

Audition Maître de Conférences INSA Lyon/CITI

Samir SI-MOHAMMED

Projet : **Jumeaux Numériques pour des Réseaux Sans-fil Optimisés**

Équipe : **DYNAMID**

Parcours, Activités de Recherche et d'Enseignement

Parcours Académique + Contributions

2015 – 2020



Ingénieur + Master 2 en Informatique

Supervision : Pr. Yacine Challal, Pr. Karima Benatchba



Janvier – Juin 2020



Stage de Recherche

Supervision : Pr. Adlen Ksentini

Contribution : Optimisation de vols de Drones sur des Réseaux 5G



2020 – 2023



Doctorat en Informatique (10/2023)

Supervision : Pr. Thomas Begin,

Pr. Isabelle Guérin Lassous, Dr. Pascale Vicat-Blanc

Contributions :

- Sélection multicritère de Technologies Réseau
- Calibrage de modèles de simulation



Juin – Août 2023



Mobilité Internationale

Supervision : Pr. Catherine Rosenberg

Contribution : Étude de techniques de localisation en 5G



Novembre 2023 –



Postdoctorat

Supervision : Dr. Fabrice Théoleyre

Contribution : Jumeaux numériques de réseaux sans-fil



Parcours Académique + Contributions

2015 – 2020



Ingénieur + Master 2 en Informatique

Supervision : Pr. Yacine Challal, Pr. Karima Benatchba



Janvier – Juin 2020



Stage de Recherche

Supervision : Pr. Adlen Ksentini

Contribution : Optimisation de vols de Drones sur des Réseaux 5G



2020 – 2023



Doctorat en Informatique (10/2023)

Supervision : Pr. Thomas Begin,

Pr. Isabelle Guérin Lassous, Dr. Pascale Vicat-Blanc

Contributions :

- Sélection multicritère de Technologies Réseau
- Calibrage de modèles de simulation



Juin – Août 2023



Mobilité Internationale

Supervision : Pr. Catherine Rosenberg

Contribution : Étude de techniques de localisation en 5G



Novembre 2023 –



Postdoctorat

Supervision : Dr. Fabrice Théoleyre

Contribution : Jumeaux numériques de réseaux sans-fil



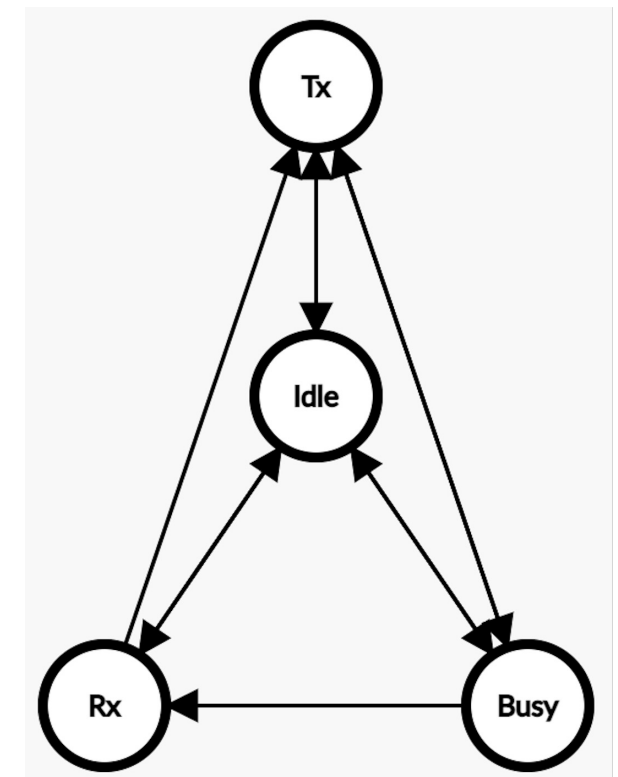
Calibrage de Simulateurs Réseau

❖ Problématique :

- Simulation extrêmement utilisée en réseaux
 - Exemple : Approx. autant d'articles IoT utilisant ns-3 que FIT IoT-Lab en 2021 [1]
- Comment calibrer les modèles de consommation d'énergie ?
 - Précision des simulateurs réseau
 - Exemple : Consommation énergétique cruciale dans les systèmes IoT

❖ Verrou scientifique :

- Écart entre expérimentation et simulation en termes de temps passé dans chaque état physique du nœud



[1] Singh, A., Nandanwar, H., & Chauhan, A. (2022, September). Simulation Tools and Testbeds for Internet of Things (IoT): "Comparative Insight". In 2022 Second International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA) (pp. 1-7). IEEE.

Calibrage de Simulateurs Réseau

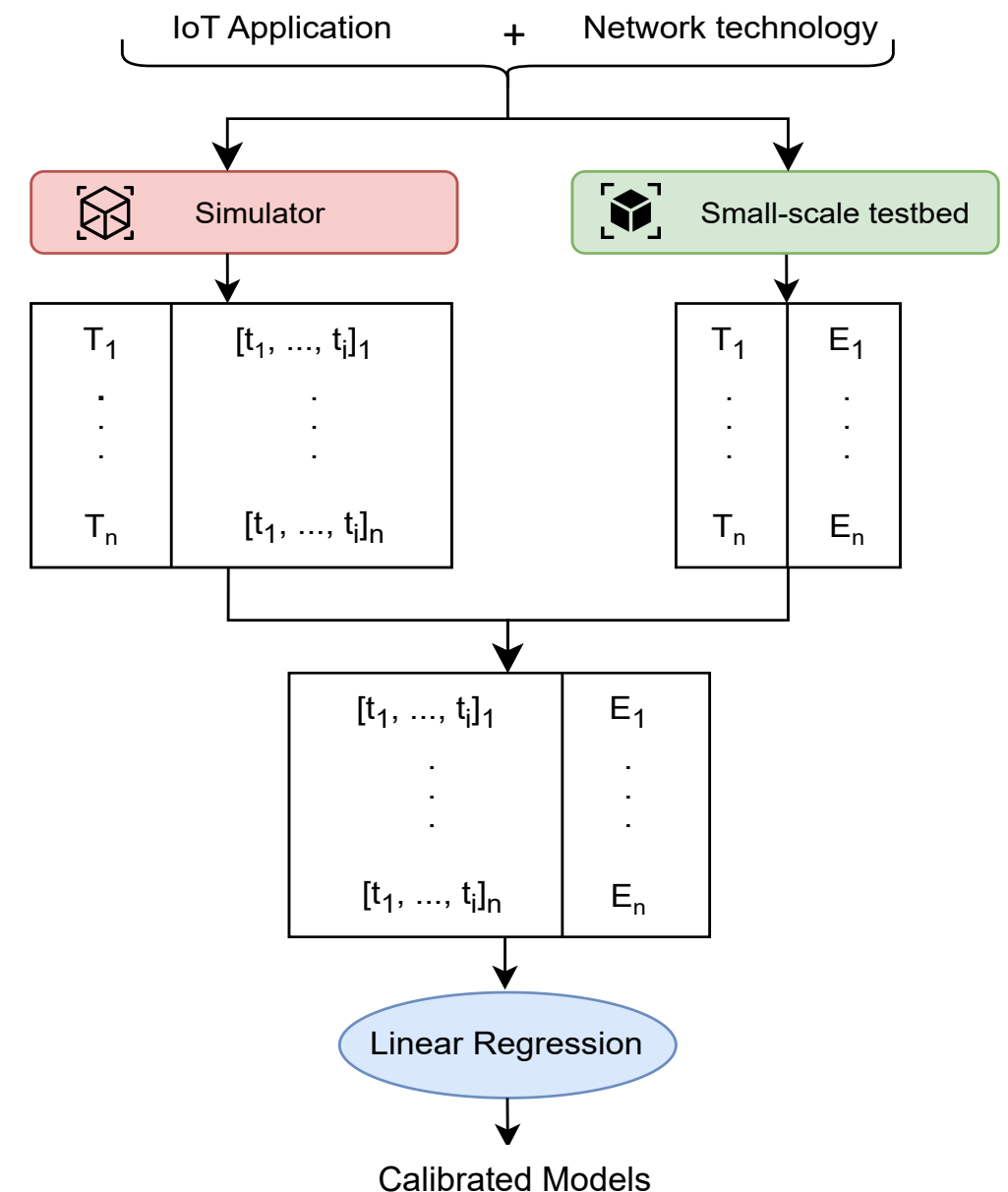
❖ **Contribution** : Méthode hybride combinant **simulation** et **expérimentation**

❖ **Fonctionnement** :

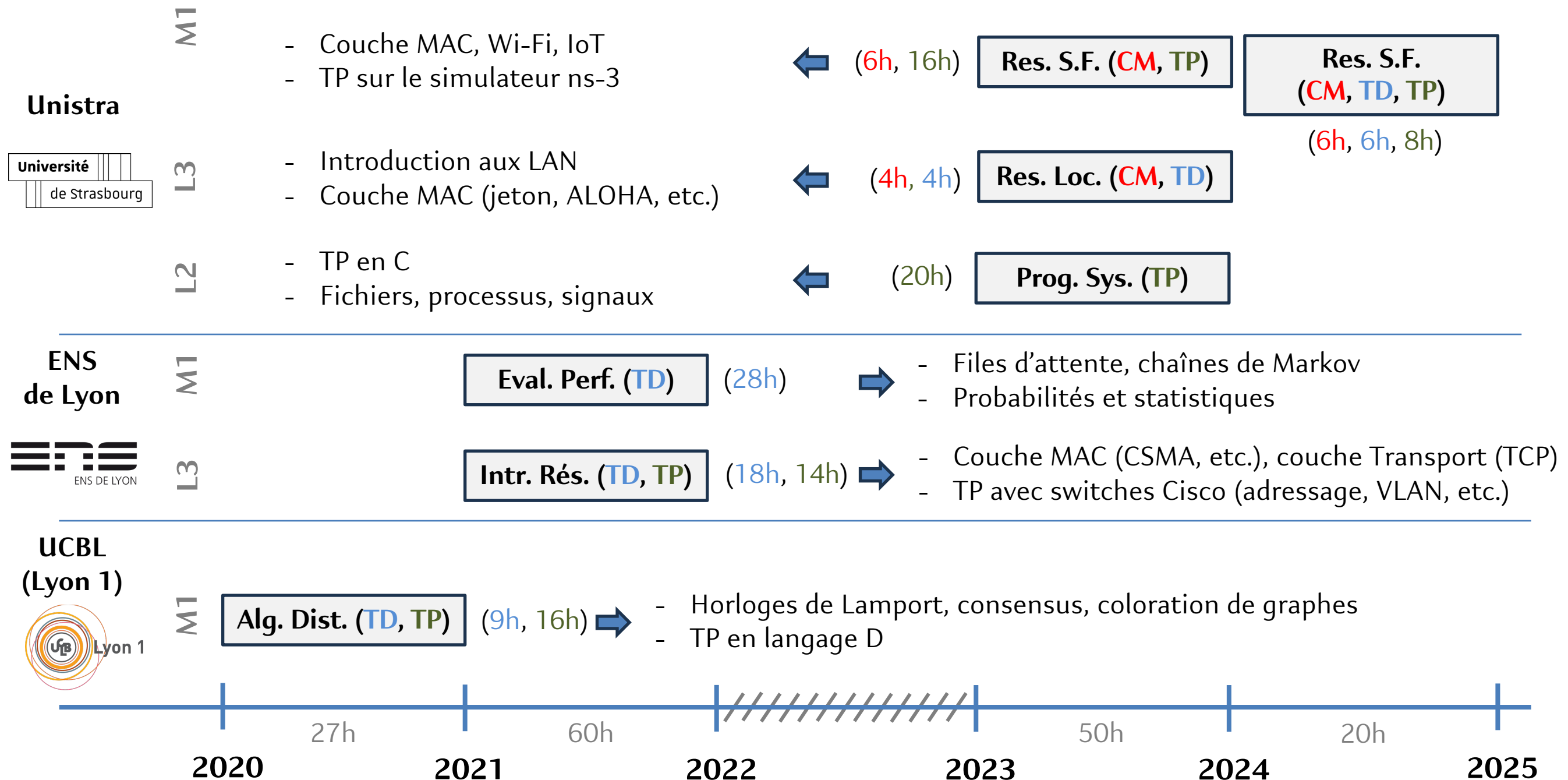
1. Pour des fenêtres de temps identiques :
 - Garder trace des temps passés dans chaque état physique dans le simulateur
 - Calculer l'énergie consommée dans la plateforme expérimentale
2. Fusionner les deux ensembles de données
3. Appliquer une régression linéaire pour calibrer les modèles

❖ **Apport**

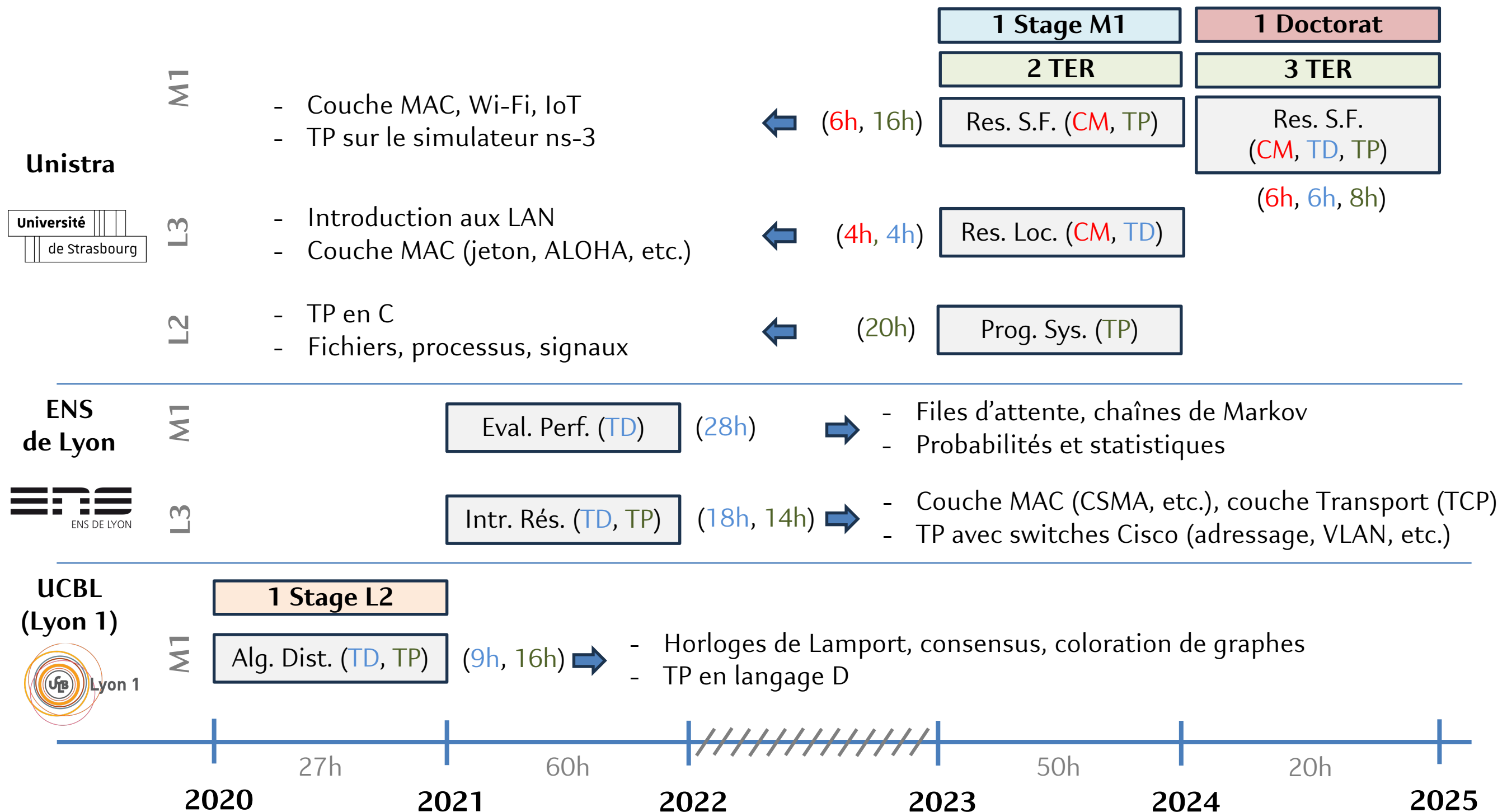
- **Calibrage des modèles de simulation sans avoir à modifier leur implémentation**



Activités d'Enseignement



Activités d'Enseignement / d'Encadrement



Projet d'Intégration : Recherche et Enseignement

Projet de Recherche

❖ **Jumeaux Numériques (JN)** : Approche visant à reproduire le comportement d'un système [2].

➤ Dans un contexte réseau :

- **Détection** de changements dans l'environnement
- Test de **configurations** avant déploiement



Réseau Sans-fil

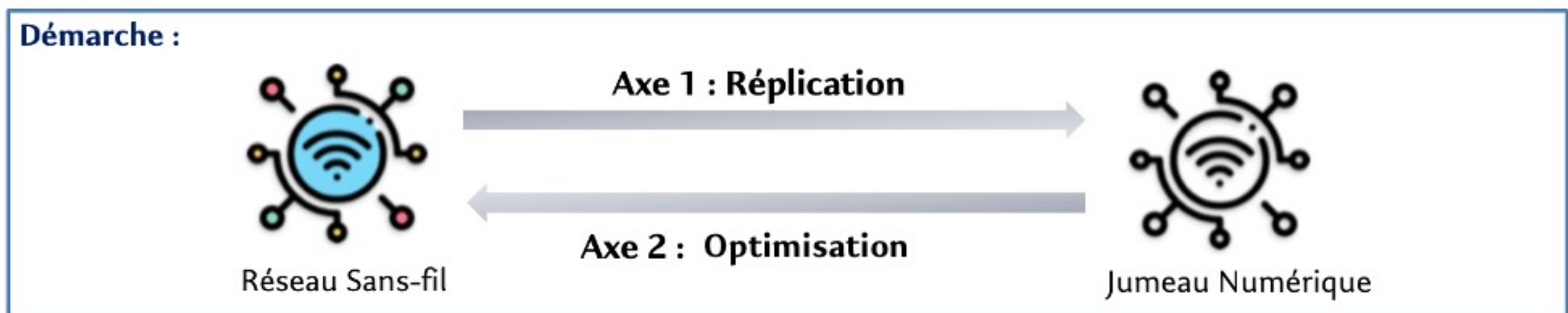


Jumeau Numérique

➔ **Compromis entre précision et complexité des modèles**

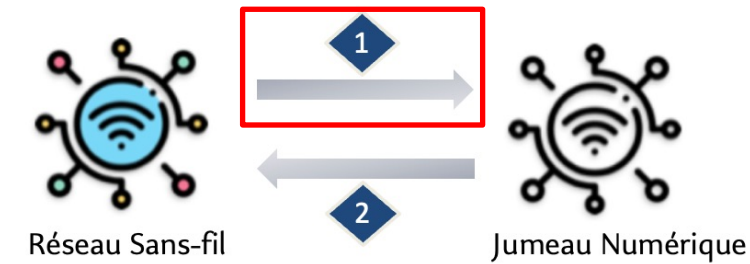
■ Objectifs :

- Concevoir des mécanismes pour développer un jumeau numérique **précis** et **le moins coûteux possible**
- Permettre **l'optimisation automatique** d'un réseau sans-fil sur l'ensemble de la **pile réseau**



[2] Rasheed, A., San, O., & Kvamsdal, T. Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. IEEE Access (2020).

Projet de Recherche



1 Axe 1 : Réplication de réseaux sans-fil à l'aide de jumeaux numériques

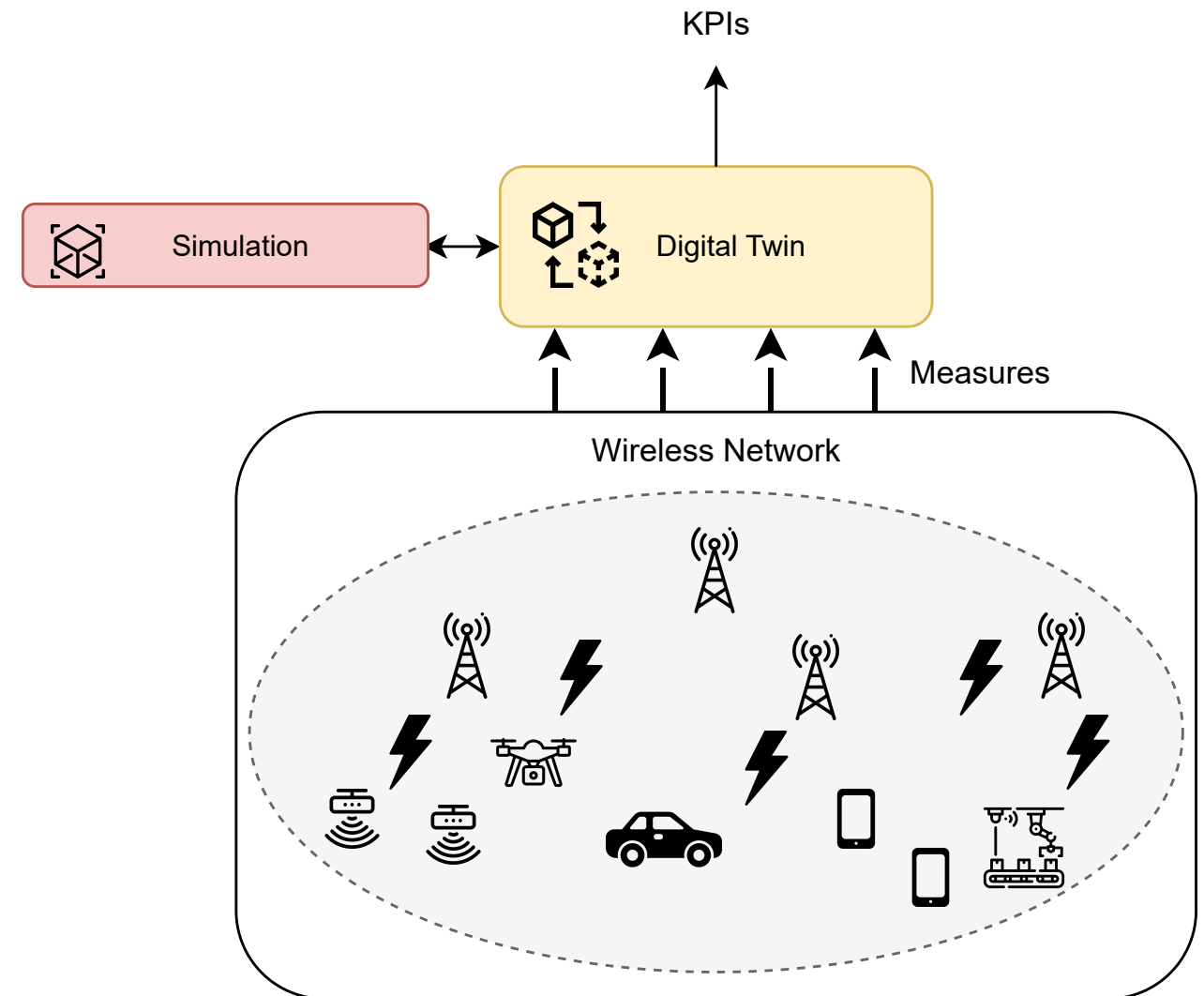
❖ **Objectif :** Efficacité et Précision du processus de Modélisation

❖ **Problématique :**

- Comment développer des modèles capables, **à coût minimal**, de :
 - **Reproduire** les performances d'un réseau sans-fil ?
 - **Prédire** ses performances futures ?

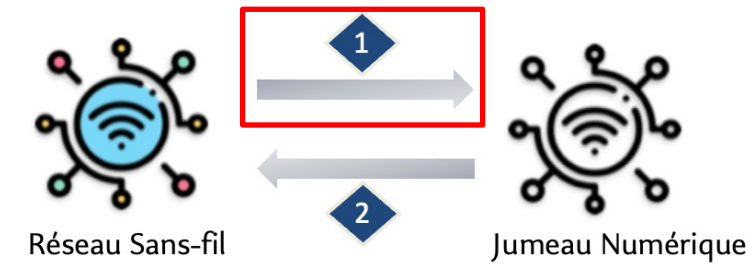
❖ **Verrou scientifique :**

- **Imprécision** et **Complexité** des modèles de simulation
 - Ray-tracing [3] précis mais coûteux
 - Log Distance ou Rayleigh trop simplistes



[3] Valenzuela, Reinaldo. "A ray tracing approach to predicting indoor wireless transmission." IEEE 43rd vehicular technology conference (1993).

Projet de Recherche



Axe 1 : Réplication de réseaux sans-fil à l'aide de jumeaux numériques

❖ Approche :

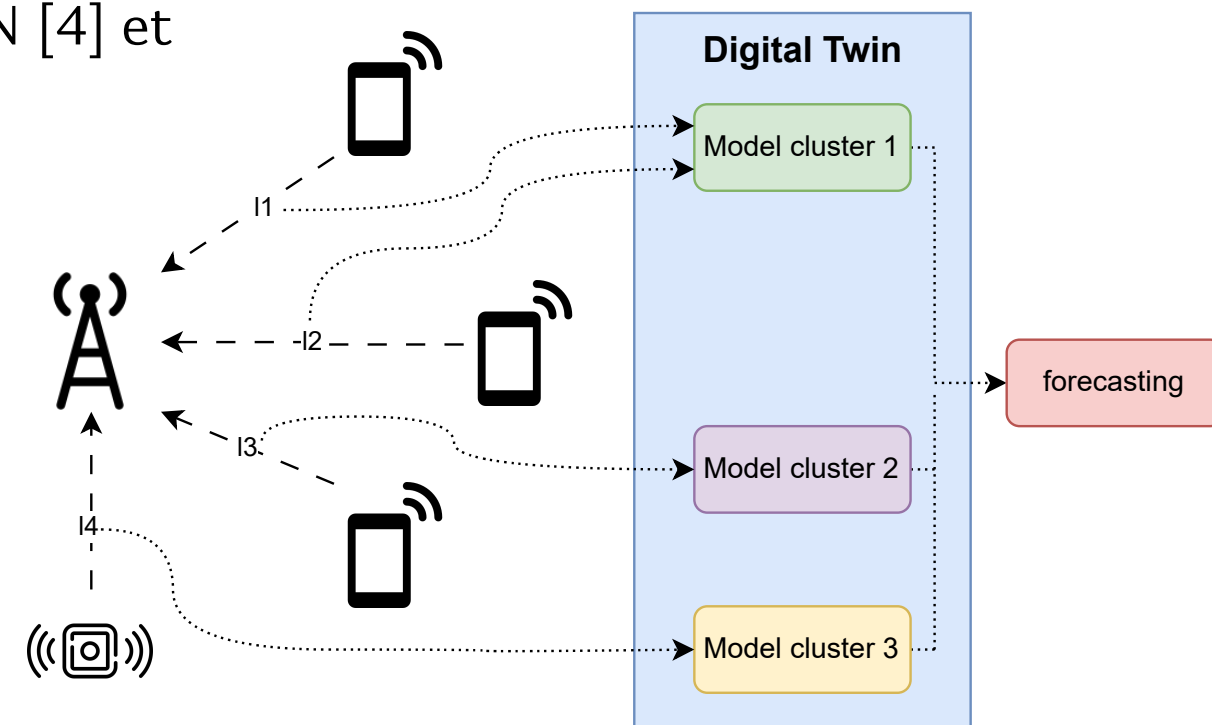
1. Employer des approches pilotées par des données expérimentales
2. Modéliser **séparément** chaque **famille** de liens radio

❖ Originalité :

- ✓ Capture de l'évolution du réseau (comparé aux GNN [4] et au Ray-Tracing [5])
- ✓ Capture des relations entre les liens du réseau

❖ Défis scientifiques :

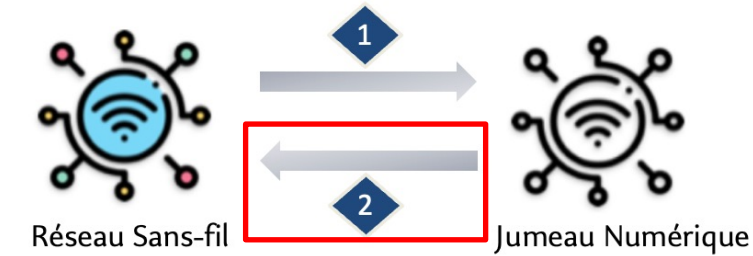
- Métrologie
→ Métriques actives/passives, frugalité, etc.
- Groupement de liens
→ Métriques statistiques + relatives au déploiement



[4] Ferriol-Galmés, M. et al. « RouteNet-Fermi: Network modeling with graph neural networks. » IEEE/ACM transactions on networking (2023).

[5] Ruah, C. et al. « Calibrating wireless ray tracing for digital twinning using local phase error estimates. » IEEE Transactions on Machine Learning in Communications and Networking (2024).

Projet de Recherche



2

Axe 2 : Optimisation de réseaux sans-fil à l'aide de jumeaux numériques

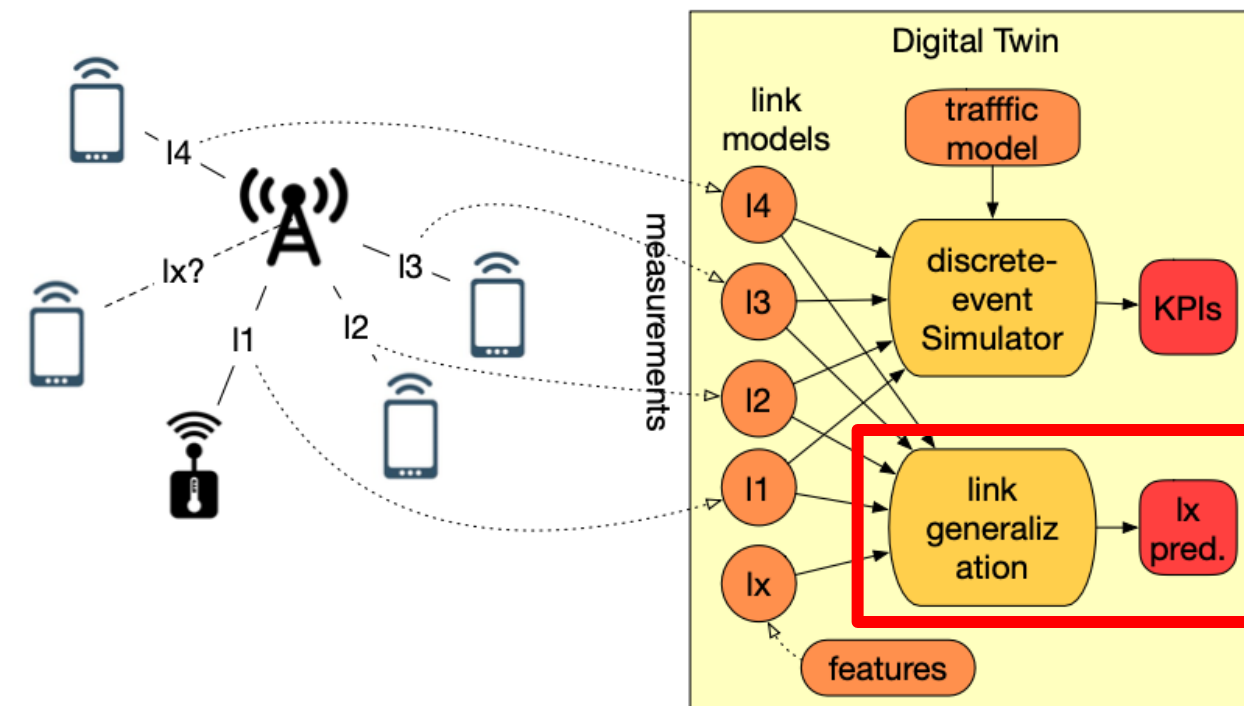
❖ **Objectif :** Optimisation du réseau selon l'évolution de l'environnement

❖ **Problématique :**

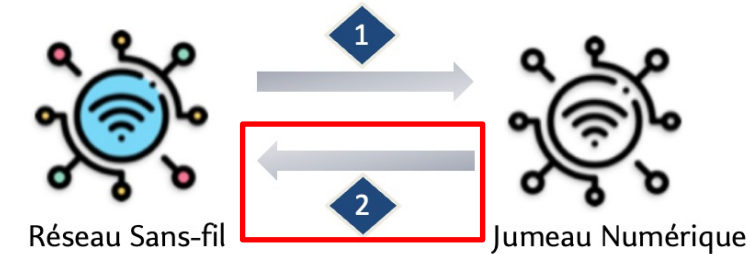
- Comment assurer la précision des modèles pour des scénarios inexplorés ?
 - *What-if* scenarios (protocole, topologie, etc. différents)

❖ **Verrou scientifique :**

- **Difficulté de généralisation précise** des modèles de simulation
 - Relations complexes entre topologie, trafic, etc.



Projet de Recherche



2

Axe 2 : Optimisation de réseaux sans-fil à l'aide de jumeaux numériques

❖ Approche :

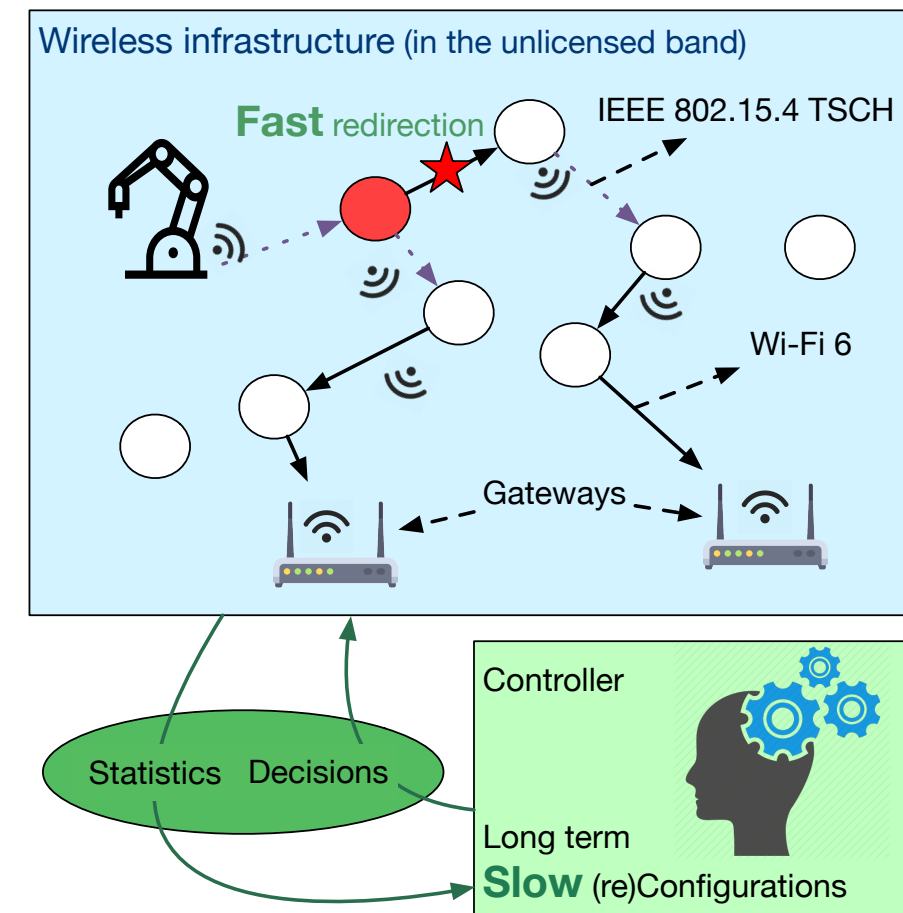
- Création de modèles **agnostiques** à travers des campagnes de mesures

❖ Originalité :

- ✓ **Optimisation** continue et **multi-couches**
→ Changement de protocole à la volée, topologie etc.

❖ Défis scientifiques :

- Limites des modèles de prédiction
→ **Généralisation de domaines/Transfer Learning** [6,7]
- Déclenchement de reconfigurations
→ Détection d'instabilité, gains/coût, etc.



[6] G. Blanchard et al., Generalizing from several related classification tasks to a new unlabeled sample. Advances in neural information processing systems (2011).

[7] M. Akrouf et al., Domain Generalization in Machine Learning Models for Wireless Communications: Concepts, State-of-the-Art, and Open Issues. IEEE Comm. Surveys & Tutorials (2023).

Intégration au CITI / Équipe DYNAMID

❖ Convergence des thématiques de recherche

- Extension du projet de recherche au **continuum IoT-Edge-Cloud** (F. Le Mouel)
 - Modélisation des interactions entre couches réseau et application
 - Refléter l'impact des décisions réseau sur les performances des applications (équilibre de charge, allocation de ressources, etc.)
 - **Ensemble de jumeaux numériques (DTN)** interagissant entre eux
- Tirer parti du cas d'usage au CITI incluant FIT IoT-Lab et Grid 5000 (SLICES-FR)

❖ Apport personnel

- a) Compétences en simulation, expérimentation et approches orientées données
- b) Nombreuses collaborations académiques internationales (UW, UB, UMA)
- c) Participation à l'initiation de nouveaux axes de recherche

❖ Synergies au CITI

- Collaboration directe avec l'équipe AGORA sur la modélisation des réseaux (H. Rivano, O. Iova, W. Bechkit, R. Stanica)
- Interactions avec les équipes :
 - MARACAS (optimisation des couches basses)
 - PRIVATICS (sécurité)

Projet d'Enseignement

❖ Renforcer l'axe « informatique distribuée » du département TC

❖ Dès à présent :

- Intervenir dans le cours de Systèmes distribués au S1 de la 4^{ème} année
- Prise en charge du module de Virtualisation en S2 de la 4^{ème} année
- Capacité à intervenir potentiellement dans tous les cours orientés réseaux, dont en particulier :
 - Mécanismes d'accès au canal en S2 de la 3^{ème} année
 - Performance de Réseaux en S1 de la 4^{ème} année
- Intervenir dans les cours de :
 - Algorithmique et Programmation C en S1 de la 3^{ème} année...

❖ Moyen/ terme :

- Proposition d'un cours sur la virtualisation des réseaux en S2 de la 4^{ème} année
 - SDN, NFV, Network Slicing...
 - (Éventuellement changer l'emplacement du cours de Virtualisation au S1)

Mise en situation : Introduction au concept d'Hyperviseur

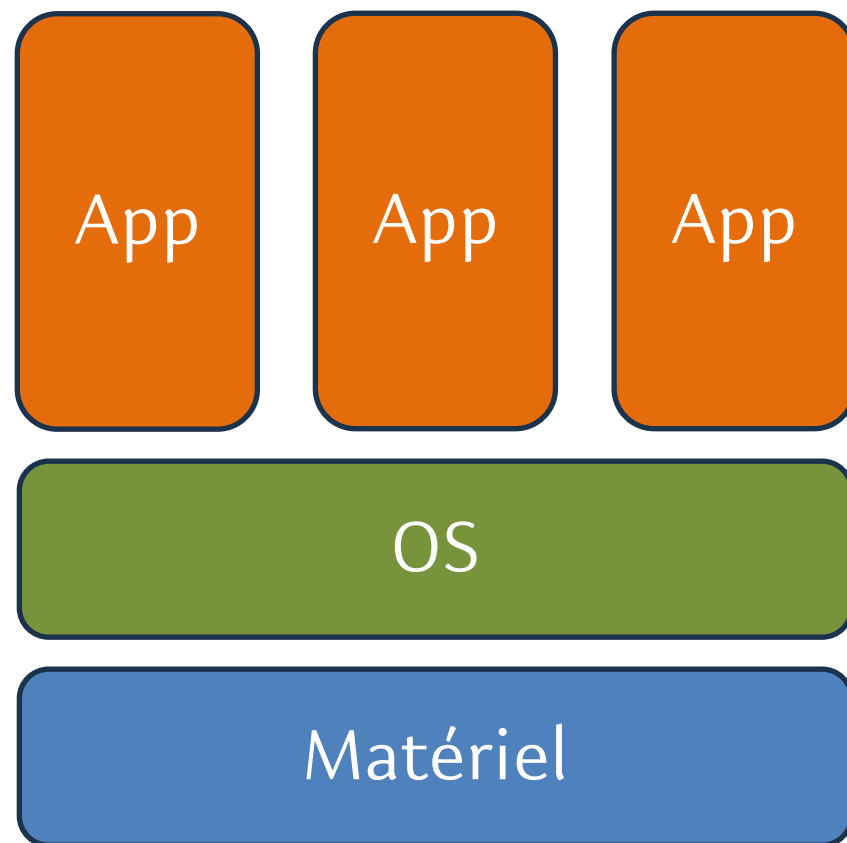
- ❖ **Public cible :** Étudiants en S2 de la 4^{ème} année
- ❖ **Prérequis :**
 - Architecture des ordinateurs (3^{ème} année, S2)

Définitions

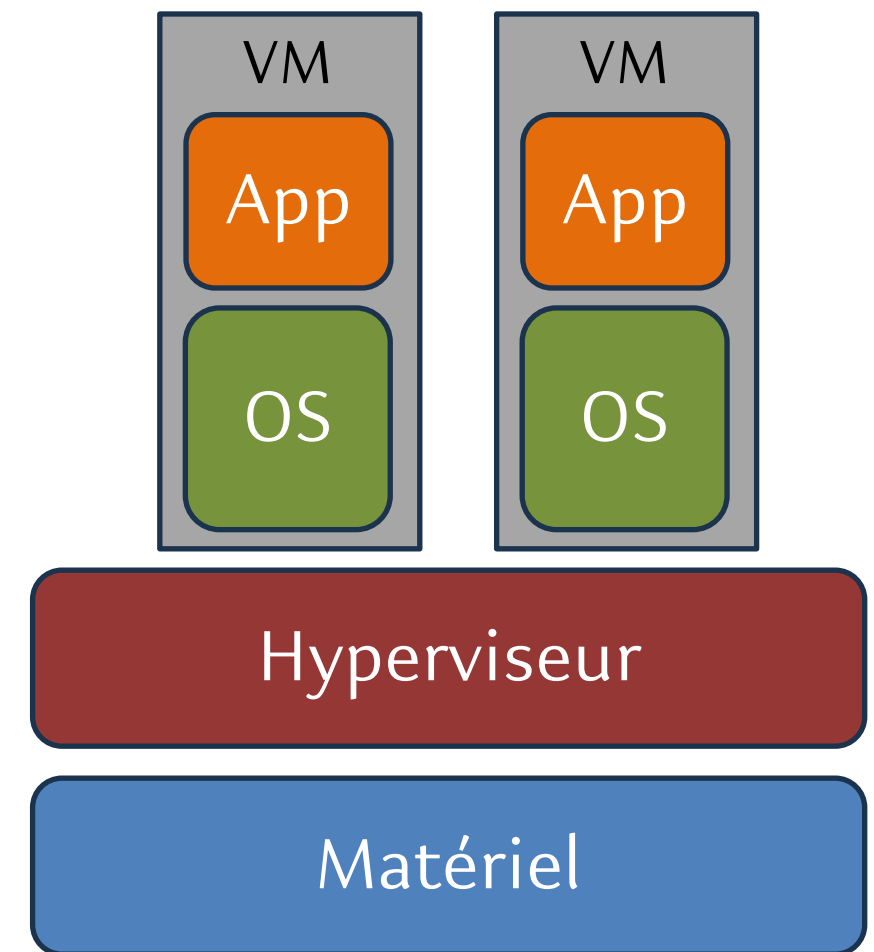
- ❖ Une **Machine Virtuelle (VM)** est un ensemble de ressources virtualisées qui simule un ordinateur complet. Elle fonctionne comme un système indépendant, avec son propre système d'exploitation (guest OS), mais s'exécute à l'intérieur d'un autre système appelé hôte (host OS).
- ❖ **Ressources virtualisées :**
 - **CPU et mémoire :** État des registres, RAM...
 - **Unité de gestion de la mémoire :** Tables des pages, segments...
 - **Support matériel :** Contrôleur d'interruption, timer, bus...
 - **Périphériques :** Disque, interface réseau...
 - ...
- ❖ **Intérêts de la virtualisation :**
 - Indépendance matérielle
 - Efficacité
 - Isolation
 - Passage à l'échelle
 - ...

Définitions

- ❖ Un **Hyperviseur** (aussi appelé Virtual Machine Manager, ou VMM) est un logiciel ayant pour rôle d'exécuter et de gérer plusieurs OS dans des machines virtuelles au sein d'une même machine physique.



Architecture traditionnelle



Architecture virtuelle

Rôles

❖ Allocation de ressources

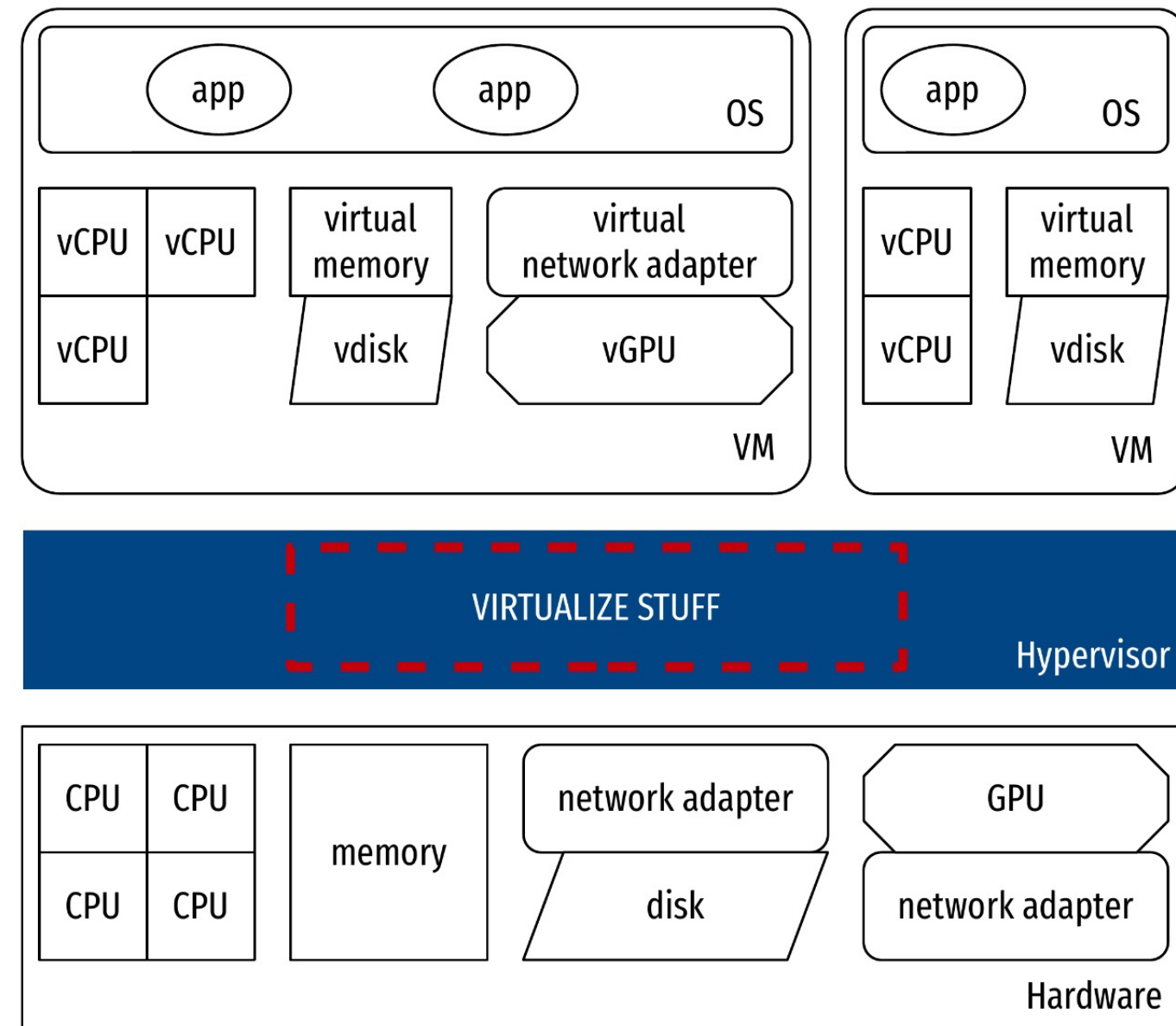
- Répartir les ressources physiques (CPU, RAM, disque, GPU...) en ressources virtuelles.
- Attribuer dynamiquement ces ressources virtuelles à chaque VM.

❖ Gestion des failles

- Éviter les perturbations en permettant la réplication ou le clonage rapide d'une machine virtuelle en cas de sinistre

❖ Évolutivité

- Créer, déployer et mettre hors service des machines virtuelles presque instantanément selon les besoins

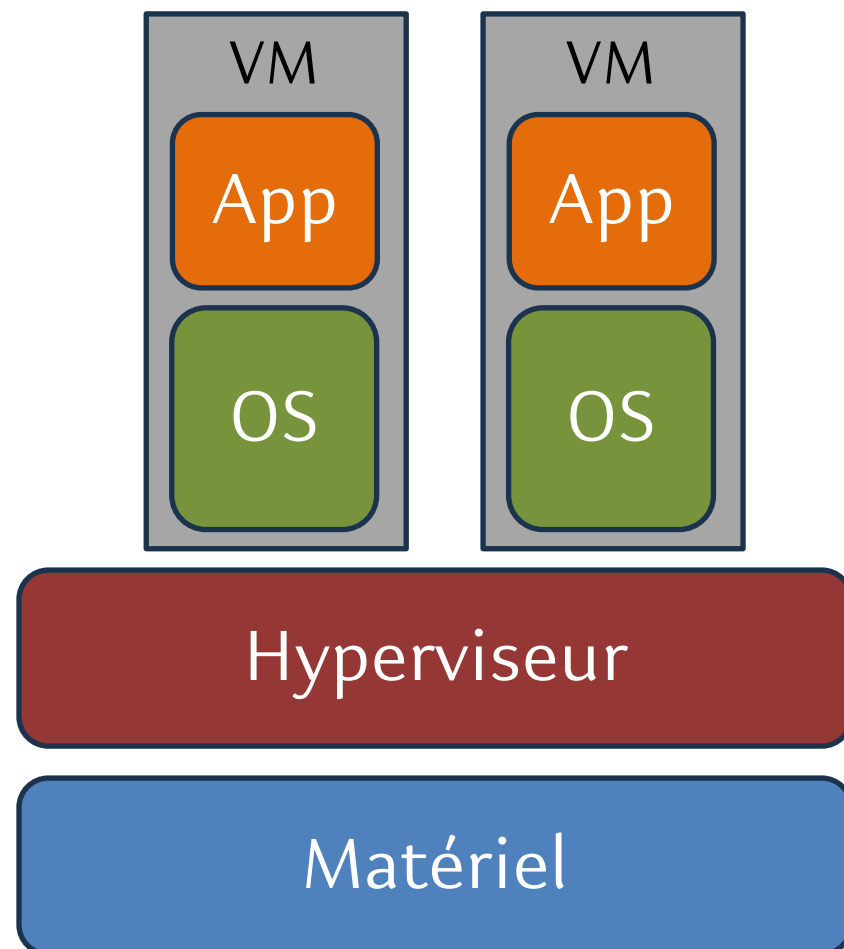


(M. Bacou, 2021)

Types

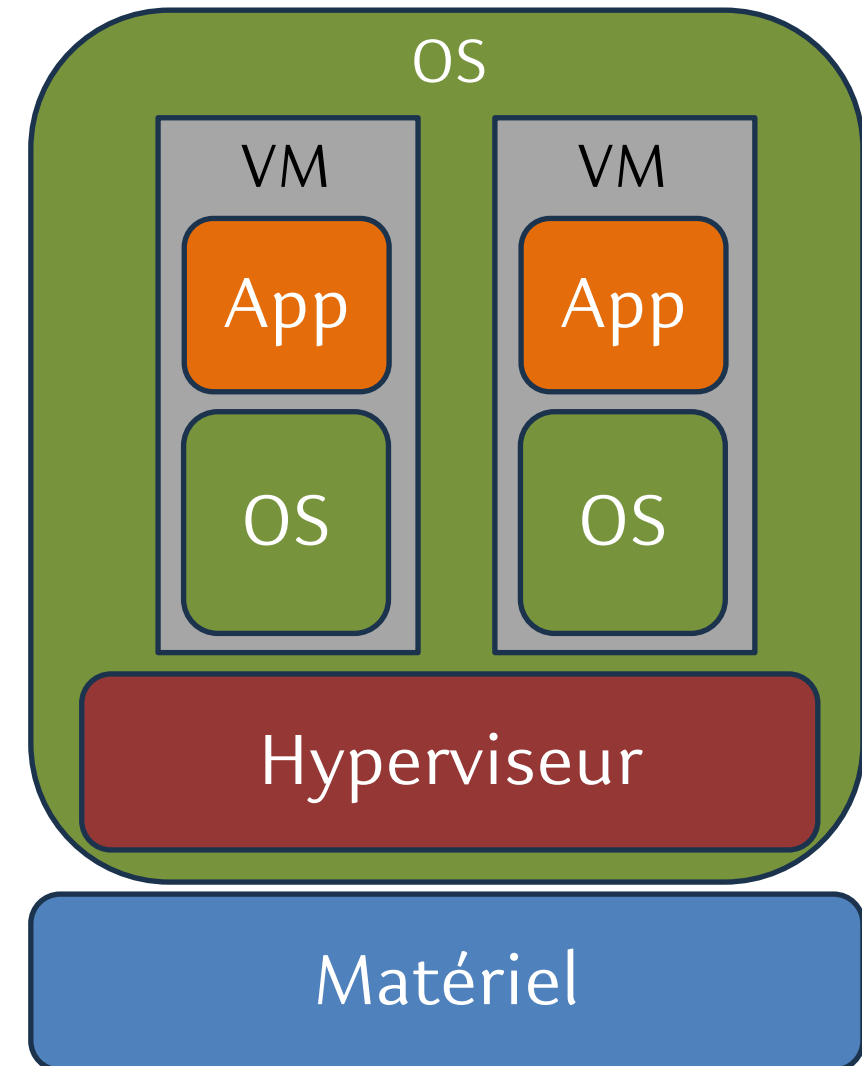
❖ Type 1 : Native

- Bare metal
- Utilisé dans les data centers
- Exemples : **VMware ESXi, Microsoft Hyper-V, Xen.**



❖ Type 2 : Hosted

- Le VMM est lui-même un processus
- Utilisé à usage personnel
- Exemples : **VirtualBox, VMWare**



Références bibliographiques

- ❖ N. Troccoli, « Virtual Machines and Networking », CS111, Lecture 26, Stanford Computer Science.
- ❖ M. Bacou, « Hardware Virtualization », CSC5004 — Cloud Computing Infrastructures, Télécom SudParis.
- ❖ A. Burtsev, « Lecture: Virtualization », CS5460: Operating Systems, University of Utah.

Récapitulatif de Candidature

- ❖ **Projet :** Jumeaux Numériques pour des Réseaux Sans-fil Optimisés
- ❖ **Équipe :** DYNAMID

Publications Int.

- 4 Journaux
- 5 Conférences + 3 en cours de soumission
- 1 Demo

Transfert technologique

- SIFRAN – StackNet
- WT-Tool

Encadrement/Enseignement

- **1 Doctorat** (depuis Nov. 2024)
- 1 Stage M1
- 1 Stage L2
- 5 TER (M1)
- **157h (CM/TD/TP)**

TPC & Reviews

- **TPC:** IEEE ISCC 2024/2025, ICNP (Posters/Demos), IEEE VTC 2025
- **Reviews:** IEEE Comm. Magazine, IEEE Access, ICC, ICNC, ITU Journal of FET, Adhoc Net. Computer Net., Computer Comm.

Collaborations Internationales



University of Waterloo, Canada



University at Buffalo, USA



Universidad de Màlaga, Espagne

Merci pour votre attention

Annexes

Parcours Académique + Contributions



2015 – 2020



Ingénieur + Master 2 en Informatique

Supervision : Pr. Yacine Challal, Pr. Karima Benatchba

Janvier – Juin 2020



Stage de Recherche

Supervision : Pr. Adlen Ksentini

Contribution : Optimisation de vols de Drones sur des Réseaux 5G

- 1 IEEE GLOBECOM
- 1 IEEE VTM

2020 – 2023



Doctorat en Informatique (10/2023)

Supervision : Pr. Thomas Begin,
Pr. Isabelle Guérin Lassous, Dr. Pascale Vicat-Blanc

Contributions :

- Sélection multicritère de Technologies Réseau
- Calibrage de modèles de simulation

- 1 IEEE ICCCN
- 1 ACM LANC
- 1 IEEE ICC
- 1 Elsevier IoT Journal
- **1 Elsevier FGCS Journal**

Juin – Août 2023



Mobilité Internationale

Supervision : Pr. Catherine Rosenberg

Contribution : Étude de techniques de localisation en 5G

- **1 IEEE IoT Journal**

Novembre 2023 –



Postdoctorat

Supervision : Dr. Fabrice Théoleyre

Contribution : Jumeaux numériques de réseaux sans-fil

- 1 CloT (demo)
- 1 AINA
- **1 MSWiM (und. sub.)**

Collaborations internationales



University of Waterloo (Canada)

- ❖ Multi-Armed Bandits pour l'optimisation OFDMA dans les réseaux Wi-Fi 6

Prof. Catherine Rosenberg



Dr. Maryam Amini



University at Buffalo (USA)

- ❖ Simulation no-code de topologies réseau sans-fil
- ❖ Impact de la communication sur l'optimisation distribuée

Dr. Filippo Malandra



Dr. Adedoyin Inaolaji



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

Universidad de Málaga (Espagne)

- ❖ Sécurité dans les jumeaux numériques des réseaux
- ❖ Invité à un séjour de recherche de 2 semaines

Dr. Cristina Alcaraz



Prof. Javier Lopez