HAL
open science

Apprentissage machine pour l'accès dynamique au spectre : de la théorie au prototypage sur signaux radio réels

Christophe Moy

To cite this version:

Christophe Moy. Apprentissage machine pour l'accès dynamique au spectre : de la théorie au prototypage sur signaux radio réels. Journée DGA-MI "Applications radio sur plate-forme SDR", Jun 2015, Bruz, France. hal-01167405

HAL Id: hal-01167405

https://hal.science/hal-01167405v1

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Apprentissage machine pour l'accès dynamique au spectre : de la théorie au prototypage sur signaux radio réels

Christophe MOY - *christophe.moy@centralesupelec.fr*
Professeur à Centrale Supélec
Campus de Rennes
IETR – UMR CNRS 6164

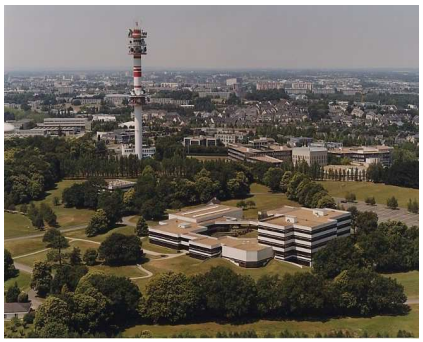
Journée DGA-MI « Applications radio sur plate-forme SDR » - 03 juin 2015

Centrale Supélec - CS

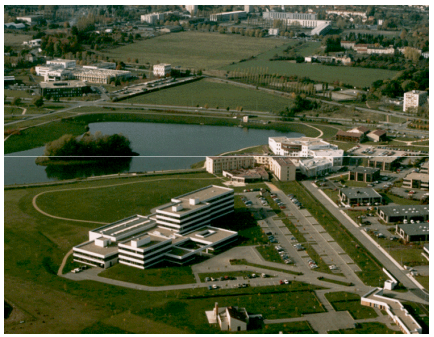
Fusion en janvier 2015 entre

- Supélec (3 campus)
- Ecole Centrale Paris

Département Communications



Campus de Rennes



Campus de Metz

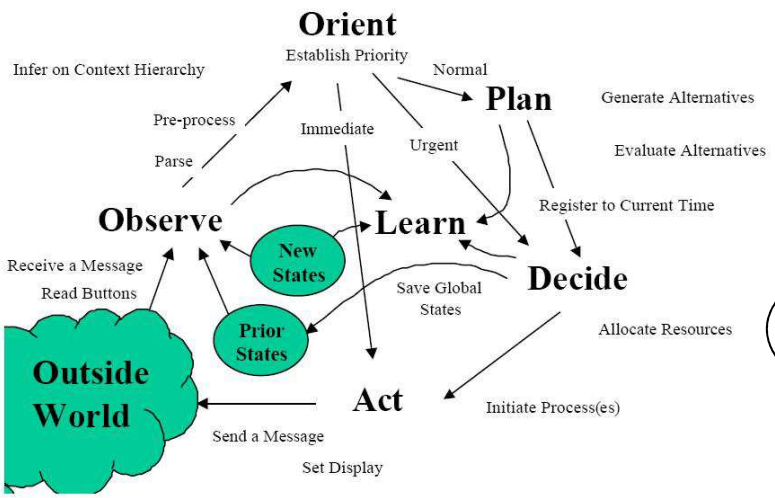
Equipe SCEE sur le campus de Rennes

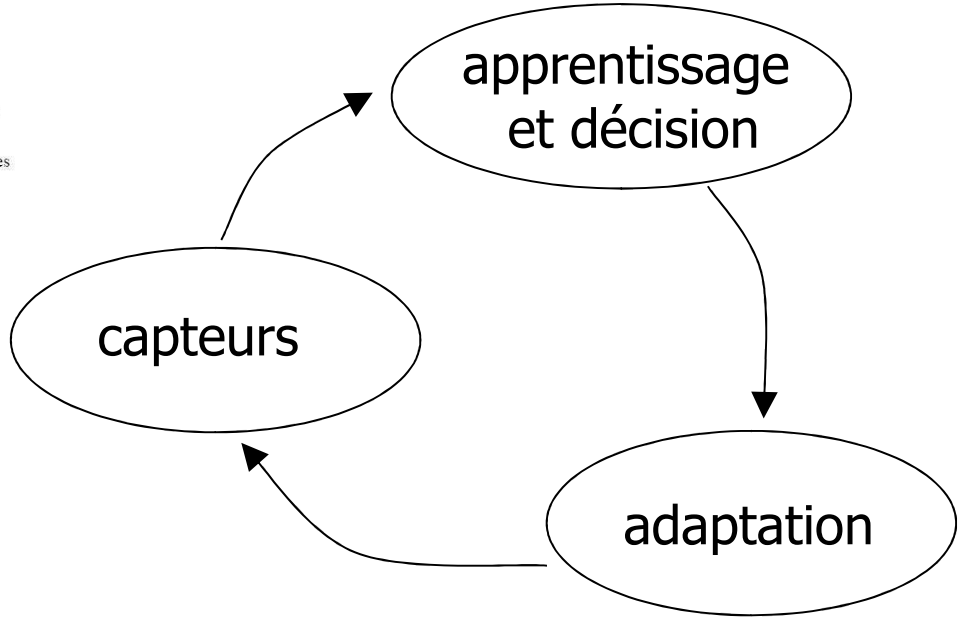
Campus de Châtenay Malabry

➔

Campus de Gif sur Yvette
Campus de Paris Saclay

Radio intelligente (cognitive radio) - cycle intelligent



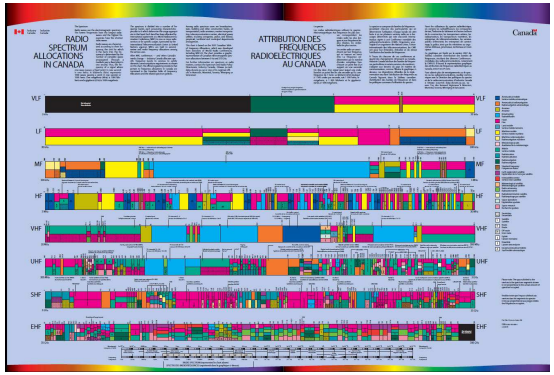


Applicable à tout système intelligent

- Capteurs
- Moyens d'apprentissage et de prise de décision
- Possibilités d'adaptation

Selon un critère : qualité de service / coût / conso…

Radio intelligente comme solution d'accès dynamique au spectre



La radio intelligente est souvent restreinte à l'amélioration de l'utilisation du spectre

Le spectre radio est alloué à 100%

- Besoin d'envisager de nouvelles méthodes d'accès au spectre en rupture avec ce qui est fait depuis 100 ans

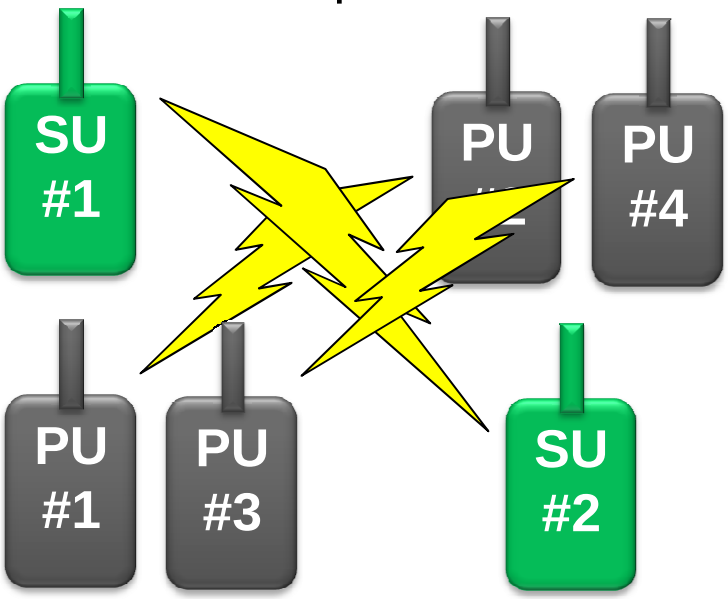
Accès dynamique au spectre

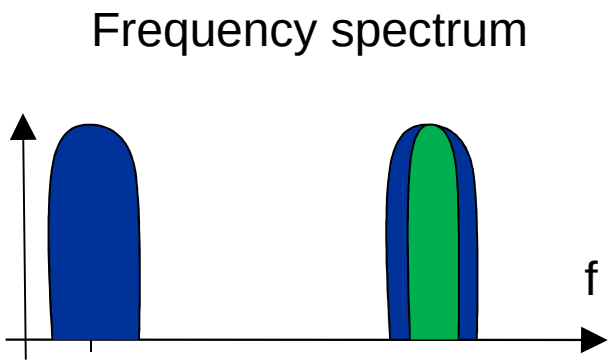
- TV White Spaces / Licence Sharing Access (LSA)
  - ETSI RRS : LSA dans la bande 2.3-2.4 GHz pour LTE
  - Location des bandes militaires
  - US essaie de rattraper son retard (PCAST et IEEE Dyspan)
- Recherche ou dès maintenant pour les bandes non licenciées : Opportunistic Spectrum Access (OSA)

Accès opportuniste au spectre (Opportunistic Spectrum Access – OSA)

Scenario futuriste ou dès maintenant dans les bandes non licenciées

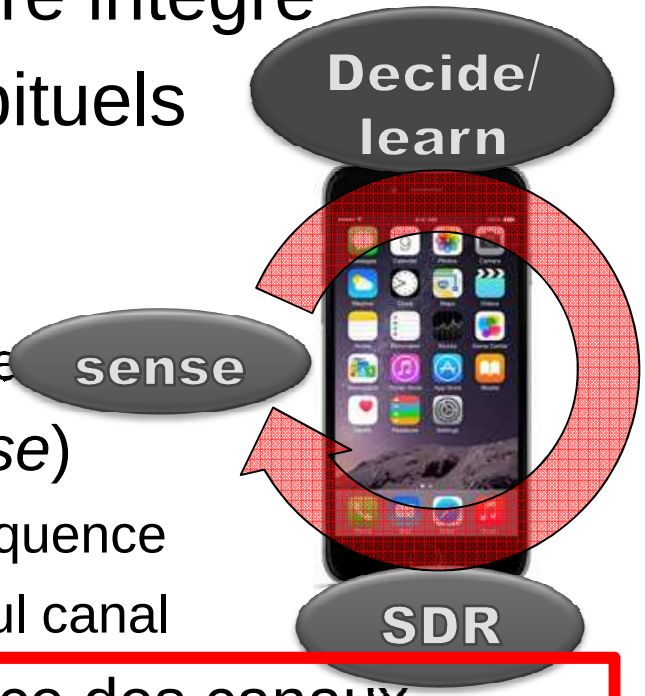
- dans un réseau radio d'utilisateurs primaires (PU)
- des utilisateurs secondaires (SU) sont autorisés à utiliser des canaux vacants
- à la condition que les SUs libèrent le canal quand un UP revient





Capacités nécessaires à un SU pour être intelligent

Il faut que l'équipement secondaire intègre en plus des traitements radio habituels

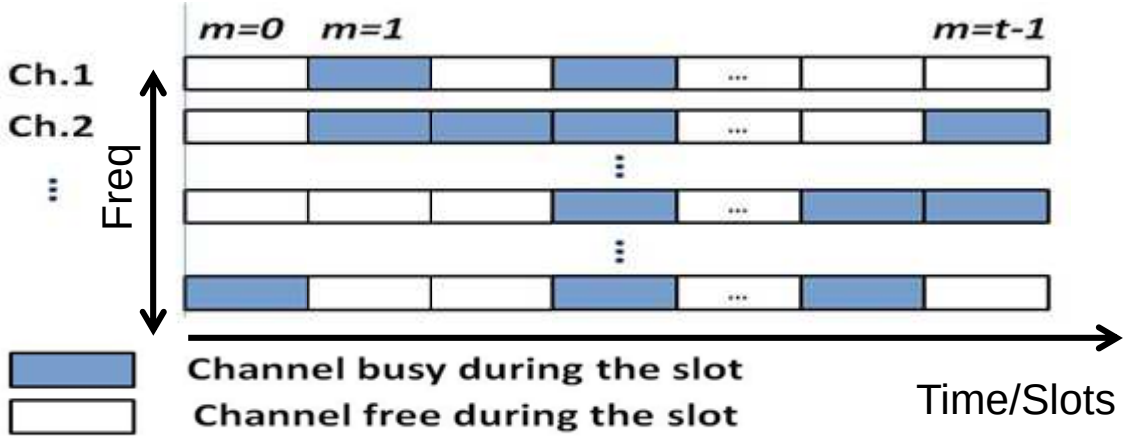


- Capacités de reconfigurabilité (SDR mais pas forcément SCA !)
  - oscillateur local pour changer de fréquence
- Capteur nécessaire pour l'OSA (*sense*)
  - détection d'un UP qui serait à la même fréquence
  - soit faire la détection en //, soit pour un seul canal
- Algorithme de prédiction de la vacance des canaux
  - pour ne pas faire la détection sur tous les canaux en parallèle

➔Tête RF et calculs d'un seul canal de large (comme legacy) !!!

➔ Seul prix à payer pour devenir intelligent : capteur (apprentis. ≅ 0)

Apprentissage par renforcement pour l'accès opportuniste au spectre



Capteur	Transmission ?	Récompense
Détection d'un UP sur le canal	Communication si possible (quand pas de PU)	Evaluation de performance

Sélection d'un canal d'après l'algorithme

Algorithme UCB_1 :

$$B_{k,t,T_k(t)} = \overline{X}_{k,T_k(t)} + A_{k,t,T_k(t)}$$

Seulement un index B à calculer par canal à chaque itération

Algorithme Upper Confidence Bound (UCB) pour le problème MAB

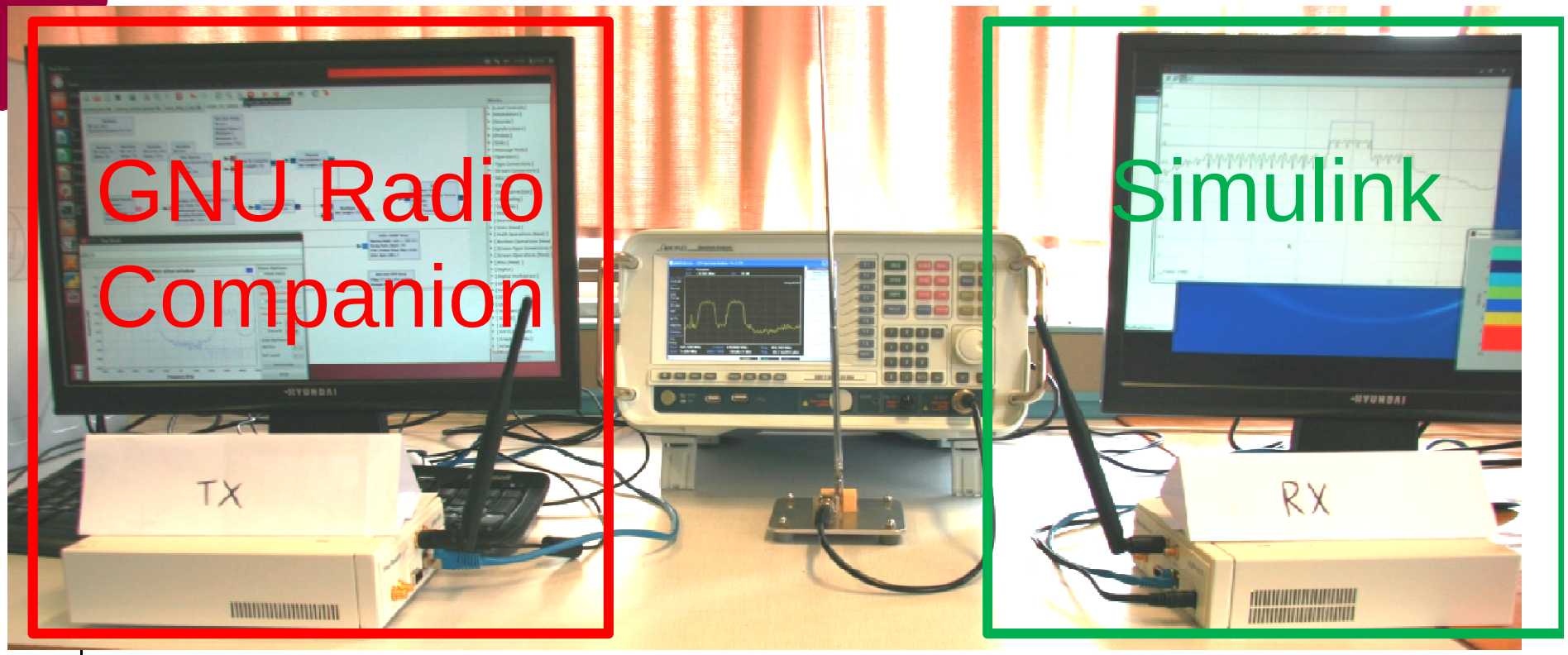
Multi-Armed Bandit

- Chaque machine à sous est un canal
- Toutes les machines rapportent la même somme, tous les canaux ont la même bande
- La moyenne empirique $\overline{X}_{k,T_k(t)}$ est mise à jour
  - 0 si le canal est occupé par un PU (pas de transmission)
  - 1 si le canal est vacant : transmission secondaire (opportuniste)
- Algo UCB_1 choisit le canal au plus grand index B:

$$B_{k,t,T_k(t)} = \overline{X}_{k,T_k(t)} + A_{k,t,T_k(t)} \quad \Rightarrow \quad A_{k,t,T_k(t)} = \sqrt{\frac{\alpha.\ln(t)}{T_k(t)}}$$

[1] Wassim JOUINI, Damien ERNST, Christophe MOY, Jacques PALICOT, "Upper confidence bound based decision making strategies and dynamic spectrum access," International Communication Conference, ICC'10, Cape Town, South Africa, 26-29 May 2010

Démonstrateur



Démonstrateur d'algorithmes d'apprentissage sur signaux radio réels
- gauche: émissions d'un réseau primaire (TX) – plusieurs PU aléatoires
- droite: algo d'apprentissage d'un utilisateur secondaire (RX) (détecteur d'NRJ)
- analyseur de spectre pour observer les signaux RF

Résultats

Après 73 itérations

- Une recherche uniforme aurait essayé 10 fois chaque
- UCB favorise grandement le meilleur canal (pas à l'∞ !)

Après 1500 itérations

- les 3 meilleurs canaux sélectionnés 80 % du temps

Après 7000 itérations

- meilleur canal sélectionné plus de 50% du temps
- 75% pour les 2 meilleurs canaux

	emp prob	nb trials	target prob
channel#1	0.70	10	0.5
channel#2	0	3	0.3
channel#3	0	3	0.4
channel#4	0.6	10	0.5
channel#5	0.70	10	0.6
channel#6	0.60	10	0.7
channel#7	0	3	0.8
channel#8	**0.96**	**24**	**0.9**

Holes distribution	Nb of trials per band
0.7032	219
0.2692	26
0.5352	71
0.573	89
0.7864	557
0.8022	718
0.8414	1532
0.8718	3783

Conclusion sur la solution d'apprentissage en temps réel proposée

Convergence rapide en pratique

- À l'∞ en théorie / Seulement en quelques 10aines de fois le nombre de canaux en pratique
- Si effectué toute les ms ➔ 1 s pour 1000 canaux !

Robustesse aux erreurs (vérifié par l'expérience)

- Mathématiquement prouvé que des erreurs de sensing ne provoquent qu'un retard dans l'apprentissage, pas une divergence (erreur qui le fait mal classer les canaux)

Simplicité de réalisation (qques opérations par slot)

- < % du sensing par détectionr d'énergie d'un seul canal

L'apprentissage n'est pas le problème (le sensing !)