

IA pour l'économie d'énergie des stations telecom

Projet de Fin d'Etudes

Pierre-Eliot Jourdan

Jeudi 7 Septembre 2023

Superviseurs : Lorenzo Maggi, Ryo Koblitiz

The Nokia logo is displayed in white, consisting of the word "NOKIA" in a sans-serif font. It is positioned within a large, white, stylized arrow shape that points to the left, set against a blue background.

Nokia Bell Labs

Site de Massy, Ile-de-France

NOKIA



Bell Laboratories

- Nokia (1865) : micro-ordinateurs, téléphones mobiles... infrastructures plus récemment
- Laboratoires Bell Labs (1879) : satellites, capteurs, télécommunications... racheté par Nokia en 2016

Aujourd'hui 4 secteurs de recherche :

Réseaux

Automatique

**Semi-
conducteurs
& Appareils**

**IA & Systèmes
logiciels**

Contexte

- Nombre d'utilisateurs grandissant...
- **Station telecom :**
 - 4-5 kW (reseaux 4G/5G)
 - **RAN = 1%** de la consommation d'énergie d'un pays tout entier
- **Objectif :** Réduire la consommation d'énergie des stations telecom
- **Contrainte:** Préserver une bonne qualité de service pour les utilisateurs

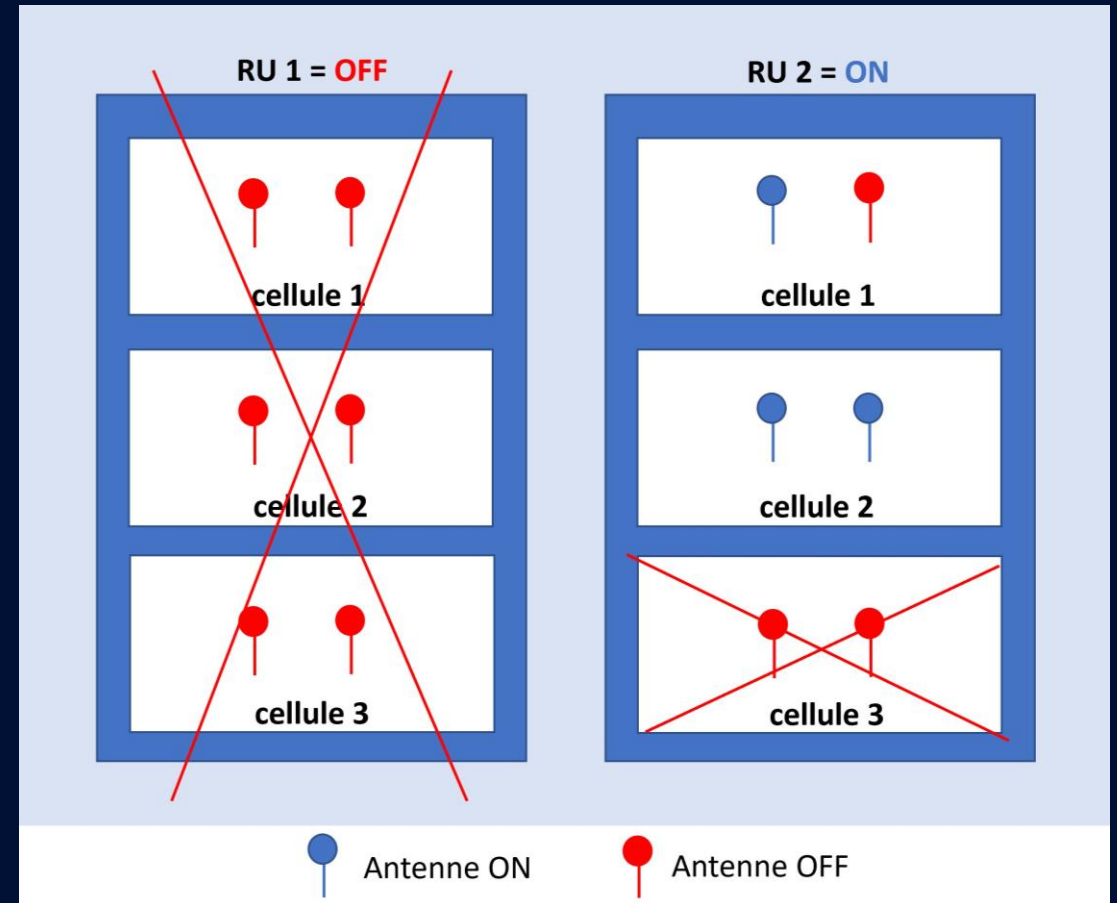


Problème étudié

- **Problème complexe :**

- Problème combinatoire : la dimension peut exploser
- Plusieurs facteurs inconnus (trafic, état du canal de transmission ...)
- Incertitudes sur les temps de latence

Exemple d'architecture de station télécom



Etat de l'art

Techniques existantes :

- Activation de cellules (“cell switch-off” → travaux effectués à Nokia)
- Activation opportuniste (“micro-DTX”)
- Activation d'antennes (“MIMO-muting”)

Qualité de service

KPIs, fenêtre glissante, budget

KPI (Key Performance Indicator) : valeur assignée à chaque cellule, avec une limite de performance y

Vérification de performance à l'instant t :

$$OK_t = 1(\cap_{k=1}^K KPI_k \geq y_k)$$

Performances historiques récentes (fenêtre glissante) :

$$\overline{OK}_t = \frac{1}{T^{OK}} \sum_{i=0}^{T^{OK}-1} OK_{t-i}.$$

Budget : $b_t = \overline{OK}_t - x$. La qualité de service est respectée ssi : $b_t \geq 0$.

NB : Les limites y_k et x définies par les clients (paramètres d'entrée du modèle).

Consommation d'énergie

Charge, modèle linéaire de consommation

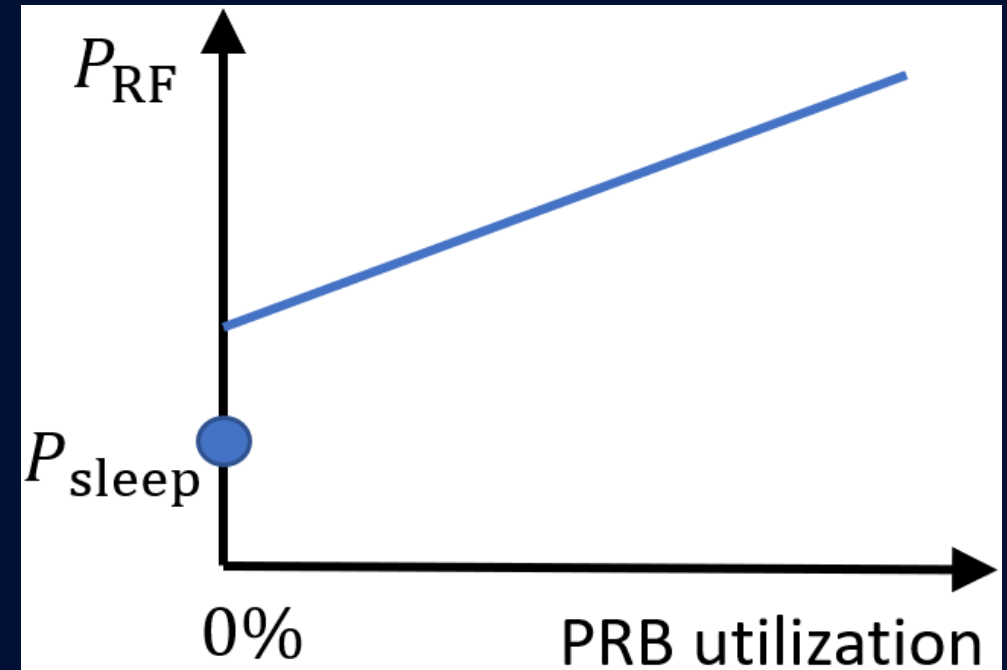
- **Charge** L_t : % de ressource utilisé par tous les utilisateurs connectés à une cellule à un instant t
- **Hypothèse** : charge uniformément répartie entre les cellules actives.
- $L_t = \min(L_0 \frac{n_{totalTX}}{n_{activeTX}}, 100)$ si $n_{activeTX} \neq 0$ et $L_t = 0$ sinon.
- $L_0 \rightarrow$ fluctuations du trafic

- **Modèle de consommation linéaire :**

- Si **cellule active**: $E_{consumption} = AL_t + B$,

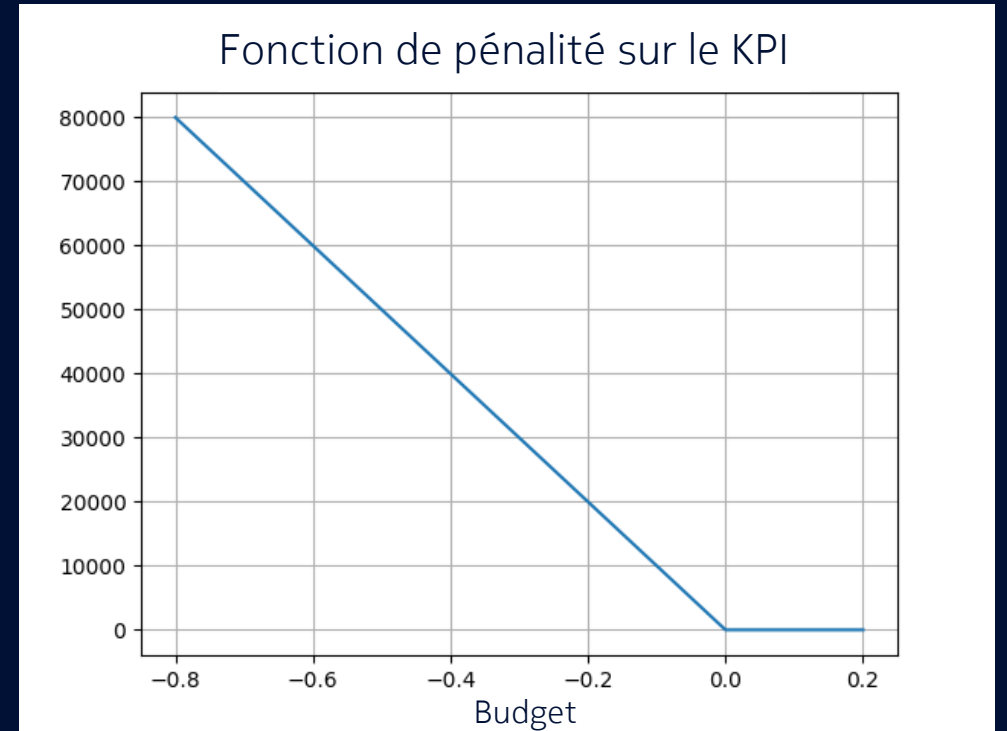
- Sinon : $E_{consumption} = X$

Où les coefficients A , B et X ont été fournies par Nokia



Processus de Décision Markovien (MDP)

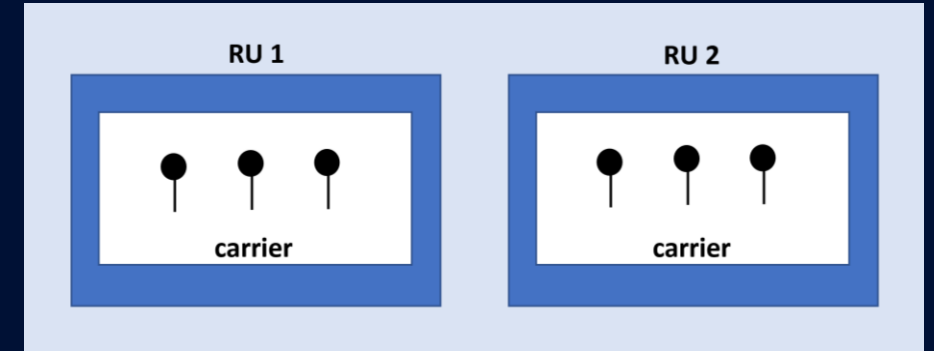
- **Etats** : $s_t = (\sigma_t, b_t)$ (configuration actuelle + budget)
- **Actions** : $a_t = \text{configuration suivante } \sigma'$
- **Probabilités de transition**:
 - $b_t \rightarrow b_{t+1}$:
 - Dépend de $\Pr(OK_{t+1} = 1 | \sigma_{t+1}) \rightarrow$ donné par Nokia
 - Dépend du nombre de $OK_j = 1$ dans la fenêtre glissante
 - $\sigma_t \rightarrow \sigma_{t+1}$ (temps de latence) :
 - $\Pr(\text{changement de configuration}) = \lambda(\sigma_t, a_t)$
 - $\Pr(\text{même configuration}) = (1 - \lambda(\sigma_t, a_t))$
- **Coût** : $u(s_t, a_t) = E_{\text{consumption}}(\sigma_t) + \ell_{KPI}(b_t)$ avec :
 - $\ell_{KPI}(b_t) = 0$ si $b_t \geq 0$
 - $\ell_{KPI}(b_t) = KPI_{coeff} \times |b_t|$ si $b_t < 0$, avec $KPI_{coeff} > 0$
- **Objectif** : minimiser le coût à long-terme : $\min_{\pi} \mathbb{E}_{\pi} [\sum_{t \geq 0} \beta^t u(s_t)]$
 $0 \leq \beta \leq 1$ coefficient d'actualisation et π une stratégie (**politique**)



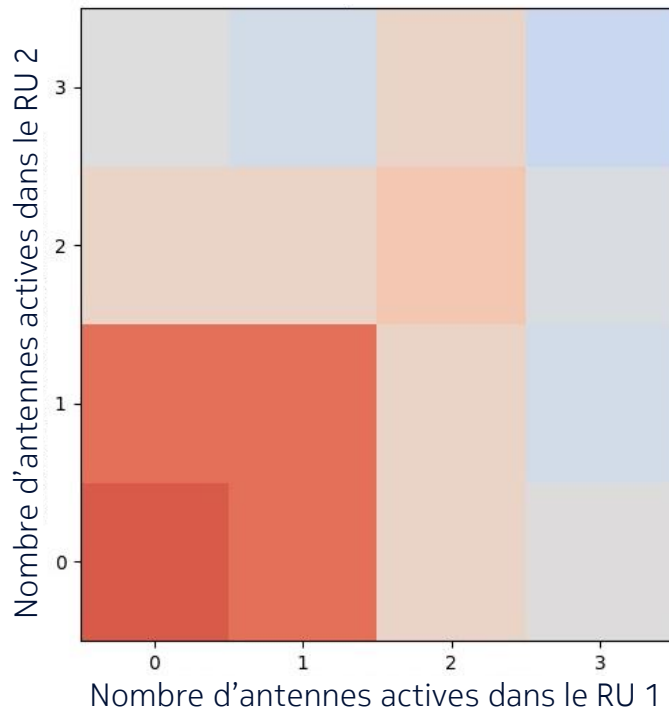
Résultats (1/5)

- Paramètres :** $T_{OK} = 100$, Limite budget = 0.8, ($n_{OK} \geq 80$), $KPI_{PENcoeff} = 10^5$, $L_0 = 50$

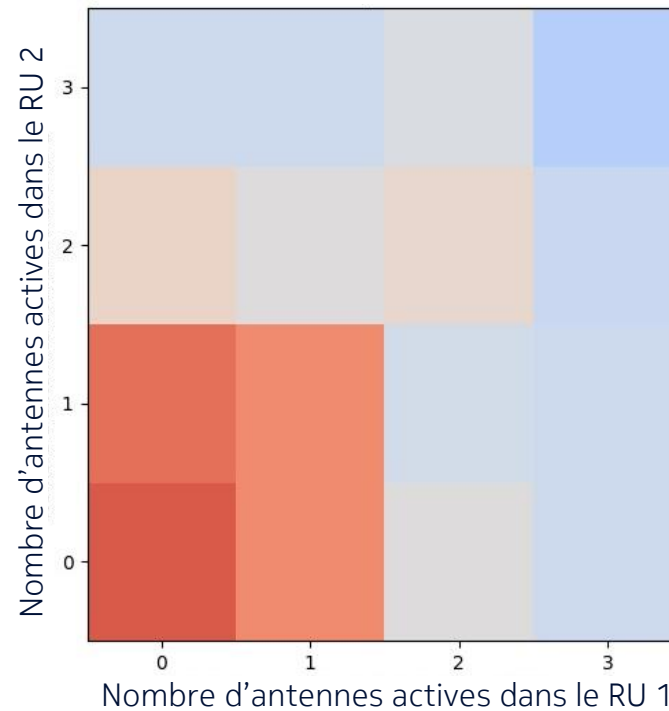
Simple architecture



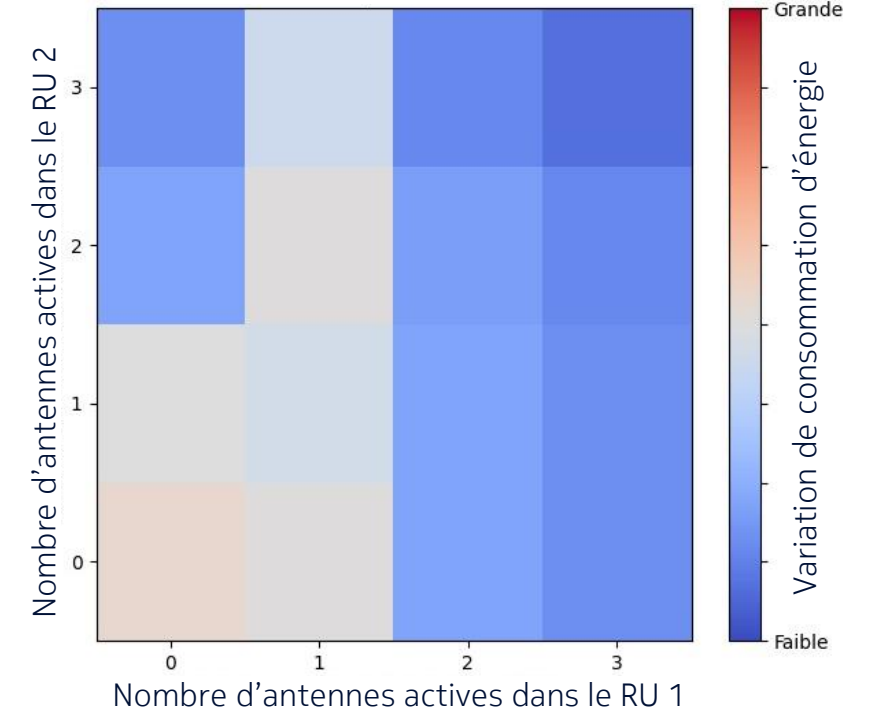
Mauvaise qualité de service



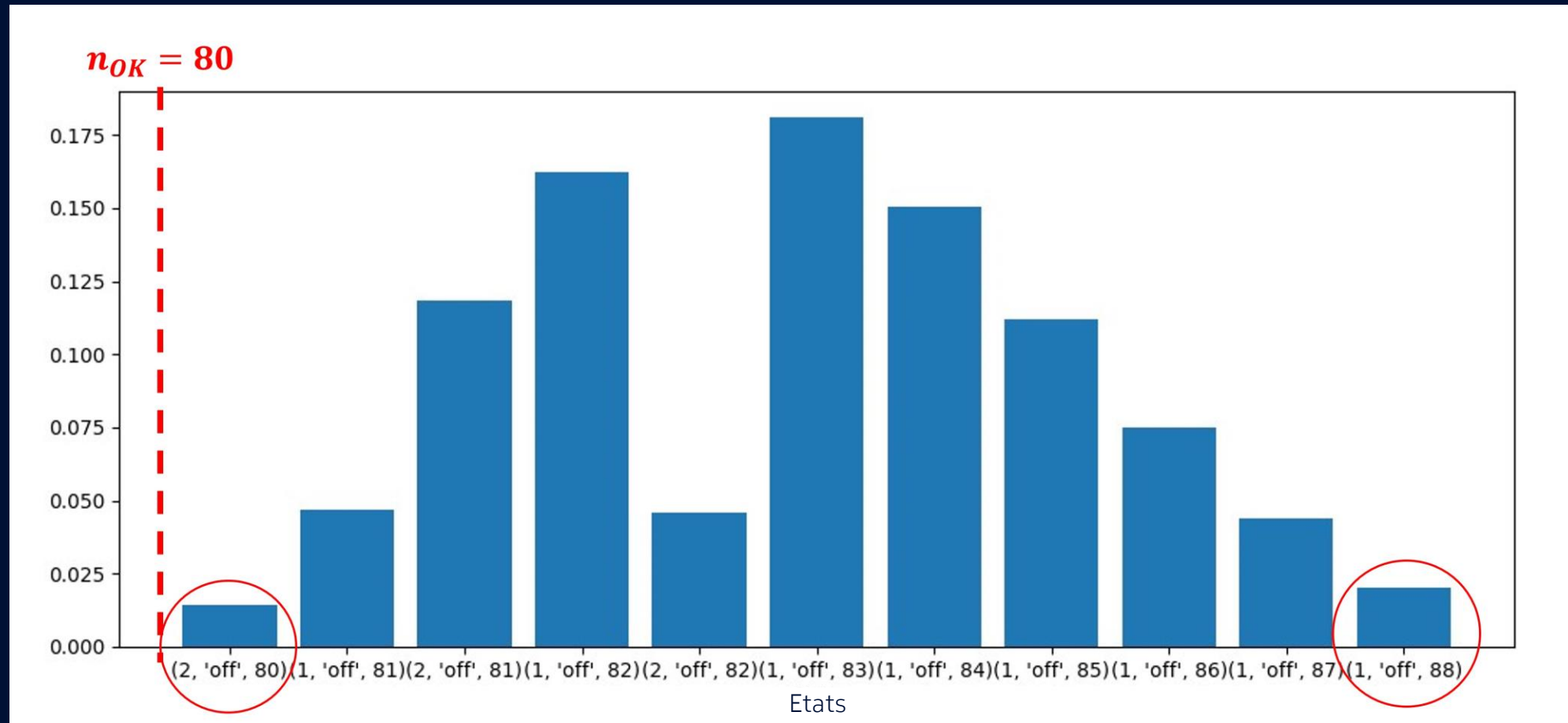
Assez bonne qualité de service



Très bonne qualité de service

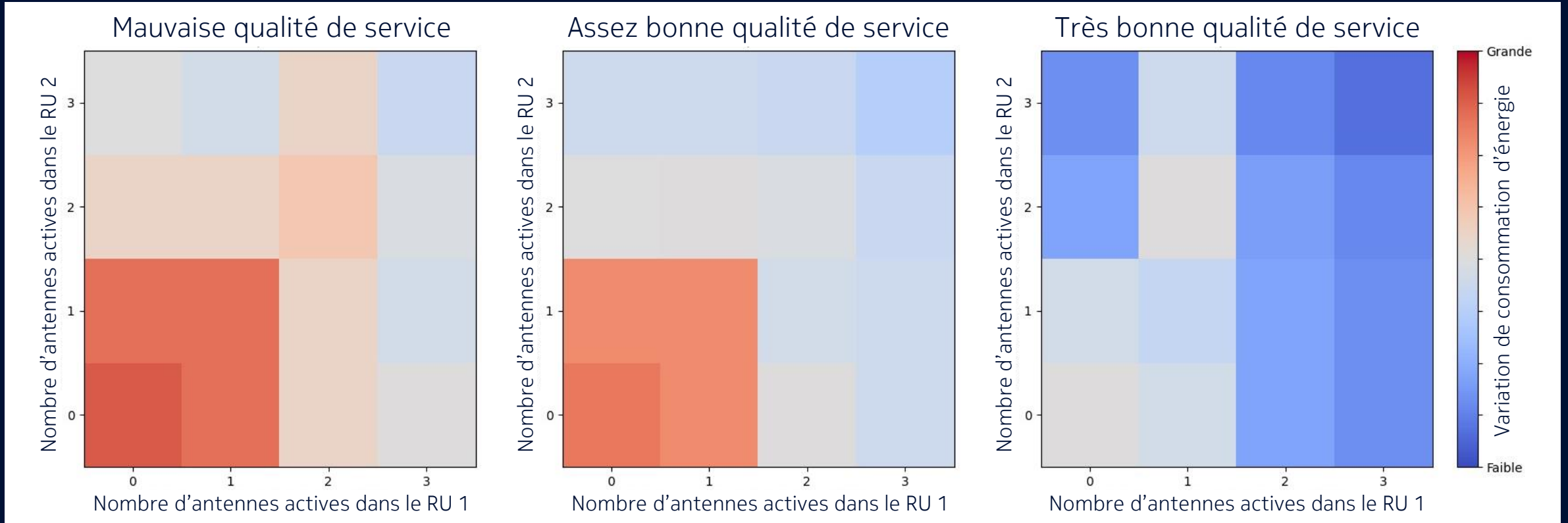


Résultats (2/5) – Distribution stationnaire

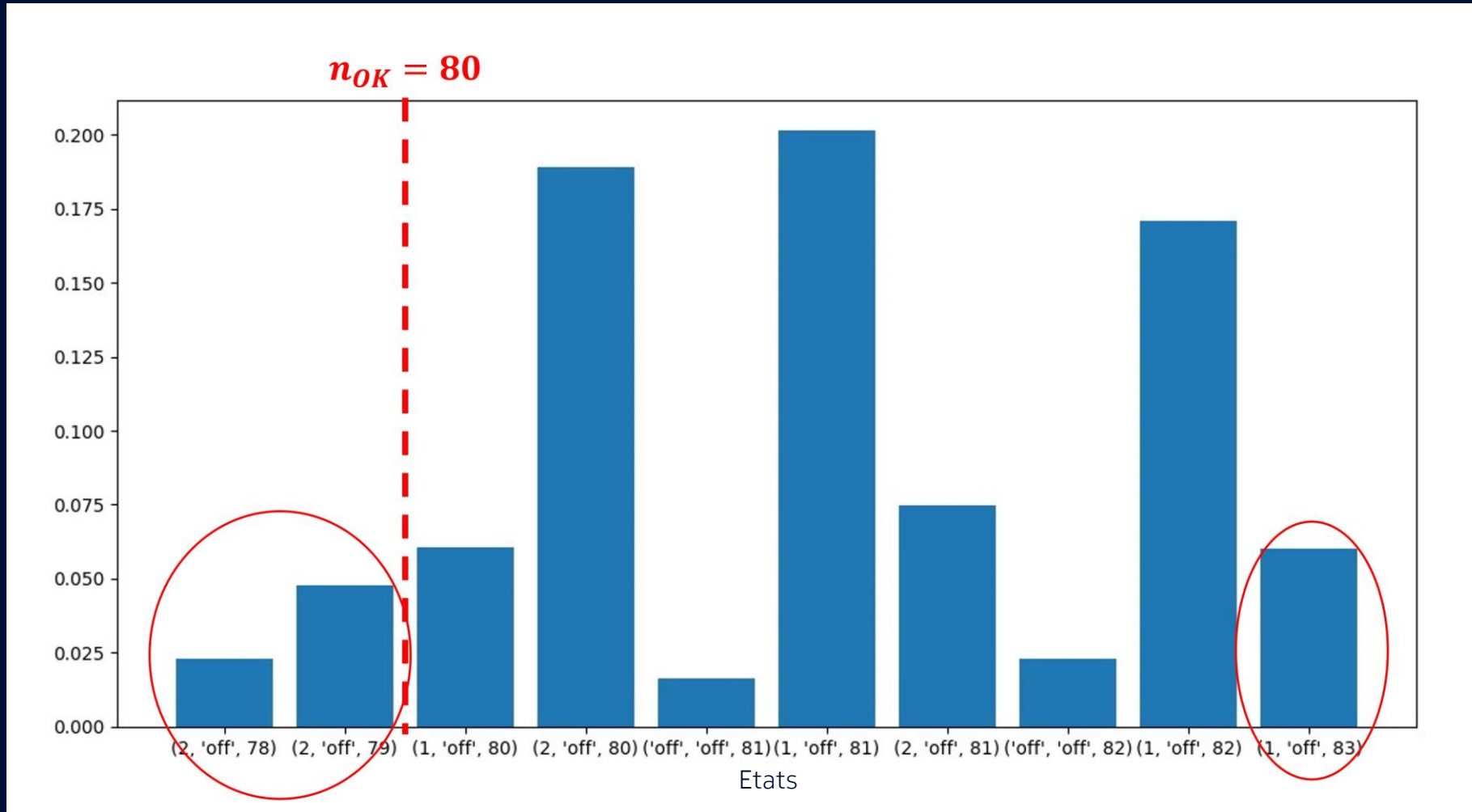


Résultats (3/5)

- Paramètres** : $T_{OK} = 30$, Limite budget = 0.8 ($n_{OK} \geq 80$), $KPI_{PENcoeff} = 10^4$, $L_0 = 50$



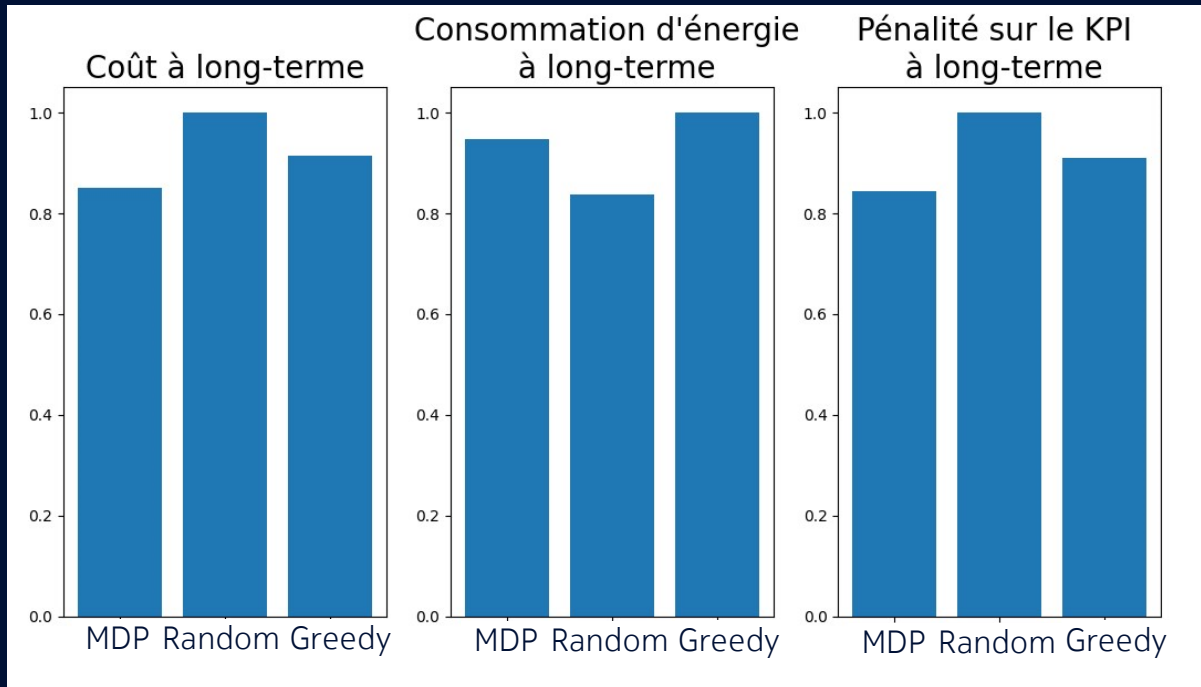
Résultats (4/5) – Distribution stationnaire



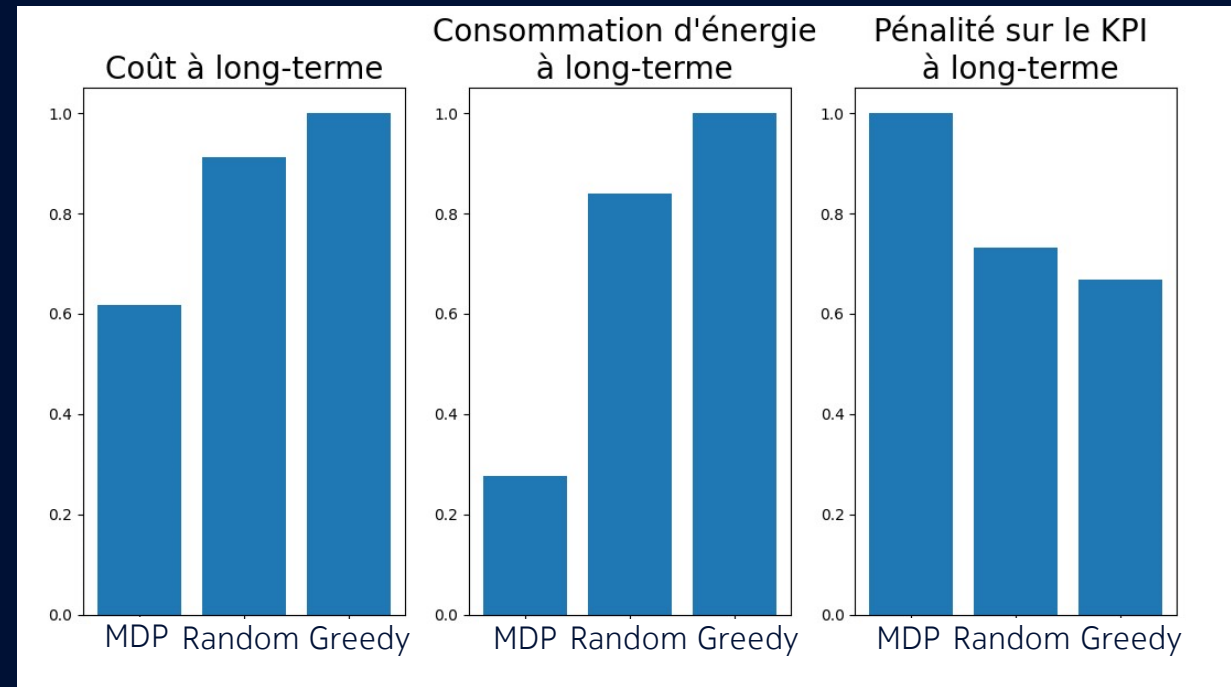
Résultats (5/5) – Comparaison de politiques

Coût à long terme

- **Stratégie “Random”** = on sélectionne dans chaque état des actions de manière aléatoire
- **Stratégie “Greedy”** = on allume toutes les antennes si budget < 0, sinon on éteint tout



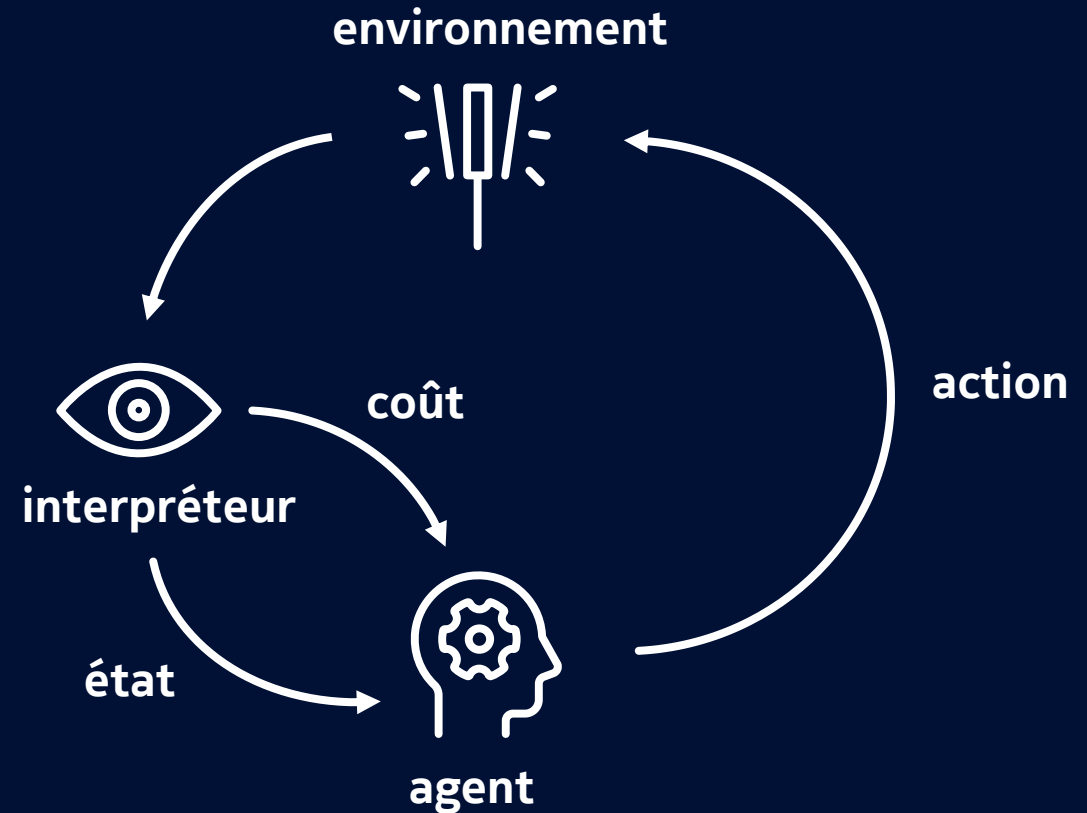
$$KPI_{PENcoeff} = 10^5$$



$$KPI_{PENcoeff} = 10^3$$

Etapes suivantes

- **Reinforcement Learning (RL)** : basé sur le MDP
- **Simulateur de station** (sans hypothèses)
- **Environnement Gymnasium** (Python)
- Application d'**algorithmes** pour entrainer l'agent



Bilan



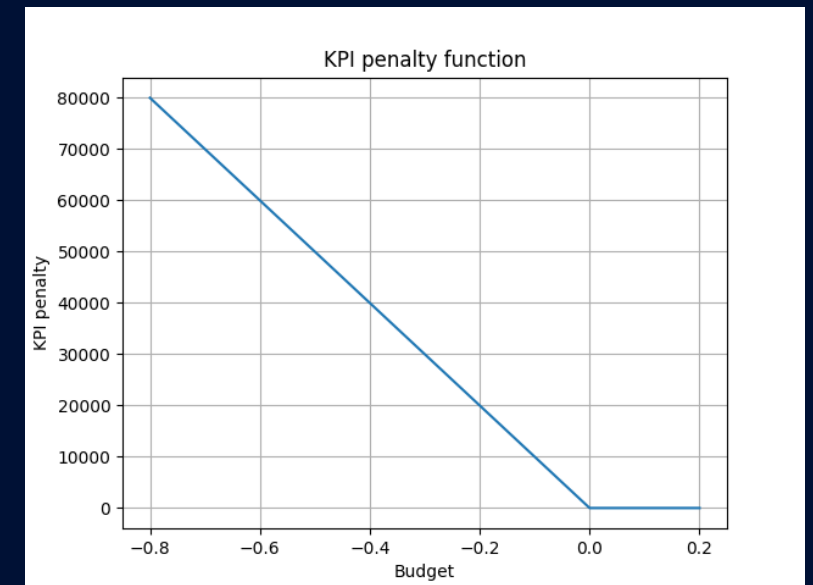
- MDP = bonnes performances → solution RL = piste intéressante
- Découverte des télécoms, de Gym...
- Dépôt d'un brevet
- Projet en cours → finir le modèle RL
- Solution qui marche sur simulateur → l'intégrer aux réseaux actuels



Slides supplémentaires – travaux en cours / explications...

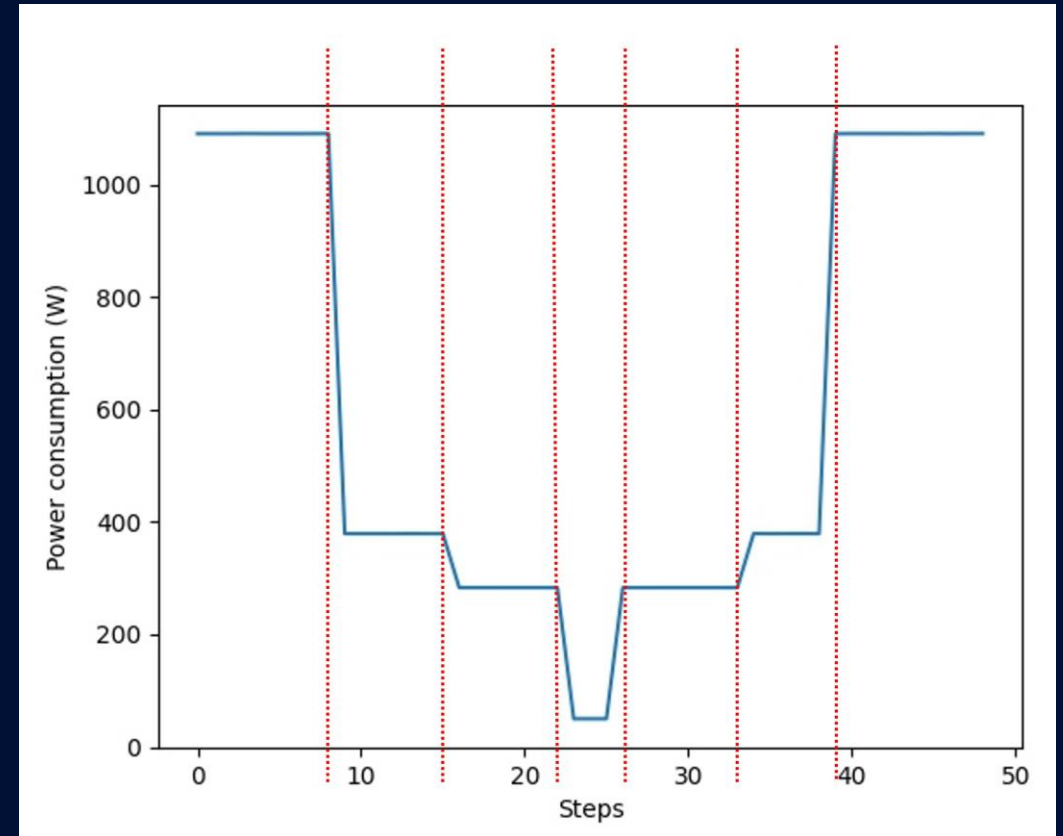
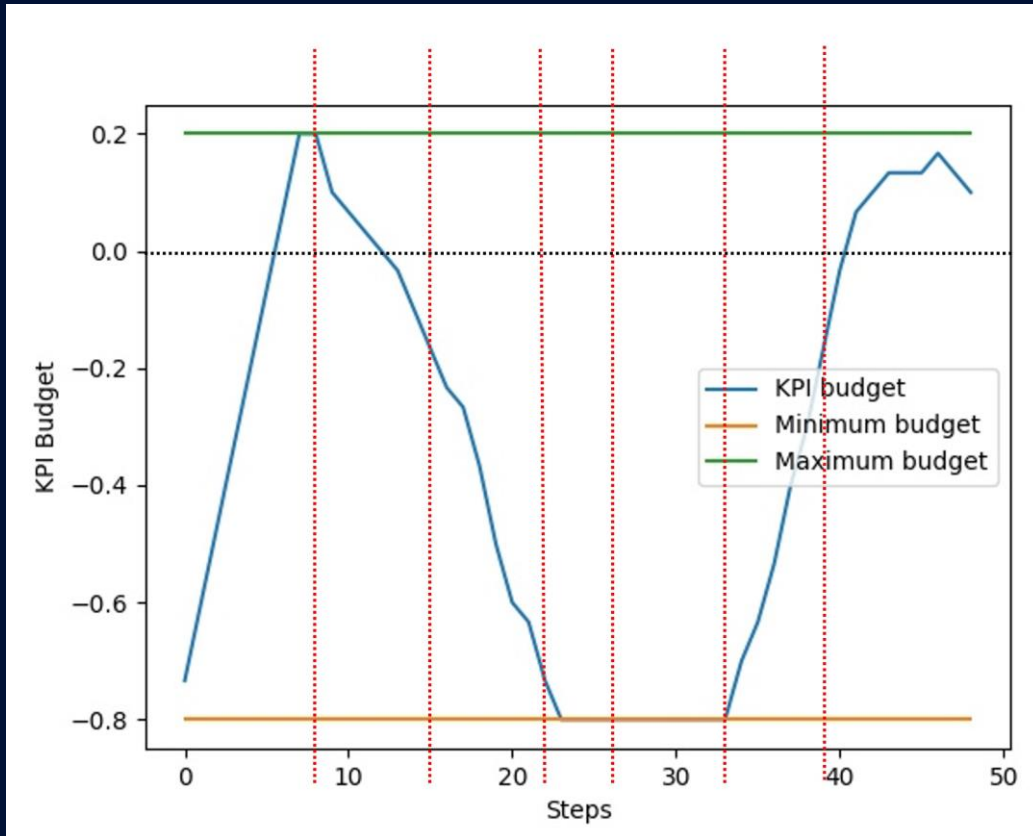
Markov Decision Process (MDP)

- **Etats** : $s_t = (\sigma_t, b_t)$ (configuration actuelle + budget)
- **Actions** : $a_t = \text{configuration suivante } \sigma'$
- **Probabilités de transition**: 2 transitions à traiter
 - $b_t \rightarrow b_{t+1} : p_t^i$
 - Dépend du nombre de 1 dans la fenêtre glissante \rightarrow 3 transitions possibles ($i = -1, 0, +1$)
 - Dépend de $\Pr(OK_{t+1} = 1 | \sigma_{t+1}) \rightarrow$ donné par Nokia
 - $\sigma_t \rightarrow \sigma_{t+1}$ (temps de latence) :
 - $\Pr(\sigma_{t+1} = \sigma', b_{t+1} = b_t + i | a_t = \sigma') = \lambda(\sigma_t, a_t) p_t^i, \quad \forall i = -1, 0, +1$ (changement de configuration)
 - $\Pr(\sigma_{t+1} = \sigma_t, b_{t+1} = b_t + i | a_t = \sigma') = (1 - \lambda(\sigma_t, a_t)) p_t^i, \quad \forall i = -1, 0, +1$ (même configuration)
- **Coût** : $u(s_t, a_t) = E_{\text{consumption}}(\sigma_t) + \ell_{KPI}(b_t)$ avec :
 - $\ell_{KPI}(b_t) = 0$ si $b_t \geq 0$ (bons KPIs)
 - $\ell_{KPI}(b_t) = KPI_{coeff} \times b_t$ si $b_t < 0$ (mauvais KPIs) avec $KPI_{coeff} > 0$
- **Objectif** : minimiser le coût à long-terme : $\min_{\pi} \mathbb{E}_{\pi}[\sum_{t \geq 0} \beta^t u(s_t)]$
 $0 \leq \beta \leq 1$ facteur de réduction et π une stratégie (**politique**)



Observations

Evolution du budget sur le simulateur BTS, $0 \leq L_0 \leq 20$



Observations

Evolution du budget sur le simulateur BTS, $40 \leq L_0 \leq 60$

