

MOMOS : modélisation à base d'agents des mobilités quotidiennes en milieu urbain pour la simulation spatiale

Thomas HURAUX, Alexandre CEBEILLAC, Renaud MISLIN & Éric DAUDÉ
13^e Rencontres de Théo Quant – 18 mai 2017

Laboratoire IDEES, CNRS UMR 6266 – Université de Rouen



Contexte : modéliser les épidémies d'arboviroses

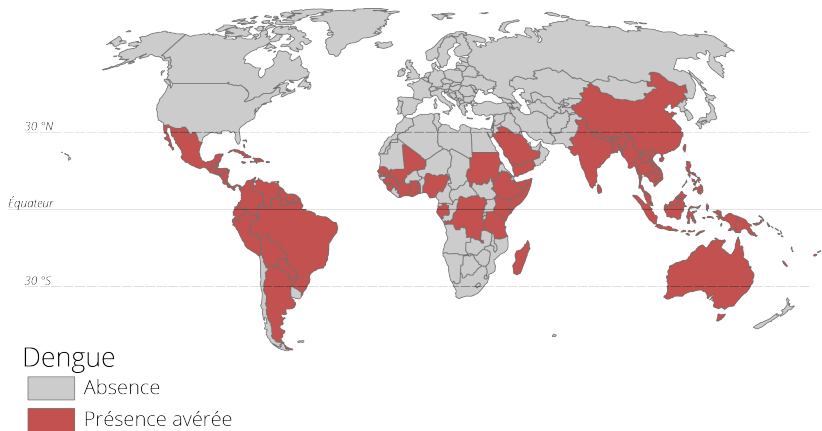
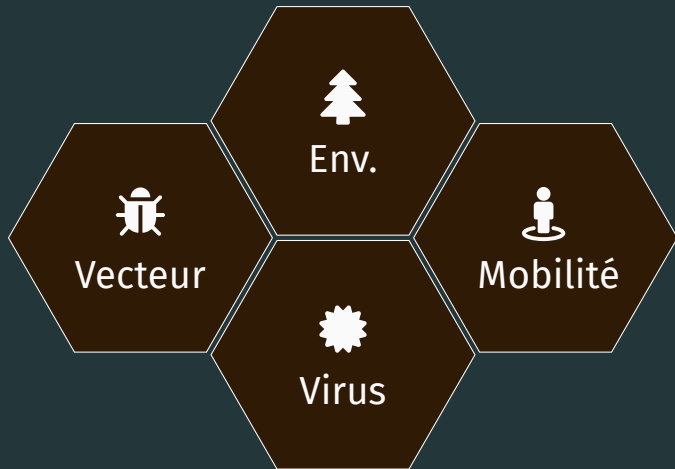
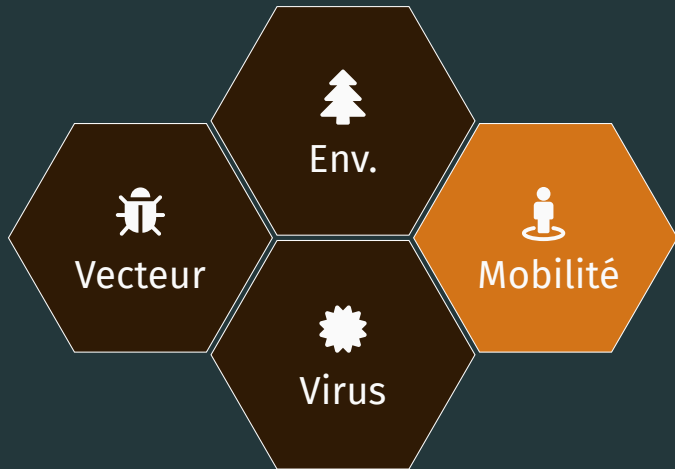


Figure 1: La dengue dans le monde (OMS, 2016)

La dengue, un système complexe...



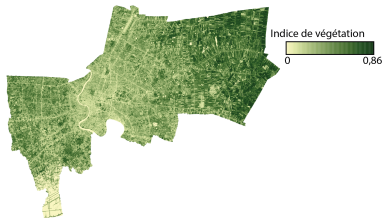
La dengue, un système complexe...



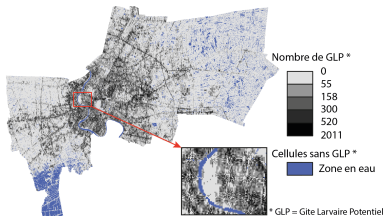
1. Introduction
2. Étude de la mobilité à Bangkok
3. Simulation à base d'agents
4. Conclusion

Introduction

Environnement du système denguien



T° minimale de l'air
(au 22/01/2009)



Environnement du système denguien

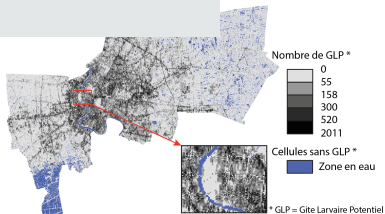
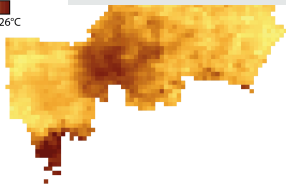


►► Présentation précédente

*MODE : Génération automatisée
d'environnements synthétiques*

Renaud MISSLIN

T° minimale de l'air
(au 22/01/2009)





Virus de la dengue

- 4 sérotypes
- immunité (sélective) après guérison
- transmission indirecte



Figure 2: Transmission de la dengue



Virus de la dengue

- 4 sérotypes
- immunité (sélective) après guérison
- transmission indirecte



Figure 2: Transmission de la dengue



Virus de la dengue

- 4 sérotypes
- immunité (sélective) après guérison
- transmission indirecte

Figure 2: Transmission de la dengue



Virus de la dengue

- 4 sérotypes
- immunité (sélective) après guérison
- transmission indirecte



Figure 2: Transmission de la dengue



Virus de la dengue

- 4 sérotypes
- immunité (sélective) après guérison
- transmission indirecte

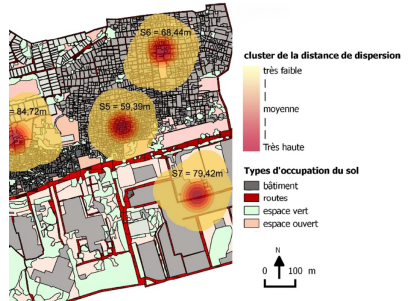


Figure 2: Transmission de la dengue

Le moustique *Aedes aegypti*, vecteur de la dengue



❗ *Aedes* n'est pas le principal facteur de propagation à l'échelle urbaine



80% des *Aedes* restent dans un rayon de 30 mètres autour de leur lieu de naissance (Somsakun MANEERAT, 2016)



Mobilités quotidiennes


principal facteur de propagation
à l'échelle de la ville

- variées et complexes
- peu étudiées
- peu modélisées



❗ Les **déplacements** de quelques individus peuvent influencer la propagation d'une épidémie à l'échelle urbaine.

Étude de la mobilité à Bangkok



« la portion de l'espace urbain qu'un individu fréquente lors de ses activités quotidiennes » (HORTON et REYNOLDS, 1971)

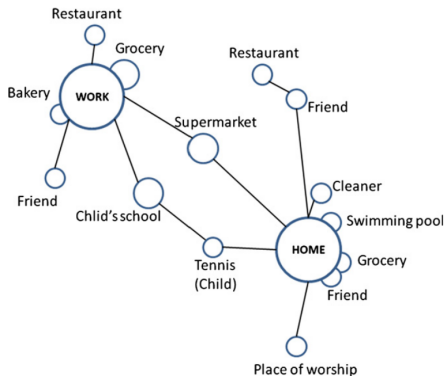


Figure 3: Exemple d'espace d'activité – d'après PERCHOUX et al. 2013

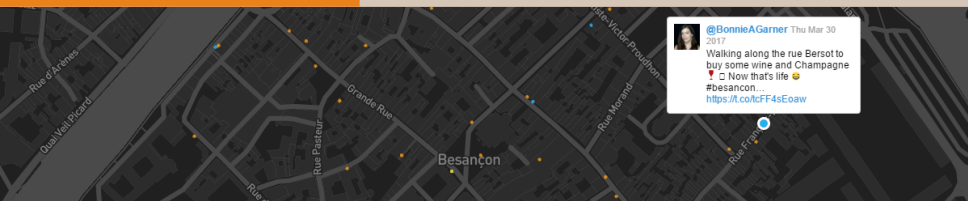


Bangkok

👥 9.2 millions d'habitants (2015) 📏 1 568 km²

Quelles données ?

- Enquêtes de terrains – coûteuses en temps
- Équivalent EMD – non disponible
- Données téléphonie – difficile d'accès
- Données **Twitter**



🐦 Données Twitter

- librement accessibles et gratuites
- possibilité de géolocaliser les messages (depuis 2009)
- échantillon sur 1% du flux total
- concernent les 15-35 ans* (SLOAN et al, 2015)

* les 15-35 ans correspondent à la population à risque à Bangkok

Échantillon à Bangkok

🕒 527 j de 2014 à 2016

🐦 25 752 072 tweets

👤 308 808 utilisateurs

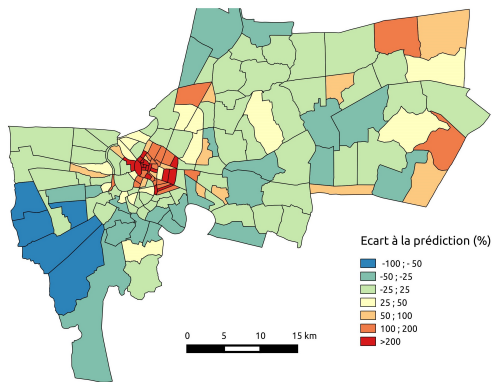


Figure 4: Estimation de la population à partir des tweets

▼ Filtres

- **vitesse** moyenne de déplacement entre l'envoi de 2 tweets
- **nombre** de messages envoyés par jour
- utilisateur **actif** au moins n jours

☰ Agrégation des tweets

en séries temporelles pour un individu et un lieu

🕒 Horaires manquants

avec une estimation de la densité

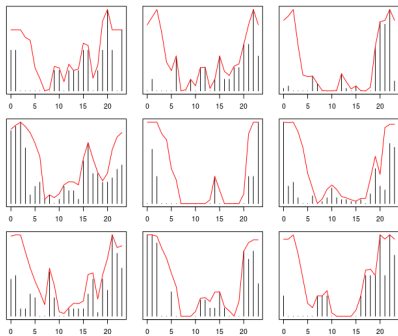


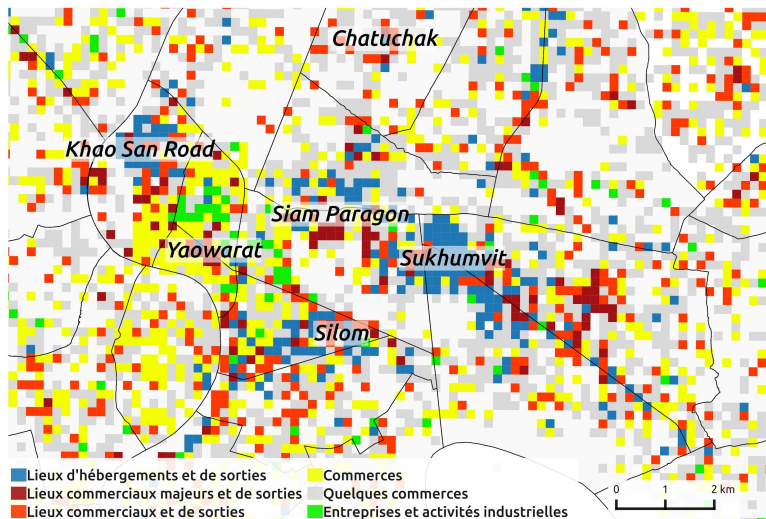
Figure 5: Estimation de la présence au domicile sur 9 profils

Utilisation du sol

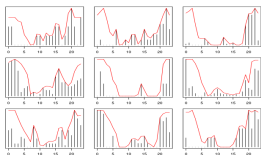


- | | |
|---|--|
| ■ Lieux d'hébergements et de sorties | ■ Commerces |
| ■ Lieux commerciaux majeurs et de sorties | ■ Quelques commerces |
| ■ Lieux commerciaux et de sorties | ■ Entreprises et activités industrielles |

Utilisation du sol (suite)

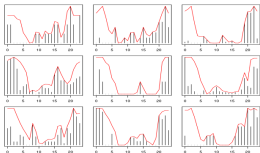


Créations des agendas individuels

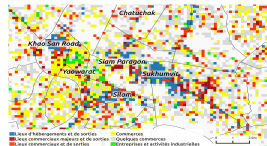


Trajectoires dans
l'espace et le temps
des individus

Créations des agendas individuels

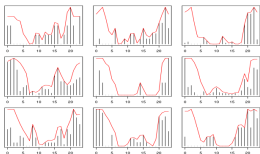


Trajectoires dans
l'espace et le temps
des individus

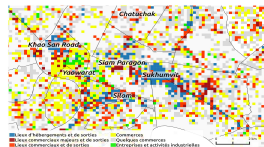


Nature des lieux
fréquentés

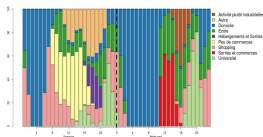
Créations des agendas individuels



Trajectoires dans
l'espace et le temps
des individus



Nature des lieux
fréquentés



Agendas individuels
sur une semaine type

Exemple d'agenda individuel

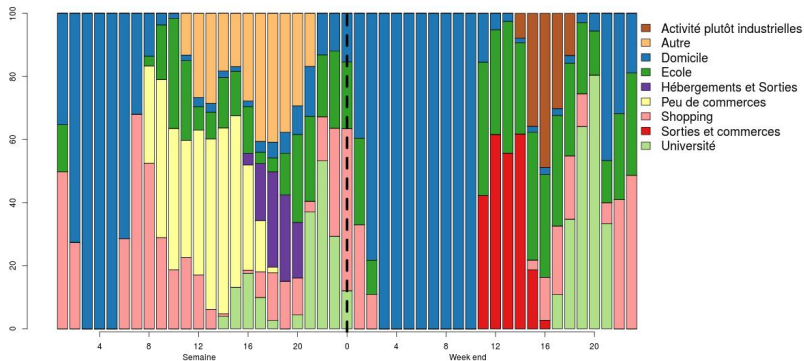
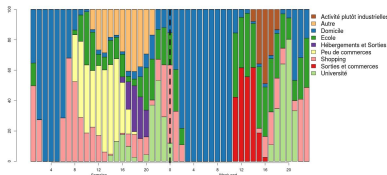


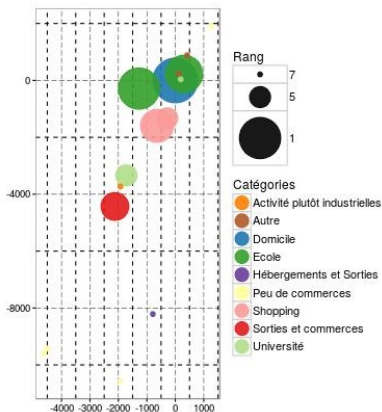
Figure 6: Exemple d'agenda pour un utilisateur A

Exemple d'agenda individuel



9 activités
réparties dans 13 lieux

📍 écoles la semaine et le week-end; shopping les jours de semaine, en général le matin; malls les matinées du week-end; ...



Exemple d'agenda individuel (autre)

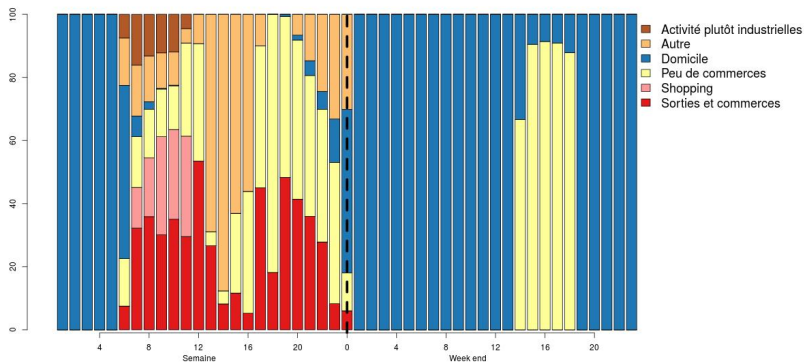
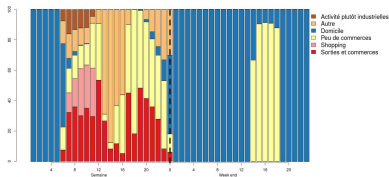


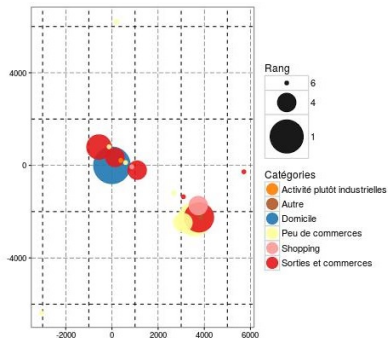
Figure 7: Exemple d'agenda pour un utilisateur B

Exemple d'agenda individuel (autre)

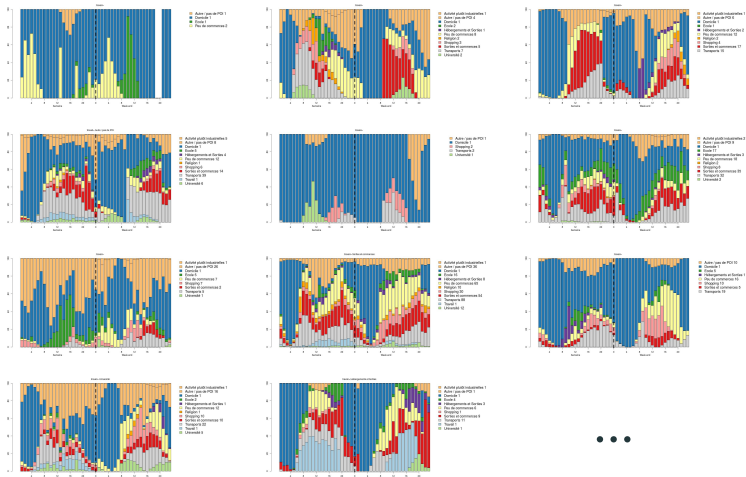


6 activités
réparties dans 11 lieux

📍 lieux de shopping et de restaurants en semaine; domicile le week-end; ...



22 000 agendas uniques



Simulation à base d'agents





- MOMA
- MOMOS
- MODE

Modèle de **simulation spatiale** à base d'**agents** pour l'étude des conditions d'émergence et de propagation d'**épidémies de dengue** en milieu urbain

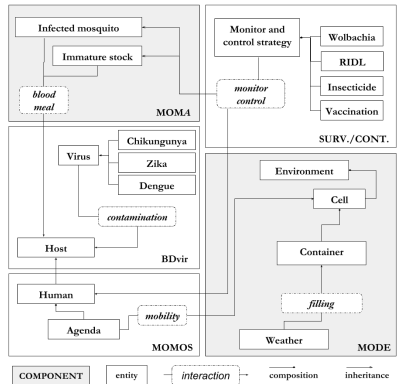


Figure 8: Architecture du modèle

Génération de populations synthétiques

Utilisation du **générateur de populations Gen*** pour créer des agents avec un âge, un sexe et une catégorie socioprofessionnelle.

PAT	PA	PAT NAME	PA NAME	GC00	GC01	GC02	GC03	GC04	GC05	GC06
100101	1001	Phra Borom Maha Ratchawang	Phra Nakhon	2,99	19,33	23,32	22,21	4,42	20,31	7,41
100102	1001	Wang Burapha Phirom	Phra Nakhon	5,59	20,25	14,57	19,62	3,7	29,03	7,25
100103	1001	Wat Ratchabophit	Phra Nakhon	6,61	23,71	17,18	17,86	3,7	26,54	4,39
100104	1001	Samran Rat	Phra Nakhon	8,34	17,24	17,18	17,32	6,86	24,71	8,35
100105	1001	San Chao Pho Suea	Phra Nakhon	4,16	17,45	17,91	21,4	3,98	27,29	7,81
100106	1001	Sao Chingcha	Phra Nakhon	6,43	27,9	13,21	15,72	3,49	24,28	8,96
100107	1001	Bowon Niwet	Phra Nakhon	7,59	17,32	16,2	18,6	5,12	27,95	7,22
100108	1001	Talat Yot								
100109	1001	Chana Songkhram								
100110	1001	Ban Pham Thon								
100111	1001	Bang Khun Phrom								
100112	1001	Wat Sam Phraya								
100201	1002	Dusit								
100202	1002	Wachira Phayaban								
100203	1002	Suan Chitlada								
100204	1002	Si Yaek Mahanak								
100206	1002	Thanon Nakhon Chai Si								
100301	1003	Krathum Rai								
100302	1003	Nong Chok								
100303	1003	Khlong Sip								
100304	1003	Khlong Sip Song								
100305	1003	Khok Faet								
100306	1003	Khu Fang Nuea								
100307	1003	Lam Phak Chi								
100308	1003	Lam Toiting								
100401	1004	Maha Phruettharam								
100402	1004	Si Lom								

district code	district EN	tranche age	Total	Male	Female
1001	Phra Nakhon	0-4	1475	745	730
1001	Phra Nakhon	5-9	2044	1123	921
1001	Phra Nakhon	10-14	2894	1509	1385
1001	Phra Nakhon	15-19	3867	1937	1930
1001	Phra Nakhon	20-24	5068	2680	2388
1001	Phra Nakhon	25-29	4861	2383	2478
1001	Phra Nakhon	30-34	4955	2424	2531
1001	Phra Nakhon	35-39	4816	2347	2469
1001	Phra Nakhon	40-44	4583	2198	2385
1001	Phra Nakhon	45-49	4655	2205	2450
1001	Phra Nakhon	50-54	4436	2033	2403
1001	Phra Nakhon	55-59	3604	1667	1937

Figure 9: Données utilisées par Gen*

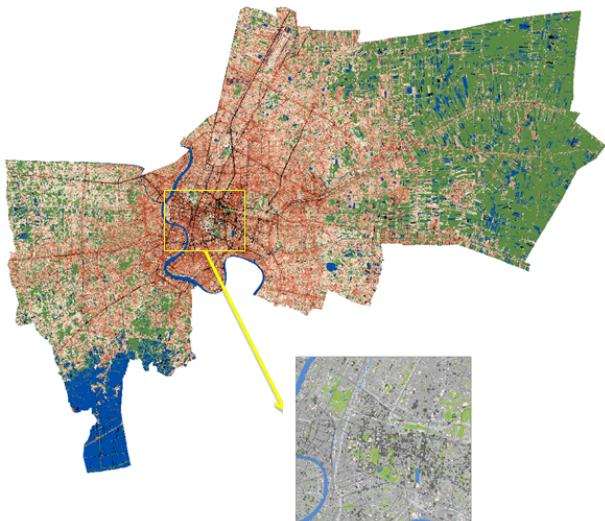
15-35 ans

- agents-répliquants pour lesquels on utilise directement les agendas Twitter
- agents-Twitter-inspirés, dont leur planning reprend les tendances de mobilités générales des agents-répliquants

autres tranches d'âges

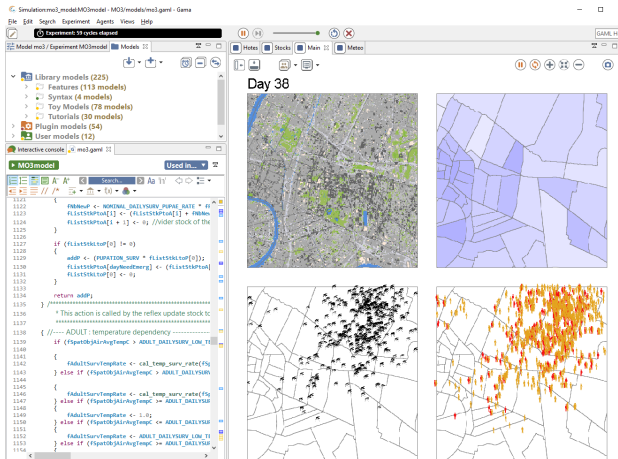
- en dessous de 15 ans, nous utilisons des profils simplifiées de mobilité : domicile – école – aléa – domicile
- supérieures à 35 ans, nous posons l'hypothèse que le nombre de lieux fréquentés suit une fonction inverse de l'âge

Zone d'étude pour la simulation (85 km²)



Utilisation de la plate-forme Gama

Simulations avec 85 000 agents
(10 % de la population réelle de la zone)



The screenshot displays the GAMA simulation environment. On the left, a file explorer shows a project named 'Simulationm3_modelM03model - M03/models/m3.gamé - Gama'. Below it, a 'Library models' tree lists various model categories: Features (113 models), Syntax (4 models), Toy Models (78 models), Tutorials (30 models), Plugin models (54), and User models (12). The 'Interactive console' shows the 'M03model' environment with a search bar and a list of used models. The main area contains a code editor with the following R code snippet:

```
1121 {
1122   FkNewP <- NORMAL_DAILYSURV_PUPE_RATE * r1
1123   flistskPma[1] <- (flistskPma[1] + FkNewP
1124     flistskPma[1 + 1] <- r1 //vider stock of the
1125   }
1126 }
1127 if (flistskPma[0] != 0)
1128 {
1129   addP <- (POPULATION_SURV * flistskPma[1])
1130   flistskPma[dayModEmerg] <- (flistskPma[
1131     flistskPma[0] <- 0;
1132   }
1133 }
1134
1135 return addP;
1136 }
1137 * This action is called by the reflex update stock to
1138
1139 { //---- ADULT : temperature dependency -----
1140   if (Fspot0-j&I-r&gTemp > ADULT_DAILYSURV_LOU_T1
1141     {
1142     fAdultSurvTemplate <- cal_temp_surv_rate(Fq
1143     } else if (Fspot0-j&I-r&gTemp > ADULT_DAILYSURV
1144     {
1145     fAdultSurvTemplate <- cal_temp_surv_rate(Fq
1146     } else if (Fspot0-j&I-r&gTemp > ADULT_DAILYSUR
1147     {
1148     fAdultSurvTemplate <- 1.0;
1149     } else if (Fspot0-j&I-r&gTemp <= ADULT_DAILYSUR
1150     {
1151     fAdultSurvTemplate <- ADULT_DAILYSURV_LOU_T1
1152     } else if (Fspot0-j&I-r&gTemp > ADULT_DAILYSUR
1153     }
1154 }
```

The right side of the interface shows a control panel with buttons for 'Notes', 'Stacks', 'Main', and 'Metro'. Below the control panel, the text 'Day 38' is displayed above four simulation views: a satellite map of a city area with green highlights, a blue-tinted map of the same area, a black-and-white map showing agent positions as small black dots, and a map showing agent positions as small orange and red dots.

Vers des simulations d'épidémies à l'échelle de la ville

Zone de
test

Densité de
population

Moustiques
infectés

Humains
infectés

Conclusion

Bilan

- mobilité à un niveau individuel
- méthode de création d'agendas spatialisés
- utilisables pour des simulations à base d'agents

Limites

- une population jeune
- surreprésentation de l'échantillon dans certaines zones

Perspectives

- dynamique des épidémies de Dengue à l'échelle de la ville
- généralité de l'approche ?

Merci pour votre attention !

Références

Maneerat S., Daudé É. (2017), *Étude par simulation à base d'agents des effets des discontinuités intra-urbaines à Delhi sur la dispersion des moustiques Aedes aegypti, vecteurs de la dengue, de la fièvre jaune, du chikungunya et du virus Zika*. Cybergéo : European Journal of Geography.

Cebeillac A., Daudé É., Huraux T. (2017), *Where? When? And How Often? What Can We Learn on Daily Urban Mobilities From Twitter Data and Google Map in Bangkok (Thailand) and Which Perspectives For Dengue Studies?* Netcom, à paraître.

Maneerat S., Daudé É. (2016), *A spatial agent-based simulation model of the dengue vector Aedes aegypti to explore its population dynamics in urban areas*. Ecological Modelling, vol. 333, pp.66-78

Daudé É., Vaguet A., Paul R. (2015), *La dengue, maladie complexe*. Natures Sciences Sociétés, vol. 23, n°4, pp. 331-342

Les sources du générateur de populations

`github.com/ANRGenstar/genstar`

Les sources du theme beamer

`github.com/matze/mtheme`

