

LES ATELIERS  
DE LA FONDATION  
UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL

 **Fondation**  
Université Gustave Eiffel

**VENDREDI 2 JUIN 2023**

**« L'ADAPTATION DE LA VILLE AUX  
CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT  
CLIMATIQUE » DE 14H À 17H**

à l'auditorium du Musée de la Chasse  
et de la Nature  
62 rue des Archives - 75003 Paris



## **GT 3 :** **La résilience des réseaux : caractérisation, données et retour sur l'adaptation**

Enjeux et théorie, pistes de réponses et de recherches

### **Porteurs du GT3 :**

Nour-Eddin EL Faouzi- [nour-eddin.elfaouzi@univ-eiffel.fr](mailto:nour-eddin.elfaouzi@univ-eiffel.fr)

Youssef Diab- [youssef.diab@eivp-paris.fr](mailto:youssef.diab@eivp-paris.fr)

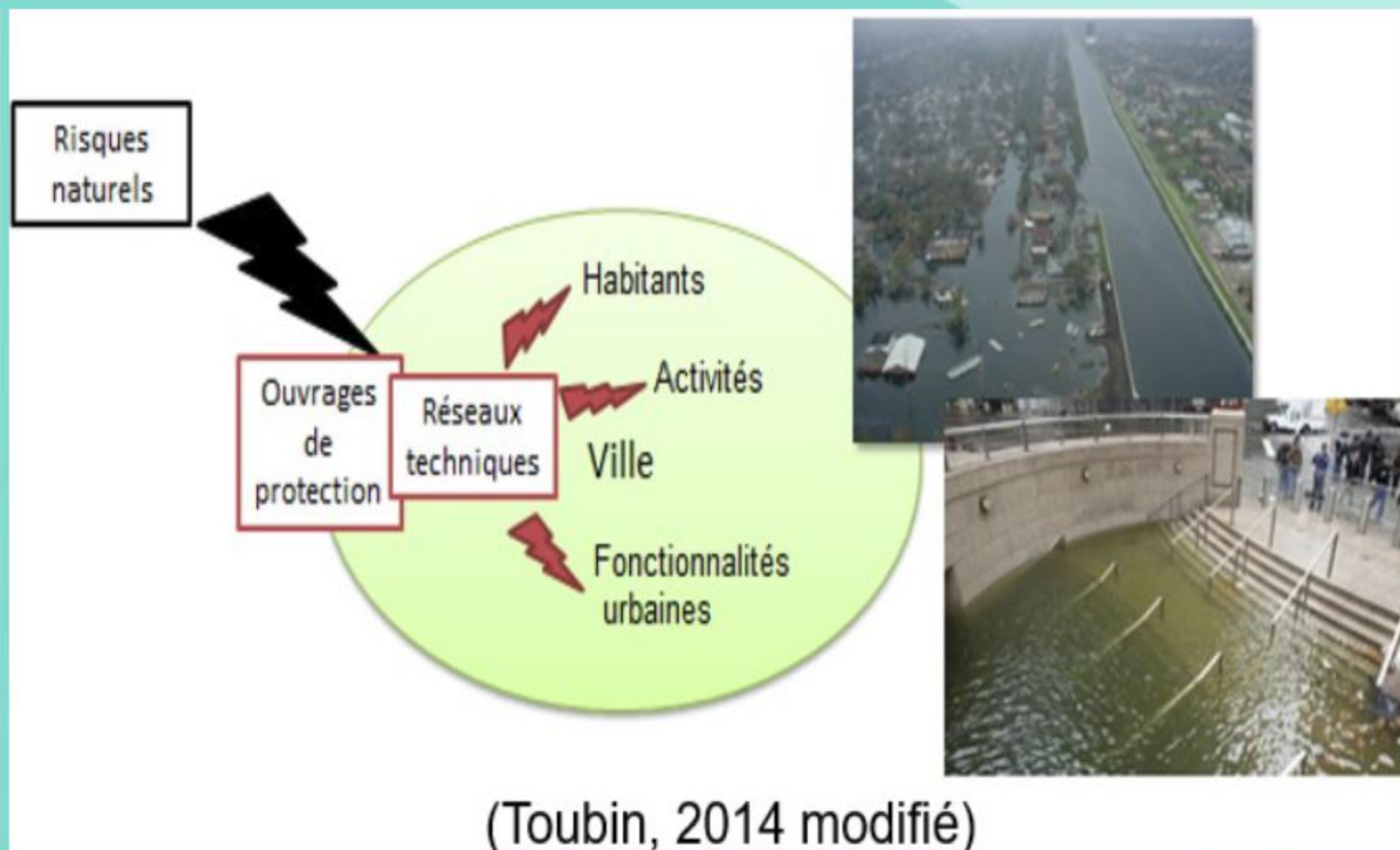


**RÉSILIENCE & ADAPTATION DES RÉSEAUX,  
RECONSTRUCTION ET RECONFIGURATION  
FACE AUX ALÉAS ET STRESS**





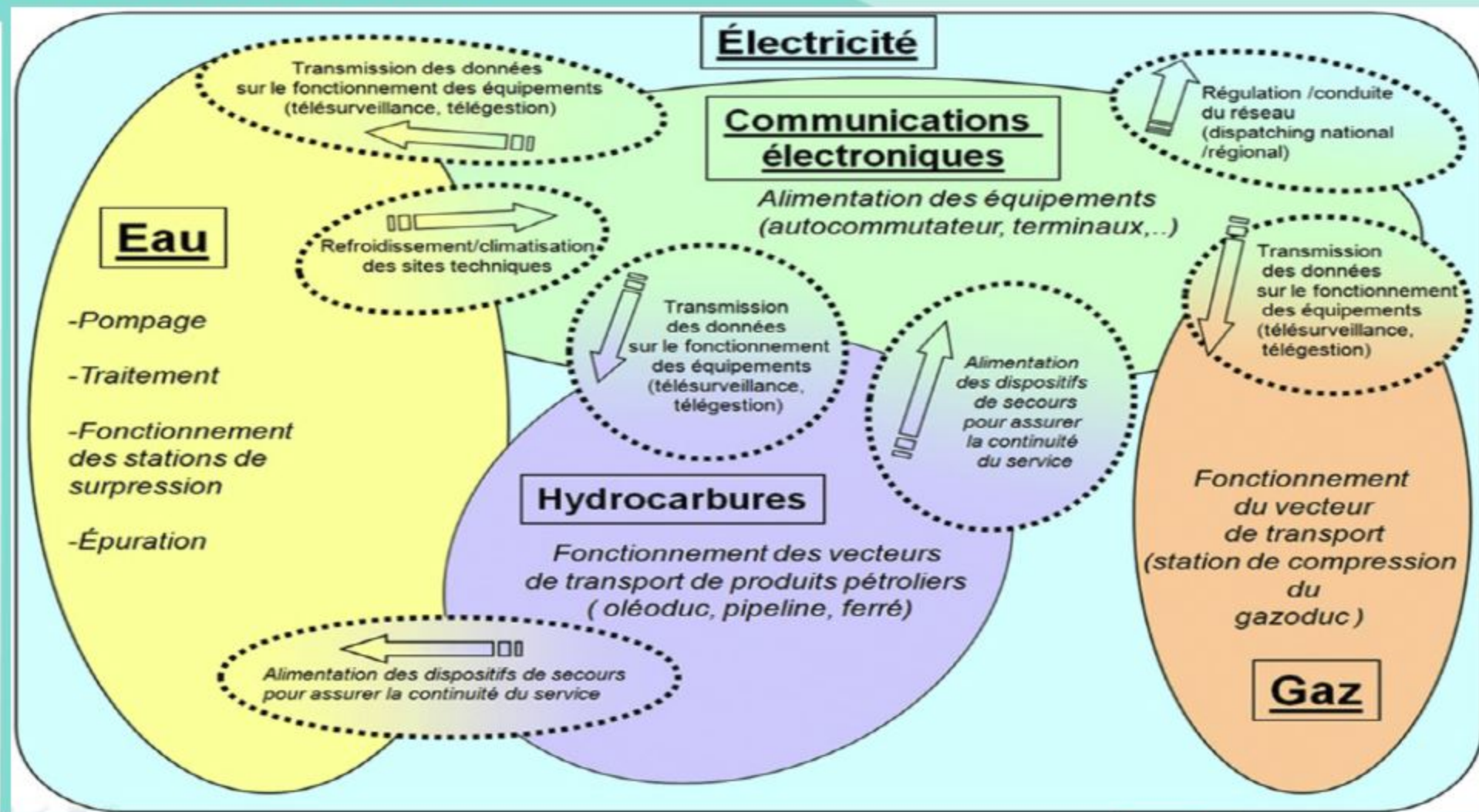
## COMPLEXITE



(Toubin, 2014 modifié)



# INTERDEPENDANCE

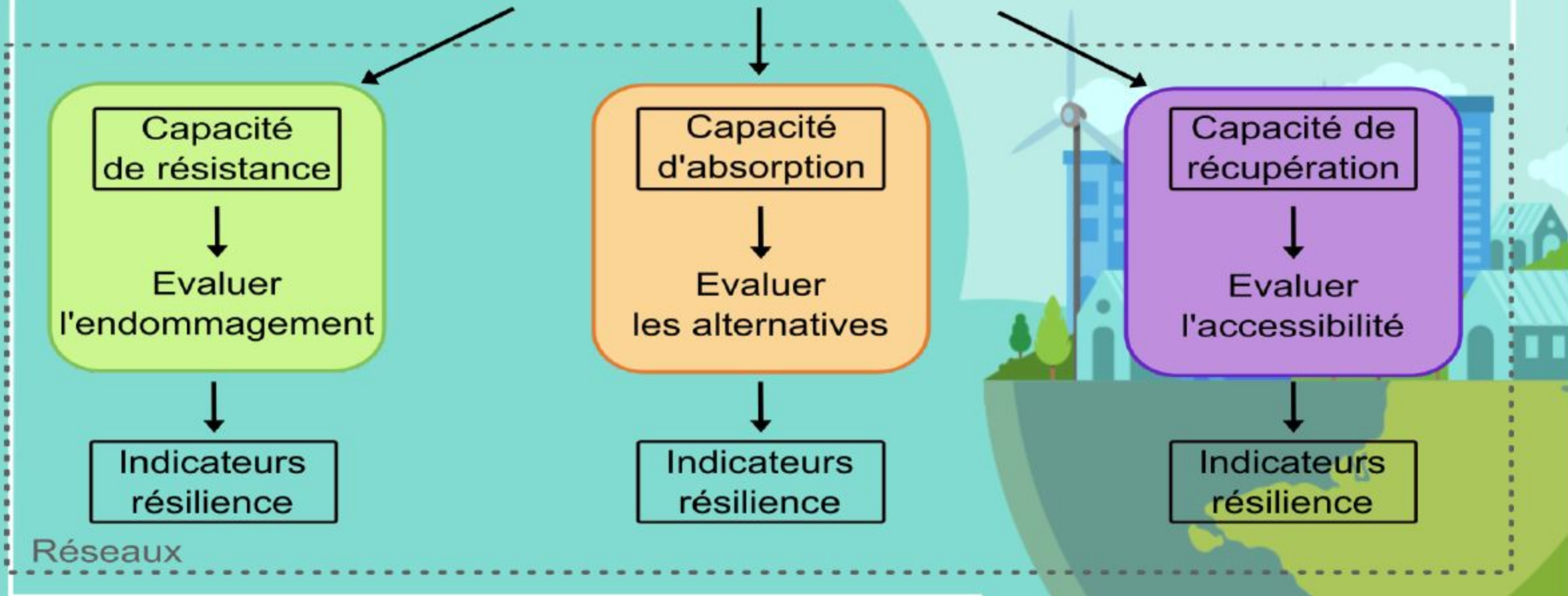




# MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE

## Trois capacités à analyser

Résilience = Capacité à absorber et à récupérer

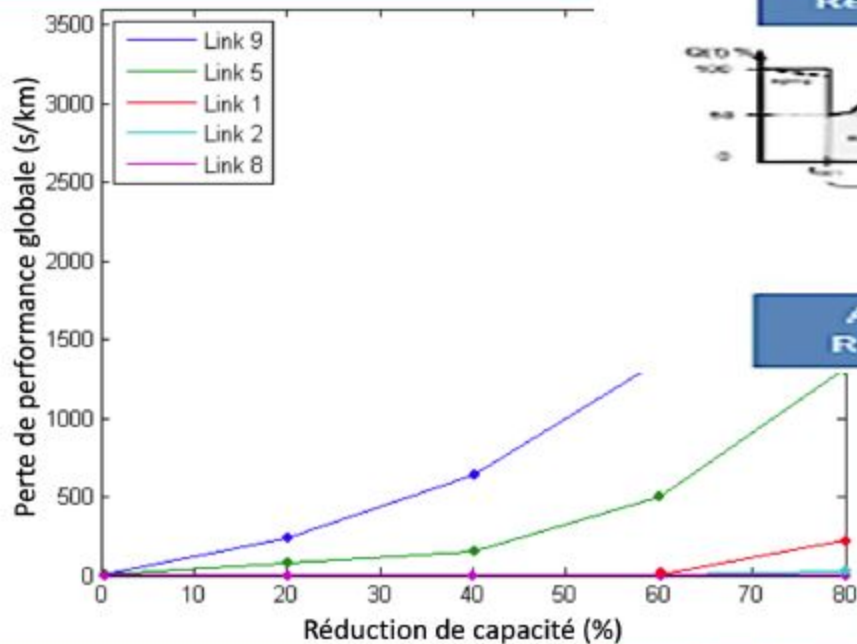


## A. Caractérisation et modélisation : exemple réseau de transport

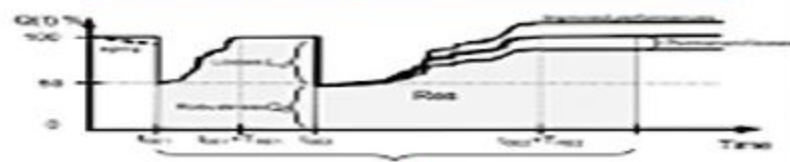
- **Métriques de résilience** : topologiques, dynamiques
- **Stress-tests** et la **simulation du trafic**
- Effets **cascade** et propagation dans un contexte multimodal



Stress test : simulation du trafic sur un réseau urbain



Resilience Quantification



Adaptive Strategies & Resilience optimization



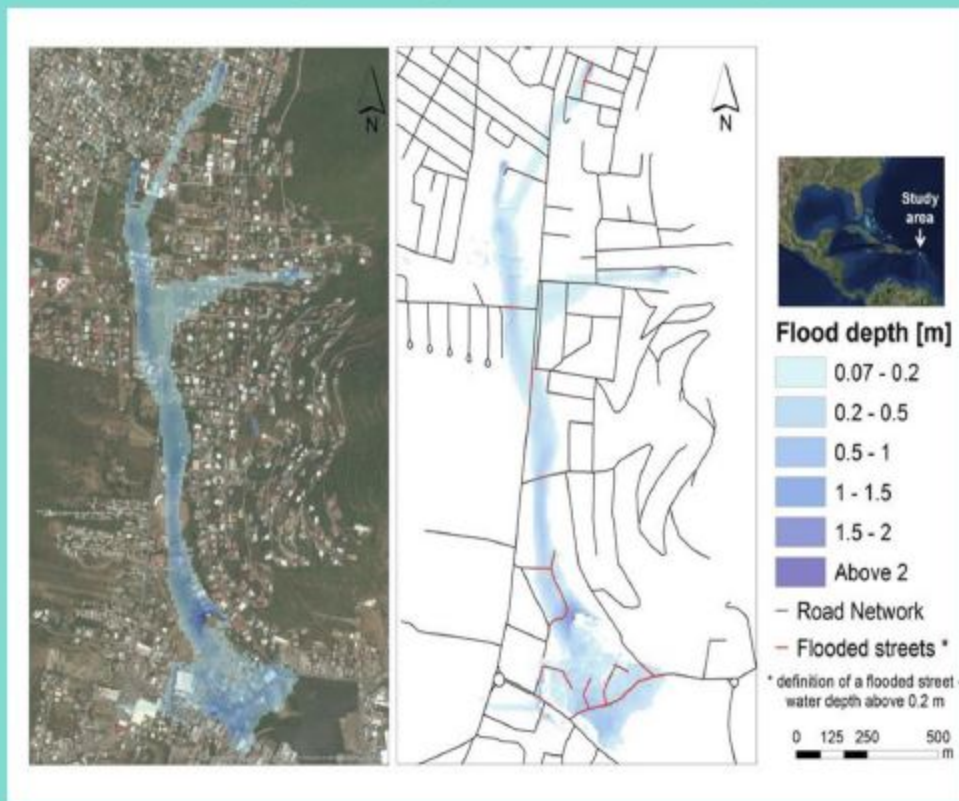
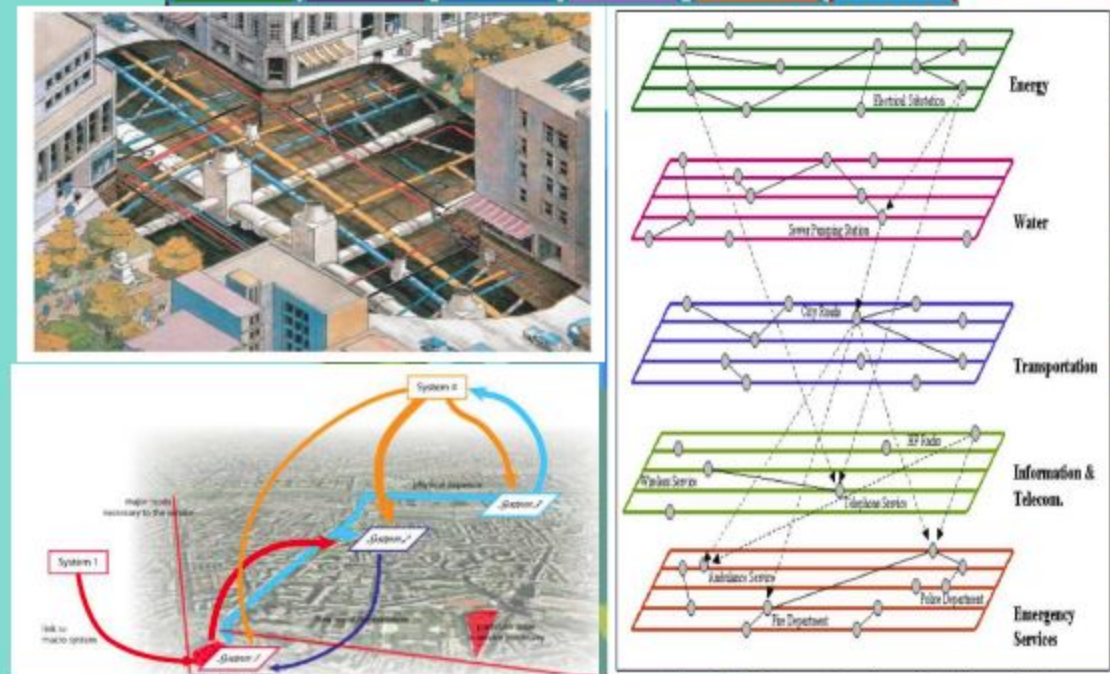


## B-Vers la simulation multi-physique

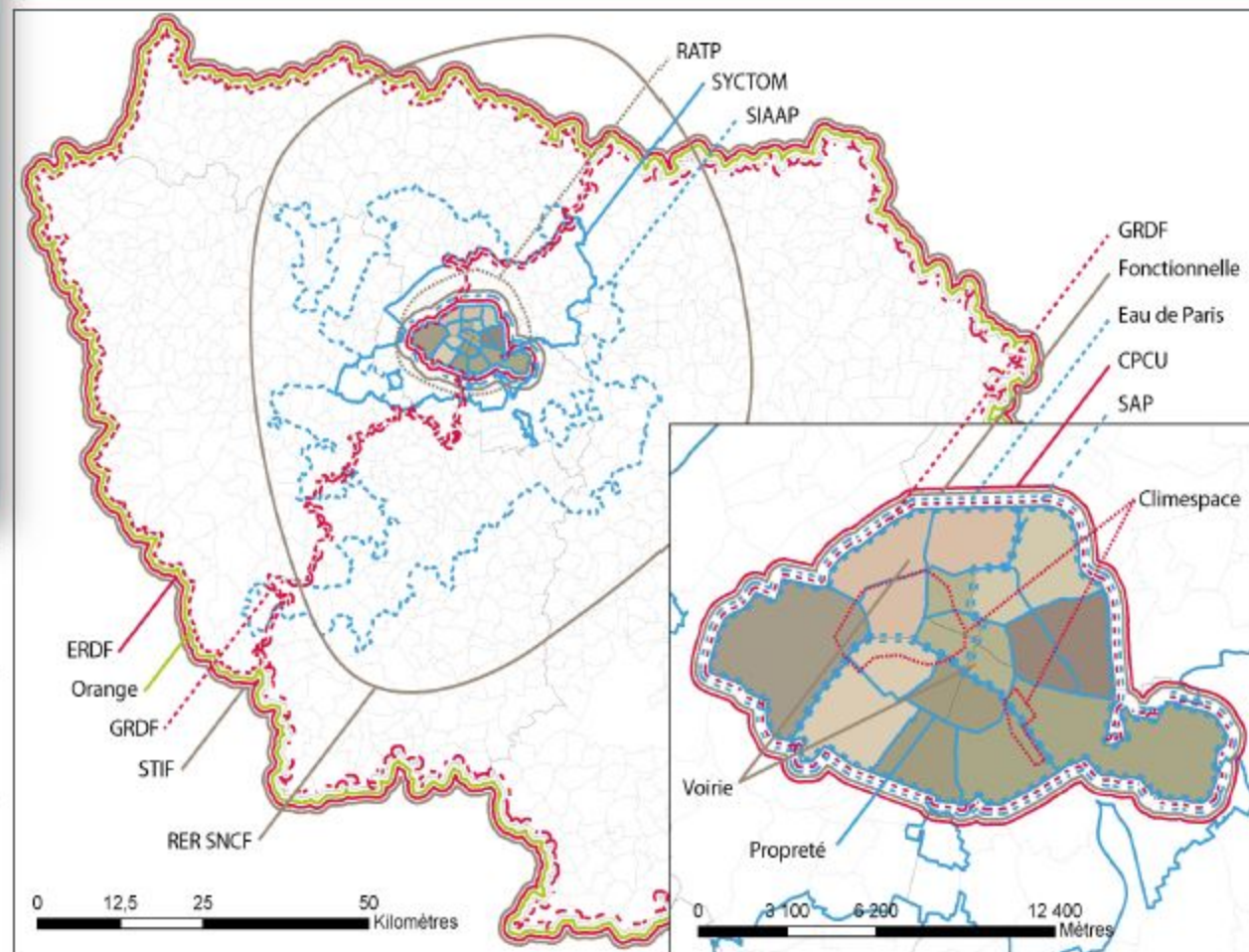
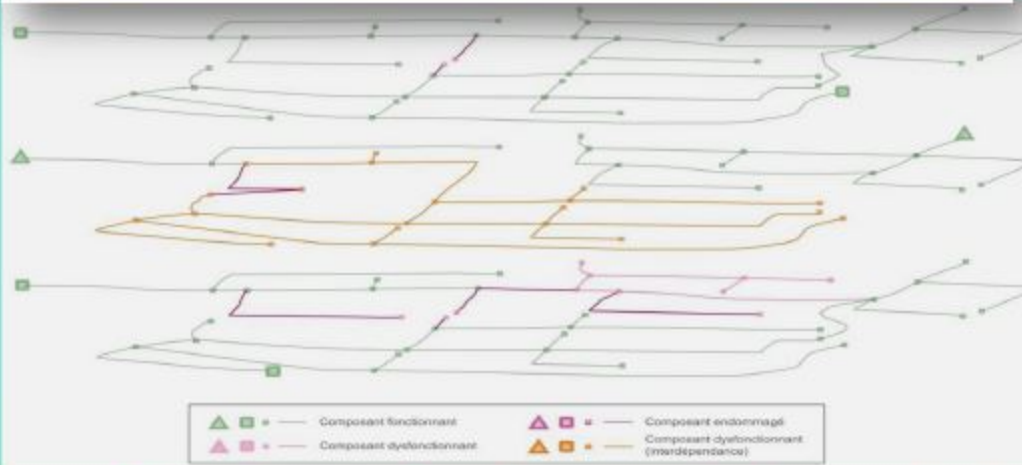
- **Couplage de plusieurs dynamiques**
- **Un exemple : impact des crues rapides**

## C. Vers une approche multi-réseaux

- Aborder la ville par ses **réseaux techniques**
- **interdépendances et caractérisation**







**Interdépendances des réseaux techniques urbains : le cas de pb électrique (théorie des graphes)**

## RGC4 : Risque d'une crue majeure de la Seine

Quels enjeux  
pour le Grand  
Paris?

- 12 millions d'habitants (IDF)
- 41 millions de déplacements /jour
- 1/3 du PIB national
- ¼ de la population active SGZDS, 2015

- 1,5 Millions de clients privés d'électricité
- 5 Millions d'abonnés privés d'eau potable
- ½ des stations métro/RER fermées
- 5 autoroutes inaccessibles le lg de la Seine

Une nouvelle gestion du risque inondation :  
un nouveau territoire de gestion face au Grand Paris

Scénario R.1.15, SLGRI, 2016



Etat des réseaux ferrés (RER et Transilien) en cas de crue (scénario régional R.1.15)  
service de service : +  
service normal : -  
Source : RFR 2011, DSDS/DT 2014, MMR, SCLIF, SCLIF 2011  
Carte 7 - Carte de l'état des réseaux ferrés en cas de crue (scénario régional R.1.15)  
(Projet de loi n° 1043 - CRUE 2015)

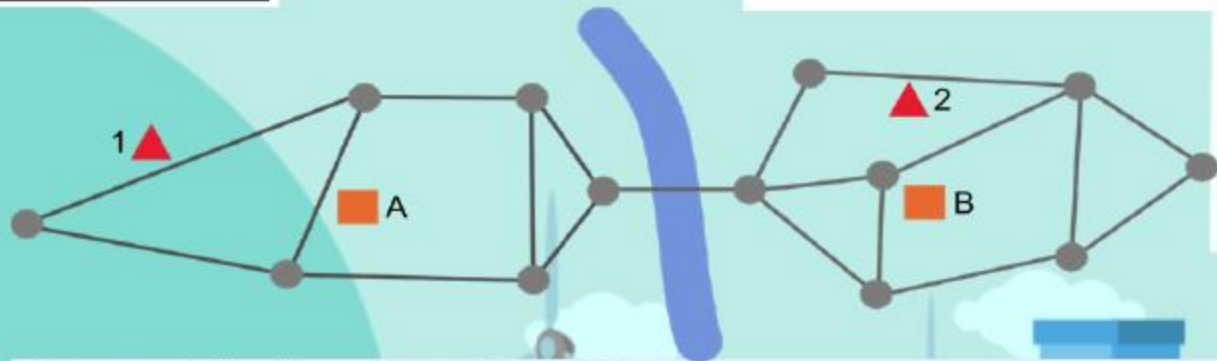


zone de fragilité électrique (scénario régional R.1.15)  
Source : RFR 2011, DSDS/DT 2014, MMR, SCLIF, SCLIF 2011  
Carte 7 - Carte de l'état des réseaux ferrés en cas de crue (scénario régional R.1.15)  
(Projet de loi n° 1043 - CRUE 2015)



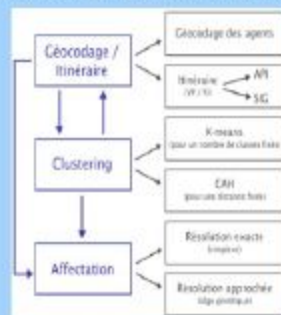


Réaffectation des personnels  
Stratégies d'évacuation  
Orientation vers le BBB



### Structure de l'outil : une extension QGIS

A partir de simples fichiers comportant des adresses (un fichier "employés" et un fichier "établissements"), l'outil permet de géolocaliser ces adresses, puis de calculer les temps de parcours des employés vers tous les établissements en se fondant sur des scénarios de perturbations du réseau routier et/ou du réseau de transport en commun. Le distancier produit pourra alors être utilisé pour résoudre le problème d'optimisation (de manière exacte ou approchée), cherchant à minimiser le temps total parcouru par l'ensemble des employés pour se rendre à un établissement tout en respectant les capacités d'accueil des établissements. Lorsqu'il n'est pas possible que tous les employés puissent se rendre sur un lieu de travail à cause de l'inondation, l'outil cherchera à maximiser le nombre d'employés pouvant se rendre sur un lieu de travail.

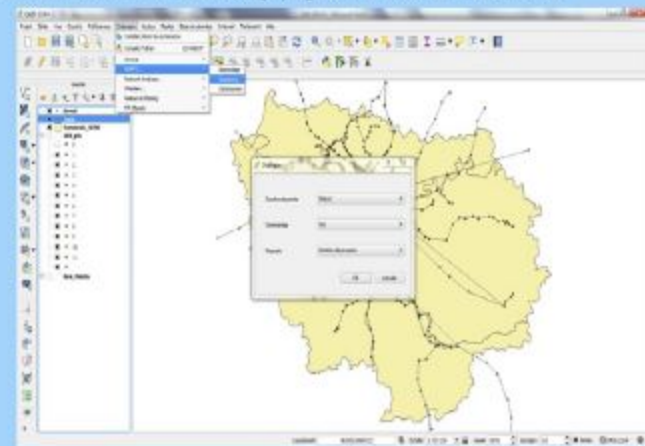


L'outil se situe au niveau de l'outil de calcul. Le premier est à valider le distancier itinéraire ou problème d'affectation. Le second permet de résoudre le problème de minimisation du temps total parcouru. Dans le cas, il est possible de proposer le processus pour des distributions possibles et de définir les valeurs.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij}$$

sous les contraintes :  $\sum_{j=1}^m X_{ij} \geq D_i \forall i \in \{1, \dots, n\}$  et  $\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq S_j \forall j \in \{1, \dots, m\}$

Le problème de transport sous le flux admissible.



Apert / Caribidra, outil de géolocalisation des adresses "Etablissement" de QGIS. On trouve dans les sous-menu "Process" l'interface des outils qui s'ajoutent aux outils de base de QGIS.

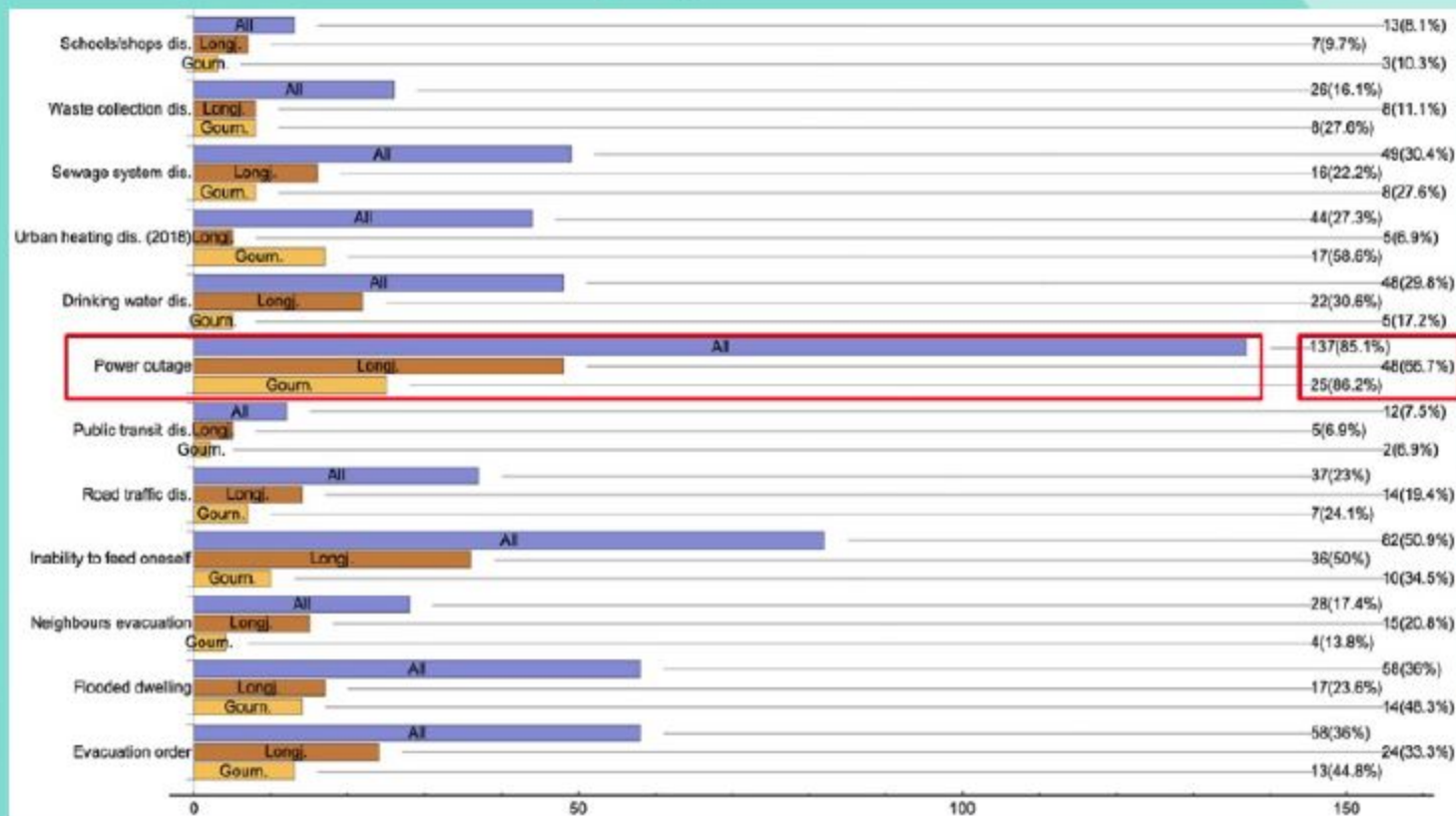


RESILIENCE TO COPE WITH CLIMATE CHANGE IN URBAN AREAS.



# RGC4 : RÉSULTATS

Les résultats confirment le rôle central de l'arrêt de l'électricité dans les décisions d'évacuation des ménages : 85.1% des ménages justifiant leur évacuation donnent l'électricité.



impossibilité de se nourrir,  
50% chauffage, 27%

## Variation saisonnière

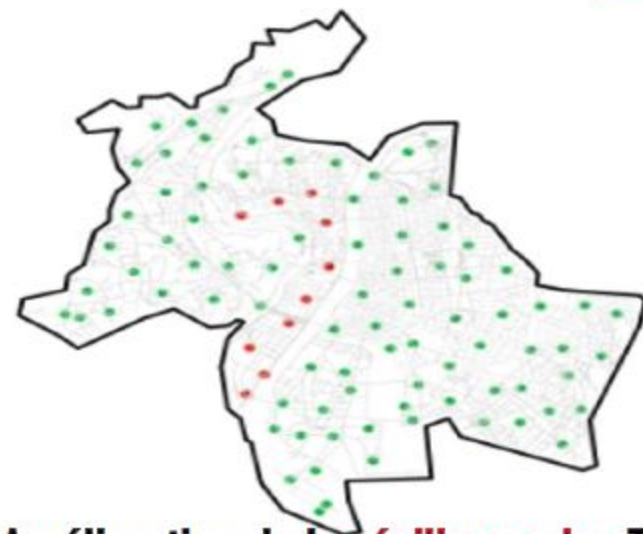
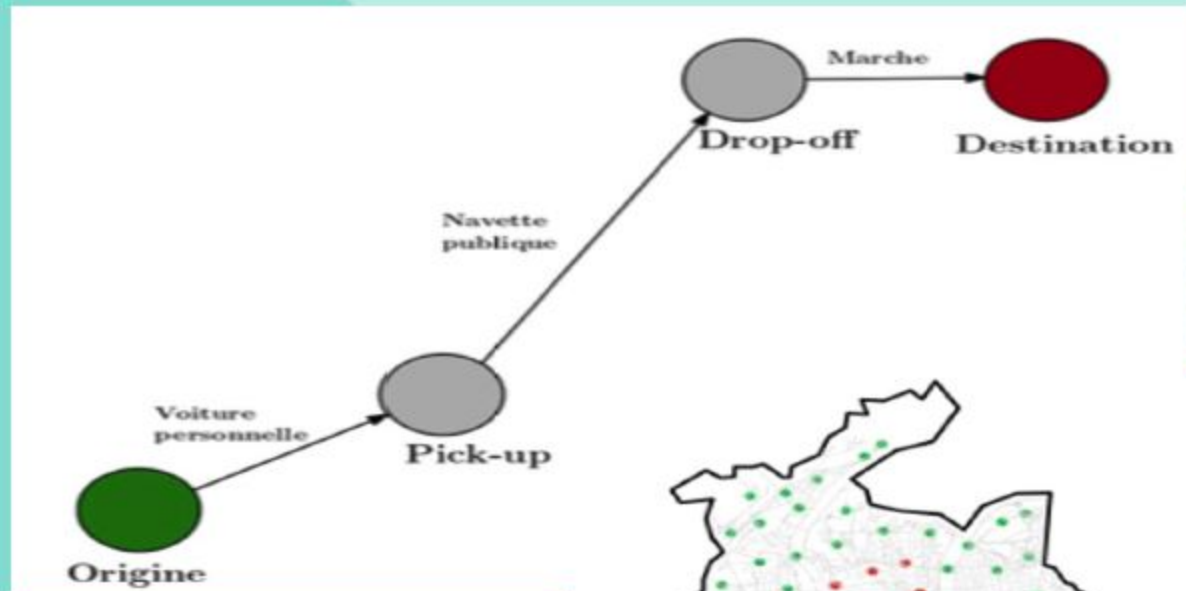
86.2% des ménages ayant évacué à Gournay ont mentionné l'électricité et 58.6% le chauffage, contre respectivement 66.7% l'électricité et 6.9% chauffage pour Longjumeau.



# RECONFIGURATION DYNAMIQUE DES RÉSEAUX EN SITUATION DE CRISE



- Sous-réseau de TC **optimal**



- Amélioration de la **résilience des TC**



## Approches en croisant modèle et enquête (SPI / SHS) :

- Construire des courbes de réponse spécifiques à tout déclencheur d'évacuation de décision **est faisable**.
- Développement de modèles théoriques **statistiquement significatifs avec un bon ajustement aux données empiriques**
- Première étape vers **l'intégration de la coupure de courant comme déclencheur de décision d'évacuation** dans les modèles d'évacuation dans des zones présentant des circonstances similaires à la région Ile-de-France pour des prévisions plus réalistes

## Axes futurs :

Validation des modèles obtenus

- **Petite taille** des observations étudiées
- **La transférabilité ou la généralisation** à d'autres événements d'évacuation est discutable (ensemble unique de données provenant d'événements spécifiques survenus dans des zones particulières)
- **Réaliser d'autres enquêtes post-évacuation sur le comportement des évacués** face aux coupures d'électricité suite à des inondations (France, monde)

Construction de **courbes de réponse spécifiques aux autres réseaux** techniques critiques



# PERSPECTIVES ET APPROCHES A METTRE EN ŒUVRE – OFFRE DE RECHERCHE (1/2)

## Aide à la décision pour améliorer la résilience et l'adaptation des réseaux techniques urbains

- Interdépendance : Nous avons les outils et les approches (Bottom up / Top down)
- La mutualisation des services et complémentarité entre services (Nexus)
- Communication en temps de crise
- Les incertitudes, les effets cascade et la décision
- Optimisation et contrôle
- Multi-échelle : du quartier aux territoires...
- Data pour la résilience

**RESILIENCE AS A SERVICE**





# PERSPECTIVES ET APPROCHES A METTRE EN ŒUVRE – OFFRE DE RECHERCHE (2/2)

## Nécessité de constitution d'une base de données pour l'étude de la résilience :

- Importance d'une **collecte systématique** et organisée des événements passés : inondations, pannes d'électricité, ....., etc.
- Faciliter l'**analyse rétrospective** des événements passés et aider **comprendre les impacts sur les réseaux urbains et le métabolisme de la ville**
- **Identifie les vulnérabilités** et les **leçons apprises** pour une meilleure planification
- Fonctionnalités (site web collaboratif) :
  - i. Système de collecte et d'archivage des événements avec des données sur le métabolisme urbain associé
  - ii. Outils d'analyse et de visualisation pour identifier les schémas et les tendances
  - iii. Espaces d'archives des documents/rapports utiles





LES ATELIERS  
DE LA FONDATION  
UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL

 **Fondation**  
Université Gustave Eiffel

**Youssef DIAB**  
**Nour-Eddin EL FAOUZI**  
**Angelo FURNO**  
**Marc VUILLET**

 **Université  
Gustave  
Eiffel**

