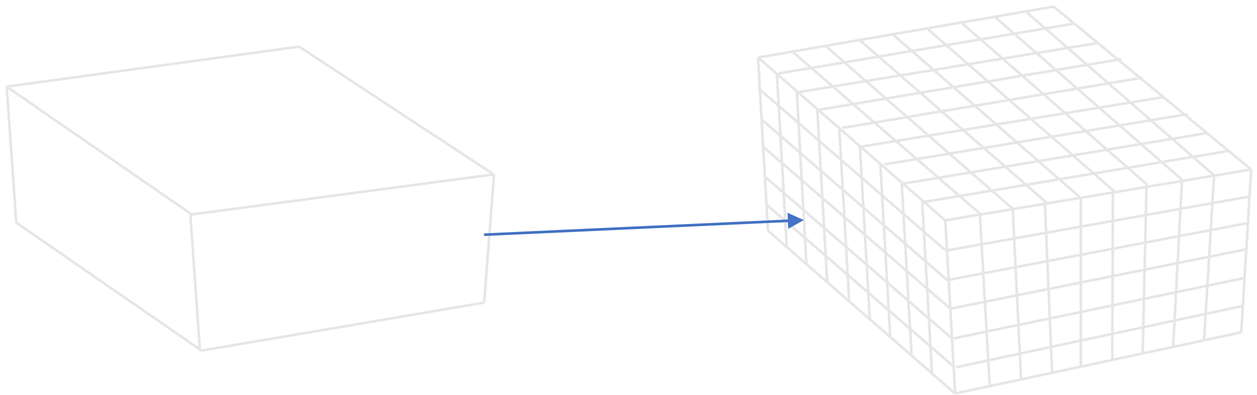
Analyses spatiales 3D

Géovisualisation des dynamiques spatiales ?

Comment assurer le rendu physique réaliste des objets géographiques ?

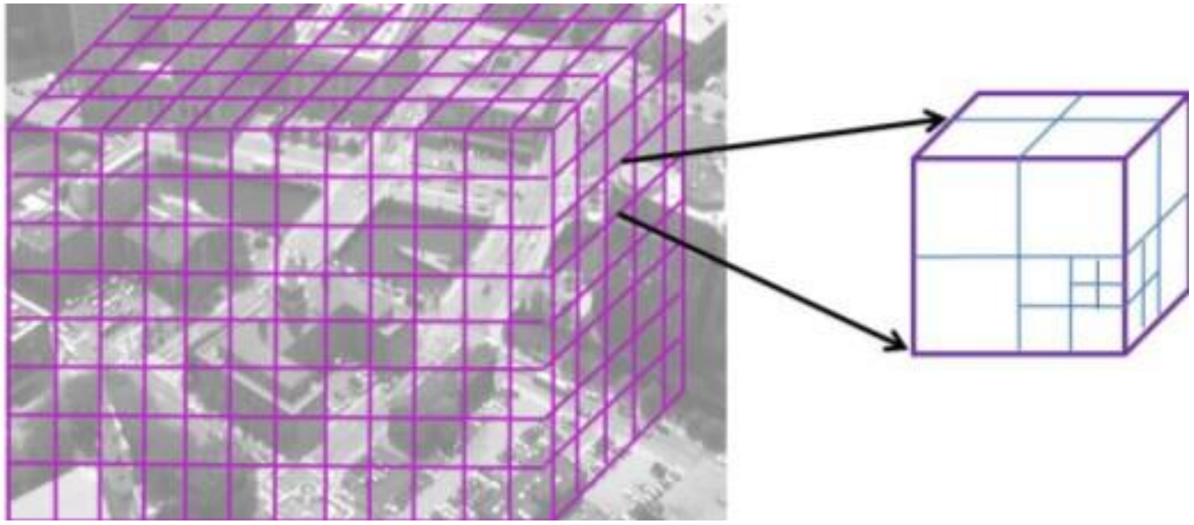
…

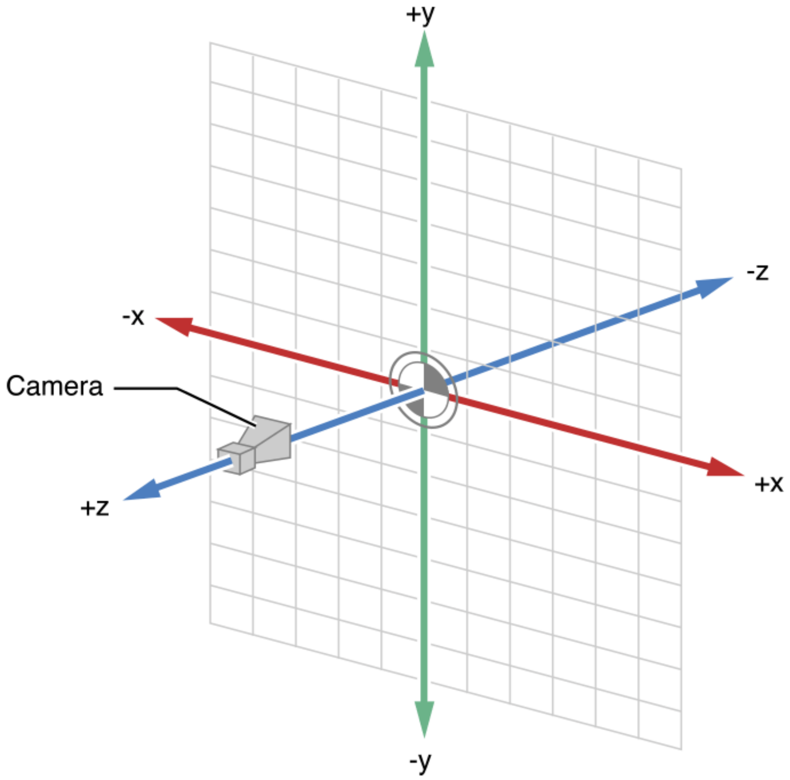
Géovoxelisation



Définition

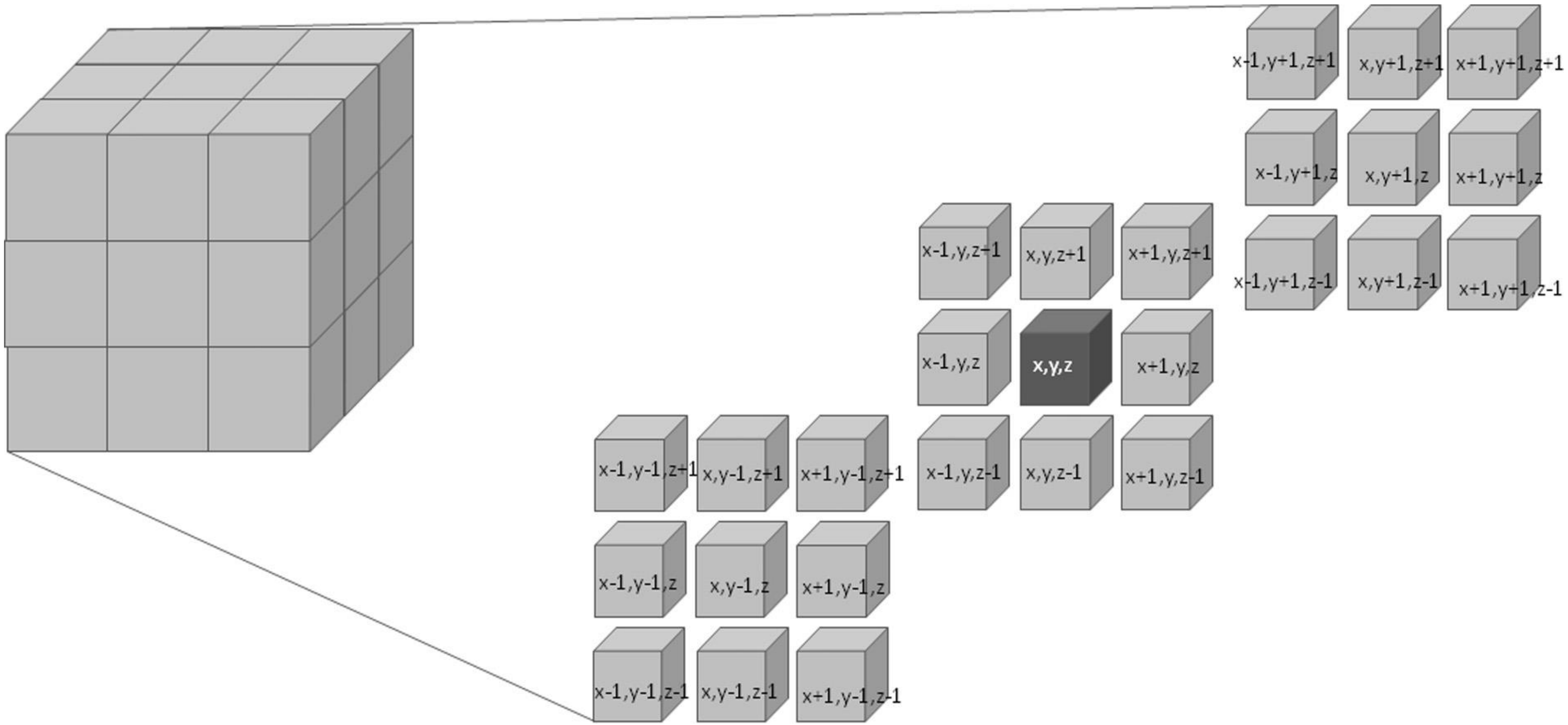
Processus de discrétisation de l’espace géospatial construit en unités volumétriques (*voxels = volumetric element* par analogie au *pixel = picture element*) respectant à la fois les relations topologiques et sémantiques entre les différents éléments du système considéré.





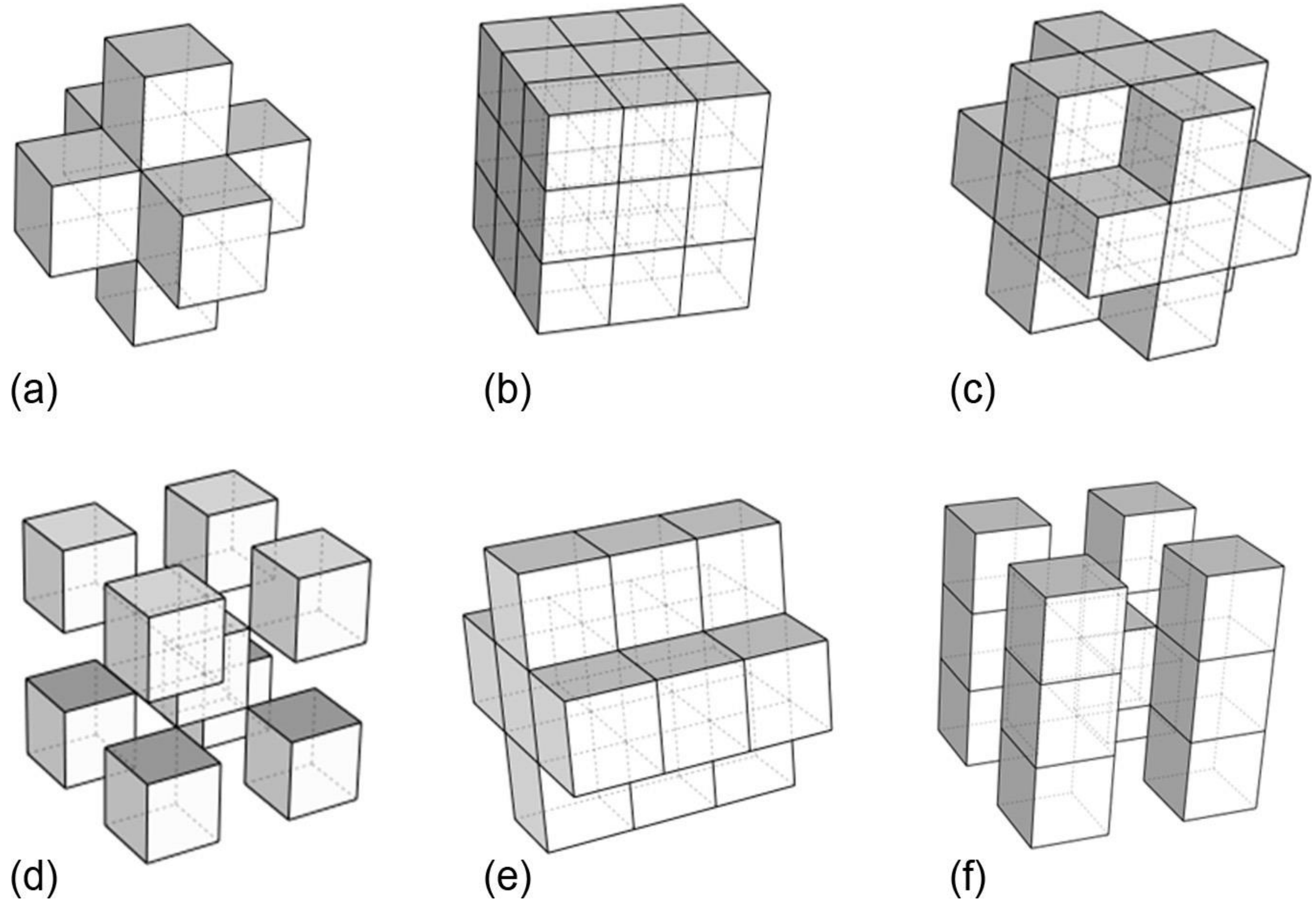
Géovoxellisation

Relations topologiques



Géovoxellisation

Relations topologiques : Quelques voisinages 3D classiques



Formalisme général des dynamiques

Le formalisme que nous proposons améliore non seulement la visualisation des dynamiques,

mais également la prise en compte de l’altimétrie à partir du positionnement géographique des voxels,

de la mesure des distances spatiales aux échelles temporelles ;

ce qui ouvre la possibilité de confronter les modèles de simulation aux données réelles des bases de données 3D urbaines.

Formalisme général des dynamiques

S’appuyant donc sur la théorie des automates cellulaires, nous développons les cinq piliers clés du modèle d’automate voxelaire à savoir : l’espace voxelaire, les états possibles d’un voxel, la discrétisation temporelle, la typologie des voisinages 3D et enfin les règles de transition.

Nous pouvons d’ores et déjà représenter un automate voxelaire (AV) comme un 4-uplet défini comme suit :

$$AV = (S, V, F, t) \qquad (1)$$

où *E* est l’ensemble des états possibles d’un voxel, *V* le vecteur d’éléments de voisinage pour un voxel donné, *F*, l’ensemble des fonctions de transition et *t*, la composante temporelle.

Formalisme général des dynamiques

Ainsi de façon générale, l'état S d'un voxel à l'instant t+1 est fonction de l'état des autres voxels de son voisinage au temps t.

Cette dynamique peut être formulée comme suit:

$$S^{t+1} = f\left(S_{i,j}^{t}, S_{i\pm1,j}^{t}, S_{i,j\pm1}^{t}, S_{i\pm1,j\pm1}^{t}, S_{k}^{t}, S_{k-1}^{t}\right)$$

Ces règles de transition modélisent le processus de la dynamique dans le continuum spatio-temporel 3D+1D.

Ceci étant, des cas particuliers méritent d'être mis en évidence.

Fonctions de transition 3D+1D

Chaque voxel, ayant une occupation S(i, j, k) dans l’espace voxelaire 3D, l’axe Z indicé par k représente la discrétisation de l’altimétrie.

Aussi, les règles de transition des voxels sur cet axe sont paramétrées par les indices i et j comme suit: $S_{ij}(k)$ avec $S_{ij}(z) = 1$ si le voxel est construit et $S_{ij}(z) = 0$ si le voxel est vide.

Chaque voxel construit sur l’axe Z est connecté à un autre qui le soutient sur le même axe.

Les coordonnées x, y sont soumises à une logique totalistique; ce qui n’est pas le cas pour z.

Aussi, pour un site de niveau k nous distinguer les changements d’état suivants:

Fonctions de transition 3D+1D

1. Le site *k-1* n'est pas construit, *k* n'est pas construit et ne pourra pas l'être
2. Le site *k-1* est construit, et *k* ne l'est pas
3. Le site *k-1* est construit, et *k* l'est aussi.

Dans le cas n°1, l'état du voxel *k* ne peut pas changer à t+1
Dans les autres cas (2.1 et 3.1) l'état du voxel k reste le même ou change à t+1
Dans le cas n°2, le voxel est construit (2.2)
Dans le cas n°3, le voxel peut disparaître par démolition

Pour chaque voxel i, j, k, le vecteur d'état sur l'axe Z peut s'exprimer comme suit

$$\begin{pmatrix} S_{ij}(k-1) \\ S_{ij}(k) \end{pmatrix}$$

Fonctions de transition 3D+1D

1. $S_{i,j}(k|S_{i,j}(k\text{-}1)=0) = 0 \rightarrow S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=0) = 0$ <=> $\binom{0}{0} -> \binom{0}{0}$

2.1 $S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 0 \rightarrow S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 0$ <=> $\binom{1}{0} -> \binom{1}{0}$

2.2 $S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 0 \rightarrow S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 1$ <=> $\binom{1}{0} -> \binom{1}{1}$

3.1 $S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 1 \rightarrow S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 1$ <=> $\binom{1}{1} -> \binom{1}{1}$

3.2 $S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 1 \rightarrow S_{i,j}(k|\ S_{i,j}(k\text{-}1)=1) = 0$ <=> $\binom{1}{1} -> \binom{1}{0}$

Fonctions de transition 3D+1D

D’un point de vue systémique, la dynamique se conçoit comme suit :

A_{11} : $l'\ influence\ de\ l'\text{é}tage\ k-1\ sur\ lui-m\hat{e}me\ (la\ r\text{é}troaction)$

A_{12} : $l'\ influence\ de\ l'\text{é}tage\ k\ sur\ k-1(\text{interaction})$

A_{21} : $l'\ influence\ de\ l'\text{é}tage\ k-1\ sur\ k$

A_{22} : $l'\ influence\ de\ l'\text{é}tage\ k\ sur\ lui-m\hat{e}me$

Fonction de transition matricielle $\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}$

Fonctions de transition 3D+1D

Fonction de transition matricielle

Application par multiplication matricielle

$$\begin{array}{ccccc} & & t & & t+1 \\ \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} & \mathrm{X} & \begin{pmatrix} S_{ij}(k-1) \\ S_{ij}(k) \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} A_{11}\mathrm{X}S_{ij}(k-1)+A_{12}\mathrm{X}S_{ij}(k) \\ A_{21}\mathrm{X}S_{ij}(k-1)+A_{22}\mathrm{X}S_{ij}(k) \end{pmatrix} \end{array}$$

Fonctions de transition 3D+1D

1. Fonction de conservation

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \mathrm{X} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} -> \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

2.1 Fonction de construction

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \mathrm{X} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} -> \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

2.2 Fonction de construction

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \mathrm{X} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} -> \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Fonctions de transition 3D+1D

3.1 Fonction de déconstruction

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{x} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} -> \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

3.2 Fonction de déconstruction

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{x} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} -> \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Fonctions de transition 3D+1D

En plus des changements considérés sur l'axe vertical, pour un voxel donné, un balcon peut être construit, conservé ou démoli.

Aussi, les voxels potentiellement affectés dans le voisinage planaire ont pour indice (*i±1,j; i, j±1*) pour le voxel (i,j).

Ainsi, les fonctions similaires sont formalisées pour les transitions de l'état ”Balcon”

Fonctions de transition 3D+1D

1. $B_{i,j}(i\pm1|S_{i,j}(i)=0) = 0 \rightarrow B_{i,j}(i\pm1|S_{i,j}(i)=0) = 0$

2.1 $B_{i,j}(i\pm1|S_{i,j}(i)=1) = 0 \rightarrow B_{i,j}(i\pm1|S_{i,j}(i)=1) = 0$

2.2 $B_{i,j}(i\pm1|\ S_{i,j}(i)=1) = 0 \rightarrow B_{i,j}(i\pm1|S_{i,j}(i)=1) = 1$

3.1 $B_{i,j}(i\pm1|\ S_{i,j}(i)=1) = 1 \rightarrow B(i\pm1|\ S_{i,j}(i)=1) = 1$

3.2 $B_{i,j}(i\pm1|\ S_{i,j}(i)=1) = 1 \rightarrow B_{i,j}(i\pm1|\ S_{i,j}(i)=1) = 0$

Conclusion

Suite du travail amorcé …

Inclusion de règles supplémentaires sur des voisinages plus étendus.

Développement du cadre général de la formalisation matricielle des automates cellulaires.


MERCI POUR
VOTRE
ATTENTION

Questions?