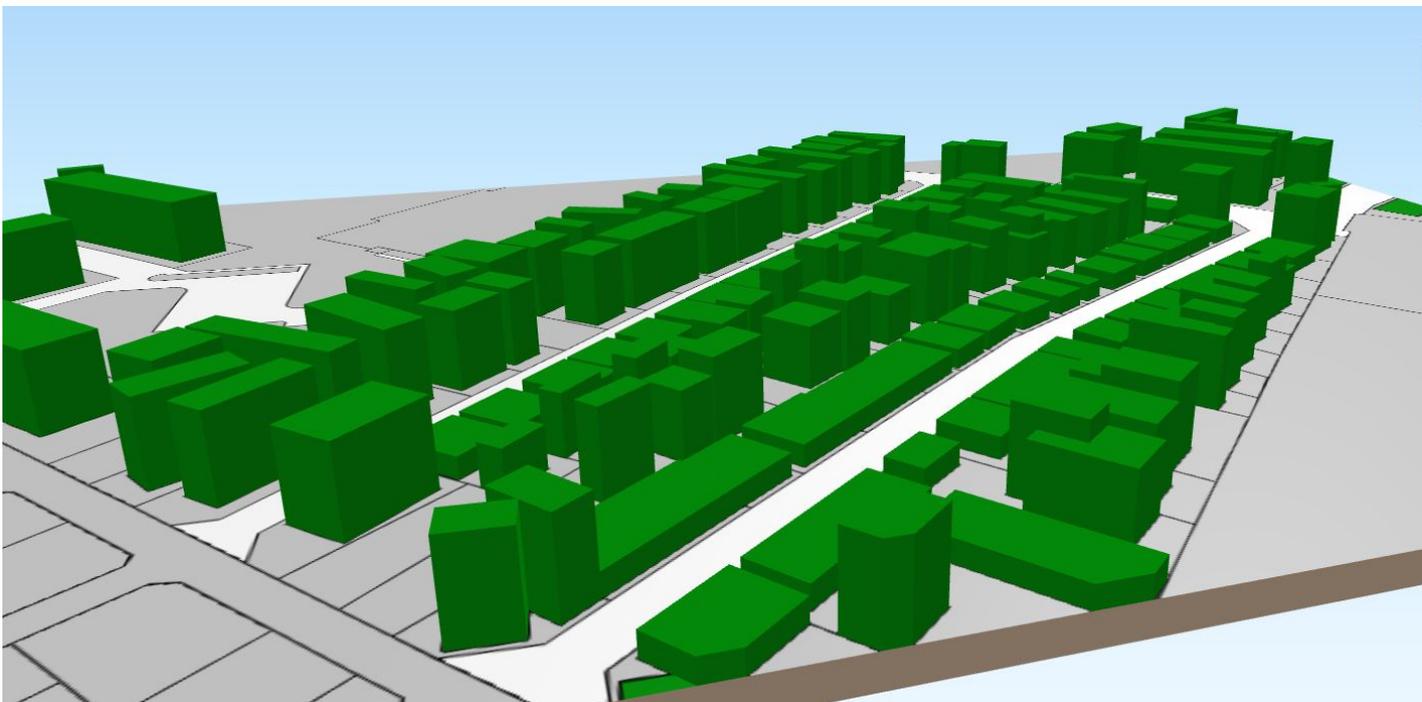


# Méthodes d'exploration de modèles et calcul distribué appliqués à la simulation des droits à bâtir



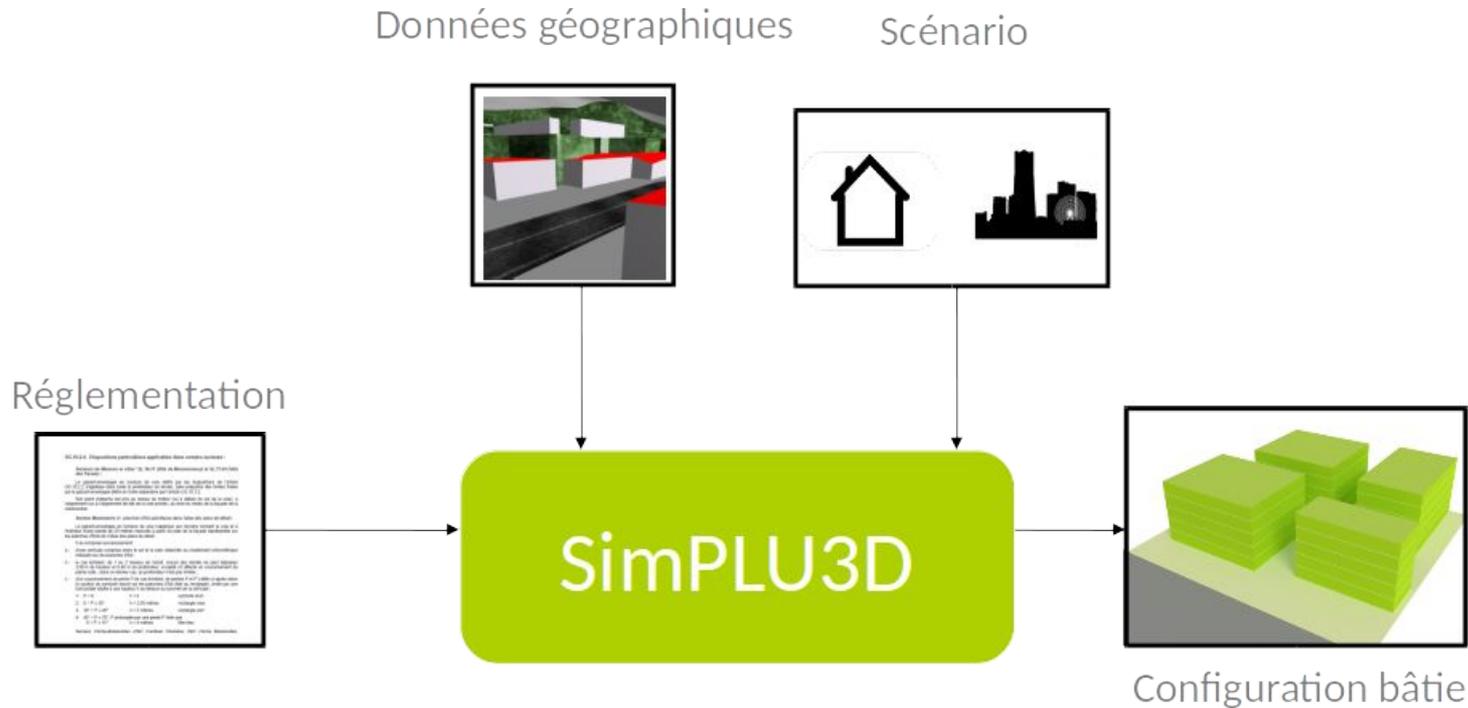
Mickaël Brasebin, Paul Chapron, Guillaume Chérel, Mathieu Leclaire, Imran Lokhat, Julien Perret, Romain Reuillon  
SAGEO 6-9 Novembre 2017  
Rouen

# Contexte du travail



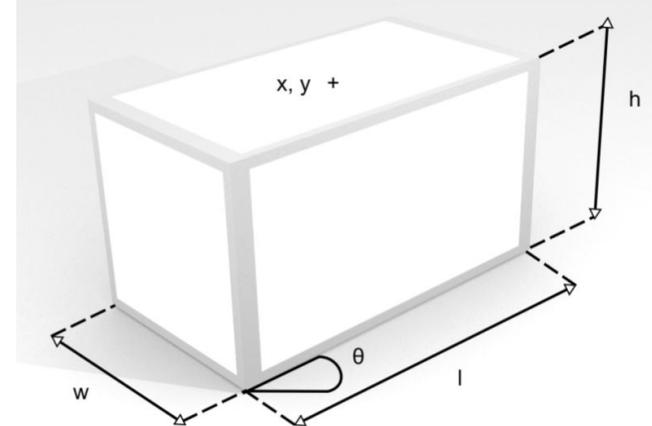
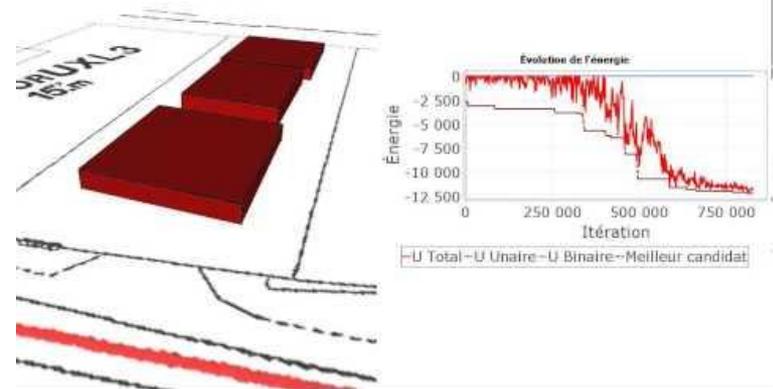
- Collaboration **ISCPIF** - LaSTIG (**COGIT**)
- Exploration de modèles de simulations & évolution territoriale
- Plateforme **OpenMOLE** & Simulateur **SimPLU3D**

# Le modèle SimPLU3D



# Génération de formes bâties

- Méthode d'optimisation: recuit-simulé transdimensionnel
- Génération de formes à partir de  $n$  objets paramétriques d'une même classe
- Processus itératif par modifications successives
  - Vérification du respect des règles
  - Évaluation de la fonction d'utilité (ici : Volume)



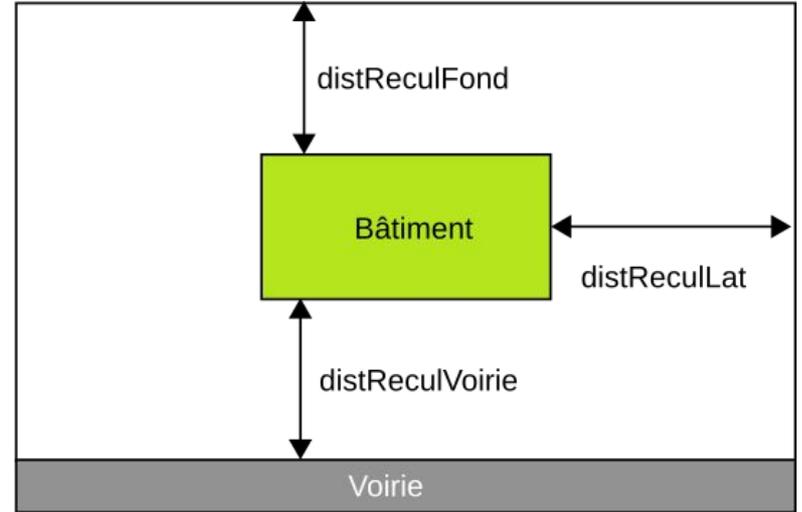
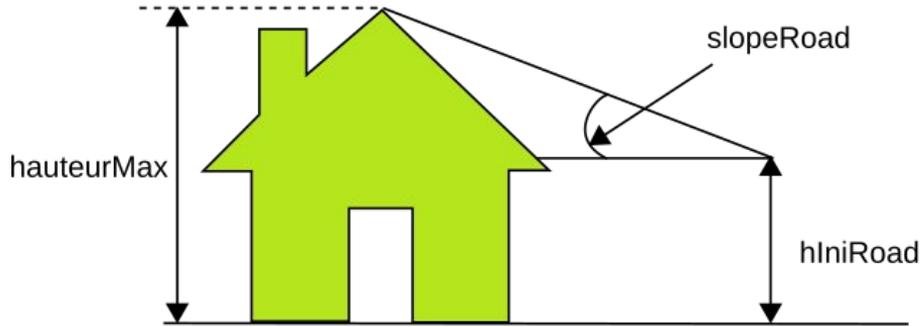
# Formalisation des contraintes

« La hauteur des façades mesurée à l'égout du toit par rapport au terrain doit être inférieure à 12 m. »

En rouge, les objets géographiques, en bleu, les propriétés en vert les relations

Ref : Brasebin, M.; Perret, J.; Mustière, S.; Weber, C. A Generic Model to Exploit Urban Regulation Knowledge. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 14.

# Paramètres des règles du PLU



# Question de recherche

- Quel est l'apport des méthodes de calcul distribué pour explorer les modèles de simulation ?
  - Une application directe grande échelle Seine et Marne
  - Une application d'exploration des bâtis possibles

## Question de recherche

- Quel est l'apport des méthodes de calcul distribué pour explorer les modèles de simulation ?
  - Une application directe grande échelle Seine et Marne
  - Une application d'exploration des bâtis possibles

# Simuler la Constructibilité : de la parcelle à la Seine et Marne

- Mission de l'IAUIdF: évaluation de la constructibilité
  - Améliorer le suivi des documents d'urbanisme
  - Suivi du prix du foncier
- **Avant** : évaluation par le Coefficient d'Occupation des Sols (COS) , supprimé par la loi ALLUR (2014)
- **Proposition** : Développer un outil complémentaire aux simulateurs «opérationnels» en offrant une modélisation à grande échelle
  - Simulation de la constructibilité avec SimPLU

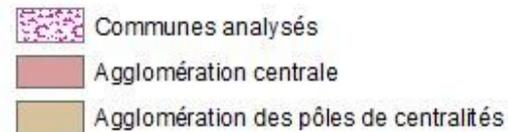
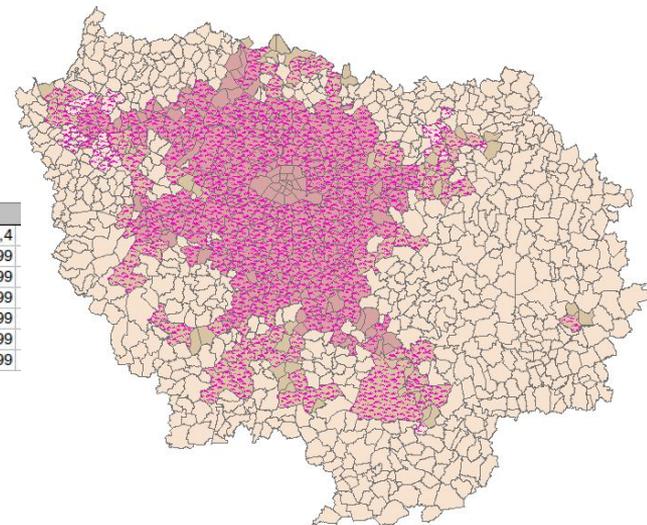
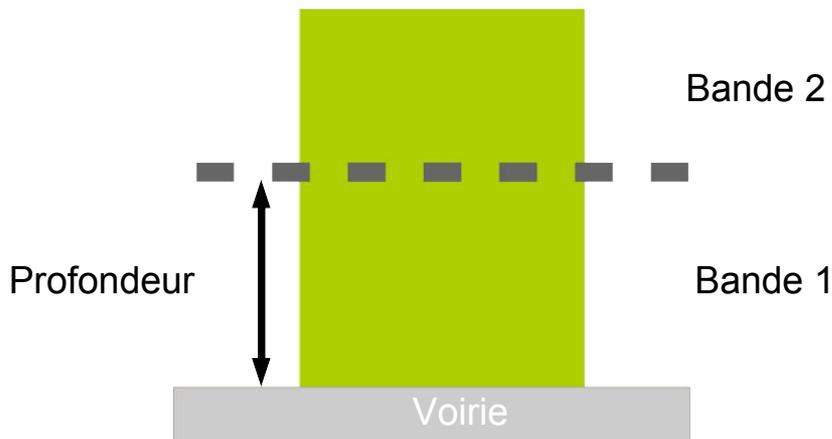


# Données du PLU

- BD CartoPLU+ produite par l'IAUIDF

BANDE1	ART_51	ART_61	ART_711	ART_721	ART_731	ART_741	ART_81	ART_91
25	150	4	1	0	0	0	8	0,4
0	99	0	1	0	0	0	99	99
0	99	0	1	0	0	0	99	99
0	99	0	1	0	0	0	6	99
99	99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99	99
0	99	0	1	0	0	0	8	99

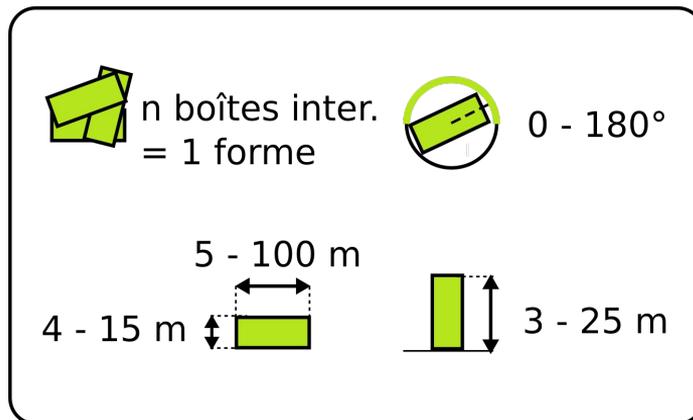
- Règles du PLU par zone sur les agglomérations
  - 2 bandes de constructibilité



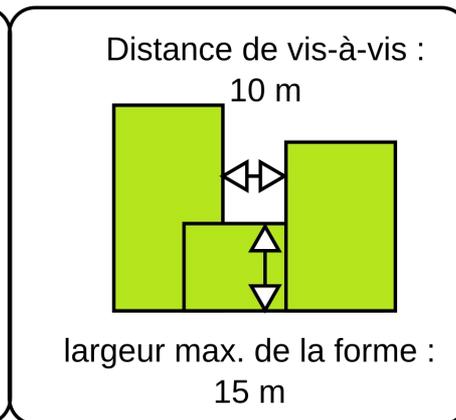
# Scénarisation de la simulation

- Paramétrage discuté et validé avec l'IAUIdF

## Paramètres des boîtes



## Contraintes sur la forme bâtie



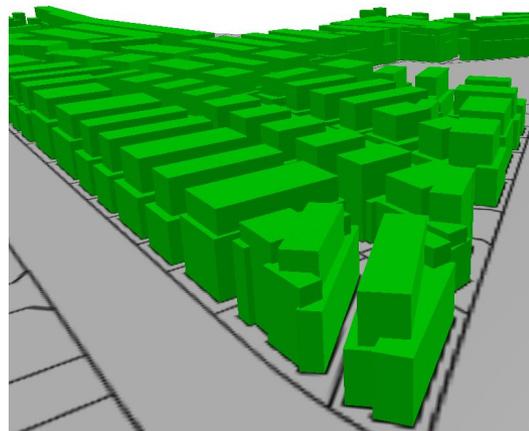
- 5 minutes par parcelle
- 1 400 000 parcelles



Nécessité de distribuer les calculs

# Résultats

- Production de tests sur la Seine et Marne
- Découpage par îlots
  
- Différents tissus produits à partir d'un même paramétrage du générateur de formes
  
- 19 ans de calcul sur une machine  
→ 5 jours grâce à la distribution



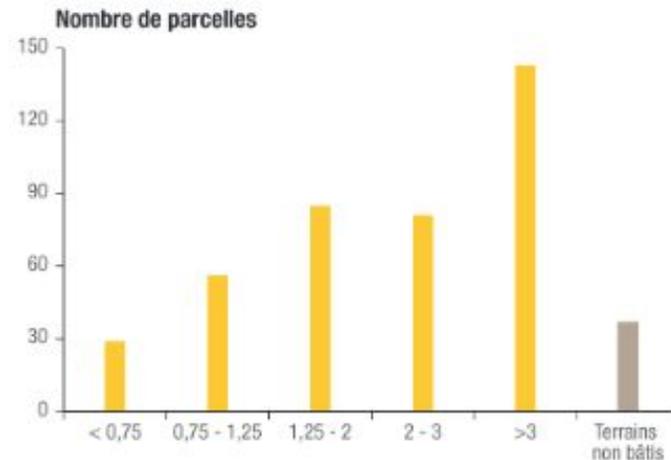
# Future exploitation des résultats

- Identification de potentiels fonciers :
  - comparatif par rapport aux bâtiments existants
- Production finale 2018

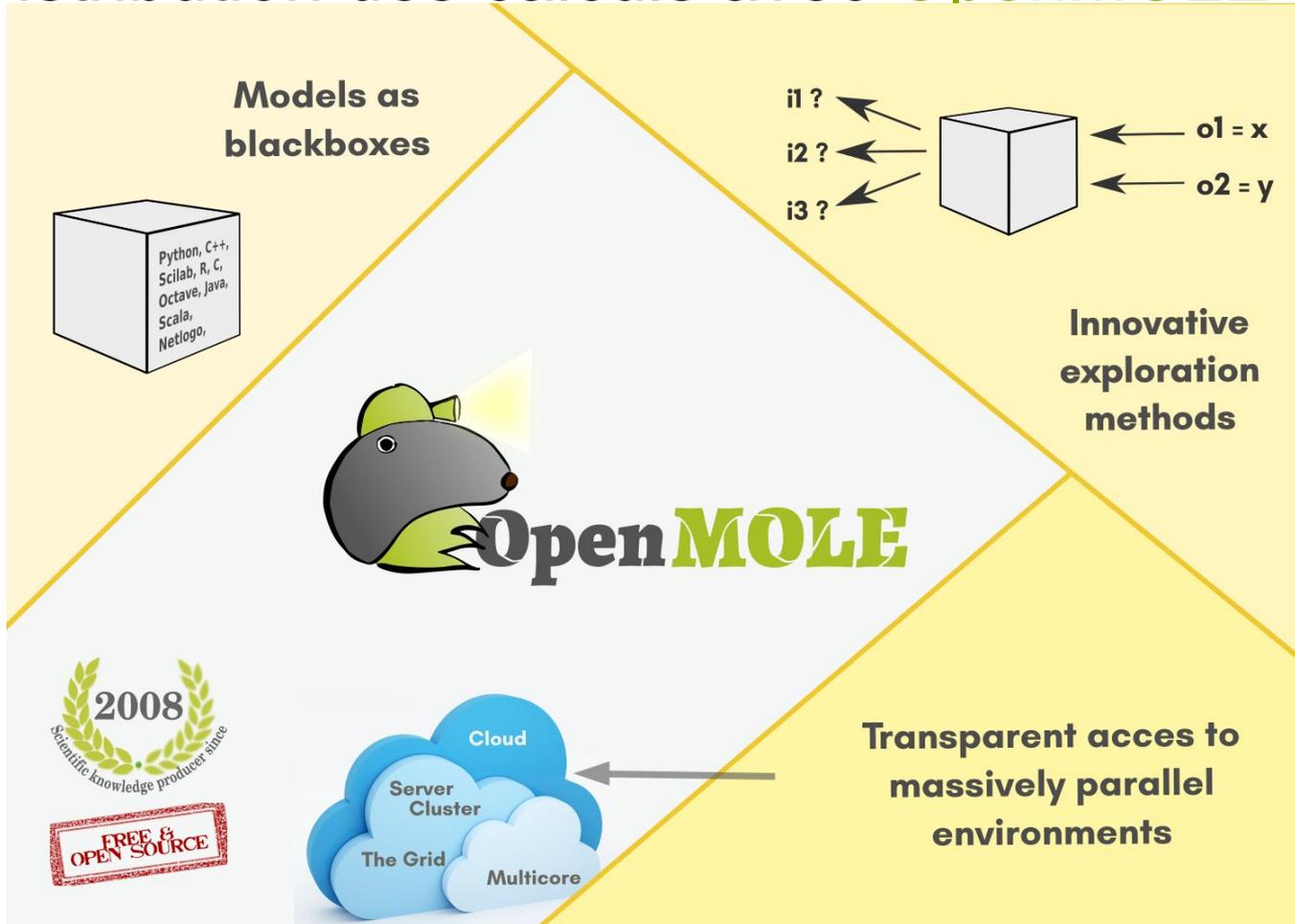


Sources cartographiques : BD Topo, IGN, Majic 2013, DGFIP, BD constructibilité, CDC, DRIEA, EPFF, IAU IdF, ORF. © ORF  
Traitement cartographique : IAU IdF © ORF • Mise en forme & fonds cartographiques : IAU IdF

Ratio entre la surface de plancher modélisée et l'existant : des capacités de construction encore importantes



# Distribution des calculs avec OpenMOLE



# Méthodes d'exploration dans OpenMOLE

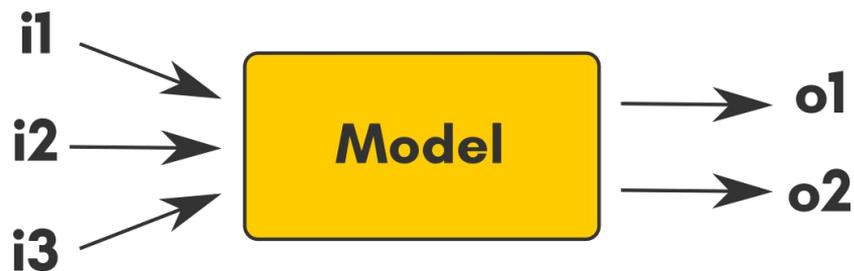
- Calibration mono et multi-objectifs
- Analyse de sensibilité
- Exploration de (des espaces d'entrées et de sorties des) modèles de simulation:
  - Diversité des dynamiques , des patterns possibles : la méthode PSE

# Question de recherche

- Quel est l'apport des méthodes de calcul distribué pour explorer les modèles de simulation ?
  - Une application directe grande échelle Seine et Marne
  - Une application d'exploration des bâtis possibles

# Question de recherche

Pour un PLU donné, quels sont les bâtiments constructibles dans un îlot ( $\cong$  20 parcelles) ?



Quels sont les bâtiments constructibles ?

=

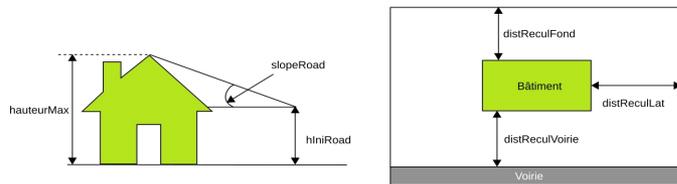
Quelles sont les sorties (distinctes) que produit le modèle ?

# Réponse naïve

*Testons toutes les combinaisons de paramètres !*



# Limites de l'exploration naïve



- recul voirie (21)
- recul fond (21)
- recul latéral (11)
- max CES (8)
- hauteur initiale route (16)
- penne bâtiment (6)
- hauteur max (6)

**simplu3D**

22 000 000+  
de quartiers

**Temps de calcul**

1 bâtiment



1 quartier



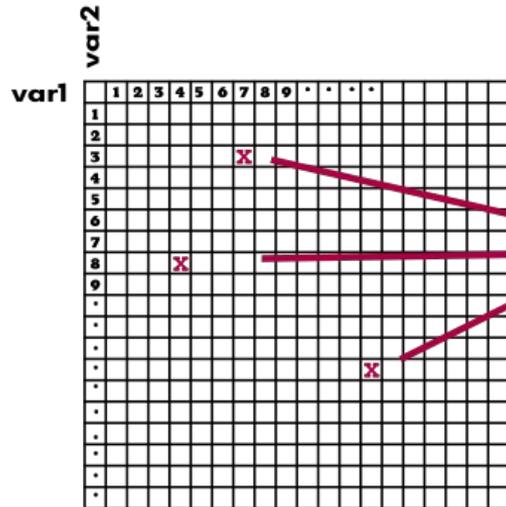
x 22 000 000

**5 minutes**

**1 heure**

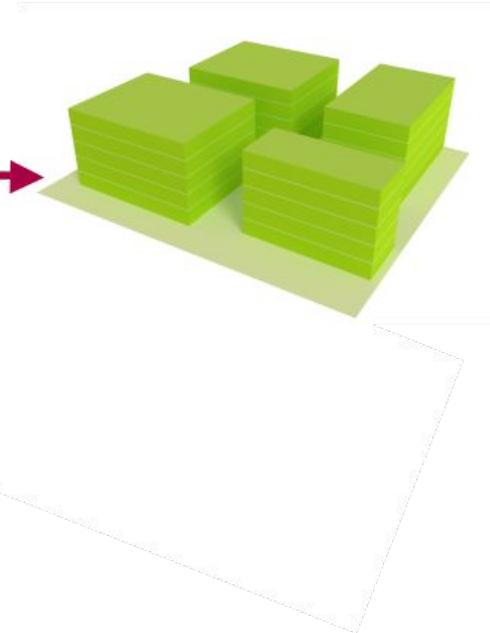
**2551 années**

# Limites de l'exploration systématique



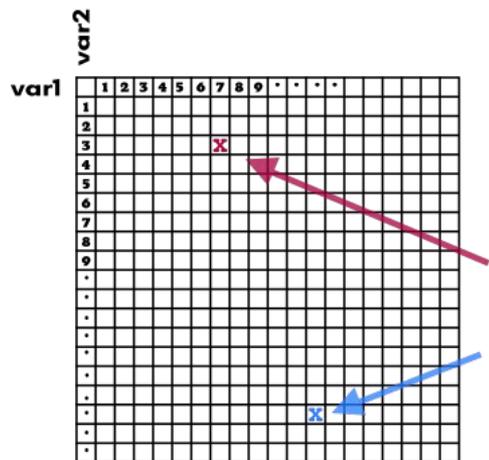
**Des paramétrages très différents peuvent donner la même configuration**

simplu3D

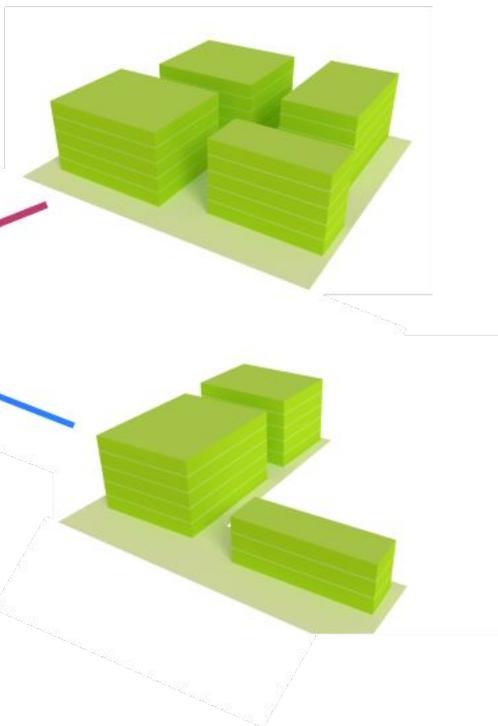




Explorons plutôt  
l'espace des  
sorties !



simplu3D



# Pattern Space Exploration (PSE)

- **Méthode évolutionnaire** d'exploration de l'espace des sorties d'un modèle
- Objectif : **maximiser la diversité** des motifs découverts dans l'espace des sorties en échantillonnant l'espace d'entrée
- Heuristique : les entrées qui donnent des motifs **rare**s sont plus souvent choisies et croisées .
- Motifs = combinaisons de valeurs de **mesures**

Ref: [Chérel et al. 2015] Beyond Corroboration: Strengthening Model Validation by Looking for Unexpected Patterns.  
PLOS One <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0138212>

# Mesures

- **Indice de Gini** : inégalité de la distribution des volumes des bâtiments
- **Indice de Moran** : auto-corrélation spatiale des volumes des bâtiments dans l'îlot
- **Densité de plancher** : ratio surface disponible à chaque étage / surface de l'îlot
- **CoverageRatio** : ratio surface bâtie / surface de l'îlot
- Mesures évaluables quel que soit l'îlot
  - Pas de mesures se référant à des spécificités locales

Ref:

[Tsai Yu-Hsin 2005 ] Quantifying urban form: compactness versus 'sprawl' YH Tsai - Urban studies, 2005

[Fund Marina 2012] Usage d'indicateurs urbains et aménagement urbain : vers l'automatisation de l'analyse séquentielle.

# Temps de calcul

**M. Dupont,  
urbaniste**

**simPLU +  
OpenMOLE**

**3**



**1-2 mois**



**PSE**



**3556**

**2551 ans**

**65 ans**

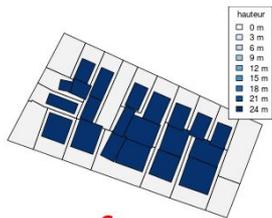
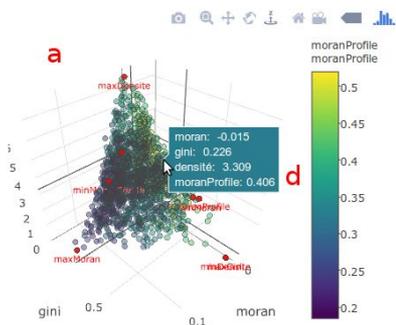
**10 jours**

# Prototype d'outil d'aide à la décision/concertation

PSE results exploration



e



c

**b** 1946

distReculVoirie	10.00
distReculFond	0.00
distReculLat	2.18
maximalCES	0.72
hiniRoad	15.00
slopeRoad	2.02
hauteurMax	23.77

Demo ?

# Discussions

- Intégration facilitée
  - un modèle dont les paramètres sont explicites
  - un découpage à l'îlot sans effet de bord pour le modèle
- Évaluation de l'expressivité du modèle pour mesurer la capacité à reproduire différents types de tissus urbains
- Filtrage des configurations non souhaitables pour dégager de meilleures pratiques du PLU
- Vers de la simulation participative

# Conclusion

- Apport des méthodes de calculs distribués pour explorer les modèles de simulation
- Deux exemples d'application :
  - Evaluation de la constructibilité sur un grand territoire
  - Aide à la conception de PLU
- Intérêt de ces approches : aide à la décision pour les politiques publiques à grande échelle basée sur des simulations locales

# Perspectives

- Enrichir la grammaire de SimPLU
  - Gestion de différents objets
  - Ajout d'éléments architecturaux
- Appliquer la méthode PSE avec d'autres indicateurs :
  - Rythme des façades
  - Régularité des formes bâties
  - Similarité avec le bâti existant
- Simulation multi-échelle pour la prise en compte de différents niveaux de prises de décision
  - Interactions SCOT/PLU

# Merci

Dépôts GitHub:

Simplu3D: <https://github.com/IGNF/simplu3D>

Simplu3D-OpenMOLE: <https://github.com/IGNF/simplu3D-openmole> (branche visu\_pse)

OpenMOLE : <https://github.com/openmole>

Démo de visualisation des résultats : [simplu.openmole.org](https://simplu.openmole.org)

Documentation d'OpenMOLE : [www.openmole.org](https://www.openmole.org)

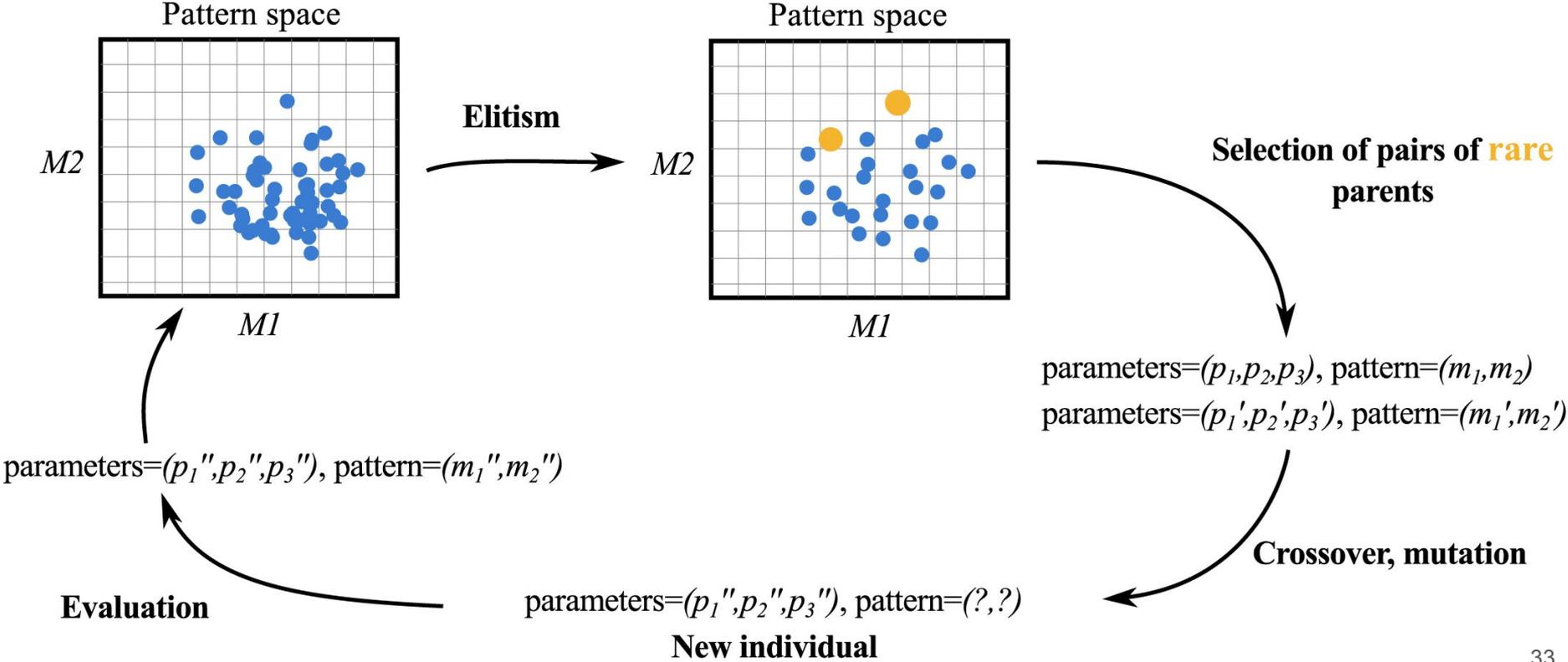
# Réserve

# Métadonnées CartoPLU+

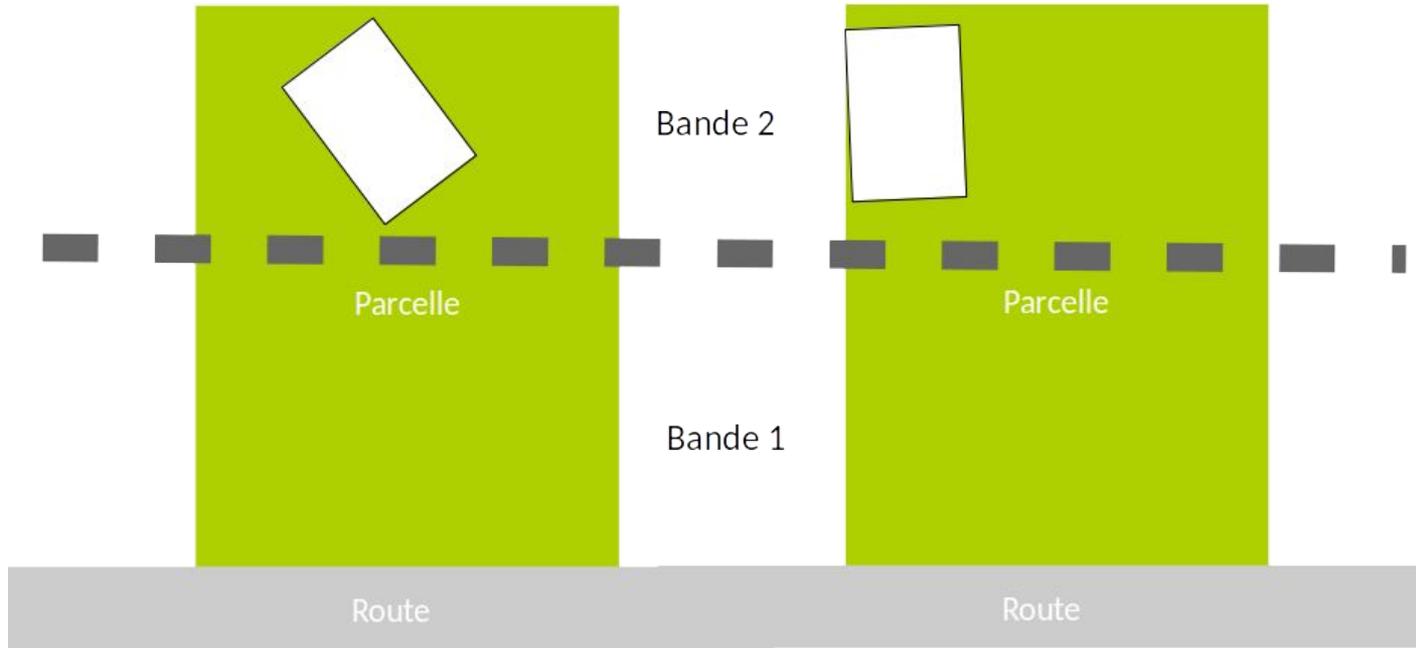
CHAMP	BANDE	INTITULE	UNITE
Object_ID		Identifiant du polygone	
INSEE		Code de la commune	
DEP		Numéro de département	
Libelle_Zo		Identifiant national de la zone	Ex : 77513UAa
Statut_DUL		Statut du document	0 : approuvé ; 1 = arrêté (historique)
Date_DUL		Date d'approbation du document analysé	
ANNEE		Année d'approbation	
LIBELLE_DE		Intitulé de la zone dans Carto_PLU+	
LIBELLE_1		Intitulé de la zone sur le plan de zonage analysé	
B1_FONCT	1 <sup>ère</sup> BANDE DE CONSTRUCTIBILITE	Vocation de la zone	0 : logements uniquement ; 1 : Mixte ; 2 : exclusivement activités
B1_TOP_ZAC		Présence d'une ZAC	0 : NON 1 : OUI
B1_ZON_COR		Indicateur de modification du zonage de CartoPLU	
B1_T_BANDE		Information concernant l'existence d'une bande principale ou secondaire	0 : pas de bande // 1 : principale // 2 : secondaire
B1_BANDE		Profondeur de la bande principale	x > 0 profondeur de la bande par rapport à la voirie
B1_ART_5		Minimum parcellaire	En mètre carré (m )
B1_ART_6		Distance minimale des constructions par rapport à la voirie	En mètre (m)

B1_ART_71	Implantation en limite séparative	0 : non, retrait imposé (cf.72) // 1 : Oui // 2 : Oui, mais sur un côté seulement
B1_ART_72	Distance minimale des constructions par rapport aux limites séparatives imposée en mètre	88= non renseignable, 99= non réglementé
B1_ART_73	Distance minimale des constructions par rapport à la limite séparative de fond de parcelle	88= non renseignable, 99= non réglementé
B1_ART_74	Distance minimale des constructions par rapport aux limites séparatives relative à la hauteur du bâtiment	1 = retrait de H ; 2 = retrait de H/2 etc.
B1_ART_8	Distance minimale des constructions les unes par rapport aux autres sur une même parcelle	En mètre (m)
B1_ART_9	Coefficient d'emprise au sol maximum	Ratio de 0 à 1
B1_ART_10T	Unité de mesure de la hauteur du bâtiment	1 : en nombre de niveaux 2 : en mètre du sol au faitage 3 : hauteur plafond 4 : du sol au point le plus haut 5 : hauteur de façade à l'égout 6 : hauteur NGF hors édifices 7 : hauteur à la côte du trottoir 8 : point le plus haut hors cheminées 9 : point le plus haut hors cheminées, ouvrages techniques 10 : du sol à l'acrotère 11 : point le plus haut, tout inclus 88 : non renseignable, 99 : non réglementé
B1_ART_10	Hauteur maximale autorisée	Cf. ART_10_TOP
B1_ART_12	Nombre de places de stationnement par logement	En nombre par logement
B1_ART_13	Part minimale d'espaces libres de toute construction exprimée par rapport à la surface totale de la parcelle	Ratio de 0 à 1
B1_ART_14	Coefficient d'occupation du sol	Ratio de 0 à x

# Schéma PSE



# Stratégies de construction



Stratégie 1 : cuboïde laissé libre

Stratégie 2 : cuboïde collé à  
la limite gauche ou droite,  
on garde la meilleure config (ART 71=2)