

N° d'ordre : D -

THESE

présentée

devant l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes

en vue de l'obtention du

DOCTORAT

spécialité : Electronique

par M. Olivier WEPPE

Intitulé : Empreinte carbone des systèmes de calcul : du silicium aux services

Directeur de Thèse : Jean-Christophe PREVOTET - Maxime PELCAT
Date, heure et lieu de soutenance : **03/07/2026 - 14h00 - INSA Rennes - Amphi Bonnin**

Membres du jury (nom, prénom, titre et établissement de rattachement, fonction)

GAMATIE Abdoulaye	Directeur de Recherche, LIRMM
LIGOZAT Anne-Laure	Professeure, ENSIIE, LISN
ORGERIE Anne-Cécile	Directrice de recherche, IRISA
BOL David	Professeur, UCLouvain
SANDIONIGI Chiara	Ingénieure de recherche, CEA
PREVOTET Jean-Christophe	Professeur, INSA Rennes
PELCAT Maxime	Professeur, INSA Rennes
MARTY Thibaut	Enseignant-Chercheur, INSA Rennes

RESUME DE LA THESE

Ce travail démontre que les modèles simplifiés actuels d'évaluation de l'empreinte carbone des systèmes informatiques, qui reposent sur la surface de silicium et la finesse de gravure, sont devenus inadaptés face à l'évolution 3D des semi-conducteurs. L'étude des capteurs d'images révèle ainsi que l'empilement vertical des wafers peut faire varier l'empreinte carbone d'un facteur deux, un paramètre invisible pour les modèles planaires. L'analyse des mémoires 3D NAND établit une corrélation entre le nombre de couches de transistors et le nombre d'étapes de fabrication, démontrant que la capacité de stockage seule est incapable de prédire l'impact réel. Face à la pratique industrielle du « binning », qui produit des processeurs de performances variées à partir d'une même circuit, un nouveau cadre d'allocation est introduit pour distribuer l'empreinte carbone entre les produits haut et bas de gamme, corrigeant une incohérence manifeste. Enfin, en intégrant ces modèles affinés dans une « cartographie topographique » du carbone pour un service numérique, cette thèse démontre que la hiérarchie des stratégies de mitigation (durée de vie, efficacité énergétique, ou électricité décarbonnée) dépend du contexte. Malgré les incertitudes inhérentes à l'opacité des procédés de fabrication, cette approche permet de dégager des priorités d'action robustes, en déplaçant l'objectif d'une comptabilité absolue et fragile vers une prise de décision stratégique éclairée.