

◆ **Projet 2 : RAI-6GREEN : juin 2025 – mai 2028**



Eric Bonnet
Chef de projets,
Citypassenger



RAI-6GREEN

Expertise française pour une 6G verte et AI-native

Conférence « IA native 6G » – Systematic Paris-Région

6 octobre 2026 – Paris 5ème

BONNET Eric – Citypassenger – ebonnet@citypassenger.com



bpifrance

www.rai6green.fr

RAI-6GREEN : le projet

- ▶ **Contexte** Les réseaux mobiles représentent ~2 % de la consommation électrique mondiale et la tendance s'accélère avec la 5G/6G.
- ▶ **Objectif central** Réduction de 30 à 40 % de la consommation énergétique sur les réseaux 5G/6G — sans dégradation de service.
- ▶ **Approche** Architecture AI-native, mesures énergétiques en conditions réelles, orchestration intelligente des ressources.
- ▶ **Envergure** 17 partenaires, 5 pays (France, Suède, Turquie, Portugal, Hongrie) — label CELTIC-NEXT — soutenu par France 2030 / Bpifrance.

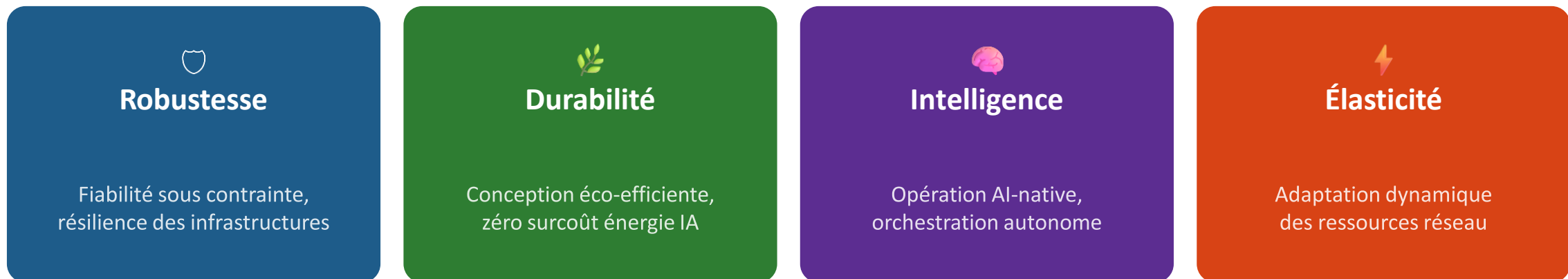
Durée
36 mois

Budget
~4,6 M€

Début FR
juin 2025

Fin
mai 2028

Architecture : quatre piliers, quatre axes de recherche



↕ *Quatre axes de recherche* ↕



Métrique centrale : MCE — Mission-Centric Efficiency = service rendu / énergie consommée

Le consortium français – six partenaires complémentaires



Citypassenger

Chef de file

Chef de file
Plateforme Edge AI-native
Monitoring énergétique in-situ



Firecell

Open RAN
Réseaux 5G privés
xApp energy-saving



Gandi.net

DNS sécurisé
Résolveurs DoT/DoH/DoQ
Déploiement unikernel



Akkodis

IA & orchestration
Flexibilité électrique
Cas d'usage CCAM



CentraleSupélec

CentraleSupélec

IA pour l'optimisation RAN
Apprentissage par renforcement
Federated learning



IMT / Anemod

Institut Mines-Télécom

Modèles d'efficacité énergie
Optimisation O-DU (DVFS)
Urbanisation fonctions Edge

♦ Complémentarité industrie-académie : de la recherche amont (CS, IMT) à la validation opérationnelle (Citypassenger, Firecell, Akkodis, Gandi)

Organisation en work packages : l'IA au cœur

WP2

Scénarios, métriques et cas d'usage

Définition des scénarios de référence (failover WAN, cycle de vie service, mode nuit), métriques d'efficacité MCE, alignement inter-partenaires.

WP3

Ingénierie RAN durable

O-RAN, xApp energy-saving, Near-RT RIC, cell-sleep, modulation TX power, optimisation O-DU (core-parking + DVFS).

WP4

Orchestration intelligente

Apprentissage par renforcement pour l'allocation de ressources, génération automatique de déploiements Kubernetes par LLM (Helm charts), microservices edge.

WP5

Flexibilité électrique

Co-investissement en énergie renouvelable entre datacenters, théorie des jeux coalitionnels, intégration Software Carbon Footprint.

WP6

Monitoring énergétique & datasets

Mesure in-situ (INA219/INA226), corrélation puissance / événements réseau, production de jeux de données réels pour l'entraînement IA.

Innovations IA : de la recherche à l'opérationnel

Apprentissage par renforcement (RL)

CS / IMT

Orchestration autonome des ressources réseau (allocation CPU, gestion des WAN). Les agents RL optimisent la consommation en respectant les SLA — sans intervention humaine.

Génération de déploiements Kubernetes par LLM

Akkodis

Pipeline LLM → Helm chart : les problèmes d'optimisation formulés en langage naturel sont traduits automatiquement en descripteurs de déploiement Kubernetes (Gemma 4, Qwen 3).

xApp O-RAN à boucle fermée

Firecell / CS

Contrôle Near-RT RIC : 106+ métriques radio temps réel, modulation de puissance TX, mise en veille intelligente des cellules — sans interruption de service.

Monitoring énergétique corrélé (in-situ)

Citypassenger

Mesure de puissance (INA219/INA226) synchronisée aux événements réseau, système et service → base d'entraînement IA en conditions d'exploitation réelles.

Optimisation analytique O-DU (core-parking + DVFS)

IMT / CS

Modèle de files d'attente Markov pour prédire le trafic et ajuster dynamiquement le nombre de cœurs actifs et la fréquence CPU de l'O-DU.

Cas d'usage représentatifs

Réseau 5G privé d'entreprise

Optimisation énergétique temps réel via xApp O-RAN : RIC pilote la mise en veille des cellules et la modulation de puissance TX sans dégradation de QoS.

Mobilité connectée et automatisée (CCAM)

Services edge pour véhicules autonomes et connectés : orchestration de ressources réseau et de calcul à la périphérie, gestion de la latence critique.

Résolveur DNS sécurisé et éco-efficace

Résolveur DoT/DoH/DoQ basé sur unikernel (Unikraft) : sécurité maximale, empreinte mémoire minimale, faible consommation, adapté aux architectures Edge hétérogènes.

Plateforme de périphérie multi-WAN AI-native

uCPE Citypassenger : gestion du failover WAN (fibre, 5G, satellite), priorisation de trafic et collecte de données énergétiques corrélées en conditions réelles.

Co-investissement en énergie renouvelable

Plusieurs datacenters co-investissent dans une infrastructure solaire/éolienne partagée : théorie des jeux coalitionnels pour l'allocation équitable des capacités et des revenus.

Premiers résultats : des gains mesurés en conditions réelles

-46 %

Énergie économisée

5G privé — xApp O-RAN (dRAX RIC)

+4 pts

Gain de QoS

65 % → 69 % simultanément

-58/65 %

Réduction O-DU

Modèle analytique — IMT/CS

LLM

Pipeline démontré

Preuve de concept — Akkodis

- Réseau 5G privé (Firecell) : la boucle fermée xApp pilote 106+ métriques radio temps réel → 452 W → 239 W optimisés, zéro interruption de service.
- O-DU (IMT) : modèle analytique de files d'attente Markov → optimisation conjointe du nombre de cœurs actifs et de la fréquence CPU (DVFS).
- Pipeline LLM (Akkodis, preuve de concept) : description en langage naturel d'un problème d'optimisation → génération automatique d'un Helm chart Kubernetes (Gemma 4, Qwen 3).
- Données réelles : monitoring in-situ (uCPE Citypassenger) — puissance mesurée, corrélée aux événements réseau/service, en conditions d'exploitation.

Objectifs globaux : vers les -30 à -40 % sur l'ensemble de la chaîne

- ▶ **Métrique centrale : MCE (Mission-Centric Efficiency)** Service rendu / énergie consommée — mesure l'efficacité de bout en bout, pas seulement la consommation brute.
- ▶ **Données réelles, pas simulées** Les modèles IA s'entraînent sur des jeux de données issus d'infrastructures réelles (uCPE, O-RAN) — condition indispensable pour une validation industrielle.
- ▶ **Extensibilité vers la 6G** Architecture cloud-native, virtualisation avancée (Unikernel/Unikraft), Kubernetes-native → prête pour les contraintes 6G sans refonte architecturale.
- ▶ **Démonstrateurs intégrés** Validation multi-partenaires : RAN (O-RAN) + Edge (uCPE) + DNS (unikernel) + CCAM — couverture de la chaîne complète RAN-to-Edge.

Apport à l'écosystème 5G advanced / 6G

Testbed réaliste multi-domaine

Infrastructure de test intégrant O-RAN, edge multi-WAN, DNS sécurisé — utilisable par la communauté de recherche et d'industrie.

Jeux de données énergétiques corrélés

Données puissance ↔ événements réseau/service en conditions réelles — socle fiable pour la communauté IA appliquée aux réseaux.

Architecture AI-native dès la conception

L'IA n'est pas une surcouche ajoutée a posteriori : elle structure l'orchestration, la mesure et l'adaptation depuis le départ.

Démonstration de faisabilité industrielle

Les résultats sont validés sur des équipements réels (dRAX RIC, uCPE commercial) — pas seulement en simulation académique.

Open source & open data

Valorisation post-projet : xApp O-RAN, Kubernetes operators, datasets énergétiques — contributions à l'écosystème ouvert.

Publications scientifiques

IEEE MASCOTS 2025, CCNC 2026, EuCNC 2026 — reconnaissance par les pairs et alimentation des roadmaps 6G.

Contribution à la standardisation

O-RAN Alliance

- Contributions sur les xApps energy-saving
- Interface E2 entre RIC et O-DU/O-RU
- Profils de boucle fermée Near-RT RIC

ETSI MEC

- Alignement sur les spécifications Multi-Access Edge Computing
- Cas d'usage edge AI-native
- Orchestration multi-tenant de l'edge

Green Software Foundation

- Intégration du standard Software Carbon Footprint
- Métriques d'efficacité par fonctions réseau virtualisées
- Contribution au référentiel d'empreinte carbone logicielle

Roadmap vers 3GPP / CELTIC → 6G

- Résultats RAI-6GREEN alimentent les discussions CELTIC pour 3GPP Rel. 19+
- Efficacité énergétique comme exigence native (non optionnelle) en 6G
- Convergence IA + réseau dans les spécifications futures

Connexions et perspectives

- ▶ **Synergies avec d'autres projets nationaux** Complémentarité avec d'autres lauréats France 2030 AAP 6G ; capitalisation des outils, méthodes et datasets inter-projets.
- ▶ **Publications et dissémination** IEEE MASCOTS 2025, IEEE CCNC 2026, EuCNC & 6G Summit (Malaga, juin 2026) — présence active dans les conférences de référence.
- ▶ **Ouvertures européennes** Perspectives vers Horizon Europe / SNS JU (Smart Networks and Services JU) pour la continuité des travaux 6G post-projet.
- ▶ **Valorisation open source / open data** Datasets énergétiques, xApp O-RAN, Kubernetes operators — publiés et documentés pour la communauté (www.rai6green.fr).

Merci – Questions ?

Contact

BONNET Eric

Chargé de projet - Citypassenger

ebonnet@citypassenger.com

+33 1 60 13 85 90

rai6green@citypassenger.com

Ressources



www.rai6green.fr



rai6green@citypassenger.com



Labellisé CELTIC-NEXT & Systematic
FR Soutenu par France 2030 / Bpifrance



Projet EUREKA

Juin 2025 – Mai 2028