

Apprentissage automatique

Public : L3 cours IA

Bruno Bouzy

bruno.bouzy@parisdescartes.fr

www.mi.parisdescartes.fr/~bouzy

Avril 2022

Objectif

- « Aperçu » de l'apprentissage automatique (AA)
- « Deux » techniques de AA :
 - Arbres de décisions
 - Réseaux de neurones
- Problématiques :
 - Classification (surtout)
 - Approximation de fonction (aussi)

Techniques non abordées

- Apprentissage symbolique
- Réseaux bayésiens
- Machine à vecteurs support
- Méthodes ensemblistes
- Méthodes des différences temporelles
- Evolution artificielle
- Algorithmes « bandit »
- Apprentissage par renforcement

Techniques représentatives

- « Machine Learning » top-cited papers (2011):
 - Quinlan 1986, induction of **decision trees** (~3000)
 - Cortes & vapnik 1995, **support vector networks** (~2000)
 - Sutton 1988, learning to predict by methods of **temporal differences**
 - Breiman 2001, random forests (**bagging**) (~1000)
 - Aha 1991, instance-based learning algorithms
 - Cooper Herskovits 1992, a **bayesian** method for the induction of probabilistic **networks** from data (~900)
 - Shapire 1999, improved **boosting** algo... (~800)
 - etc.

« Deux » techniques abordées

Réseaux bayésiens

Réseaux de neurones

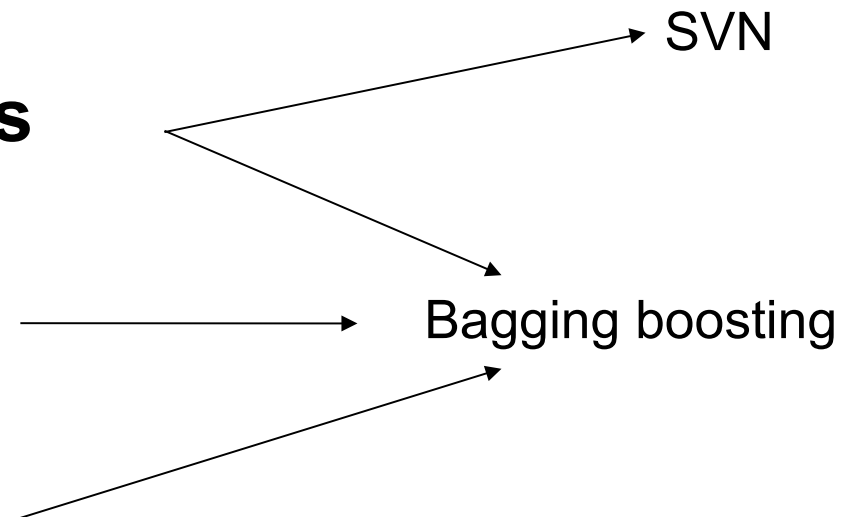
Arbres de décision

Apprentissage symbolique

Evolution artificielle

Algorithmes « bandit »

Apprentissage automatique



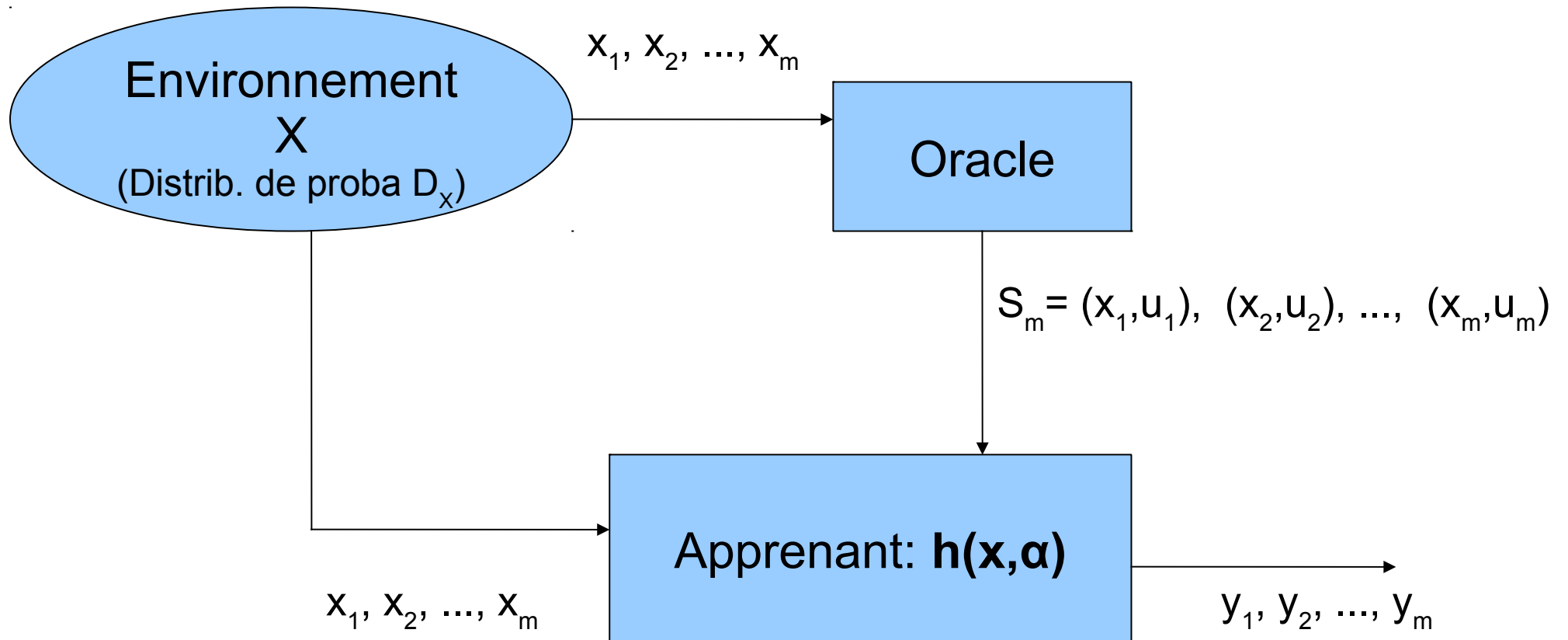
Apprentissage supervisé ou non ?

- Supervisé
 - Un oracle classe les exemples
 - L'apprenant apprend à classer comme l'oracle
 - Non supervisé
 - L'apprenant apprend par lui-même
- à classer
- à décider d'une action

Induction

- Langage courant:
 - Expliquer
 - Prédire, classifier
 - Faire simple
- Jargon de l'apprentissage automatique:
 - **Engendrer des hypothèses**
 - ...plus ou moins simples
 - ...pour classifier, expliquer, décider

Induction



Apprentissage automatique

Induction

- Exemples non classifiés
 - x_1, x_2, \dots, x_m .
- 1 oracle classe les exemples
 - $(x_1, u_1), (x_2, u_2), \dots, (x_m, u_m)$.
- L'apprenant apprend (phase d'apprentissage)
 - En recherchant une hypothèse $h(\cdot, \alpha)$ permettant de classer au mieux les exemples
- L'apprenant classe (phase de test)
 - les exemples nouveaux en utilisant l'hypothèse apprise

Les espaces et ensembles

- X : espace des exemples x
- H : espace des hypothèses h
- F : espace des fonctions cibles f
- S : échantillon (sample)
- S_+ : ensemble des exemples positifs
- S_- : ensemble des exemples négatifs $S = S_+ + S_-$
- A : ensemble d'apprentissage
- T : ensemble de test $S = A + T$

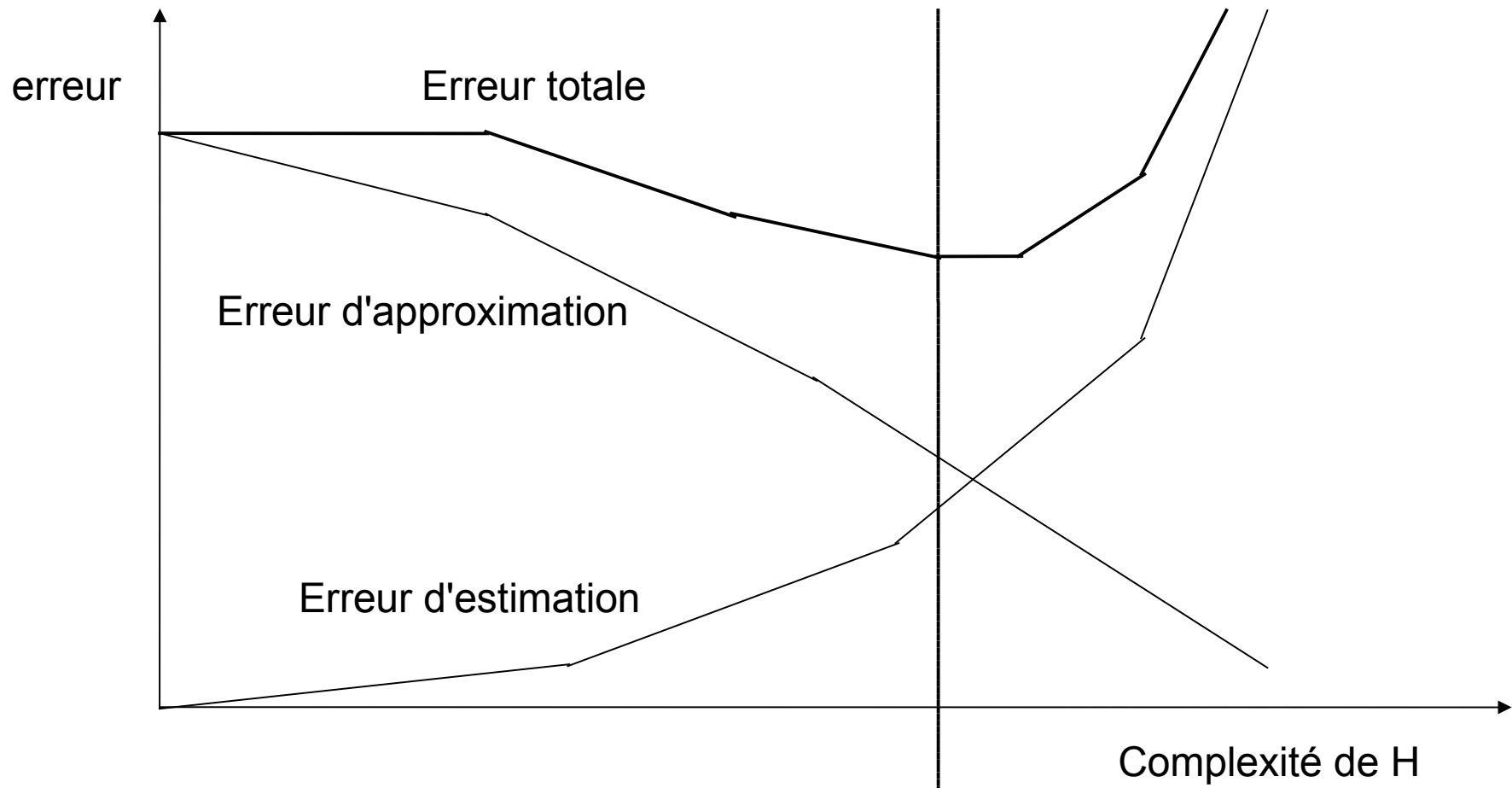
Biais et variance

- Apprentissage d'une hypothèse h dans H .
- h^* : hypothèse optimale dans H .
- $h - h^*$: « **variance** » ou « erreur d'estimation ».
- Exemples classifiés idéalement avec une fonction cible optimale f^* dans $F \neq H$.
- $h^* - f^*$: « **biais** » ou « erreur d'approximation ».
- $h - f^*$: erreur totale.

Compromis biais-variance

- Erreur totale =
 - erreur d'estimation + erreur d'approximation
 - variance + biais
- Plus H est complexe...
 - plus H se rapproche de F , plus le biais diminue.
 - plus 2 hypothèses donnent des résultats différents, plus la variance augmente.
- H de complexité intermédiaire pour minimiser l'erreur totale

Compromis biais-variance



Apprentissage automatique

Compromis biais-variance

- Reconnaître les hommes et les femmes...
 - Modèle simple: la taille pour classifier
 - Les hommes sont plus grands que les femmes.
 - biais important: hommes petits et femmes grandes (erreur d'approximation)
 - variance faible: seuil de taille précisément calculé
 - Modèle plus complexe: taille, longueur cheveux, poids, timbre de la voix, pilosité.
 - biais moins important,
 - variance plus importante.

Induction

- Environnement X :

Engendre des **exemples** x_i tirés indépendamment suivant une distribution D_X .

- Oracle:

Pour chaque x_i , fournit une **étiquette** u_i dans U (avec une distribution de probabilité $F(u|x)$ inconnue)

- Apprenant:

Construit une **hypothèse** h dans H telle que:

$h(x_i) = u_i$ pour chaque x_i .

Induction

- **Perte** (loss) de décider sur x_i avec h :

$L(u_i, h(x_i))$ coût de la décision $h(x_i)$.

- **Risque réel** d'une hypothèse h :

$$R_{\text{réel}}(h) = \int_{X \times U} L(u_i, h(x_i)) dF(x, u)$$

- **Principe inductif**: minimiser $R_{\text{réel}}(h)$
- Problème: F est inconnue, $R_{\text{réel}}$ inconnu
- $h^* = \operatorname{argmin}_h (R_{\text{réel}}(h))$

Induction

- **Risque empirique** d'une hypothèse h sur un échantillon S :

$$R_{\text{emp}}(h, S) = 1/m \sum_{i=1, m} L(u_i, h(x_i))$$

Perte moyenne mesurée sur l'échantillon S

- Minimiser $R_{\text{emp}}(h, S)$.
- Empirical Risk Minimization (ERM)
- $h^*_S = \operatorname{argmin}_h (R_{\text{emp}}(h, S))$

Risque empirique et risque réel

$R_{\text{réel}}(h)$ inconnu, f^* inconnu, $R_{\text{emp}}(h, S_m)$ connu

(0) $R_{\text{réel}}(f^*)=0$ (par définition)

(1) $R_{\text{réel}}(h^*)>0$ (biais) (par définition)

(2) $R_{\text{réel}}(h^*) < R_{\text{réel}}(h^S)$ (par définition)

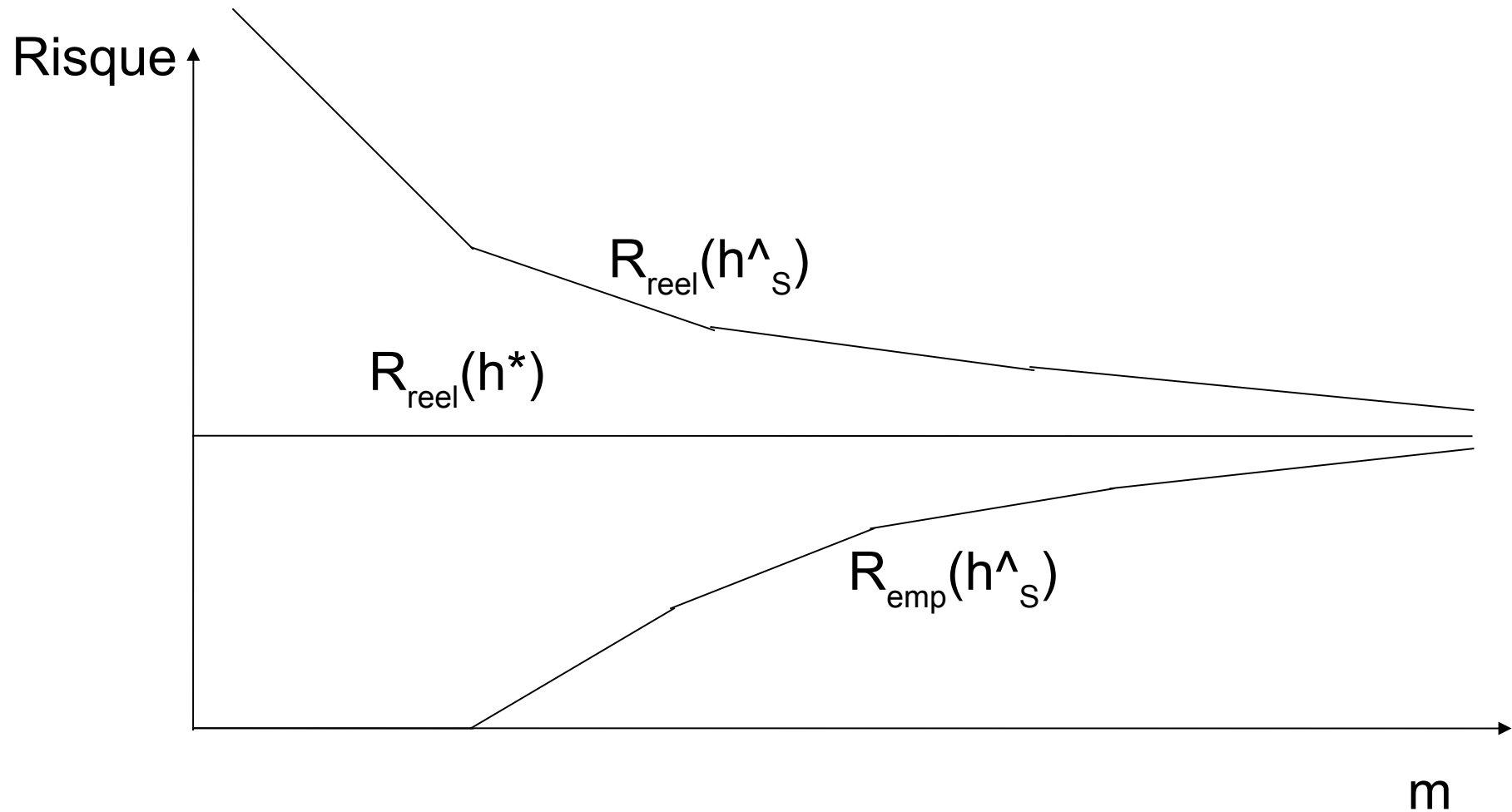
(3) $R_{\text{emp}}(h^S) < R_{\text{emp}}(h^*)$

(4) $R_{\text{emp}}(h^S)$ augmente si $m \rightarrow \infty$ (plus S grand, plus difficile de minimiser)

(5) $R_{\text{réel}}(h^S)$ diminue si $m \rightarrow \infty$ (plus S grand, plus monde réel couvert)

(6) $\lim_{m \rightarrow \infty} (R_{\text{emp}}(h^S)) < R_{\text{réel}}(h^*) < \lim_{m \rightarrow \infty} (R_{\text{réel}}(h^S))$? (oui si pertinence)

Risque empirique et risque réel



Apprentissage automatique

Références

- [1] Antoine Cornuéjols & Laurent Miclet, « Apprentissage artificiel, concepts et algorithmes », (préface de Tom Mitchell), Eyrolles.
- [2] Stuart Russell & Peter Norvig, « Artificial Intelligence: a modern approach ».
- [3] Machine Learning.