

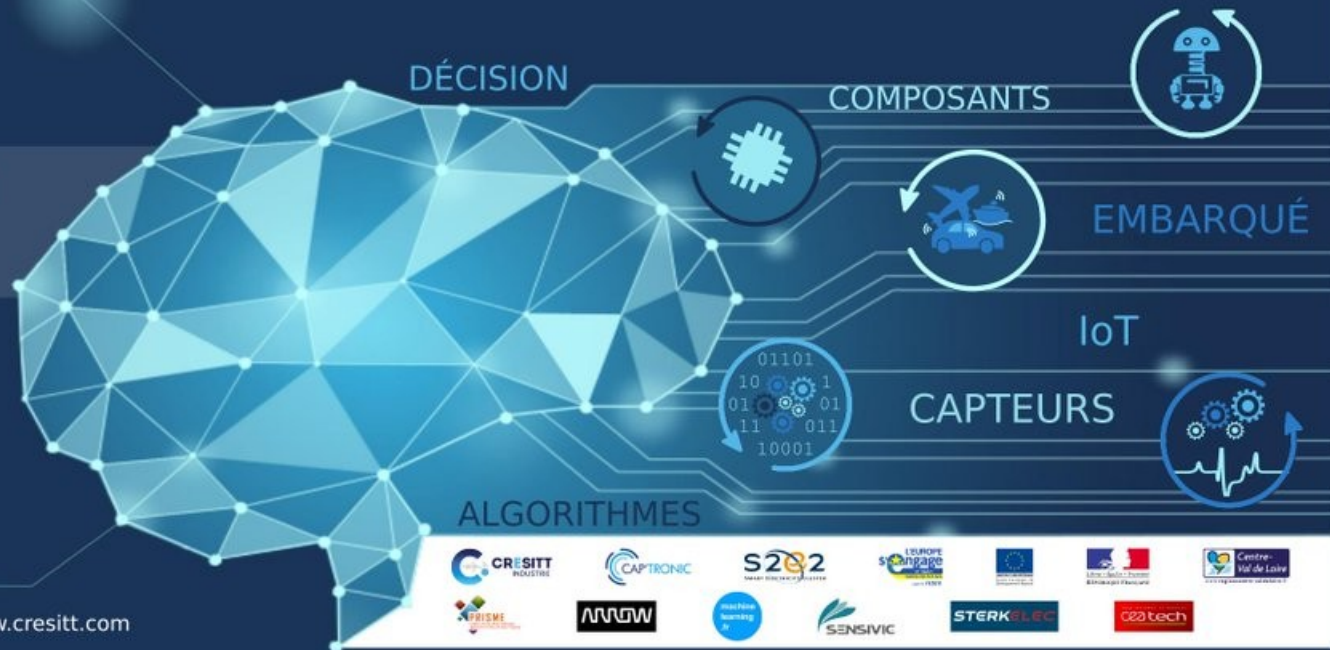
SÉMINAIRE

Intelligence Artificielle et
Électronique Embarquée

17 octobre 2019

À Polytech Orleans

Séminaire gratuit, inscription obligatoire sur www.cresitt.com



La détection automatique d'anormalités sonores pour la sûreté

L'intelligence Artificielle dans la pratique

Prof. Jean DEMARTINI
CTO - USS SENSIVIC

jean.demartini@sensivic.com
www.sensivic.com





Introduction

- Quelques mots sur l'intelligence artificielle, les systèmes auto-adaptatifs et l'apprentissage en général
- Un problème concret : la détection automatique d'anormalités sonores dans les espaces ouverts au public pour la sûreté
- Les objectifs et les contraintes d'un tel détecteur autonome
 - Le point de départ et les évolutions
- L'approche employée, un peu de bio-mimétisme
- Les résultats



Intelligence artificielle ? machine learning

- Ce (très) vieux mythe de l'humanité est resté littéraire jusque vers les années 1950.
 - Ne pas oublier les écrits prémonitoires de Ada Lovelace dans les années 1840 sur les potentialités de la machine analytique de Babbage.
 - Il est devenu un recueil de techniques statiques ou dynamiques permettant de résoudre des problèmes difficiles à formaliser.
 - Est en évolution très rapide depuis une vingtaine d'années.
 - Avancées théoriques
 - Accroissement de la puissance de calcul embarquable
 - Quelques applications spectaculaires et médiatiques
- Les premières applications industrielles apparaissent en fin des années 60 dans le monde de l'automatique.
 - Le pilotage des colonnes à distiller, dans l'industrie du pétrole, a introduit, petit à petit, les concepts de système auto-adaptatif et de système à auto-apprentissage.
 - Beaucoup d'autres applications ont suivi depuis. Elles restent peu connues.
- C'est dans cette lignée que cette conférence se situe.



Pour quoi faire ?

TROPHÉE D'OR
2016
TROPHÉES DE LA SÉCURITÉ

SENSIVIC™
The Urban Soundscape

Sans oreilles vos caméras sont aveugles

**Urban Soundscape:
les Oreilles Intelligentes**

COPYRIGHT SENSIVIC™ 2013-2017





Pour aider les caméras ...

UNE CAMÉRA NE VOIT QUE CE QU'ELLE REGARDE

- Comment attirer l'attention du système de vidéoprotection ?
- Comment faire en sorte que le système réagisse à un événement hors champ des caméras ?





... il leur faut des oreilles ...

UN SENS SUPPLÉMENTAIRE

Il n'y a pas de son hors champ



N'est-il pas temps de mettre des oreilles aux caméras ?



... et les bruits naturels ?

En ville, il y a beaucoup de bruit, et le bruit change tout le temps...
Quels sont les bruits qui nous inquiètent ?
Comment détecter un son anormal ?

**Environnement
non-stationnaire
et incertain en logique
semi-décidable**





Pourquoi l'apprentissage ?

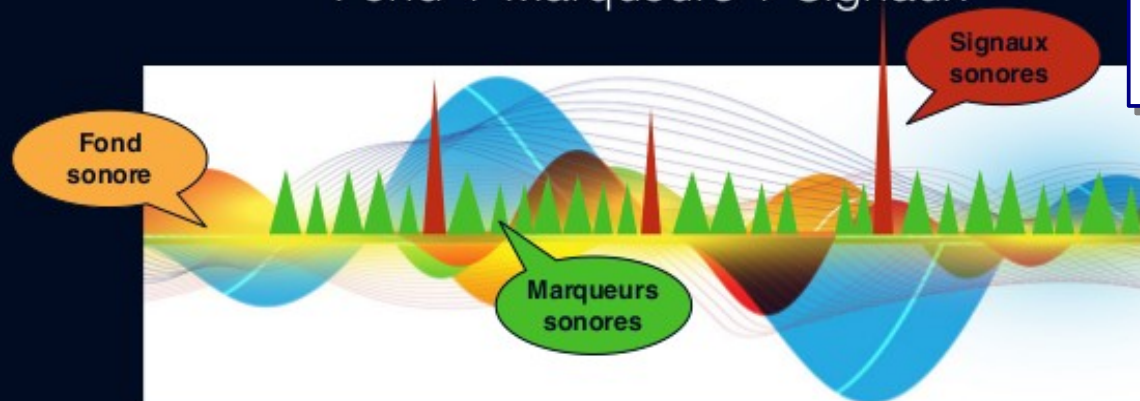
- La conception du système de contrôle d'un processus physique ou d'un système de détection peut se situer dans 2 cadres :
 - 1) On dispose d'un modèle du processus dont on peut déterminer les paramètres. Le contrôleur ou le détecteur peuvent être conçus par des méthodes déterministes ou stochastiques.
 - 2) On ne dispose pas d'un modèle du processus. Il faut alors concevoir un dispositif de pilotage ou de détection capable d'estimer lui-même les caractéristiques du processus ainsi que sa loi de commande ou de détection.
- Un système du 2ème type sera dit **à apprentissage** :
 - s'il peut modifier sa structure pour se conformer aux variations de son environnement
 - s'il peut utiliser son expérience acquise.



Le paysage sonore

L'algorithme de détection SENSIVIC
s'appuie sur le concept de :
PAYSAGE SONORE
Fond + Marqueurs + Signaux

Modèle qualitatif introduit
par le musicologue canadien
Murray Schafer*



- **Fond sonore** : l'ensemble des sons produits par l'activité environnante que notre cerveau apprend rapidement à éliminer. Rien ne nous surprend, on s'y habitue. Sons d'ambiance naturels peu agressifs (rivière, ressac de la mer, vent...)
- **Marqueurs sonores** : sont liés à l'activité d'un moment et d'un lieu, ils se réfèrent à une communauté : sons d'ambiance artefact (autoroutes, usines, chantiers, aéroports, brouhaha d'une foule, écoles, stades...)
- Un **signal sonore** est un changement brusque dans l'environnement sonore ambiant. C'est justement ce changement brusque qui nous surprend et attire notre attention.



Son anormal ?

un peu de bio-mimétisme

- Qu'est-ce qui est anormal ? Pour les humains, bien sûr, car la sûreté concerne essentiellement les humains.
 - Problème philosophique difficile. Les tentatives de définition de l'anormalité ont échoué.
 - La définition pratique de l'anormalité est donc une contra-position sur la notion de normalité.
- Est **normal** ce qui est **habituel** :
 - Mesure de l'intégration au groupe social.
- Ce qui est **anormal** est ce qui nous **surprend** et donc ce qui n'est pas habituel.
- Le signal (son anormal) sera donc défini comme le son qui provoquerait un **effet de surprise** à un être humain qui l'entendrait **dans les mêmes circonstances**.
 - Un son qui n'est pas habituel.



Alerte vs Compréhension

un peu de bio-mimétisme

- L'oreille humaine comporte deux organes :
 - Des poils situés à l'entrée du conduit auditif qui réagissent au passage des ondes de choc (déclenchement du réflexe stapédien en cas de danger pour l'oreille)
 - La cochlée qui permet l'identification des sons (spectre des fréquences)
- Ces deux organes ont des constantes de temps très différentes :
 - Le passage d'une onde de choc détecté par les poils provoque un potentiel évoqué auditif précoce en moins de 50ms : **alerte**
 - La cochlée provoque des potentiels évoqués auditifs tardifs en plus de 200ms : **identification**
- La sûreté est associée à l'alerte, la communication à la compréhension.
 - Ce qui nous alerte n'est pas encore identifié ou compris.



Surprise et Levée de doute



Signal
↓
Effet de Surprise
↓
Levée de doute

Notre système de détection isole:

- le **Signal sonore**
 - du **Fond Sonore**
 - des **Marqueurs Sonores**

SENSIVIC
The Urban Soundscape

COPYRIGHT SENSIVIC™ 2013-2017

8

Par nature les signaux (sons anormaux) sont **rares**.

La détection sonore est une **assistance** pour la sûreté



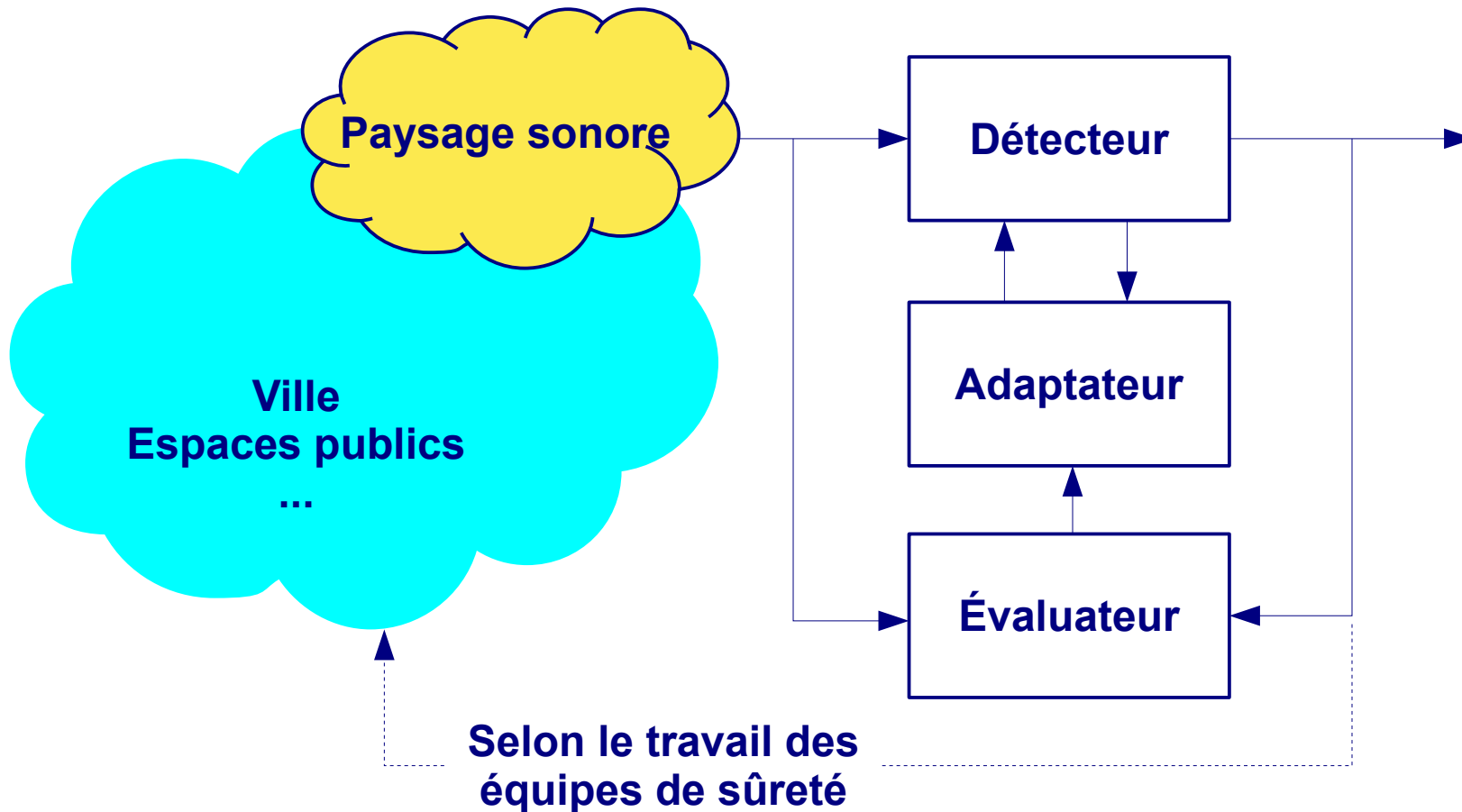
Systemes auto-adaptatifs ou à auto-apprentissage

- Cette définition, ancienne et un peu naïve, est due à Lotfi Zadeh*
« Étant donné un système $[A]$, $\{S_i\}$ une classe de ses entrées, $I = \{i\}$ l'ensemble des entrées possibles, $P(i)$ un critère de performance de $[A]$ à valeurs dans un espace W . On dit que le système $[A]$ est auto-adaptatif si P est une fonction de I dans W . »
- Si $P(i)$ est un critère instantané, le système est simplement **auto-adaptatif**.
- Si $P(i)$ dépend de l'histoire de $[A]$, le système est à **auto-apprentissage**.
 - Système Markovien : Si $P(i)$ ne dépend que d'une tranche finie de l'histoire de $[A]$, le système est, de plus, Markovien.

* "On the definition of adaptivity" Proc. Of the IRE mars 1963



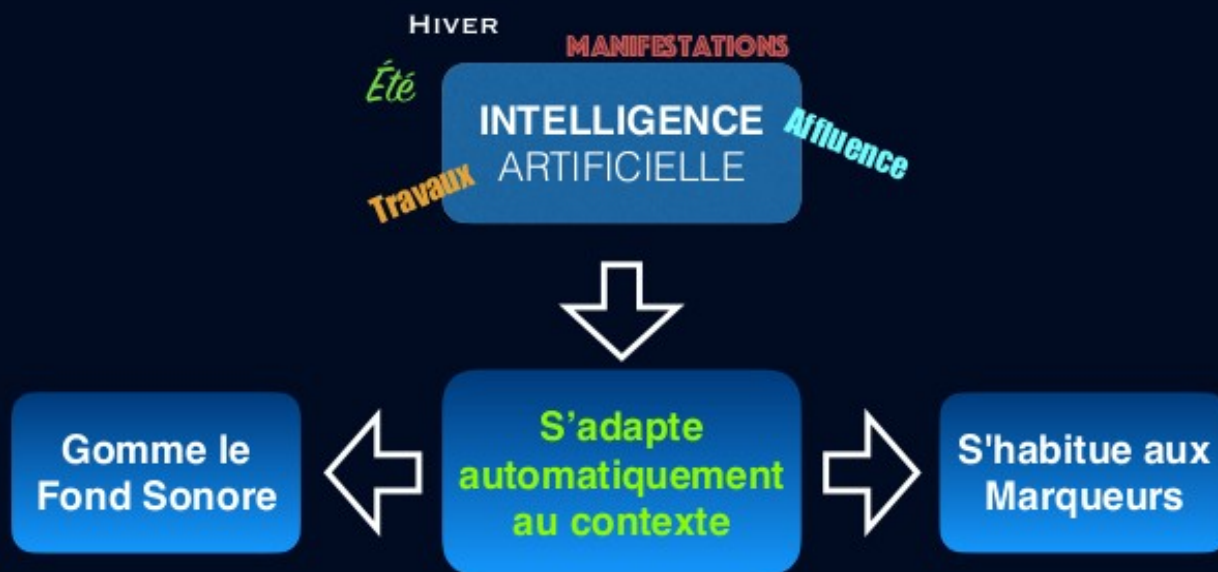
Architecture générique d'un système de détection sonore à apprentissage





Où se place l'apprentissage.

SENSIVIC : Un système de détection AUTONOME





Contraintes d'implémentation

- Le paysage sonore n'étant ni stationnaire, ni prévisible, l'apprentissage ne peut être que **permanent**.
 - La durée du pré-apprentissage à la mise en service doit être courte (quelques minutes).
- Le système doit être **autonome**.
 - Pas d'intervention après sa mise en service
- Sa capacité de stockage est limitée
 - 512ko/1Mo de mémoire flash
 - On ne peut stocker qu'un **vecteur d'état**.
- Il doit être connectable aux systèmes d'alarme classiques.



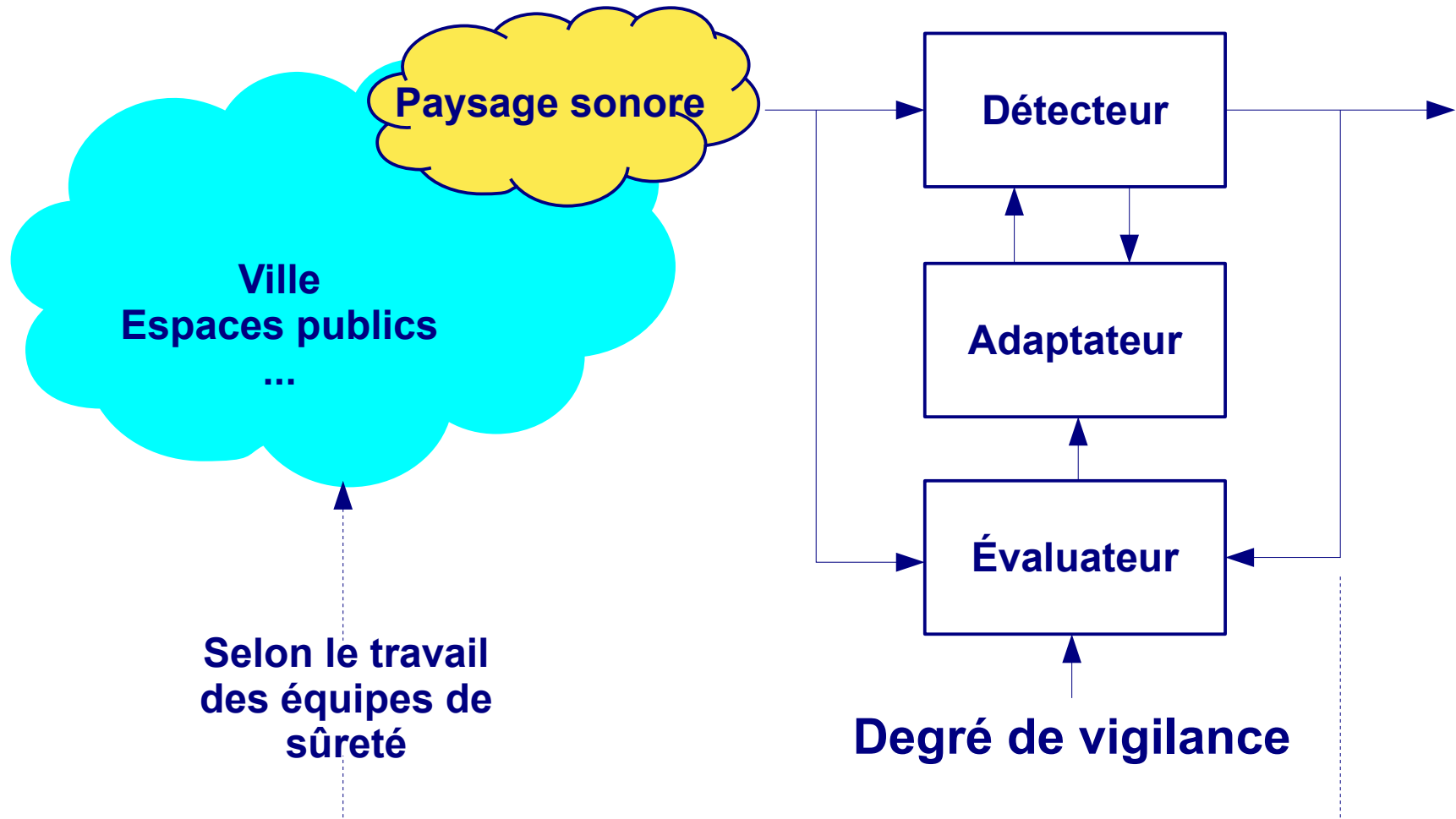


Piloter l'auto-apprentissage ?

- Le détecteur est une **sentinelle**.
 - Sentinelle : Personne ou chose qui a pour tâche de veiller, de surveiller pour éviter toute surprise. (selon Larousse)
- Une bonne sentinelle est :
 - Pertinente : peu de faux positifs (alertes injustifiées)
 - Vigilante : peu de faux négatifs (alertes non signalées)
- Dans la pratique :
 - Une alerte détectée déclenche une intervention qui entraîne une **dépense**.
 - Une alerte justifiée non détectée entraîne un **préjudice**.
- Une bonne sentinelle a un **coût de fonctionnement minimal** :
 $C_{min}(\text{degré de vigilance}, \text{dépenses}, \text{préjudices})$
- Le **degré de vigilance** est le **seul paramètre de réglage**. Il caractérise les scénarios d'usage.



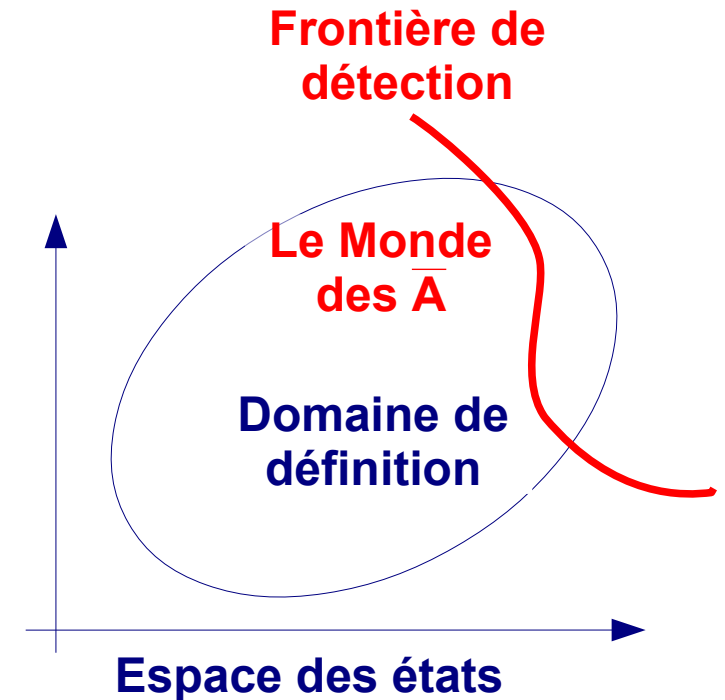
Architecture du système de détection





Structure du détecteur

- Le détecteur est caractérisé par :
 - Un espace des états
 - Des frontières de décision
- Ces frontières sont rarement définies de façon analytique, il est nécessaire de les approcher.
 - Par un hyperplan : neurone classique
 - Par des portions d'hyperplans : réseau de neurones classiques
 - Par des réseaux d'hyper-polynômes (neurones quadratiques typiquement)
 - Par des réseaux de fonctions caractéristiques associées à une **connaissance partielle** du processus
- L'apprentissage va déterminer les paramètres de ces approximations.



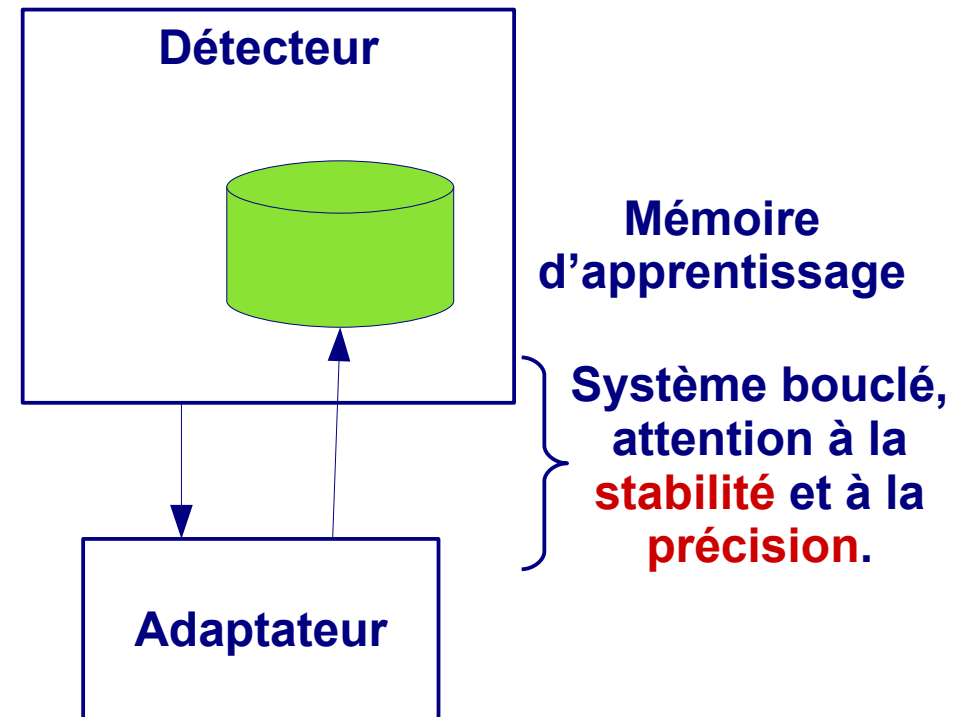
* d'après "The World of Null-A" A.E. Van Vogt (1945)



Mémoire d'apprentissage

un peu de bio-mimétisme

- Sur le site Web « Le cerveau à tous les niveaux* » on trouve une description de la mémoire d'apprentissage des humains.
- L'apprentissage est un processus dans lequel entre en compétition :
 - l'**acquisition** de nouvelles connaissances
 - l'**oubli** de celles qui ne sont plus nécessaires
- C'est l'oubli qui permet de maintenir la vigilance.



* <http://lecerveau.mcgill.ca/>



Aspects pratiques

- Les outils pour l'apprentissage, l'analyse des données, la reconnaissance des formes, les techniques pour l'approximation des frontières de décision etc. sont bien connues.
- Cependant, trouver une bonne formulation du problème à résoudre n'est pas simple (savoir-faire de l'ingénieur)
 - Définition de l'espace des états
 - Choix du critère d'évaluation et de la fonction de coût
 - Choix des fonctions caractéristiques pour la construction des frontières de décision
 - Choix des scénarios d'usage
- L'implémentation en environnement très contraint peut être critique
- Les méthodes de l'intelligence artificielle (IA faible*) donnent de bons résultats lorsque le problème est **suffisamment bien cadré**.
 - Elles font (beaucoup) mieux que le hasard et souvent presque aussi bien qu'un humain qualifié (mieux qu'un humain moyen).

* IA de l'ingénieur, par opposition à l'IA forte de Searle



Détecteurs SENSIVIC

- Un détecteur de chocs sonores associé à une antenne acoustique pour détecter un signal sonore et localiser sa source
 - **Sound-Scanner** inséré dans le réseau IP de la vidéoprotection pour orienter les caméras PTZ dans la bonne direction,
 - Connecté à une plateforme centrale pour permettre leur supervision à distance (pas d'accès au réseau de la vidéoprotection lui-même)
 - Conforme aux recommandations de la CNIL car les fonctions de prétraitement du son sont non inversibles.
- Une gamme de détecteurs non directionnels, autonomes avec une signalisation par contacts secs et associés à différents scénarios d'usage
 - **Soko** : chocs sonores
 - **Sparo** : coups de feu
 - **Muty** : incivilités sonores et cris de paniques
 - **Lasco** : outils rotatifs, sirènes



Merci pour votre attention

Des questions ?

Jean.demartini@sensivic.com
www.sensivic.com