

Apprentissage actif en-ligne d'un classifieur évolutif, application à la reconnaissance de commandes gestuelles

Manuel BOUILLON

manuel.bouillon@protonmail.ch

Thèse INSA Rennes

Dirigée par Eric ANQUETIL

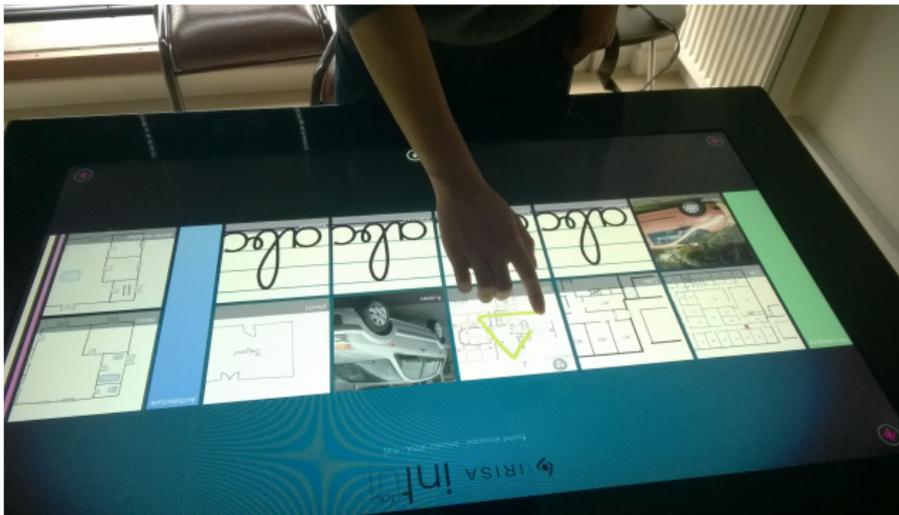
IRISA, CNRS UMR 6074

UEB

18 mars 2016



Contexte

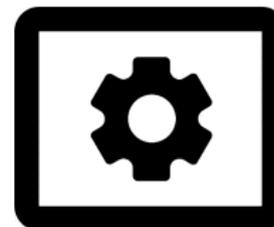


Exemple d'utilisation de commandes gestuelles

Problématique : classifieur évolutif



Utilisateur

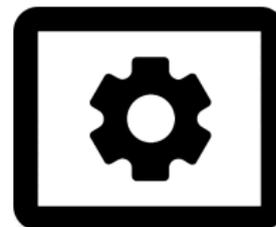


Classifieur évolutif

Problématique : classifieur évolutif



Utilisateur



Classifieur évolutif

Permettre la personnalisation

- apprendre à partir de peu de données
- apprendre pendant l'utilisation

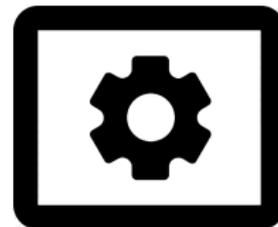
Suivre l'évolution de l'utilisateur

- permettre l'ajout de classes
- suivre l'évolution des classes

Problématique : superviseur actif



Utilisateur



Classifieur évolutif

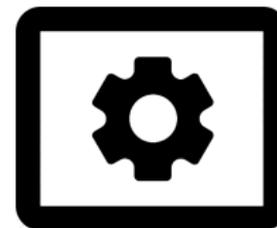
Problématique : superviseur actif



Utilisateur



Superviseur actif



Classifieur évolutif

Problématique : superviseur actif



Utilisateur



Superviseur actif



Classifieur évolutif

Gérer les interactions Homme-Machine

- permettre l'apprentissage du classifieur pendant son utilisation
- limiter les erreurs commises par le classifieur utilisation

Introduction

- 1 État de l'art
 - Classifieurs évolutifs
 - Apprentissage actif
- 2 Contributions
 - Le classifieur évolutif « *Evolve* ∞ »
 - Le superviseur actif en-ligne « *IntuiSup* »
- 3 Validation expérimentale
 - Évaluation sur des bases de données de référence
 - Évaluation sur des commandes gestuelles

Conclusion

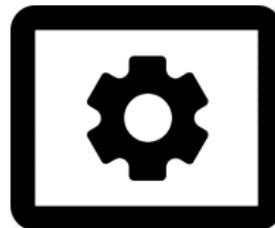
Apprentissage automatique : espace de représentation



Utilisateur



Superviseur actif



Classifieur évolutif

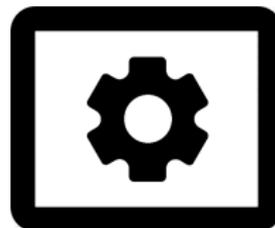
Apprentissage automatique : espace de représentation



Utilisateur

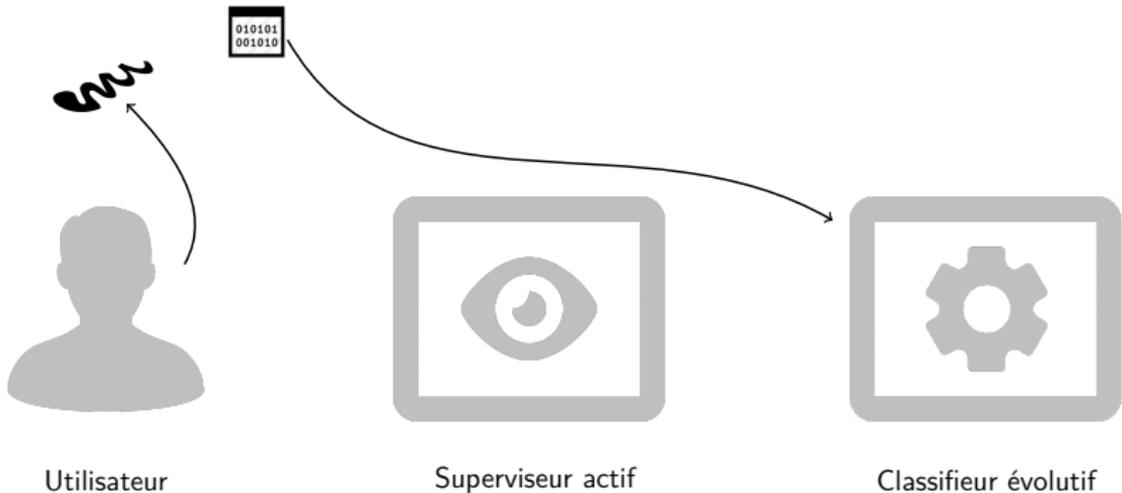


Superviseur actif

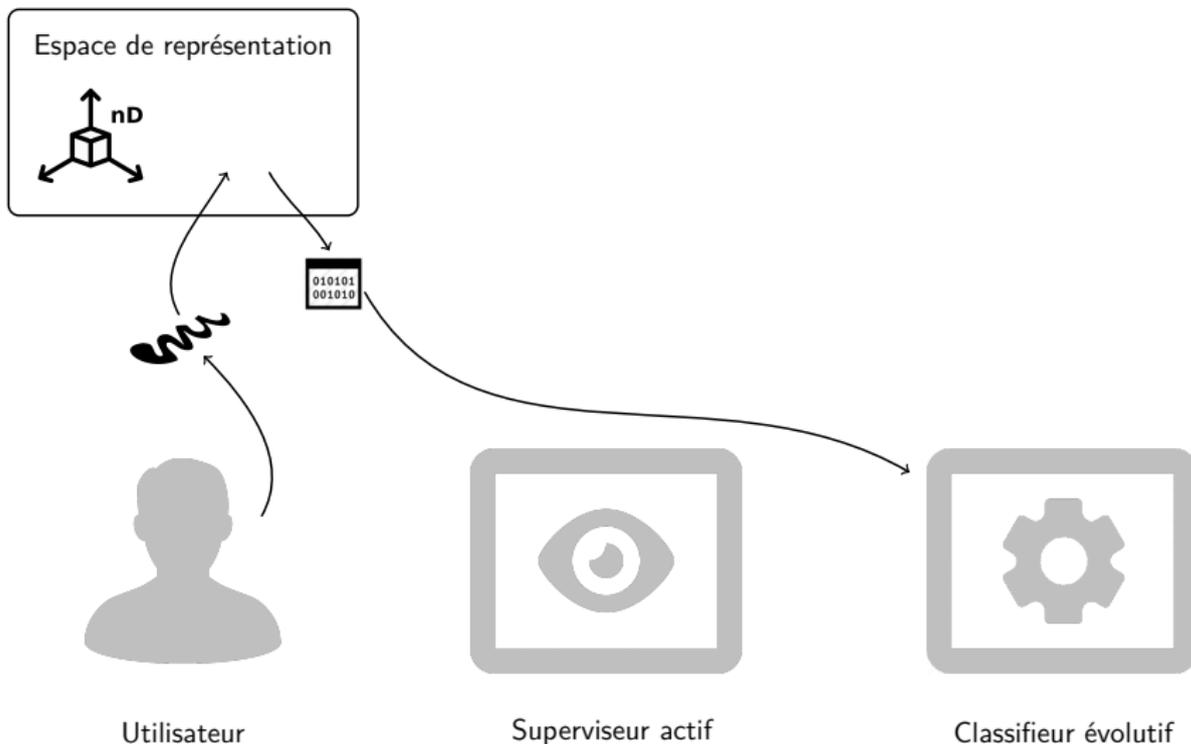


Classifieur évolutif

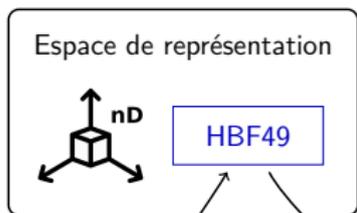
Apprentissage automatique : espace de représentation



Apprentissage automatique : espace de représentation



Apprentissage automatique : espace de représentation



HBF49 [Delaye, 2013]

- dédié aux tracés manuscrits
- polyvalent : lettres, symboles, etc.
- standard



Utilisateur



Superviseur actif



Classifieur évolutif

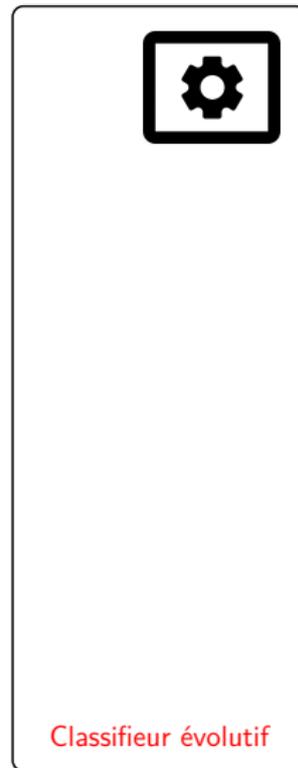
Classifieurs évolutifs



Utilisateur

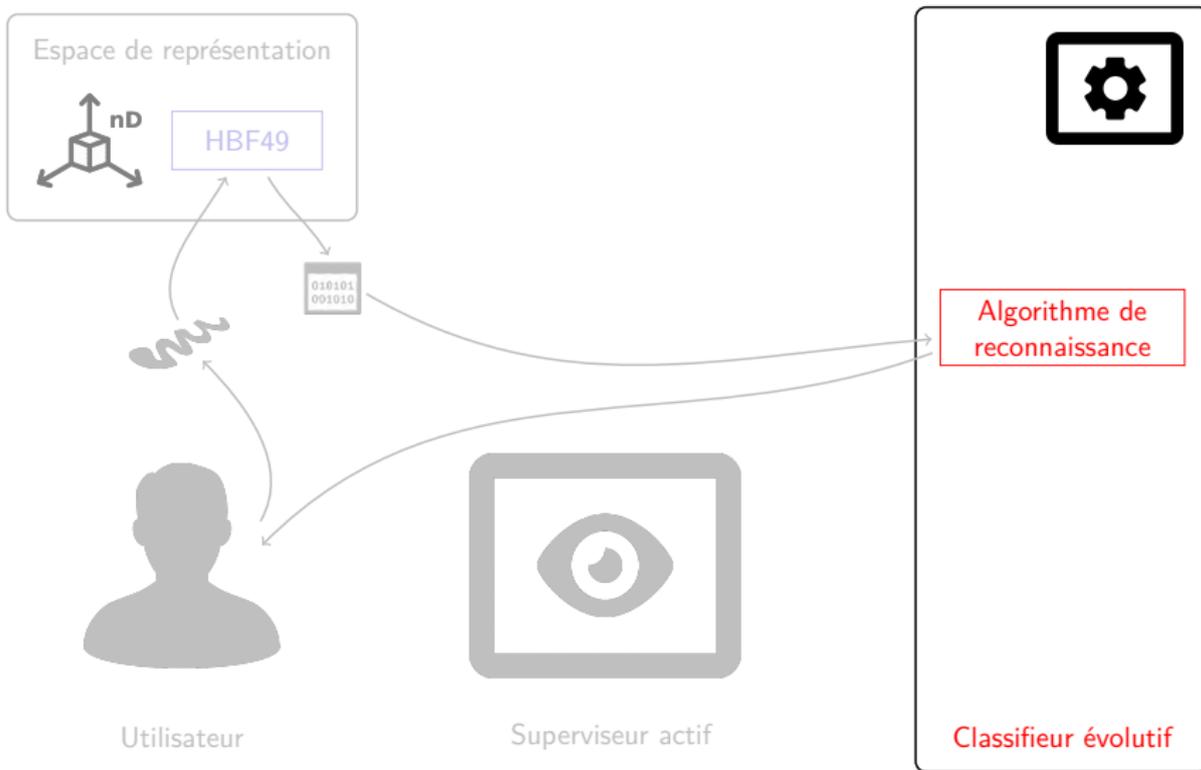


Superviseur actif

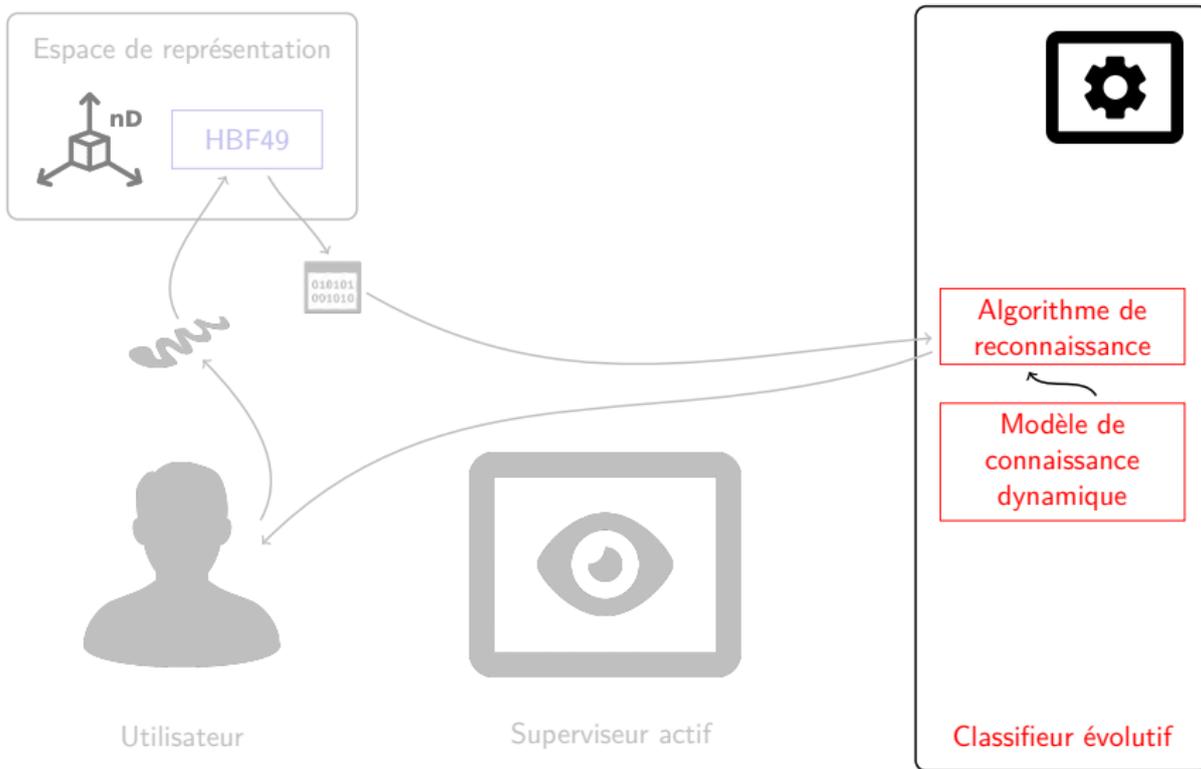


Classifieur évolutif

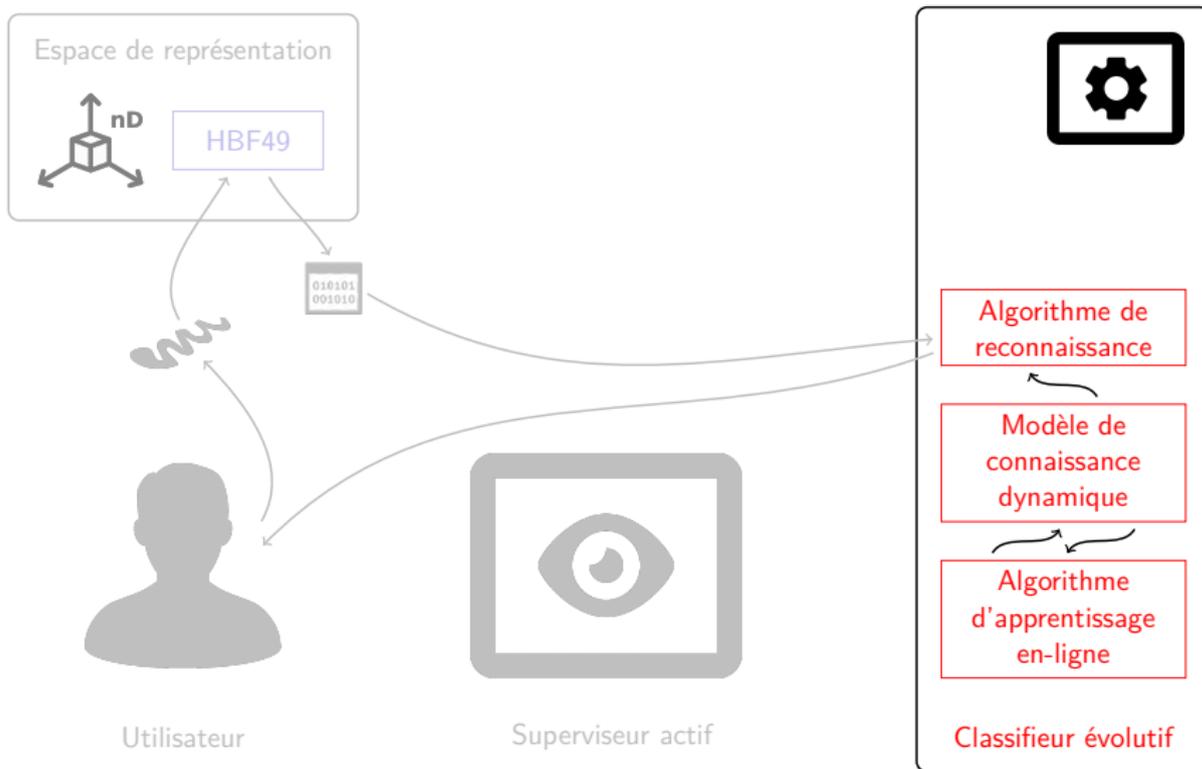
Classifieurs évolutifs



Classifieurs évolutifs



Classifieurs évolutifs



Classifieurs évolutifs : panorama

	Complexité	Performance	Évo.
Systèmes linéaires [Ng, 2002]	++	- -	+
Systèmes d'appariement [Wobbrock, 2007]	++	-	++

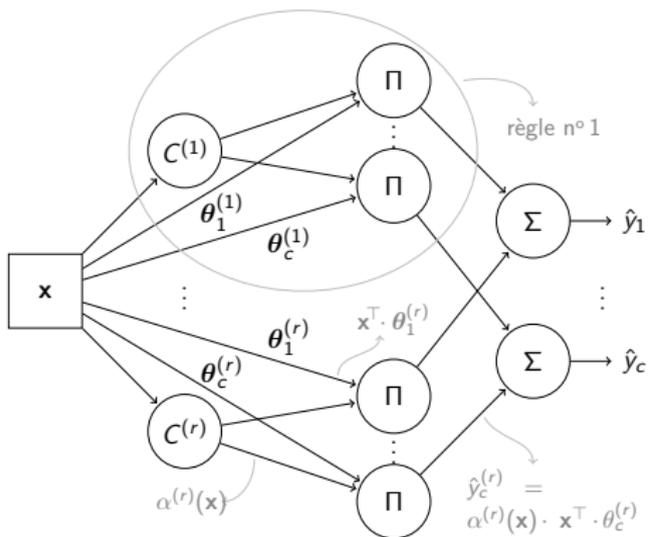
Classifieurs évolutifs : panorama

	Complexité	Performance	Évo.
Systèmes linéaires [Ng, 2002]	++	--	+
Systèmes d'appariement [Wobbrock, 2007]	++	-	++
Arbres de décision [Gama, 2005]	+	+	--
Ensembles de classifieurs [Bouchacia, 2011]	--	+	--
Réseaux de neurones [Feng, 2010]	--	++	-
Séparateurs à Vaste Marge [Bordes, 2005]	--	++	-

Classifieurs évolutifs : panorama

	Complexité	Performance	Évo.
Systèmes linéaires [Ng, 2002]	++	--	+
Systèmes d'appariement [Wobbrock, 2007]	++	-	++
Arbres de décision [Gama, 2005]	+	+	--
Ensembles de classifieurs [Bouchacia, 2011]	--	+	--
Réseaux de neurones [Feng, 2010]	--	++	-
Séparateurs à Vaste Marge [Bordes, 2005]	--	++	-
Systèmes à base de règles			
[Angelov, 2008] [Almaksour, 2011] [Lughofer, 2013]	+	+	++

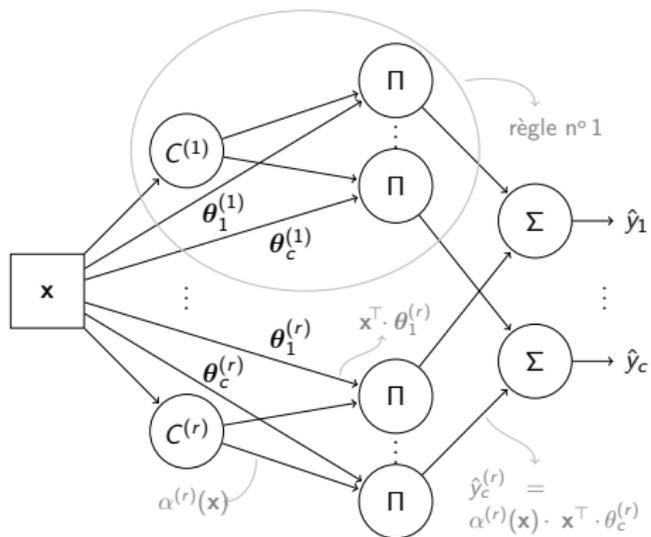
Evolve : architecture



Système d'inférence floue

$$\text{SI } \underbrace{x \in P_i}_{\text{premise}} \text{ ALORS } \underbrace{y_i = \Pi(x)}_{\text{conclusion}}$$

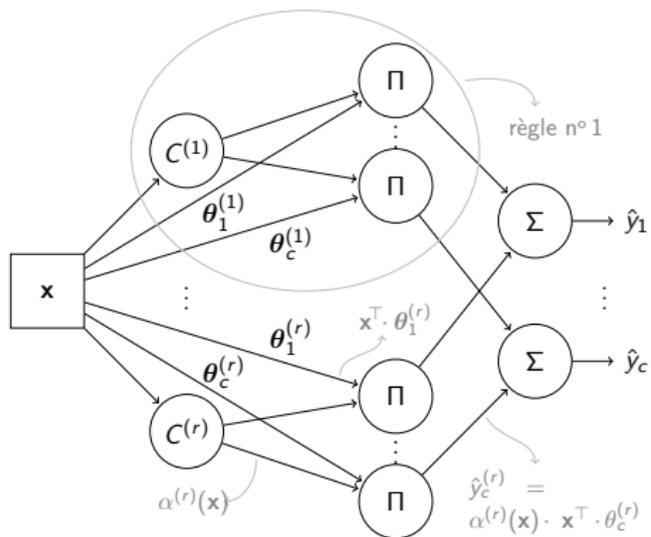
Evolve : architecture



Prémises

- appartenances aux clusters dans l'espace de représentation des données
- correspondant à des prototypes de symboles

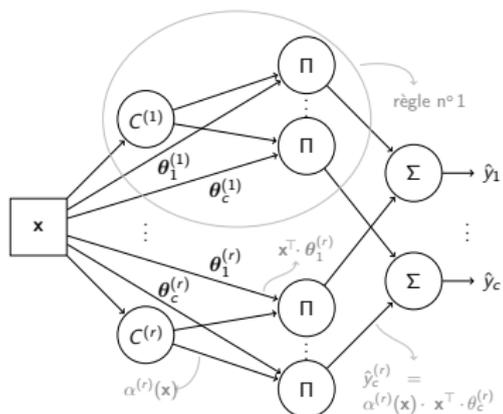
Evolve : architecture



Conclusions

- appartenances à toutes les classes
- obtenues par des fonctions linéaires

Evolve : apprentissage en-ligne

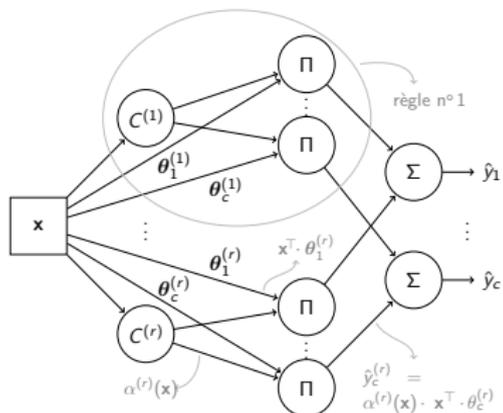


Création
d'une nouvelle règle
lorsque nécessaire

Adaptation
de la prémisse sélectionnée
seulement

Optimisation
des conclusions de
chacune des règles

Evolve : apprentissage en-ligne



Création

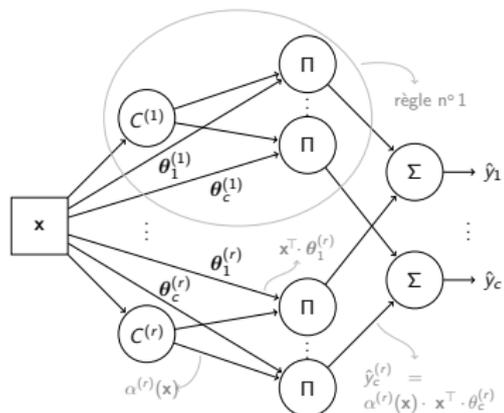
- ajout de nouvelles règles lorsque nécessaire
- création de prototypes par regroupement incrémental *eClustering* [Ramezani, 2004]

Création
d'une nouvelle règle
lorsque nécessaire

Adaptation
de la prémisse sélectionnée
seulement

Optimisation
des conclusions de
chacune des règles

Evolve : apprentissage en-ligne



Adaptation des prémisses

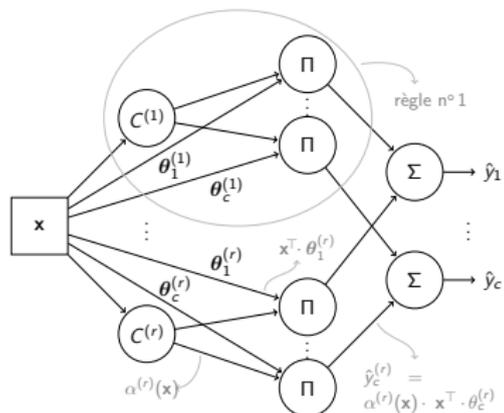
- ajustement de la forme et de la position des clusters
- adaptation statistique [Almaksour, 2011]

Création
d'une nouvelle règle
lorsque nécessaire

Adaptation
de la prémisses sélectionnée
seulement

Optimisation
des conclusions de
chacune des règles

Evolve : apprentissage en-ligne



Optimisation des conclusions

- apprentissage des fonctions linéaires
- optimisation avec les moindres carrés récurrents [Angelov, 2004]

Création
d'une nouvelle règle
lorsque nécessaire



Adaptation
de la prémisse sélectionnée
seulement



Optimisation
des conclusions de
chacune des règles

Evolve

Avantages

- apprentissage à partir de peu de données
- bonnes performances de reconnaissance
- bonne évolutivité

Evolve

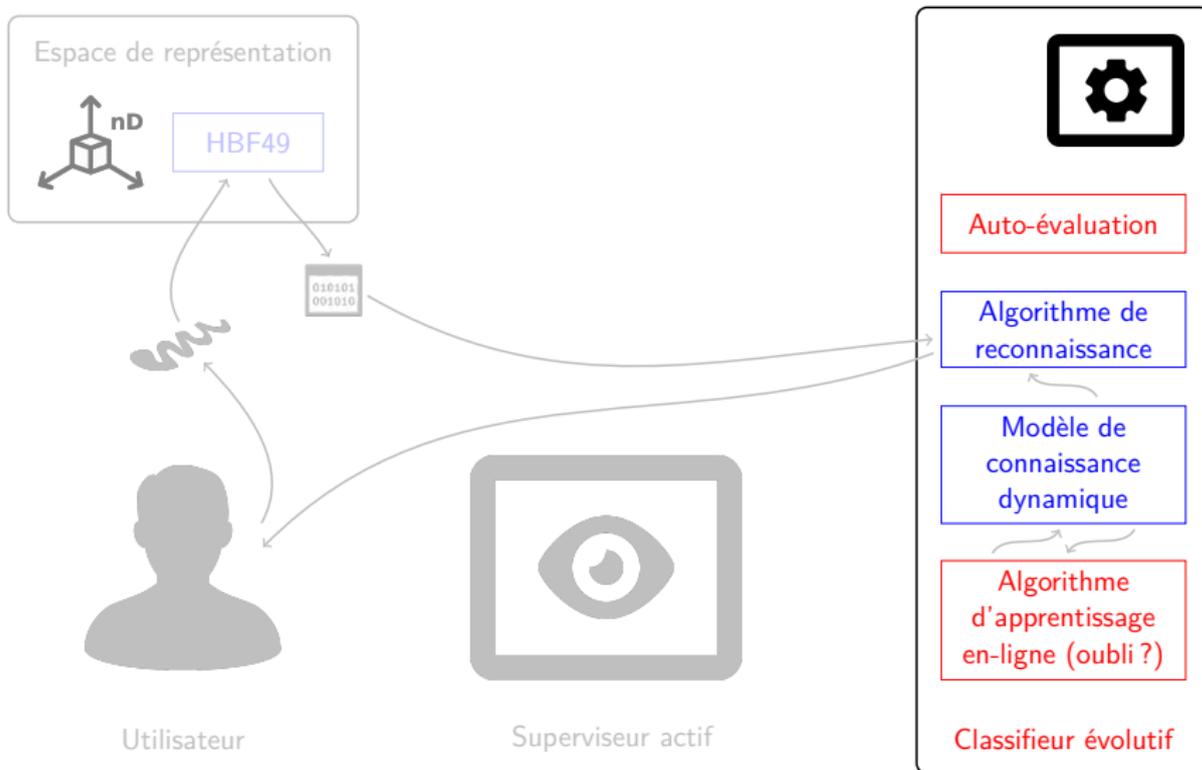
Avantages

- apprentissage à partir de peu de données
- bonnes performances de reconnaissance
- bonne évolutivité

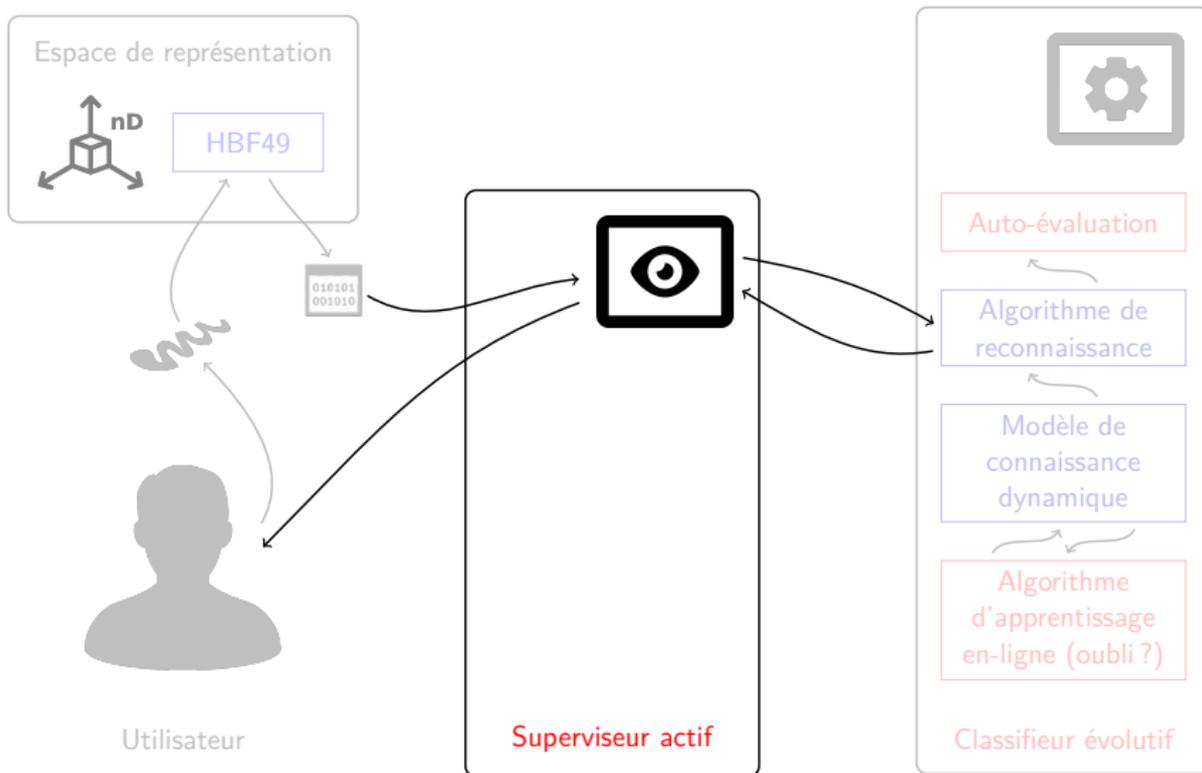
Limites

- augmentation de l'inertie avec le temps
- pas de capacité d'auto-évaluation

Apprentissage actif



Apprentissage actif



Apprentissage actif : panorama

Méthodes de sélection pour bases de données

- méthode de l'impact maximal [Settles, 2008]
- méthode de minimisation de l'erreur [Roy, 2001]
- méthode de réduction de la variance [Cohn, 1994]
- méthode du comité de sélection [McCallum, 1988]

Apprentissage actif : panorama

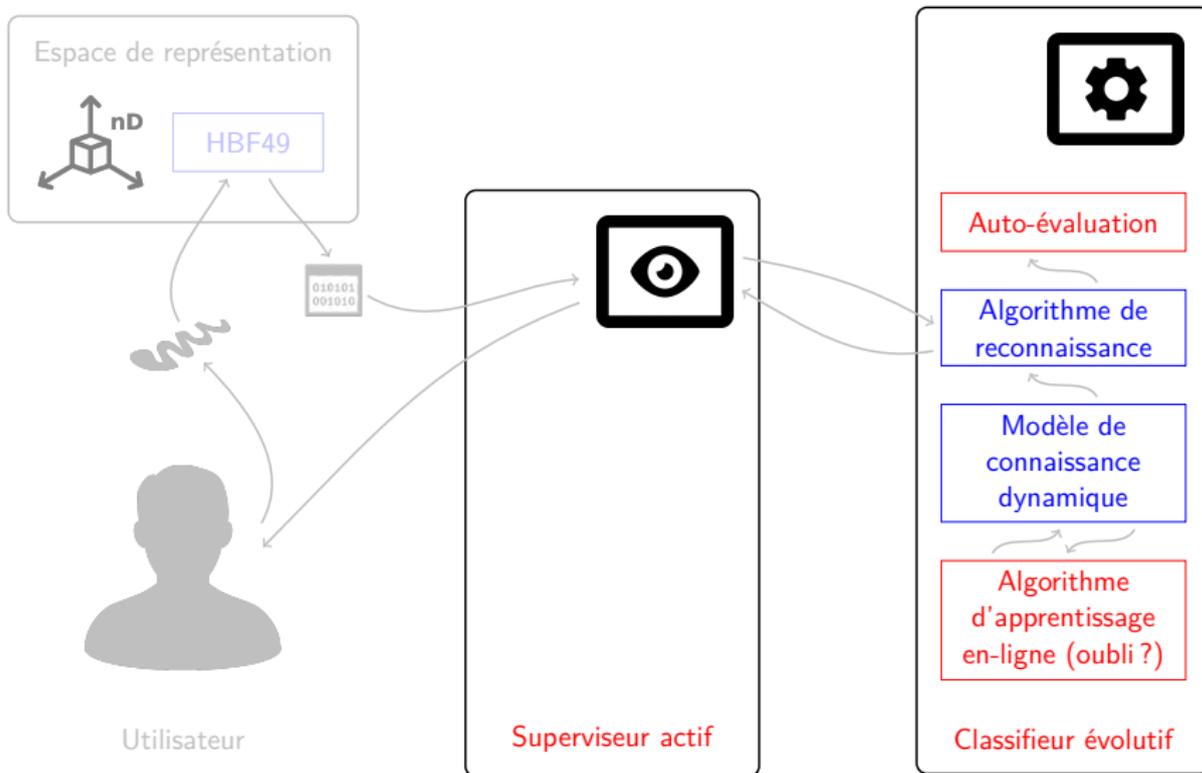
Méthodes de sélection pour bases de données

- méthode de l'impact maximal [Settles, 2008]
- méthode de minimisation de l'erreur [Roy, 2001]
- méthode de réduction de la variance [Cohn, 1994]
- méthode du comité de sélection [McCallum, 1988]

Méthodes de sélection pour flux de données

- méthode de la densité [Settles, 2008]
- méthode de l'incertitude maximale [Settles, 2010]

Apprentissage actif



Introduction

1 État de l'art

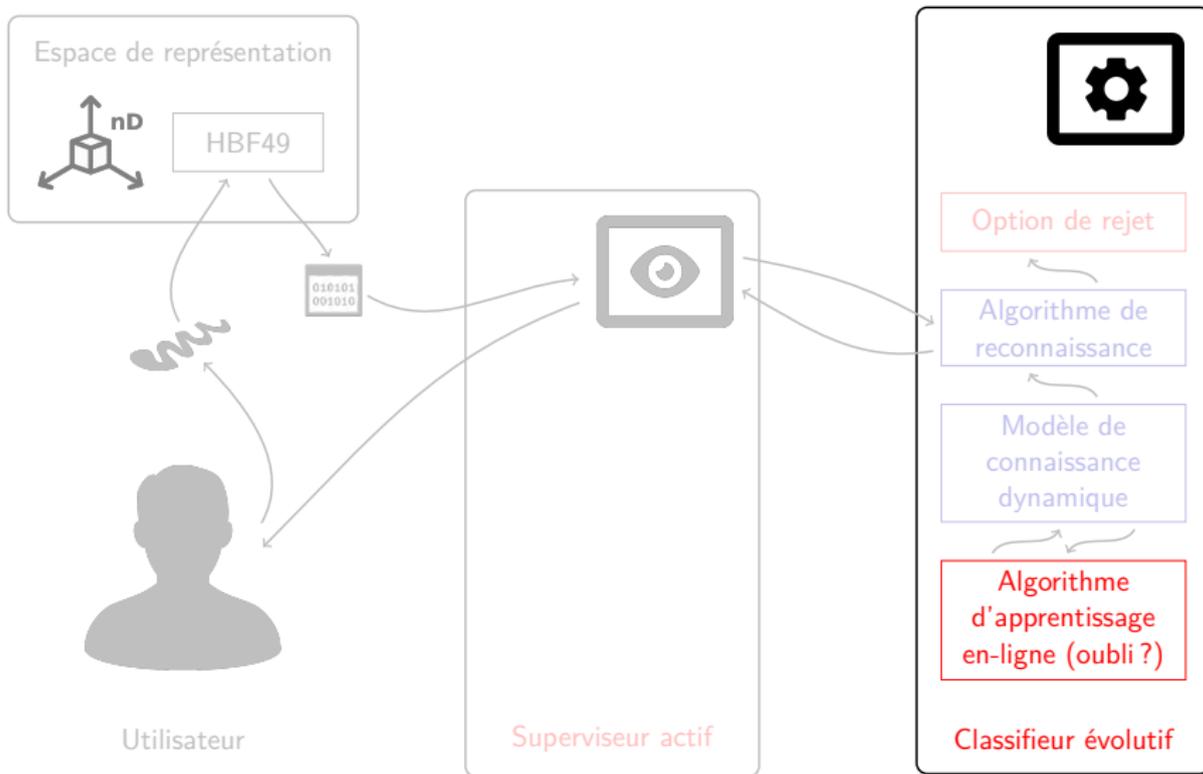
2 Contributions

- Le classifieur évolutif « *Evolve* ∞ »
- Le superviseur actif en-ligne « *IntuiSup* »

3 Validation expérimentale

Conclusion

Architecture générale

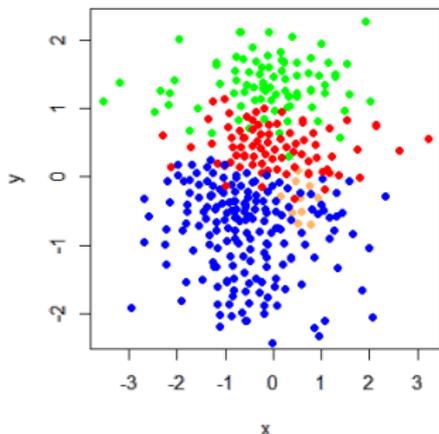


Evolve ∞ : introduction d'oubli

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Objectif

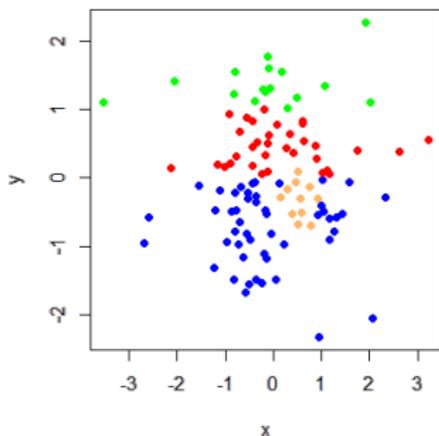
- maintenir la capacité d'apprentissage (de nouvelles connaissances)
- permettre la modification (des connaissances existantes)

Evolve ∞ : introduction d'oubli

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Objectif

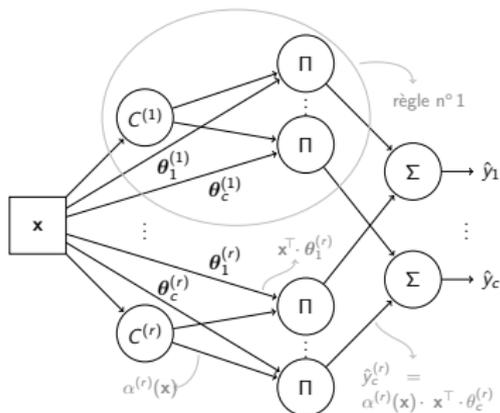
- maintenir la capacité d'apprentissage (de nouvelles connaissances)
- permettre la modification (des connaissances existantes)

Evolve ∞ : introduction d'oubli

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Objectif

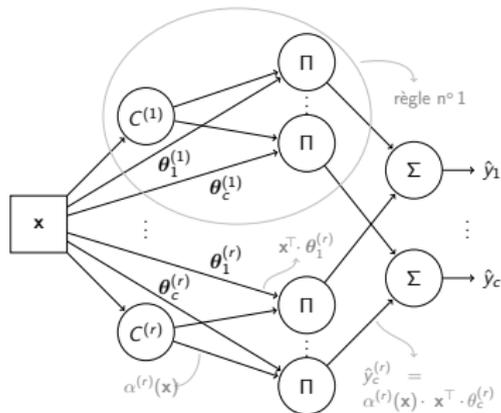
- maintenir la capacité d'apprentissage (de nouvelles connaissances)
- permettre la modification (des connaissances existantes)

Evolve ∞ : introduction d'oubli dans les prémisses

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Apprentissage incrémental

$$\mu_t^{(i)} = \mu_{t-1}^{(i)} + \frac{1}{t} \cdot \delta(x_t)$$

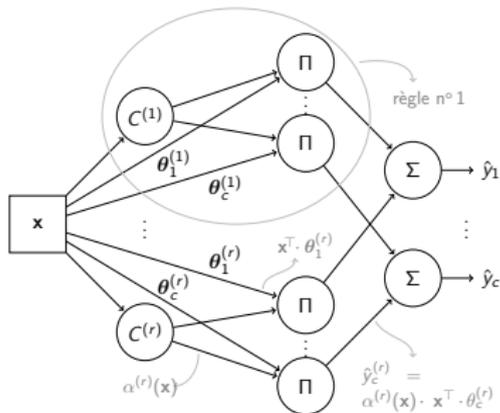
$$\Sigma_t^{(i)} = \Sigma_{t-1}^{(i)} + \frac{1}{t} \cdot \delta(x_t)$$

Evolve ∞ : introduction d'oubli dans les prémisses

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Apprentissage incrémental
(avec oubli)

$$\mu_t^{(i)} = \mu_{t-1}^{(i)} + \frac{1}{p} \cdot \delta(x_t)$$

$$\Sigma_t^{(i)} = \Sigma_{t-1}^{(i)} + \frac{1}{p} \cdot \delta(x_t)$$

$$p = \min(nb_t^{(i)}, p_{max})$$

Evolve ∞ : introduction d'oubli dans les prémisses

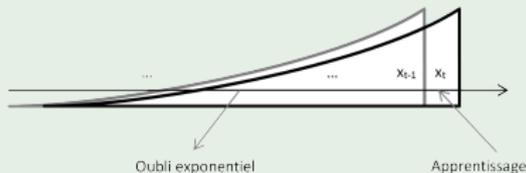
Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles

Principe

- réduire progressivement la pondération des données avec le temps



Apprentissage incrémental (avec oubli)

$$\mu_t^{(i)} = \mu_{t-1}^{(i)} + \frac{1}{p} \cdot \delta(x_t)$$

$$\Sigma_t^{(i)} = \Sigma_{t-1}^{(i)} + \frac{1}{p} \cdot \delta(x_t)$$

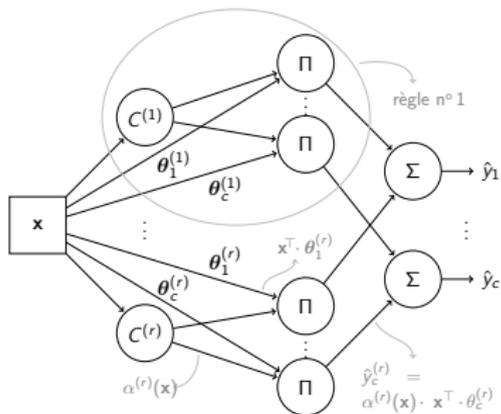
$$p = \min(nb_t^{(i)}, p_{max})$$

Evolve ∞ : introduction d'oubli dans les conclusions

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisse sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Apprentissage incrémental

$$C_t^{(i)} = C_{t-1}^{(i)} - \delta(x_t)$$

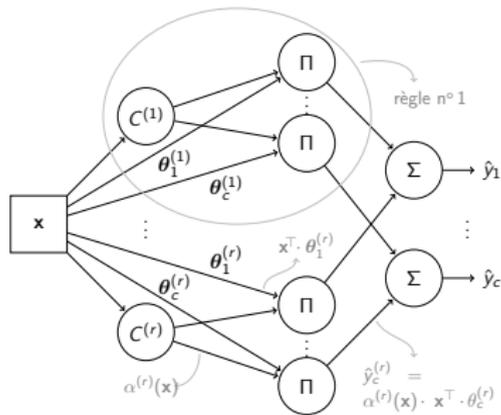
$$\Theta_t^{(i)} = \Theta_{t-1}^{(i)} + \delta(x_t, C_t^{(i)})$$

Evolve ∞ : introduction d'oubli dans les conclusions

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire

Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement

Optimisation des conclusions de chacune des règles



Apprentissage incrémental
(avec oubli)

$$C_t^{(i)} = C_{t-1}^{(i)} - \delta(x_t)$$

$$\Theta_t^{(i)} = \Theta_{t-1}^{(i)} + \delta(x_t, C_t^{(i)})$$

$$\bar{C}_t^{(i)} = C_t^{(i)} + \delta(x_{t-f-1})$$

Evolve ∞ : introduction d'oubli dans les conclusions

Création d'une nouvelle règle lorsque nécessaire



Adaptation de la prémisses sélectionnée seulement



Optimisation des conclusions de chacune des règles

Principe

- supprimer la pondération des données après un certain temps



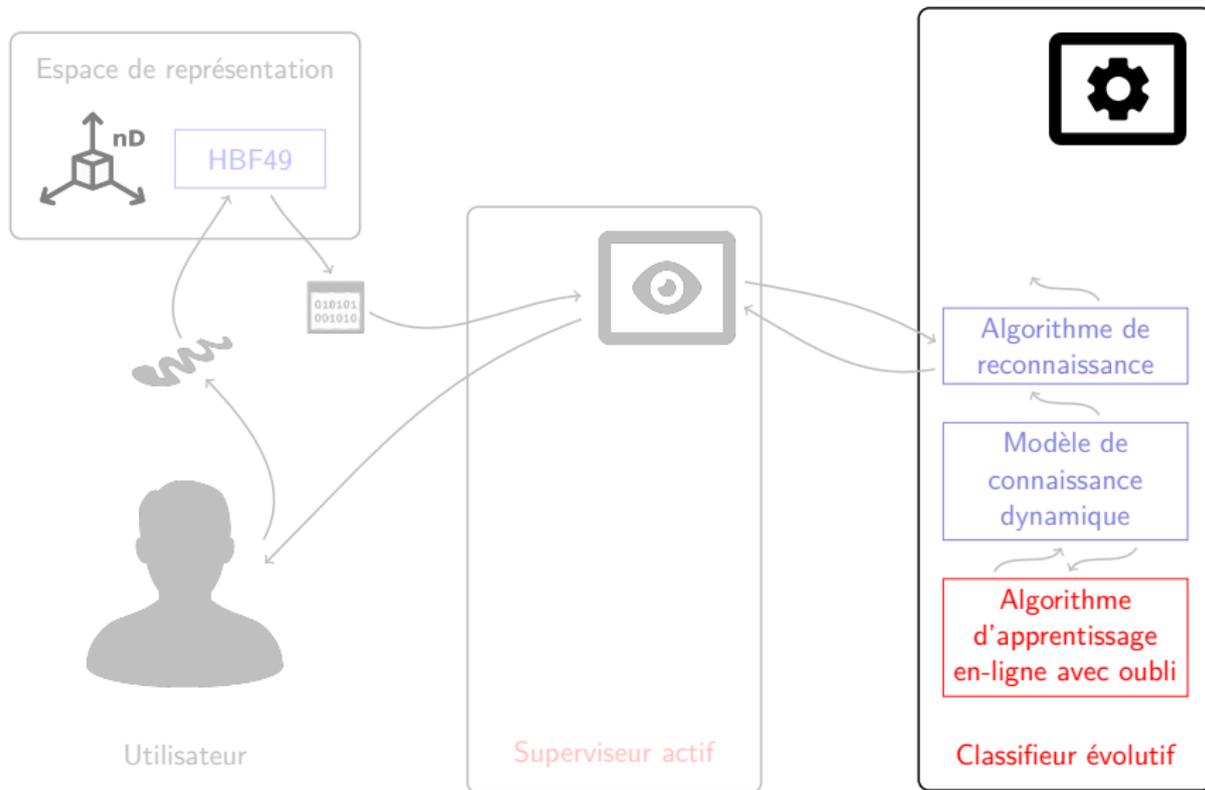
Apprentissage incrémental (avec oubli)

$$C_t^{(i)} = C_{t-1}^{(i)} - \delta(x_t)$$

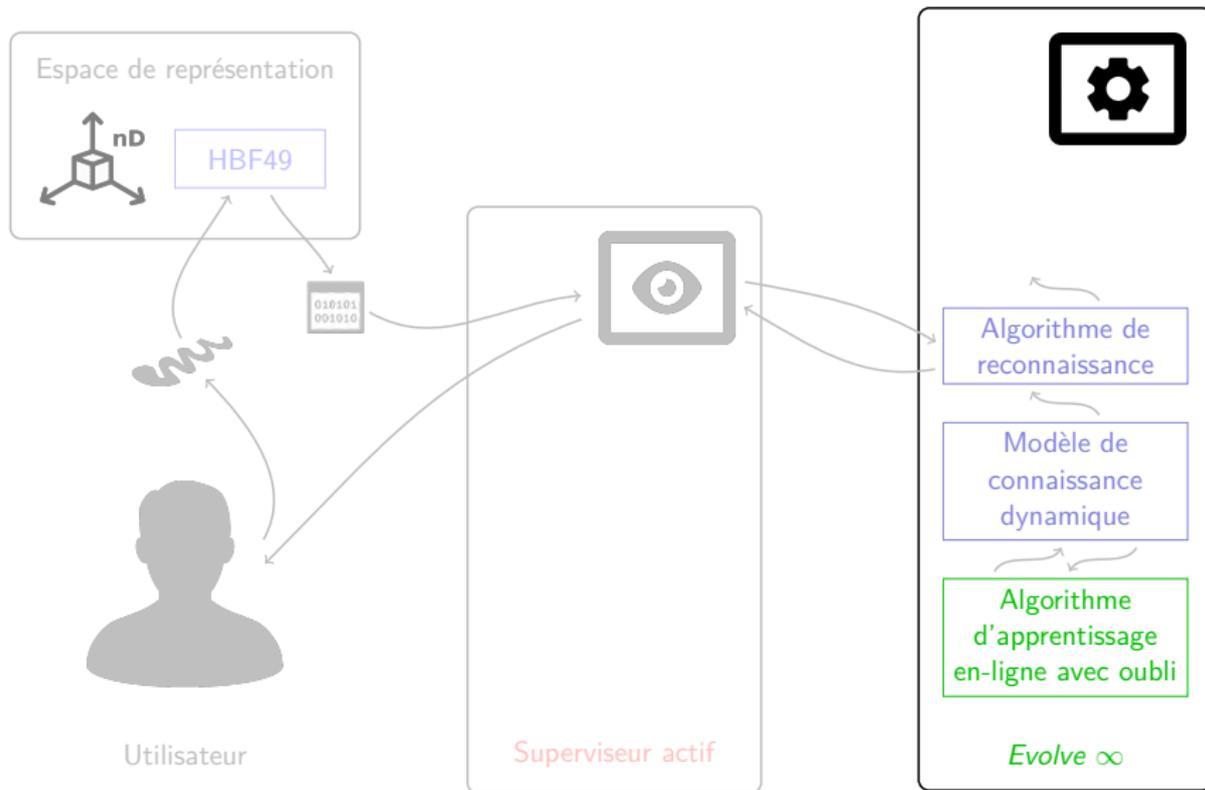
$$\Theta_t^{(i)} = \Theta_{t-1}^{(i)} + \delta(x_t, C_t^{(i)})$$

$$\bar{C}_t^{(i)} = C_t^{(i)} + \delta(x_{t-f-1})$$

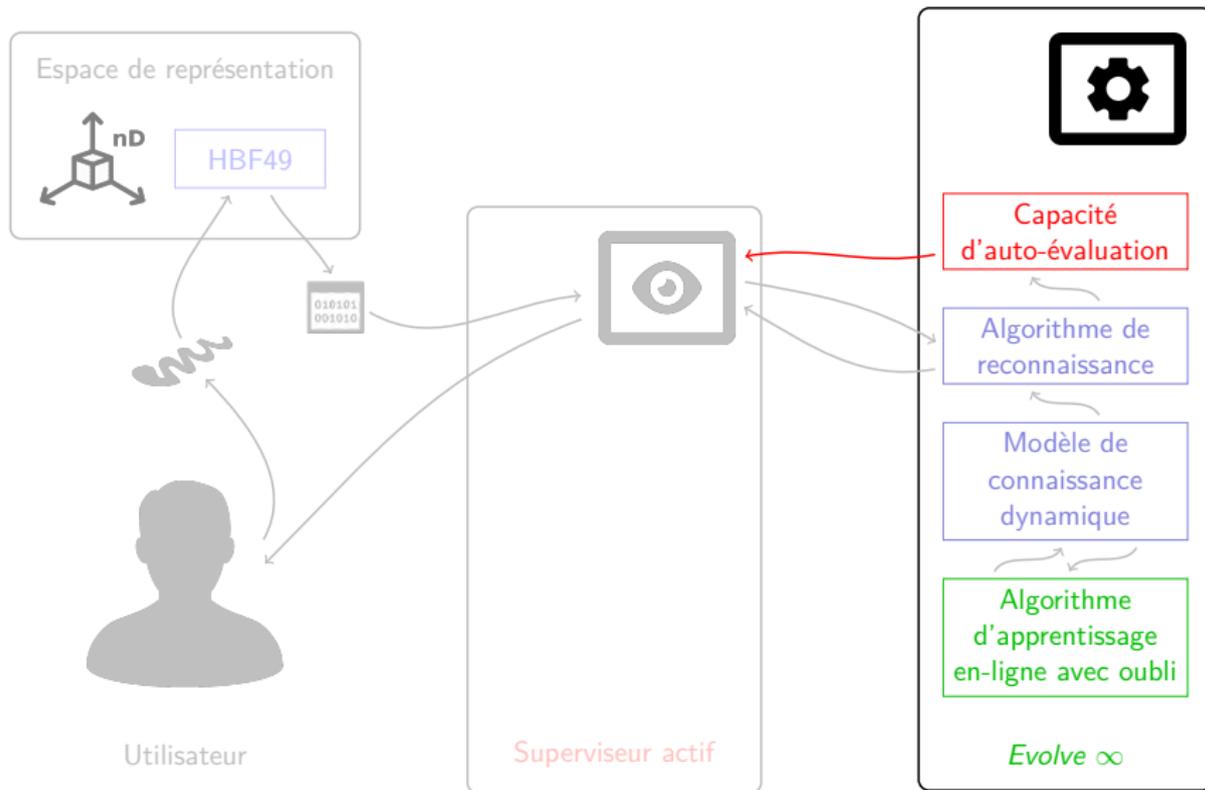
capacité d'auto-évaluation



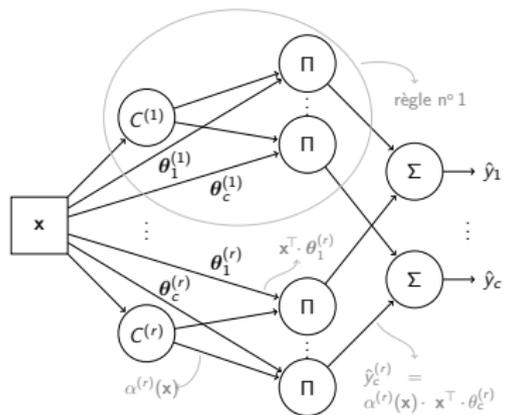
capacité d'auto-évaluation



capacité d'auto-évaluation



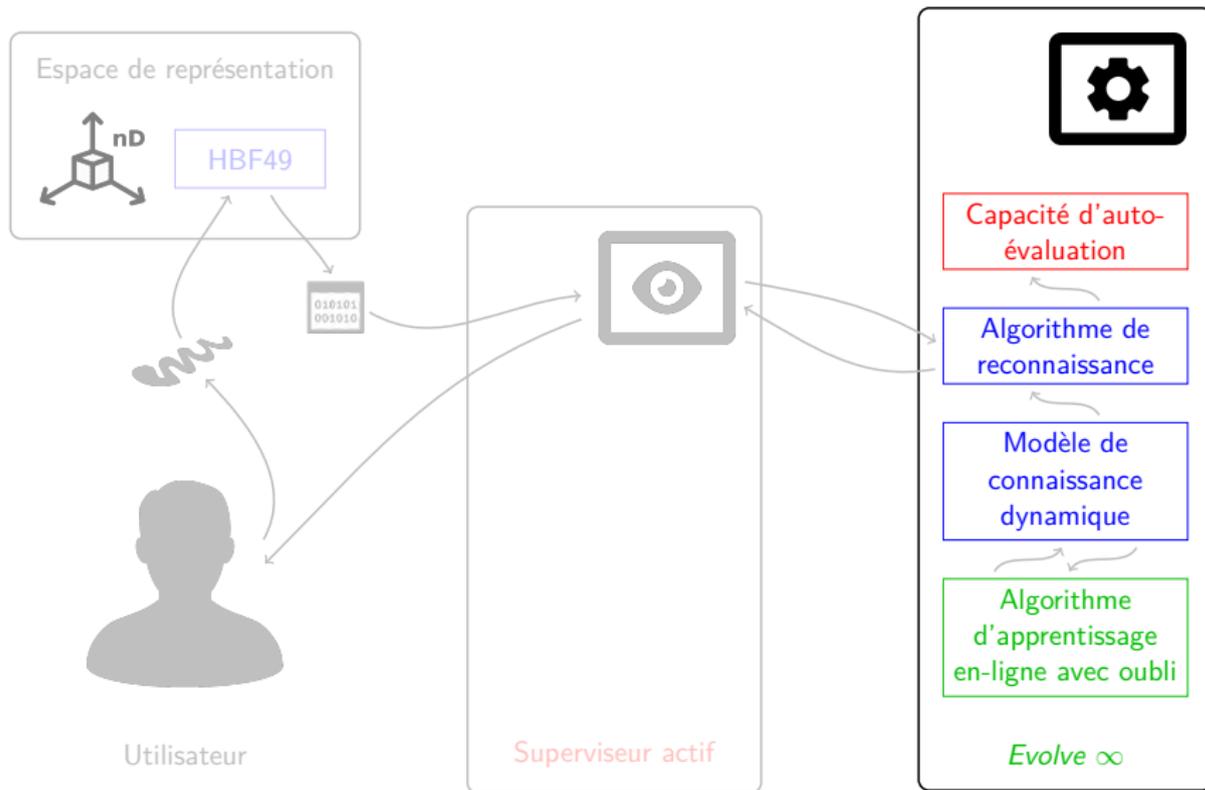
Evolve ∞ : capacité d'auto-évaluation



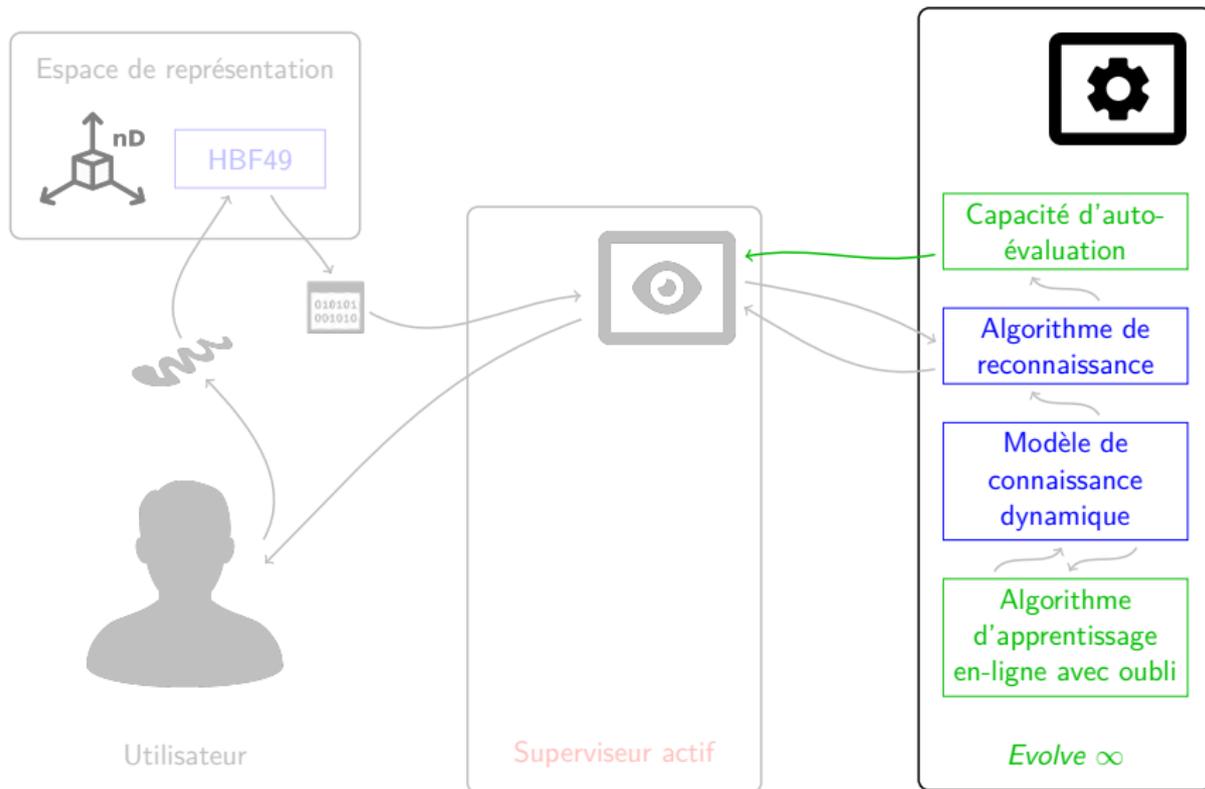
Fonction de confiance

- évaluer la confiance du système lors de la reconnaissance
- évaluer l'adéquation des données avec le modèle de connaissance

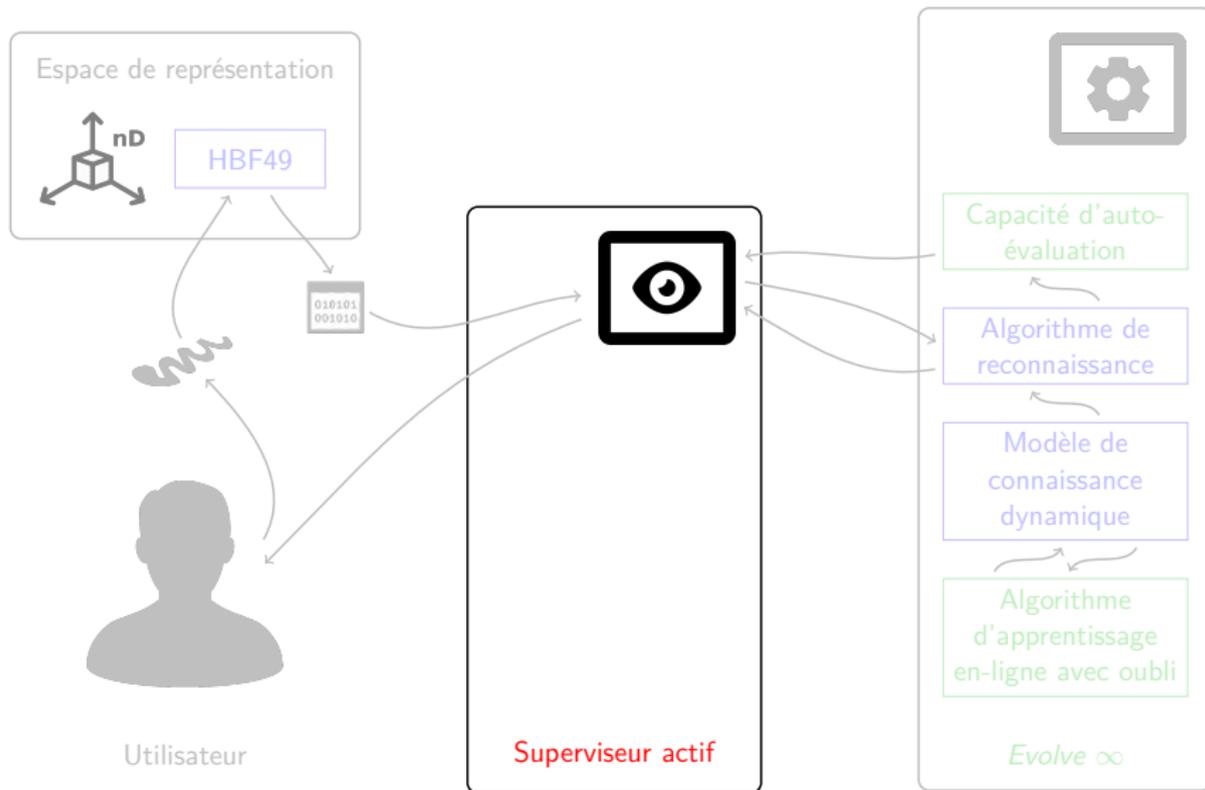
Le classifieur évolutif « *Evolve ∞* »



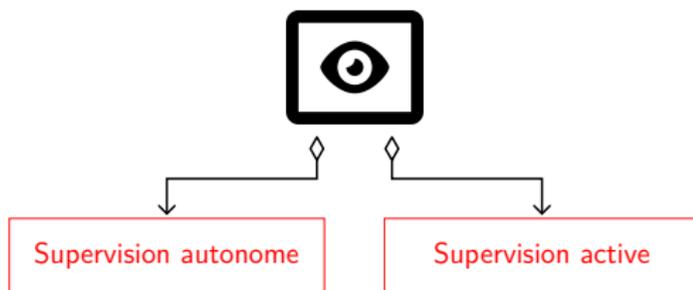
Le classifieur évolutif « *Evolve ∞* »



Le superviseur actif en-ligne « *IntuiSup* »



IntuiSup : supervision autonome



A $\diamond \rightarrow$ B
A est composé de B

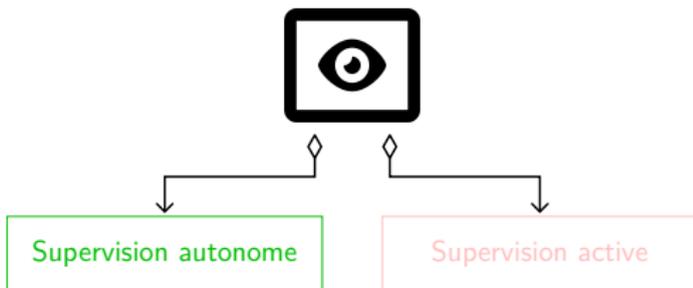
Bon symbole, bien reconnu :
bonne commande gestuelle



Mauvais symbole :
erreur de mémorisation
de l'utilisateur

Bon symbole, mal reconnu :
erreur de reconnaissance

IntuiSup : supervision autonome



A $\diamond \rightarrow$ B
A est composé de B

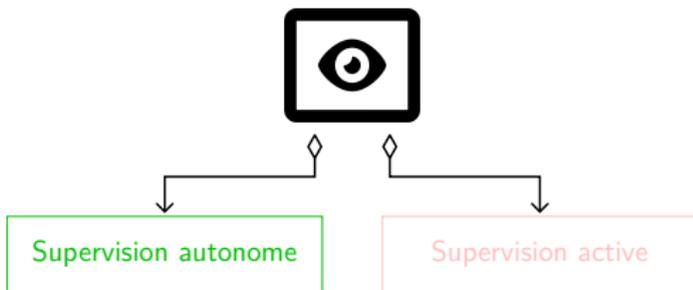
Bon symbole, bien reconnu :
bonne commande gestuelle



Mauvais symbole :
erreur de mémorisation
de l'utilisateur

Bon symbole, mal reconnu :
erreur de reconnaissance

IntuiSup : supervision autonome

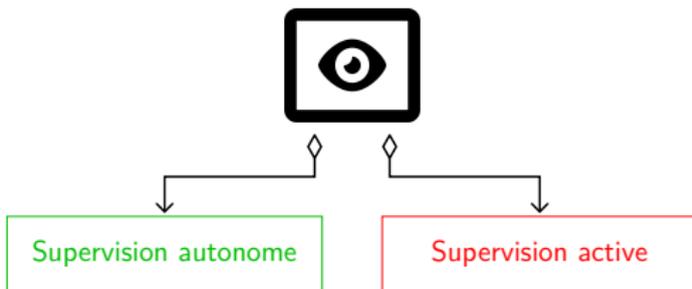


A $\diamond \rightarrow$ B
A est composé de B

Méthode

- valider la classe reconnue de manière implicite
- apprendre de manière autonome (avec la classe reconnue)

IntuiSup : supervision active



A $\diamond \rightarrow$ B
A est composé de B

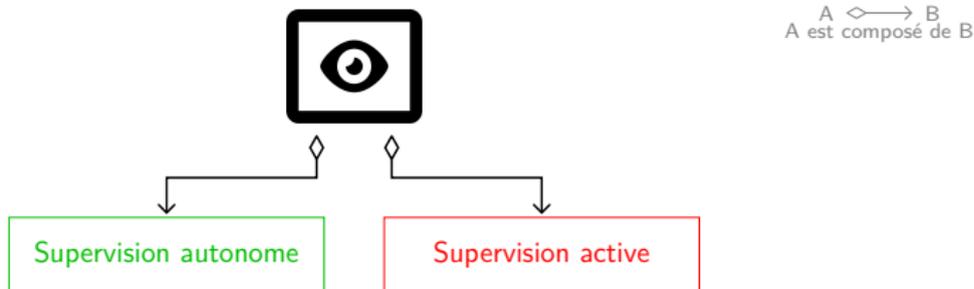
Bon symbole, bien reconnu :
bonne commande gestuelle



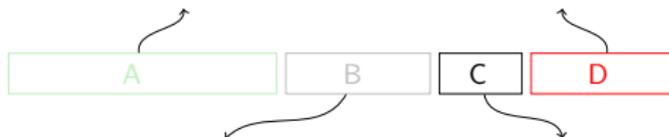
Mauvais symbole :
erreur de mémorisation
de l'utilisateur

Bon symbole, mal reconnu :
erreur de reconnaissance

IntuiSup : supervision active



Bon symbole, bien reconnu :
bonne commande gestuelle

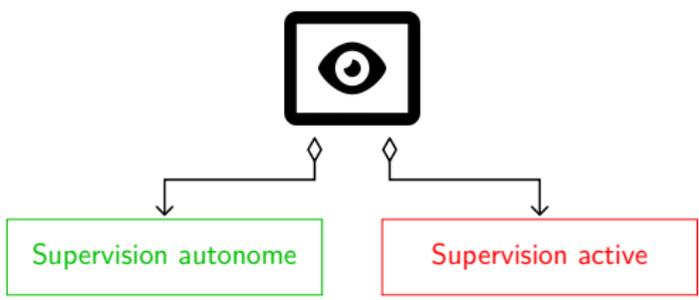


Mauvais symbole :
erreur de mémorisation
de l'utilisateur

Sélection du symbole
par le superviseur

Bon symbole, mal reconnu :
erreur de reconnaissance

IntuiSup : supervision active

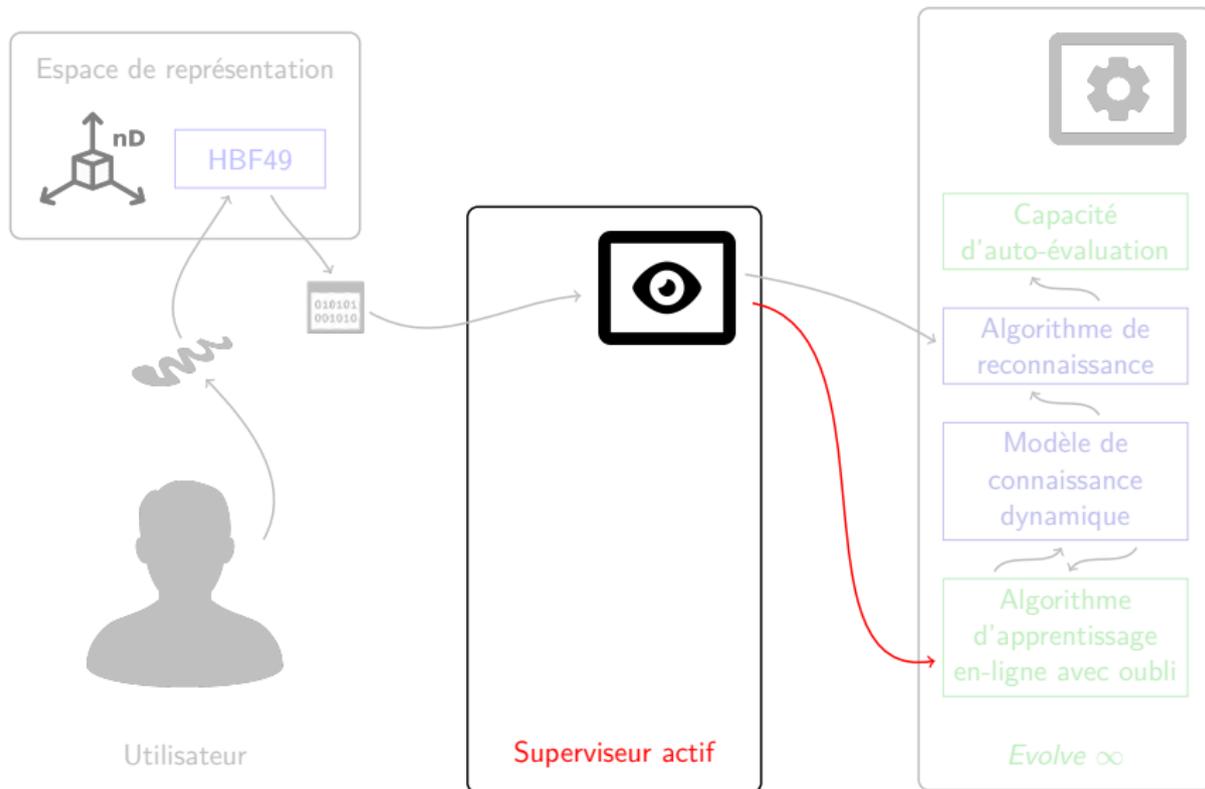


A $\diamond \rightarrow$ B
A est composé de B

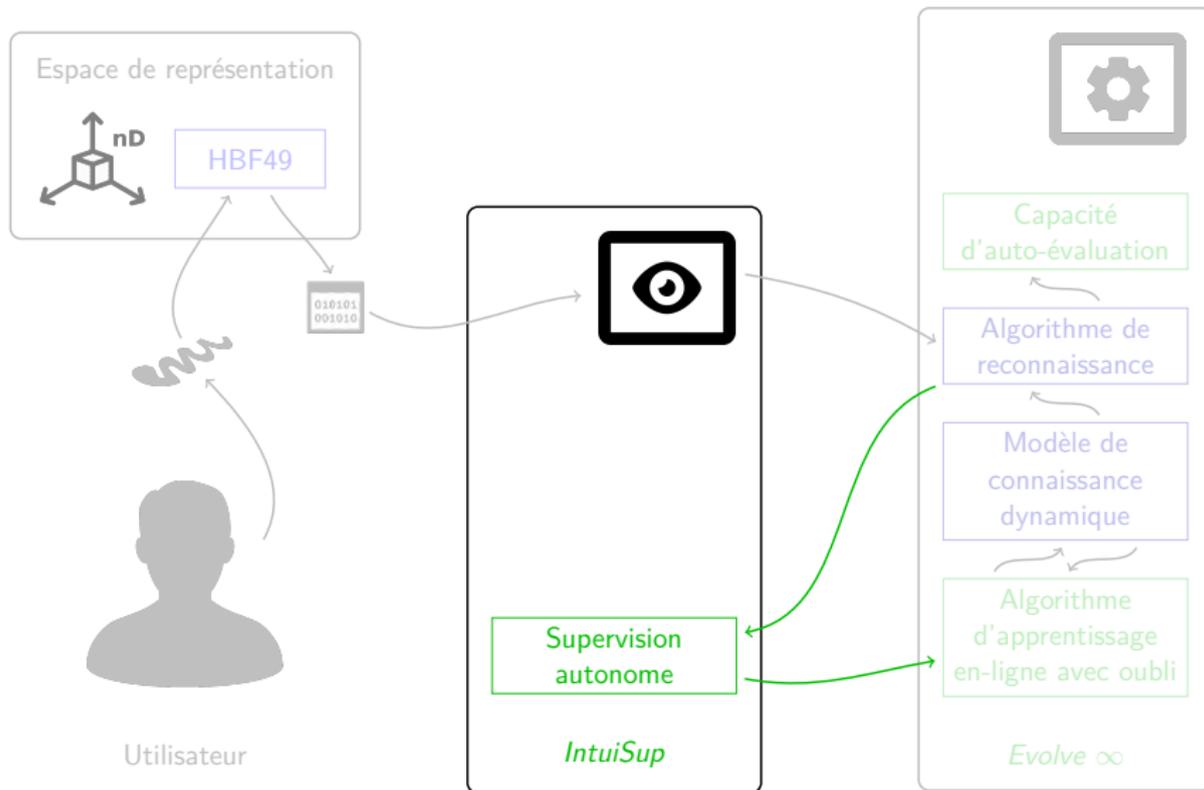
Méthode

- apprendre à partir des données complexes / mal reconnues
- solliciter explicitement l'utilisateur pour les étiqueter

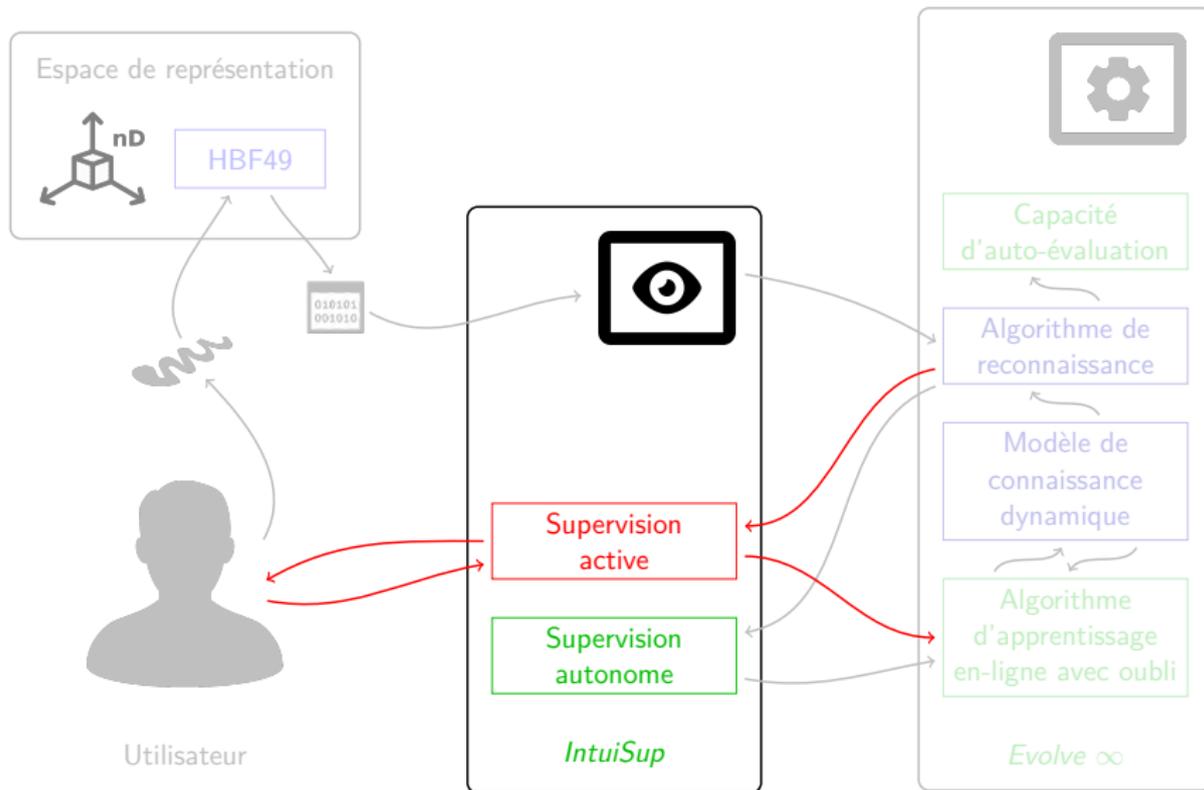
IntuiSup : supervision active



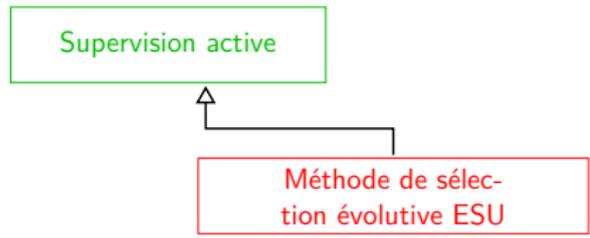
IntuiSup : supervision active



IntuiSup : supervision active



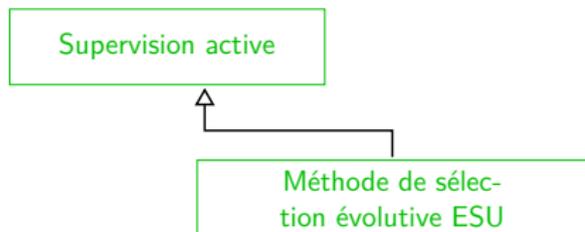
IntuiSup : supervision active ESU



Objectif

- maintenir le compromis erreur/sollicitation proche de celui souhaité par les utilisateurs

IntuiSup : supervision active ESU



Principe

- utiliser un seuil s_t sur la fonction de confiance du classifieur
- modéliser l'évolution de la confiance du système ζ_t
- asservir le seuil à l'estimateur de la confiance du système

IntuiSup : supervision active ESU

Méthode

Seuil de sélection évolutif :

$$s_{\text{evo}}(t) = \theta \cdot \zeta(t)$$

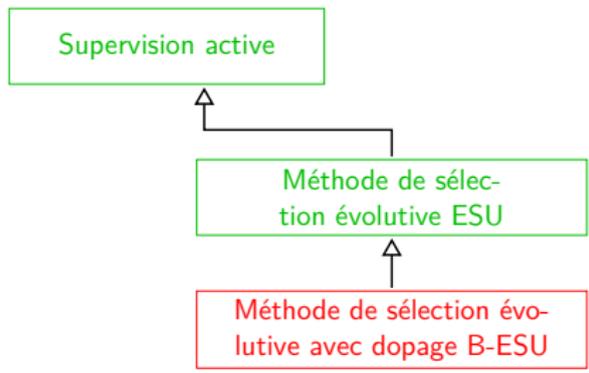
Supervision active

Méthode de sélection évolutive ESU

Principe

- utiliser un seuil s_t sur la fonction de confiance du classifieur
- modéliser l'évolution de la confiance du système ζ_t
- asservir le seuil à l'estimateur de la confiance du système

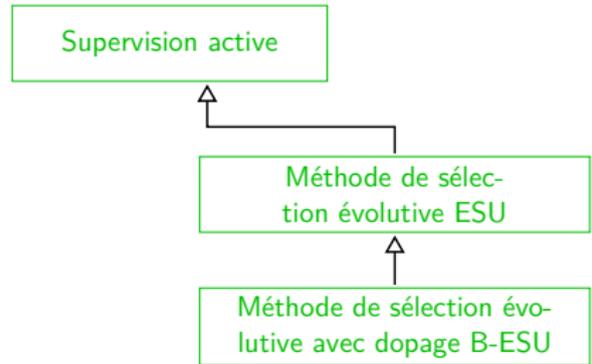
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



Objectif

- améliorer le compromis erreur/sollicitation

IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



Principe

- doper l'apprentissage pendant les périodes clefs
- réduire les sollicitations autrement
- conserver le même nombre total d'interactions

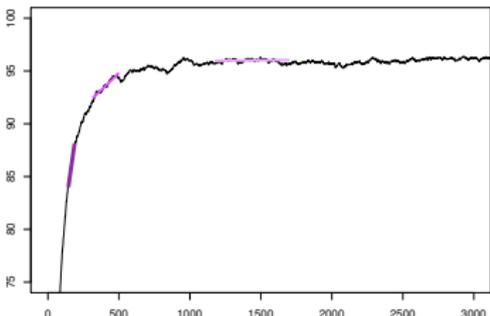
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU

Méthode

Seuil de sélection dopé :

$$s(t) = s_{evo}(t) + s_{dop}(t)$$

$$s_{dop}(t) = \left| \frac{\partial e}{\partial t} \right|$$

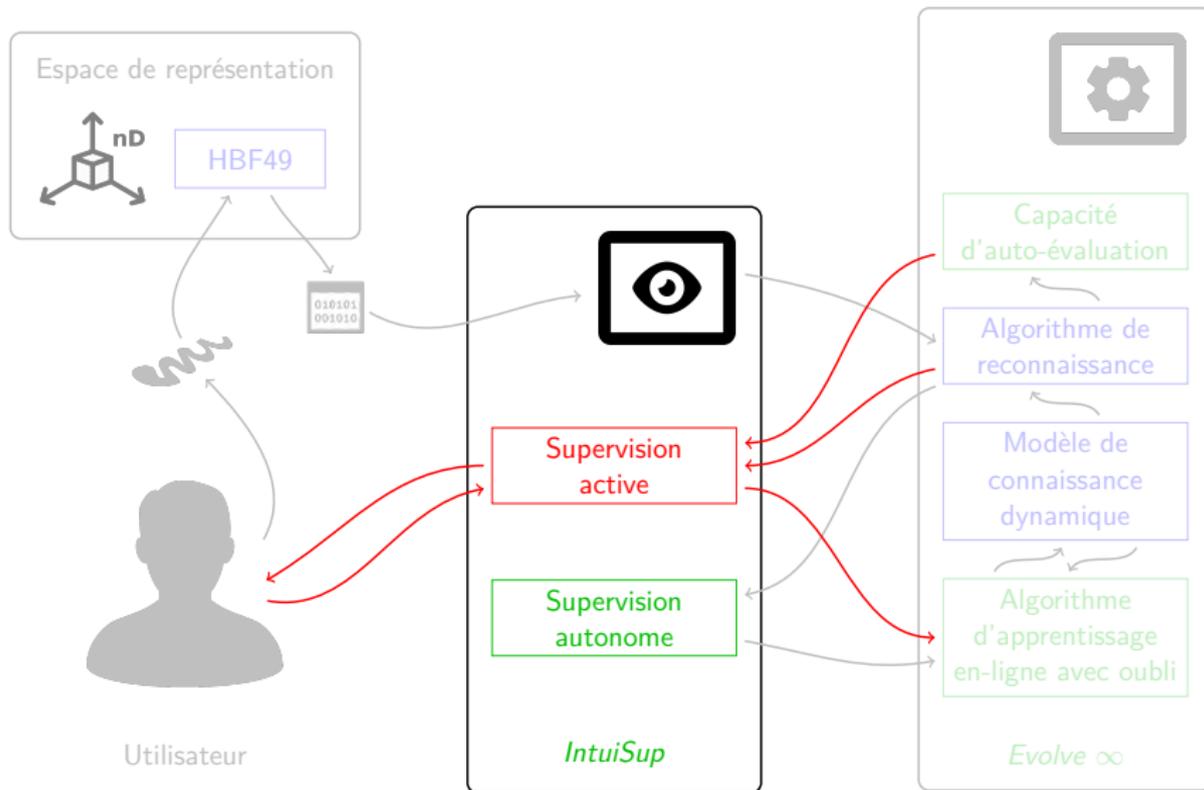


Supervision active

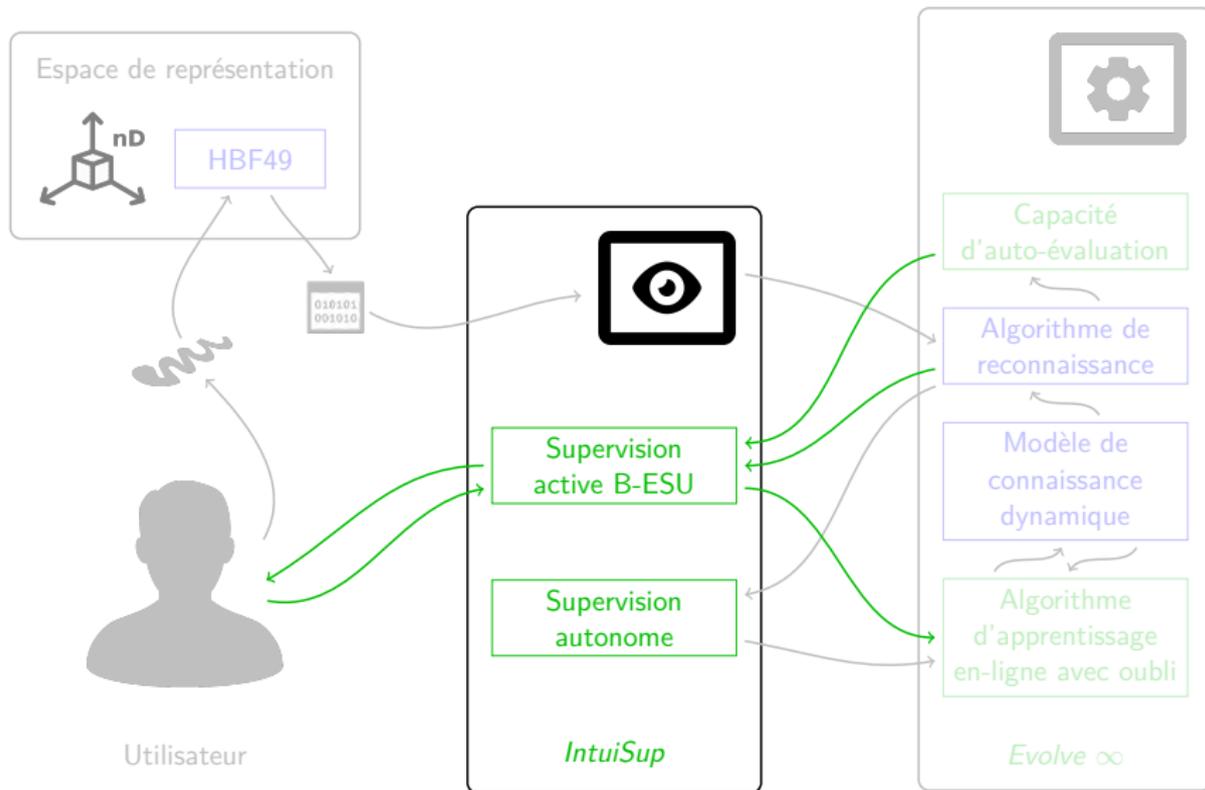
Méthode de sélection évolutive ESU

Méthode de sélection évolutive avec dopage B-ESU

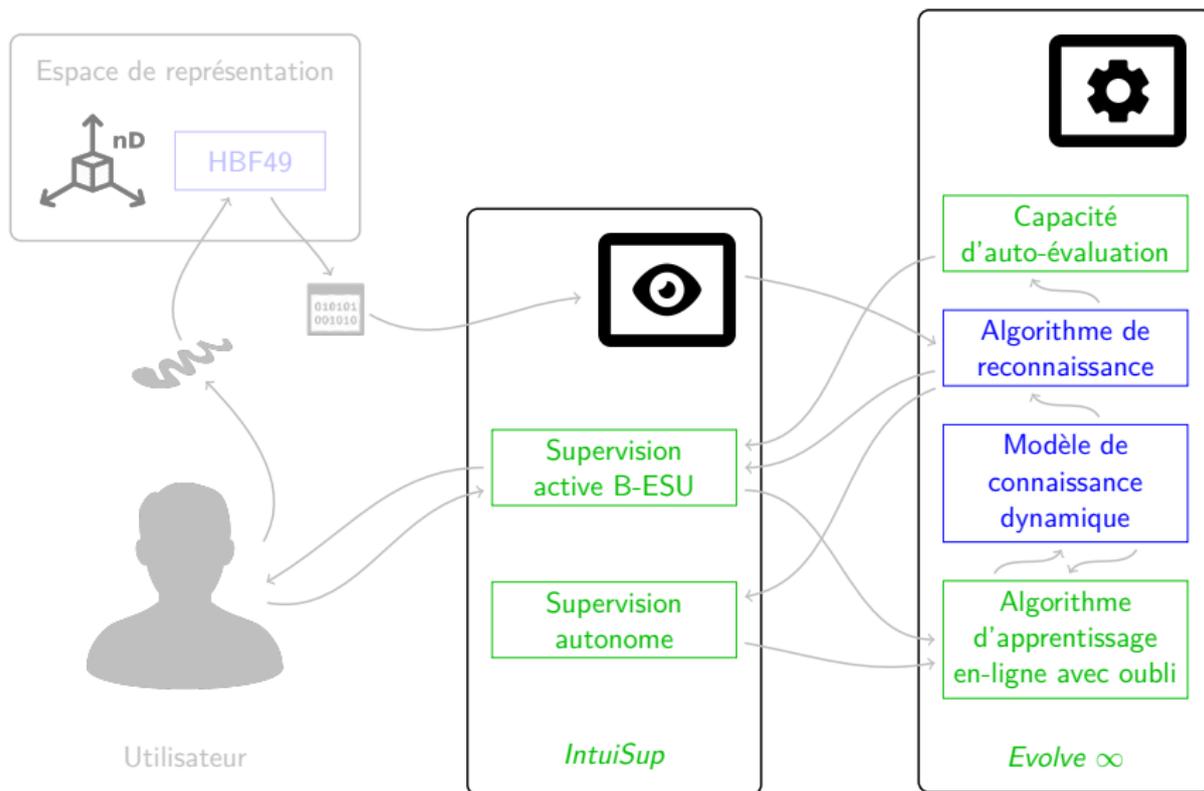
Processus



Processus



Processus

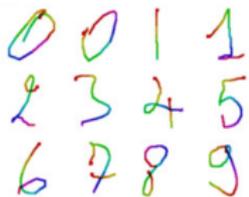


Introduction

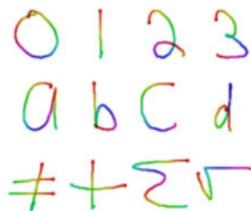
- 1 État de l'art
- 2 Contributions
- 3 Validation expérimentale
 - Évaluation sur des bases de données de référence
 - Évaluation sur des commandes gestuelles

Conclusion

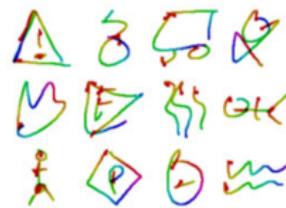
Propriétés des différentes bases de données



Ironoff-digits



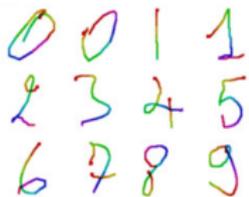
LaViola



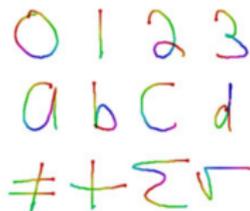
Niclcon

Base de données	Classes	Script.	Exemples	Carac.	Nature	Mode
Ironoff-digits	10	700	4 086	49	multi	WI
LaViola	48	11	11 602	49	multi	WI/D
Niclcon	14	34	26 163	49	multi	WI/D

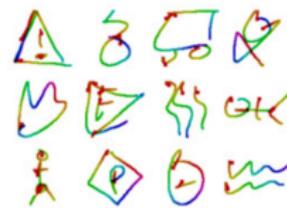
Propriétés des différentes bases de données



Ironoff-digits



LaViola

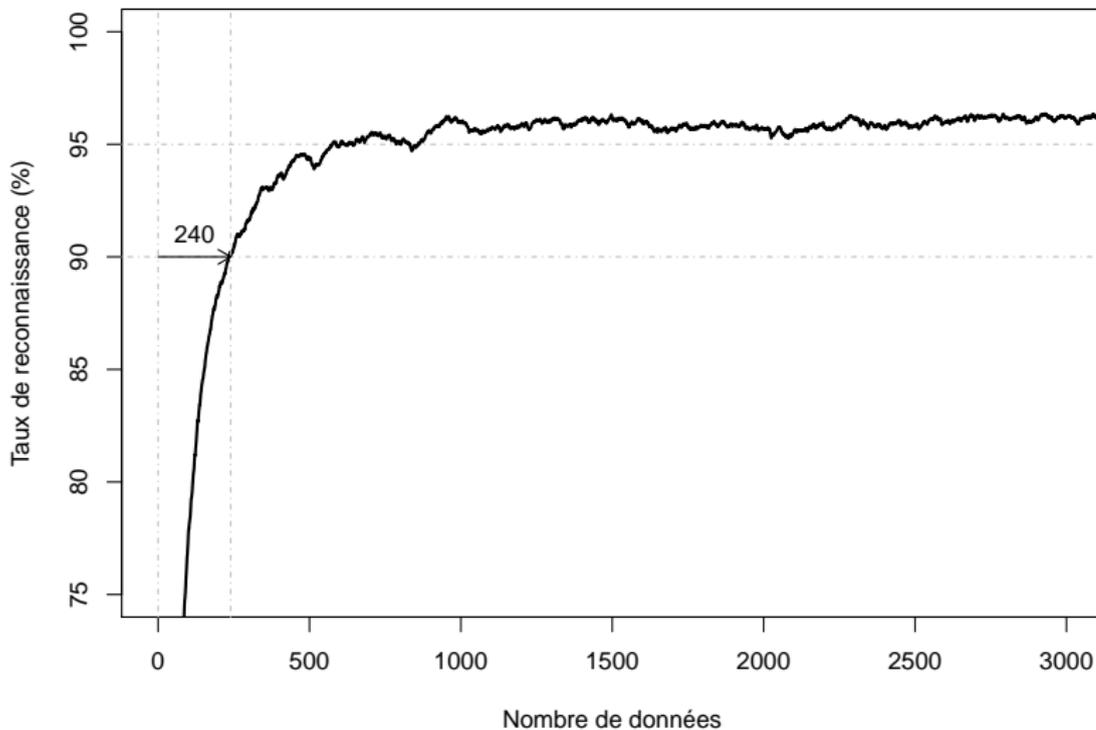


Niclcon

Base de données	Classes	Script.	Exemples	Carac.	Nature	Mode
Ironoff-digits	10	700	4 086	49	multi	WI
LaViola	48	11	11 602	49	multi	WI/D
Niclcon	14	34	26 163	49	multi	WI/D
Pen-Digits	10	44	10 992	19	multi	WI/D
Japanese-Vowels	9	-	9 961	12	autre	-

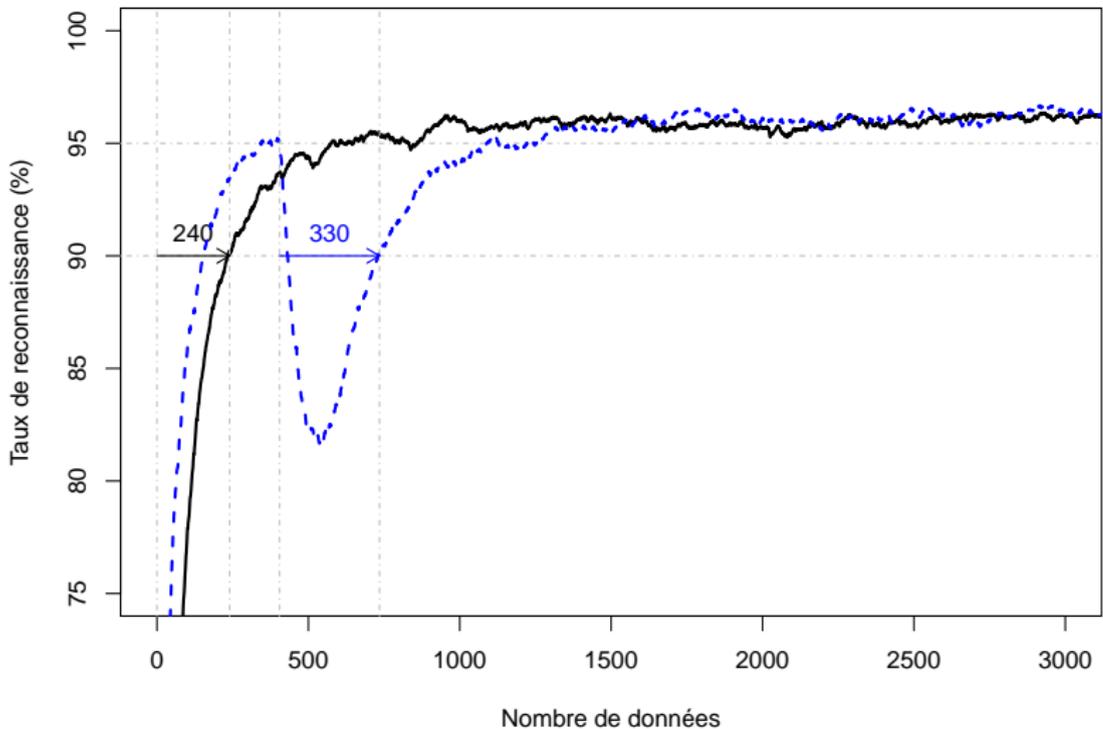
Evolve : évolutif à court terme

Evolve



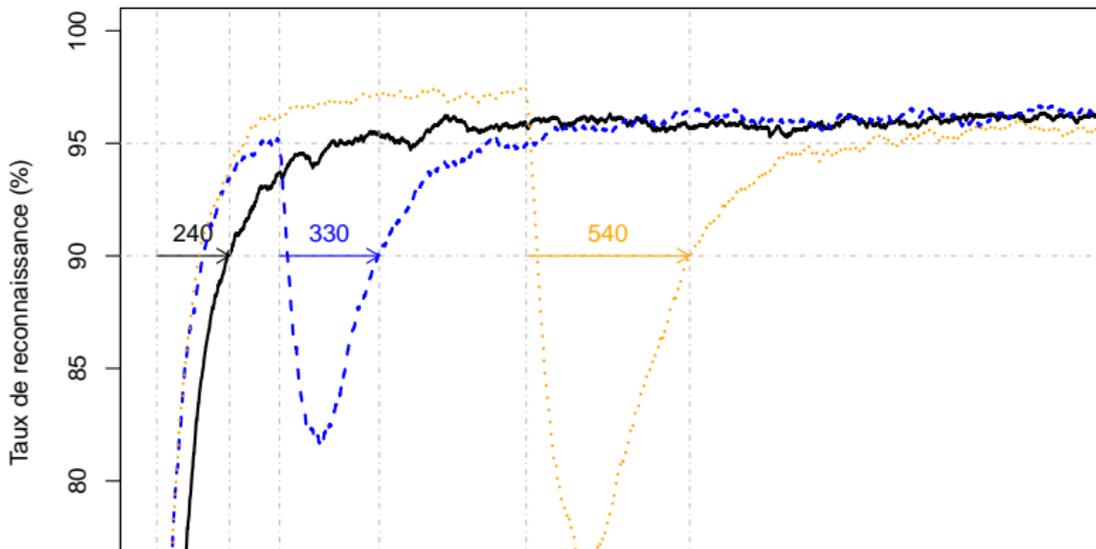
Evolve : évolutif à court terme

Evolve



Evolve : évolutif à court terme

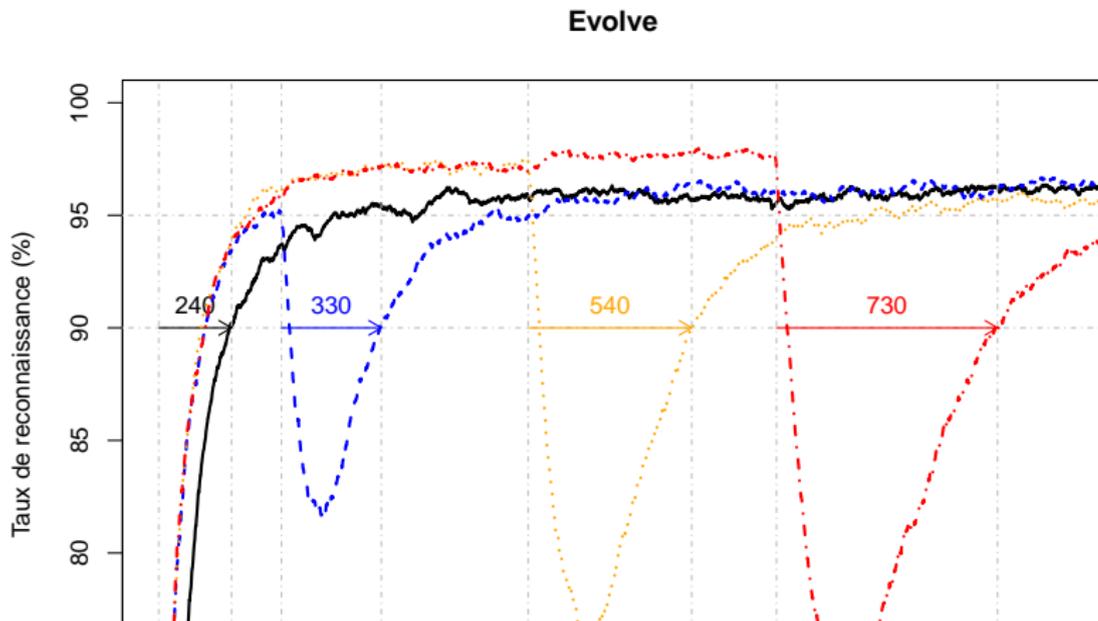
Evolve



Problème

- l'inertie du système augmente avec le temps

Evolve : évolutif à court terme

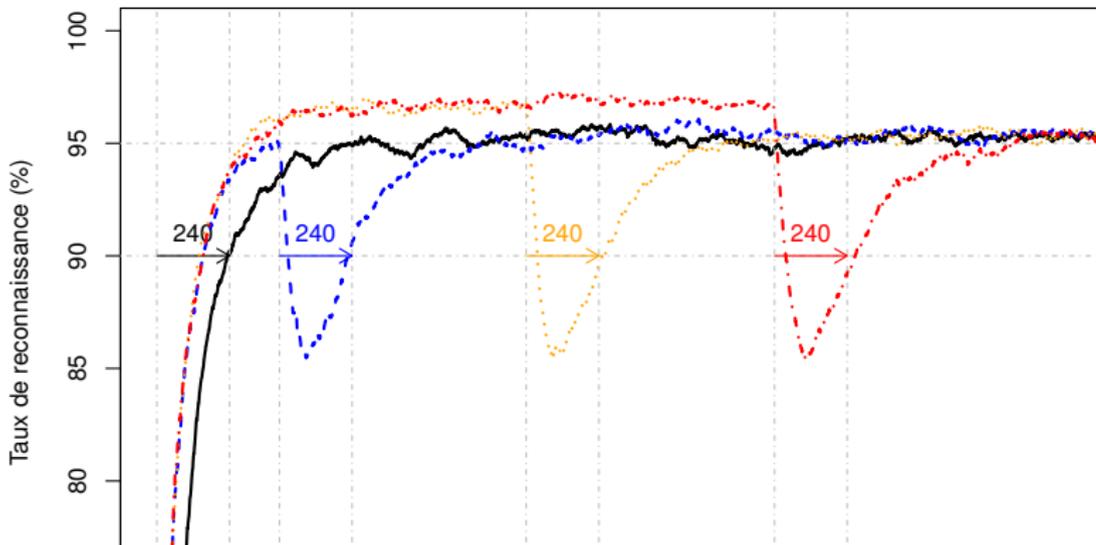


Problème

- l'inertie du système augmente avec le temps
- le système perd sa capacité d'apprentissage de nouvelles classes

Evolve ∞ : évolutif indéfiniment

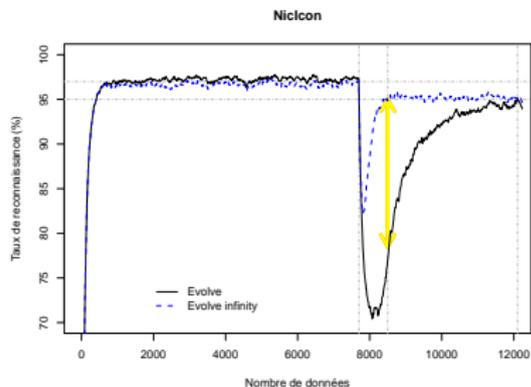
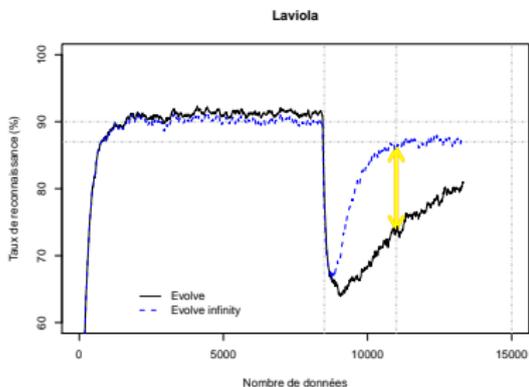
Evolve infini



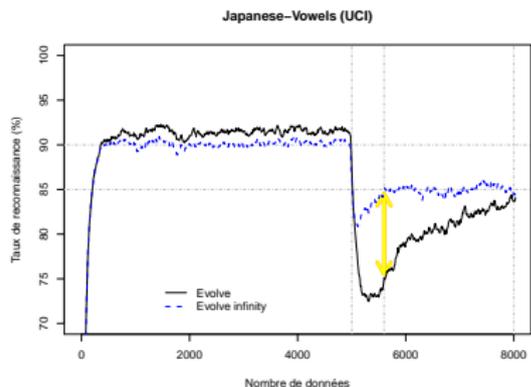
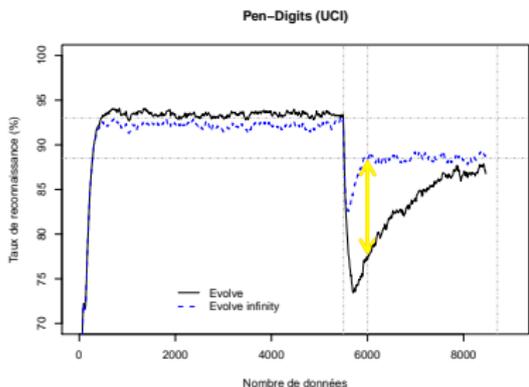
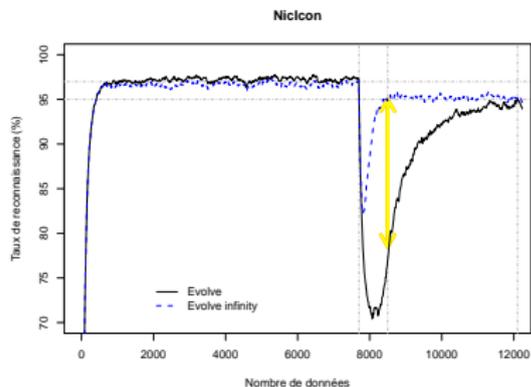
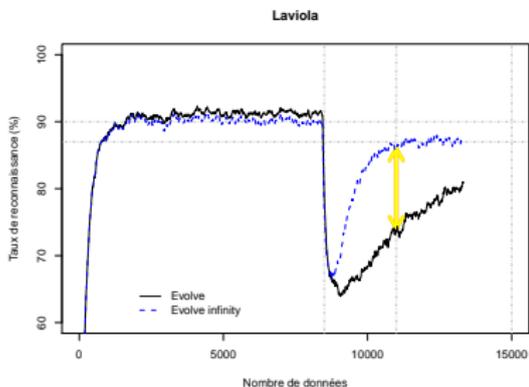
Solution : oublier pour mieux apprendre

- l'inertie du système reste constante avec le temps
- le système reste évolutif indéfiniment

Evolve ∞ : réduction de l'inertie



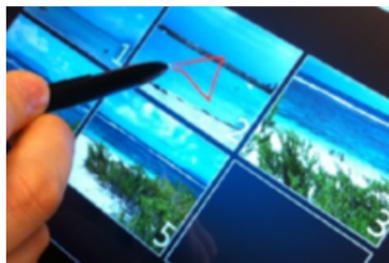
Evolve ∞ : réduction de l'inertie



Évaluation sur des commandes gestuelles : ILGDB



Étape de personnalisation.

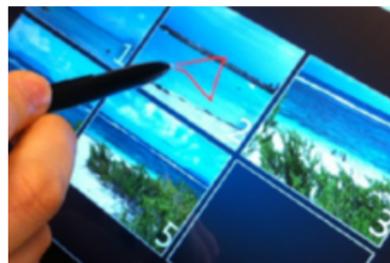


Étape d'utilisation.

Évaluation sur des commandes gestuelles : ILGDB



Étape de personnalisation.



Étape d'utilisation.

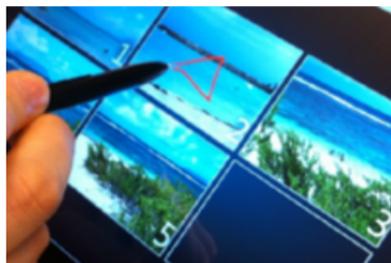


Évolution du style d'écriture d'un symbole avec le temps.

Évaluation sur des commandes gestuelles : ILGDB



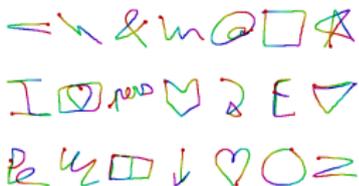
Étape de personnalisation.



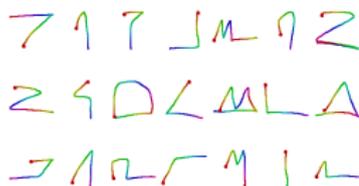
Étape d'utilisation.



Évolution du style d'écriture d'un symbole avec le temps.

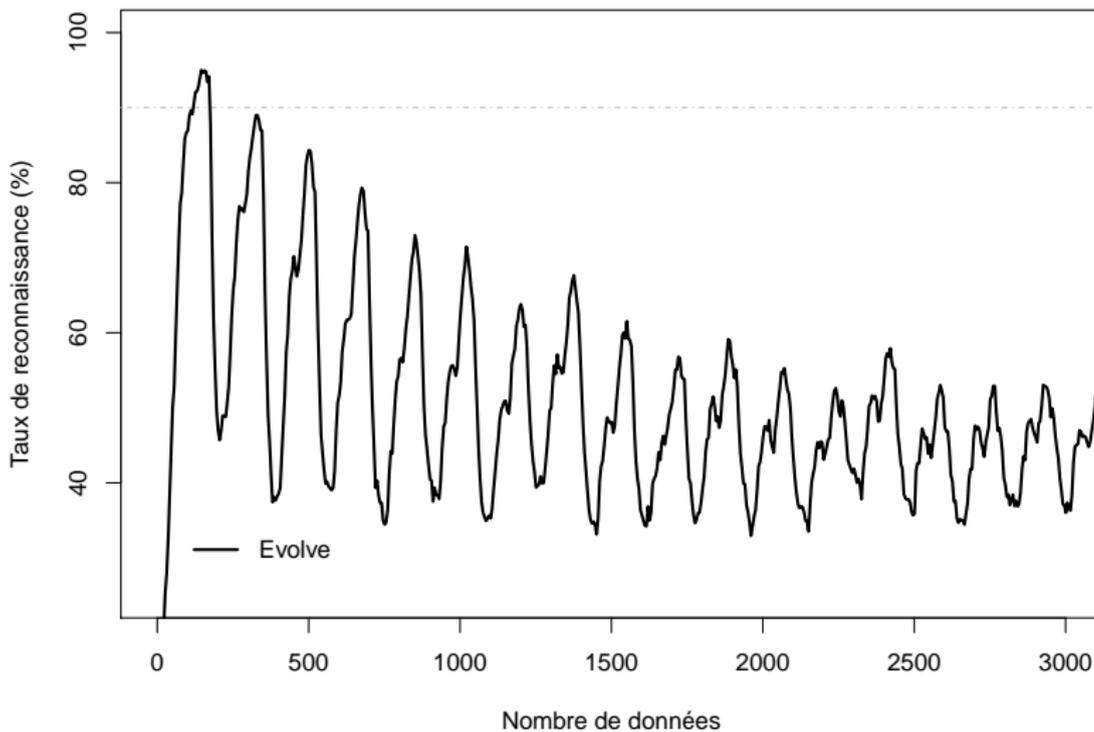


Groupe 1 : symboles libres.

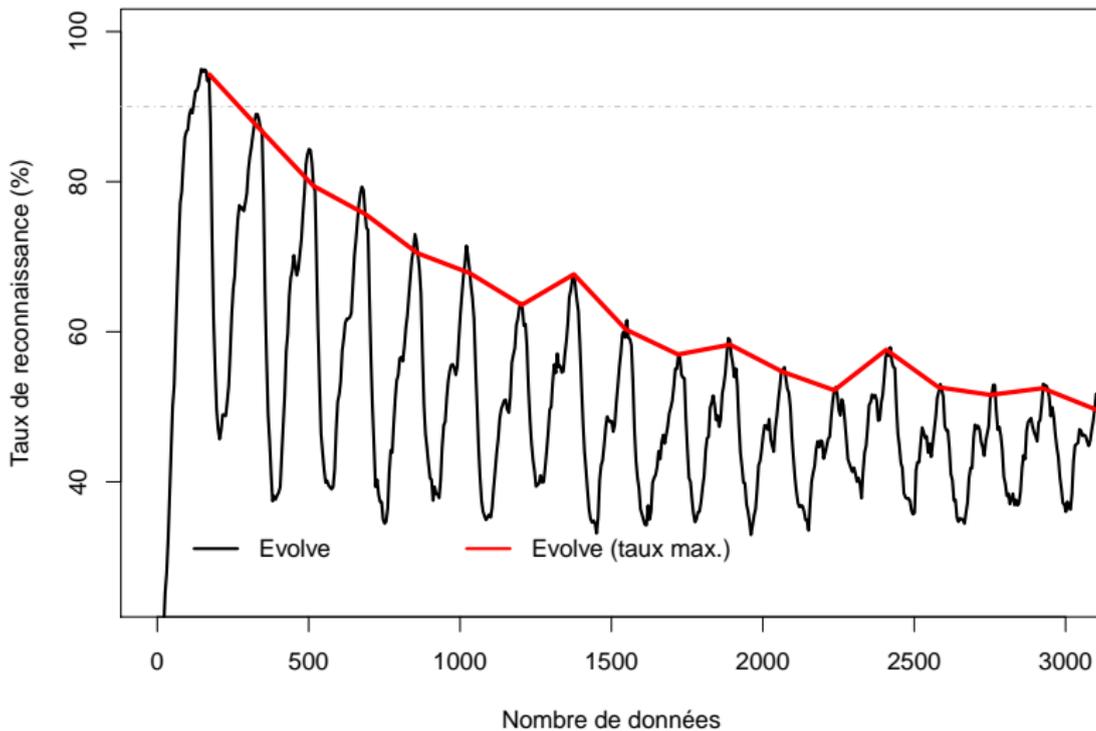


Groupe 3 : symboles fixes.

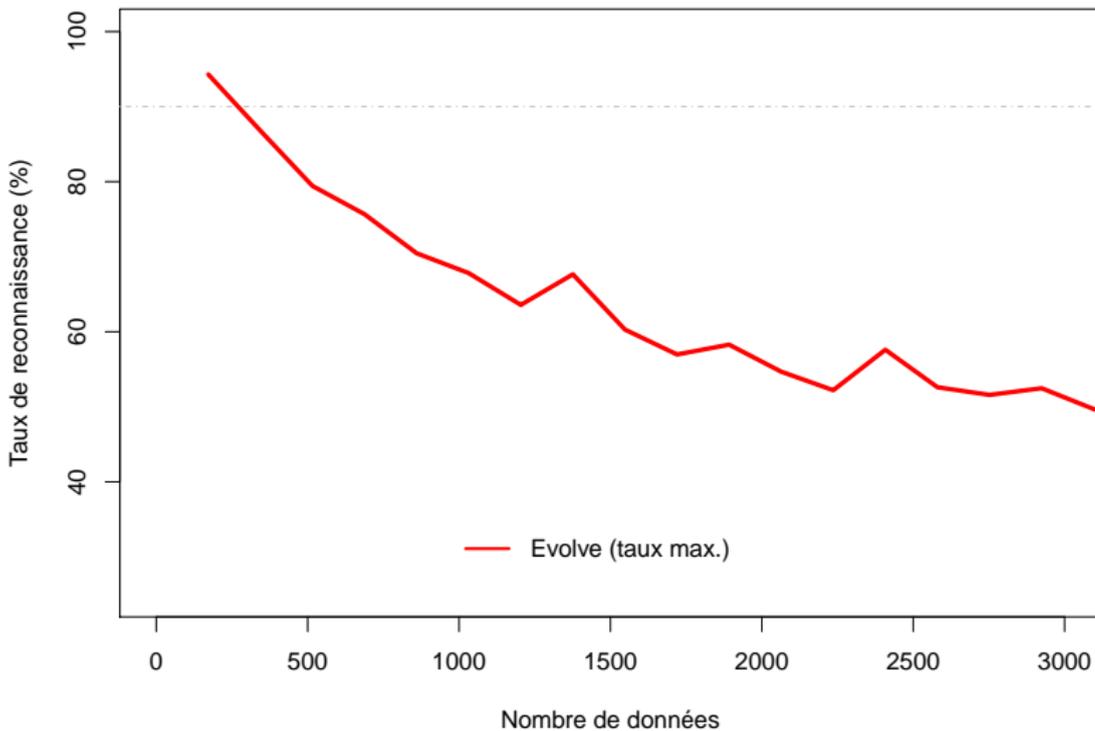
Evolve ∞ : capacité d'évolution



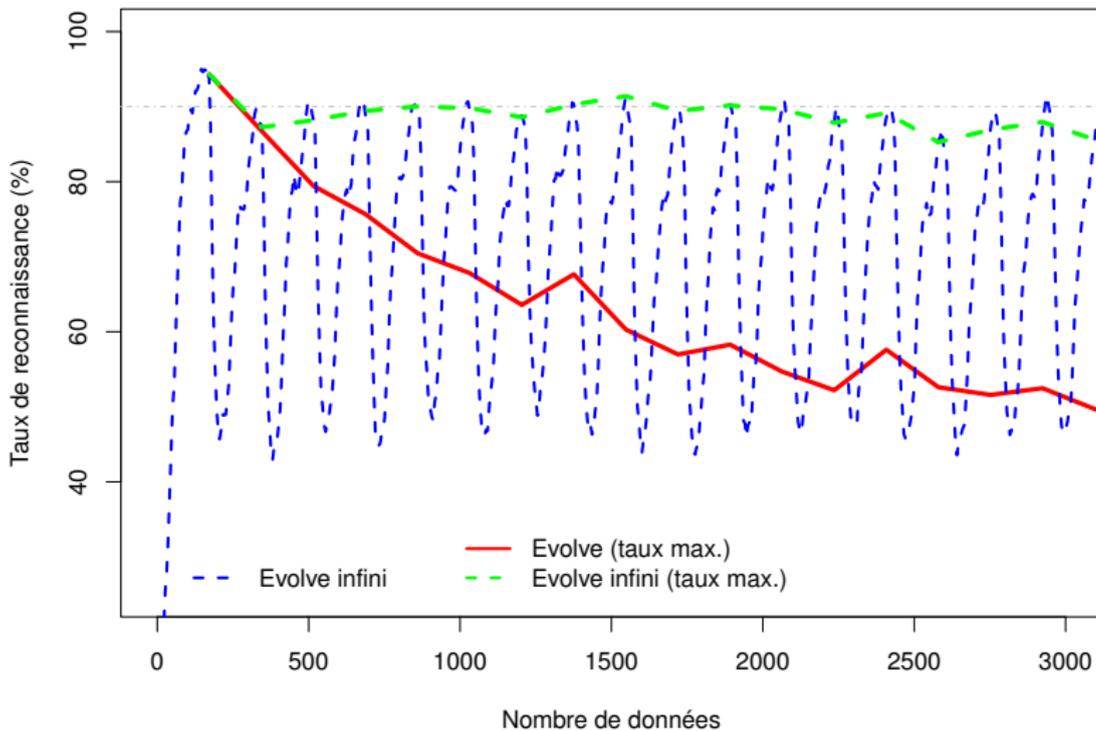
Evolve ∞ : capacité d'évolution



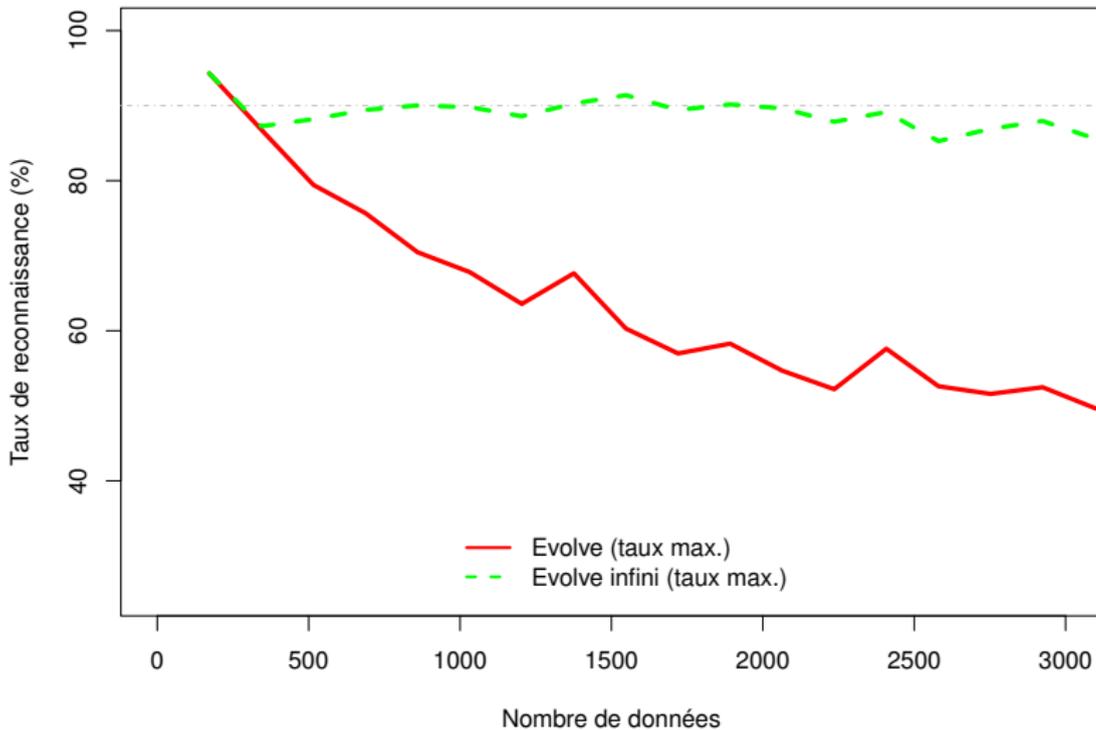
Evolve ∞ : capacité d'évolution



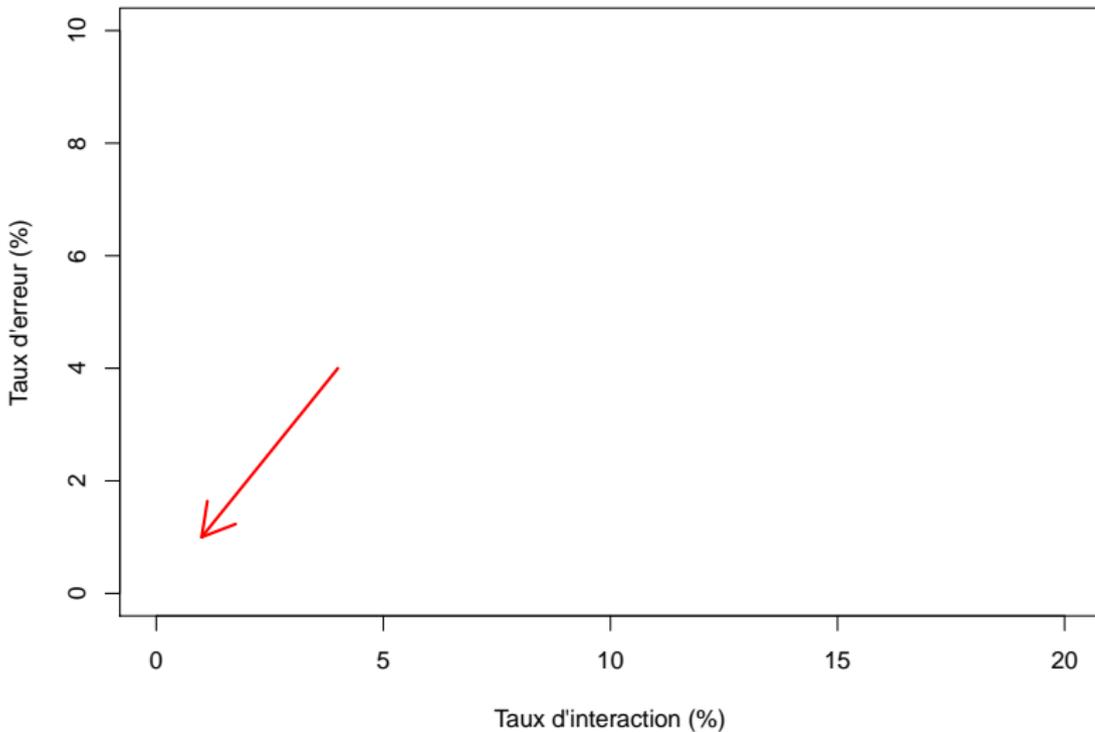
Evolve ∞ : capacité d'évolution



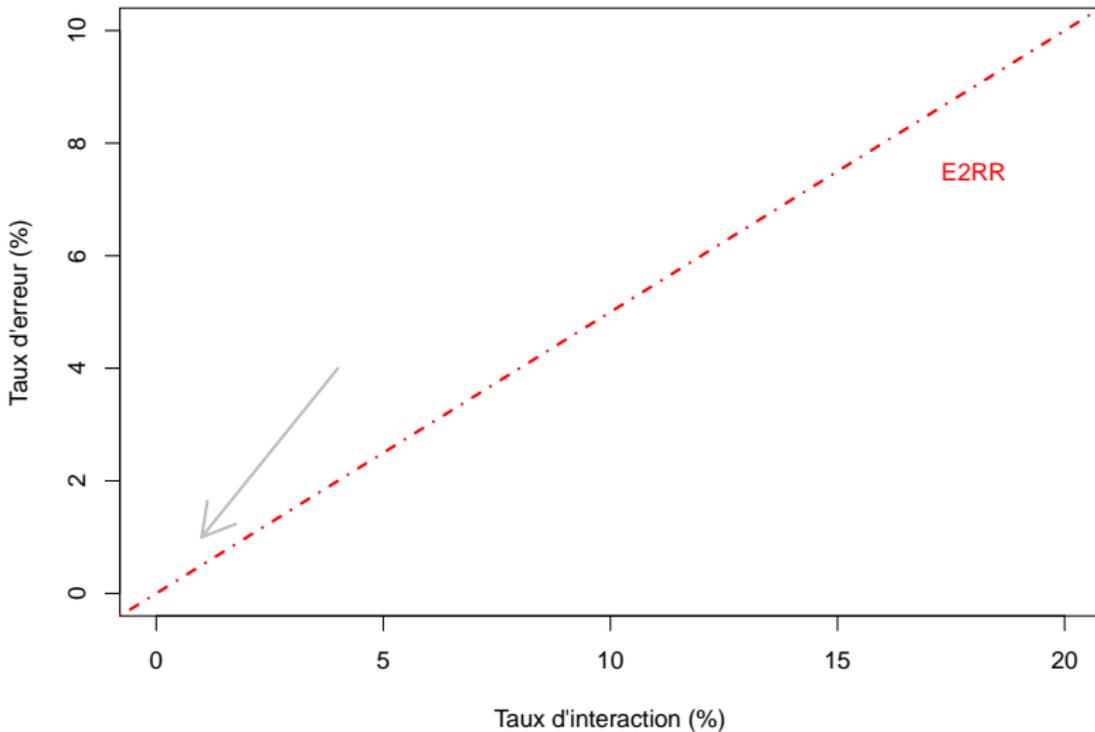
Evolve ∞ : capacité d'évolution



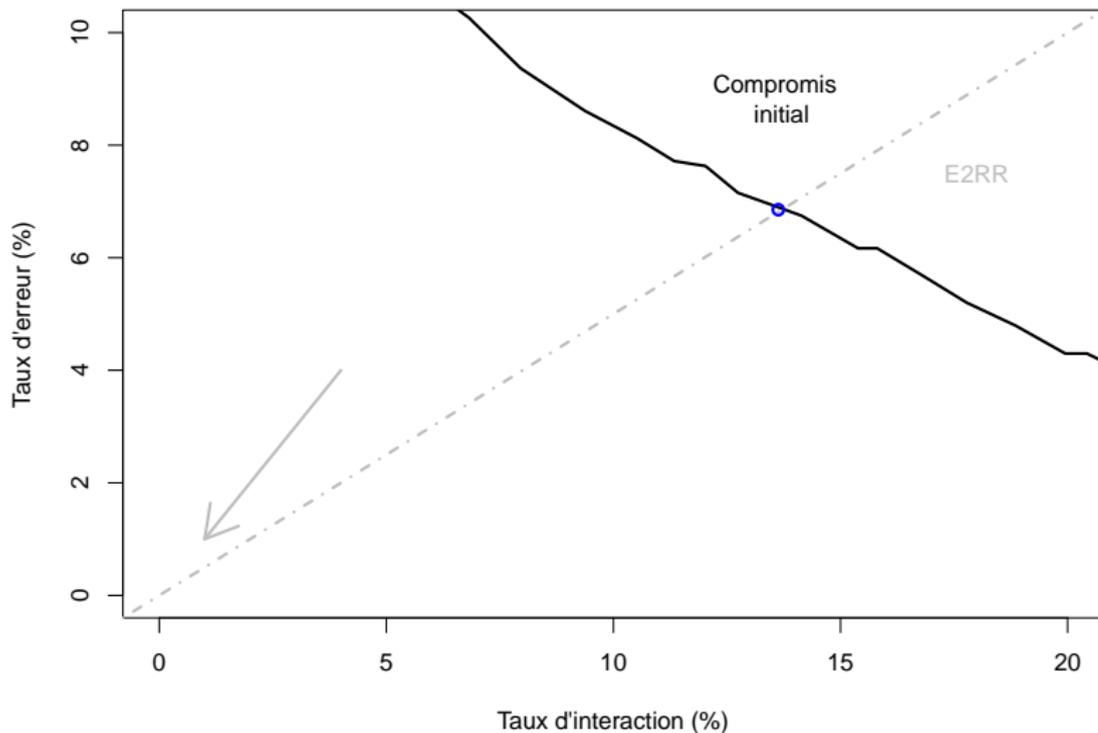
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



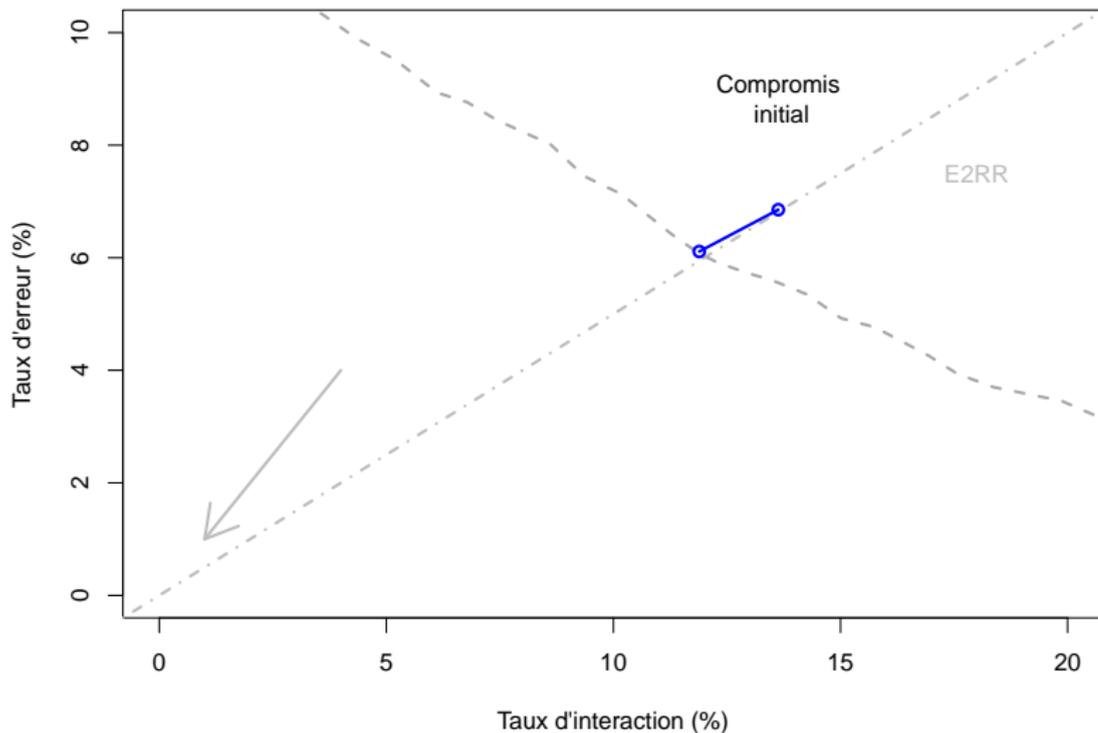
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



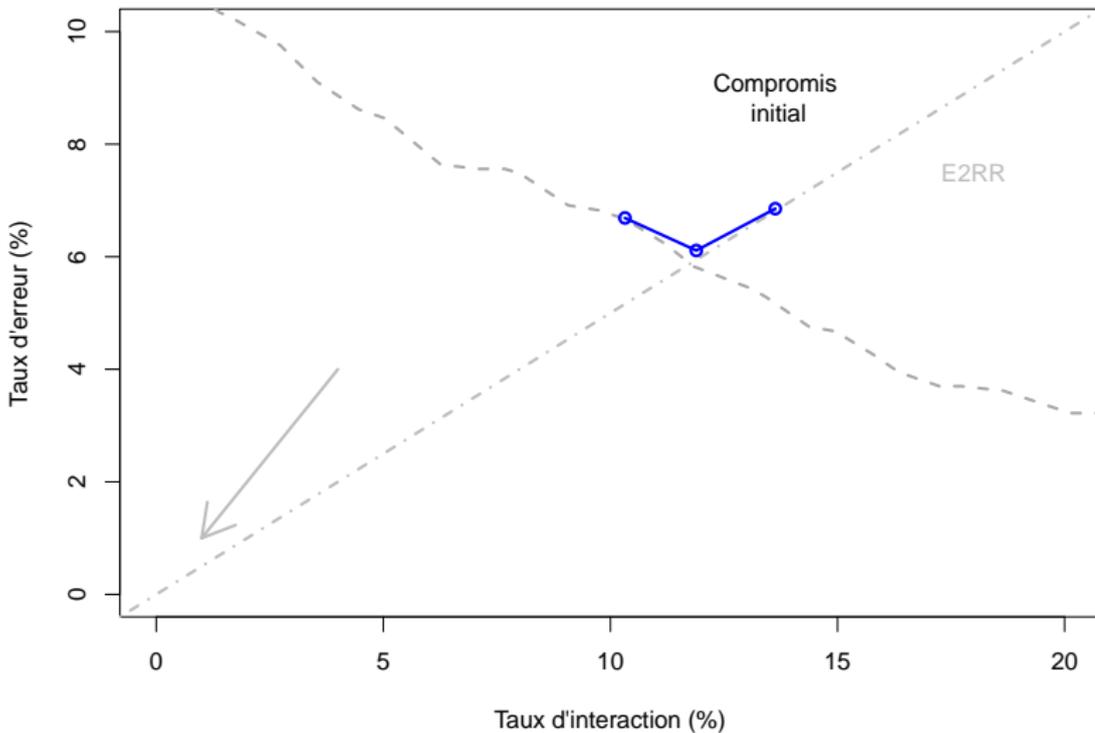
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



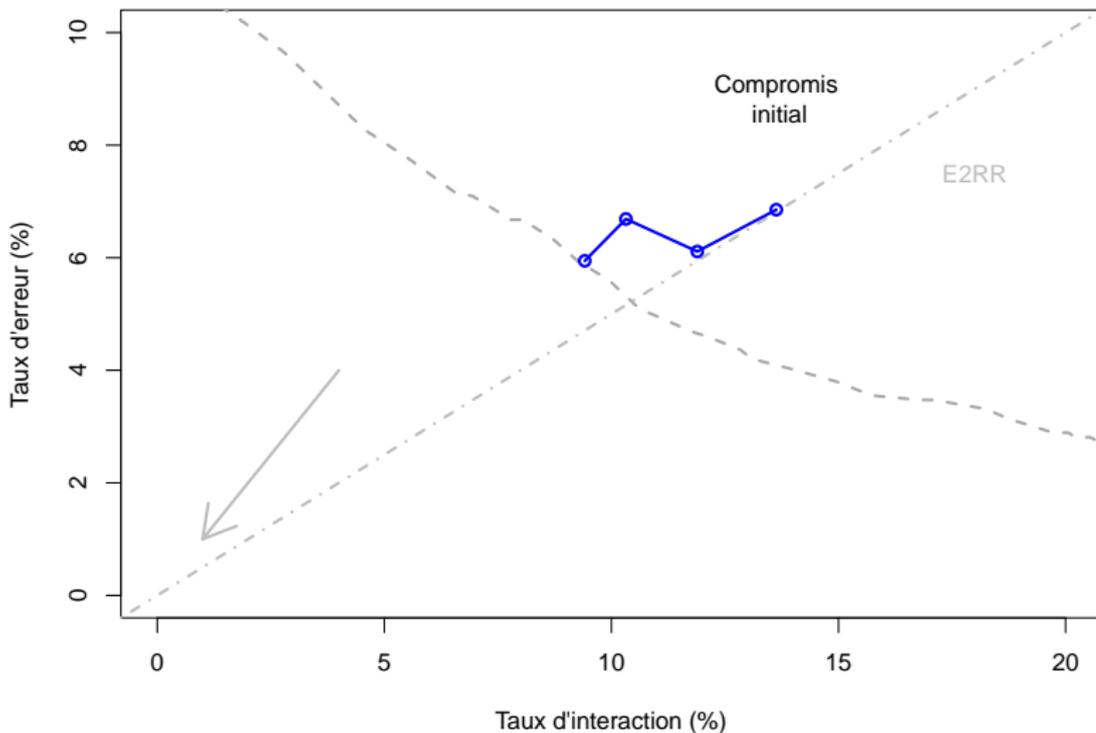
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



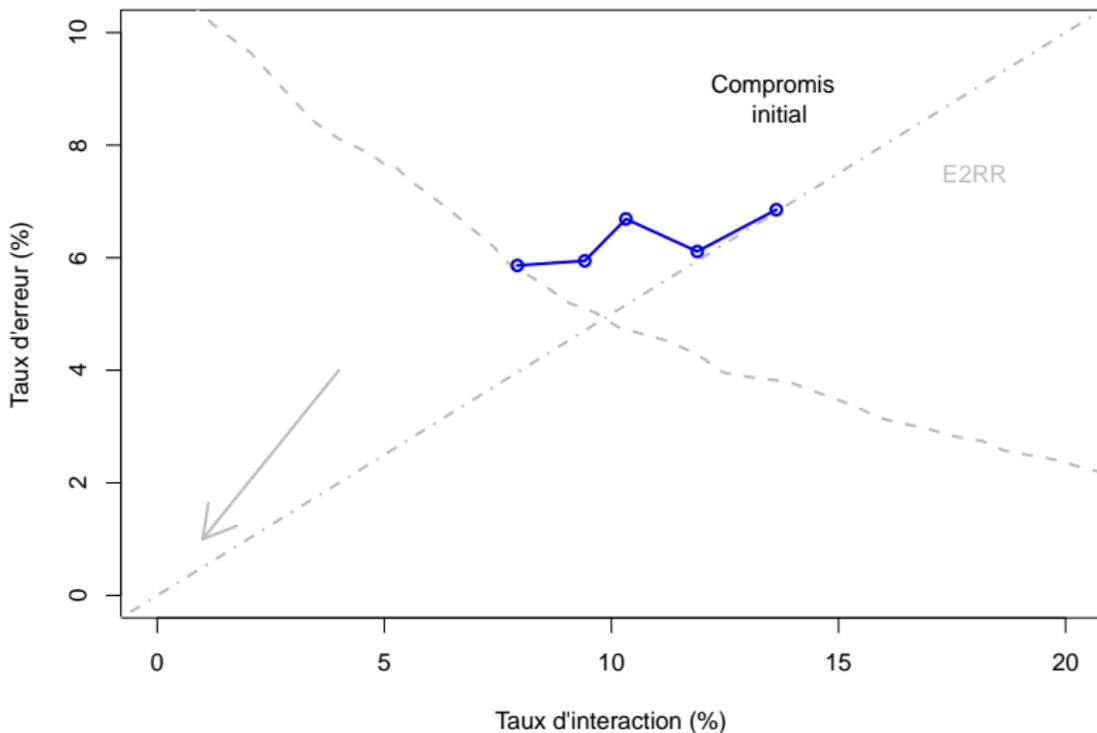
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



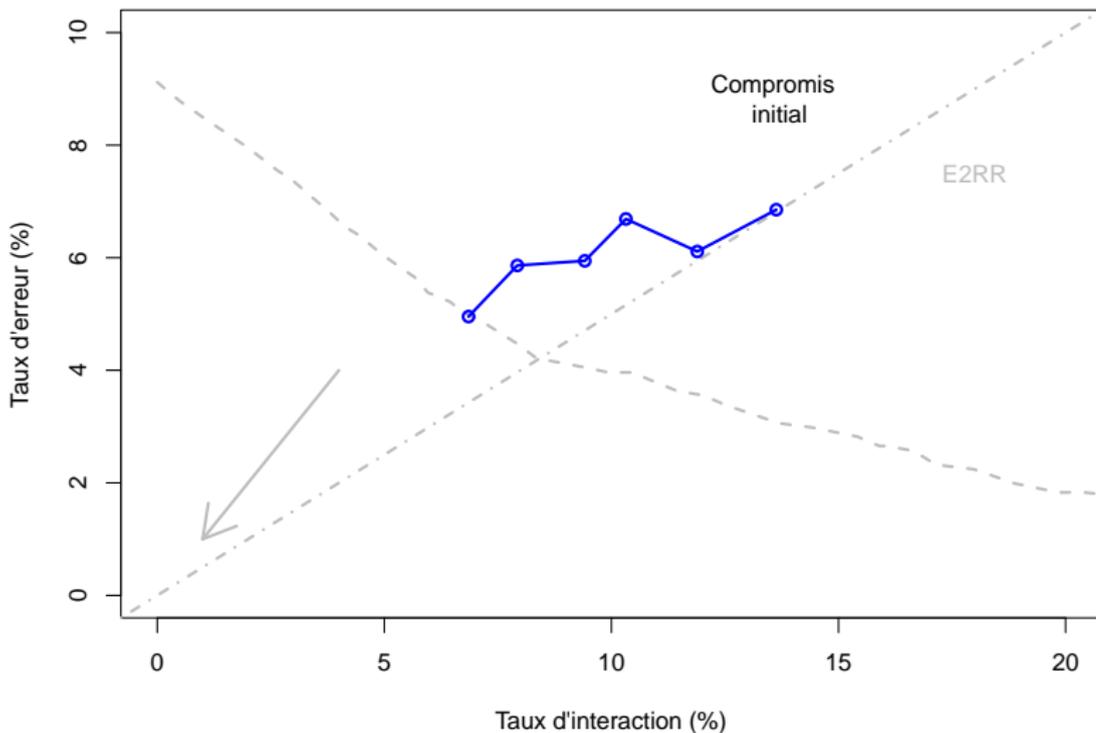
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



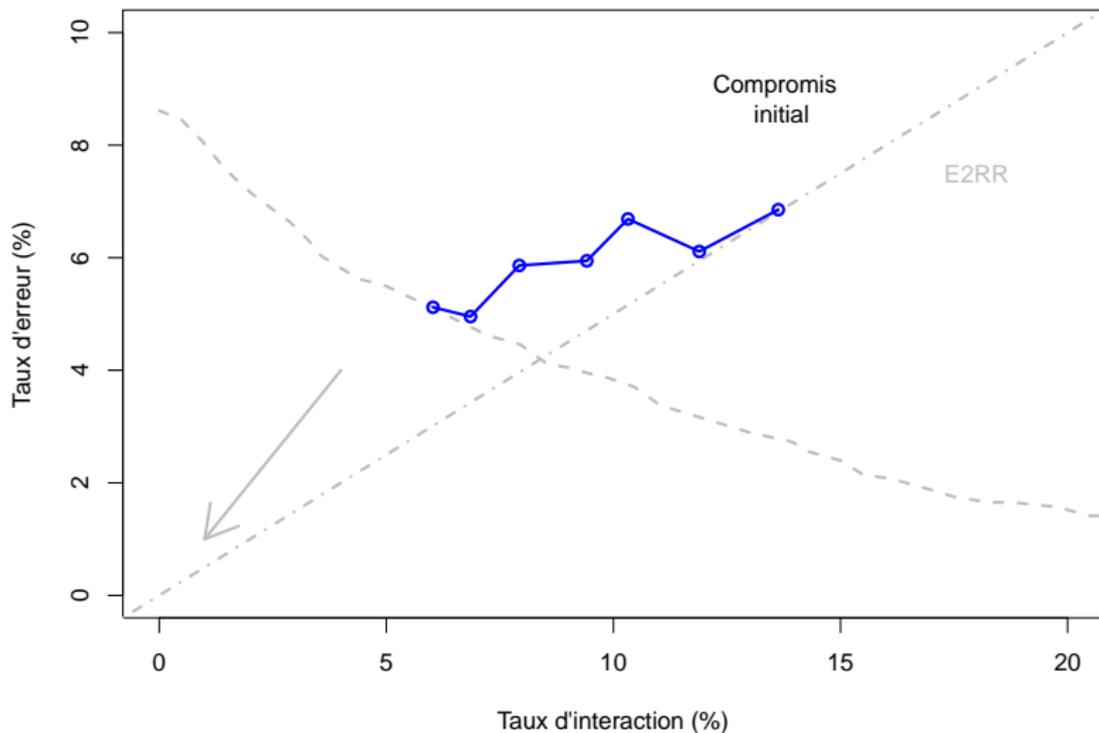
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



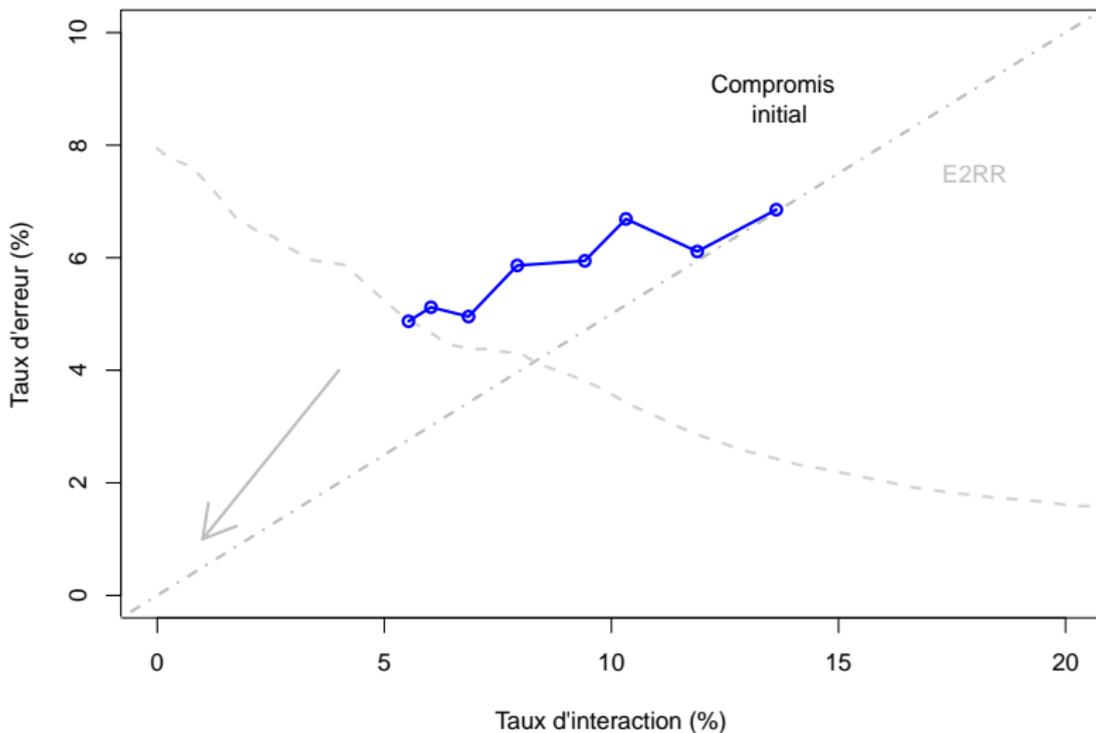
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



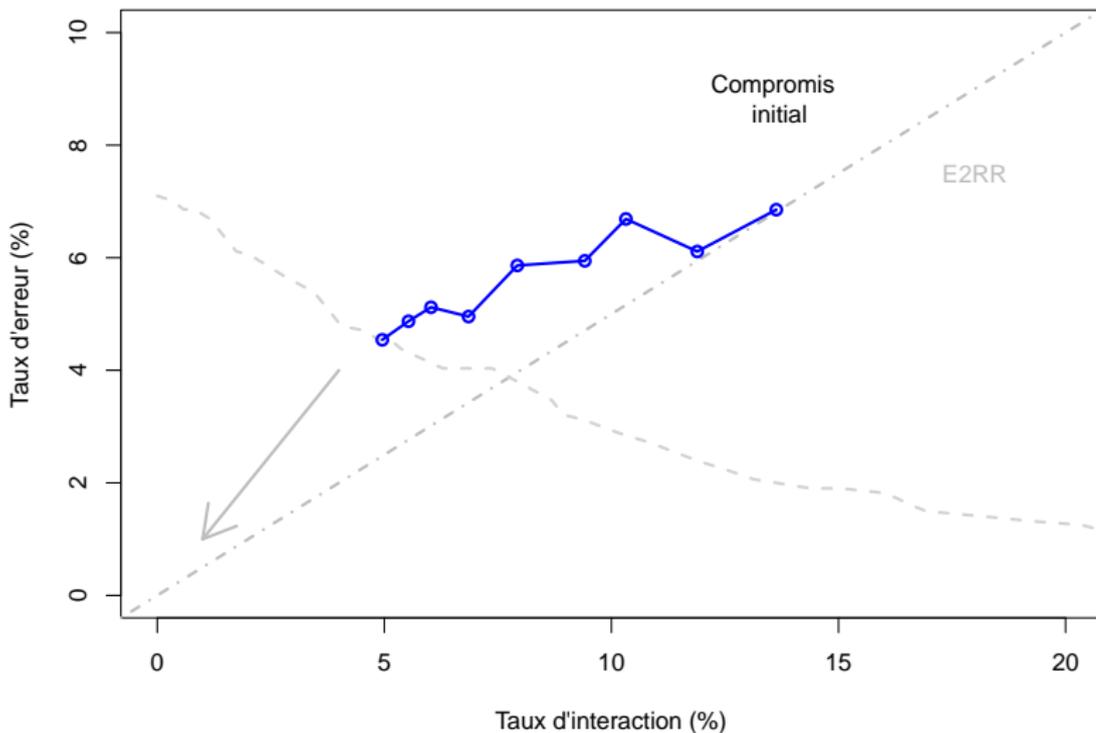
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



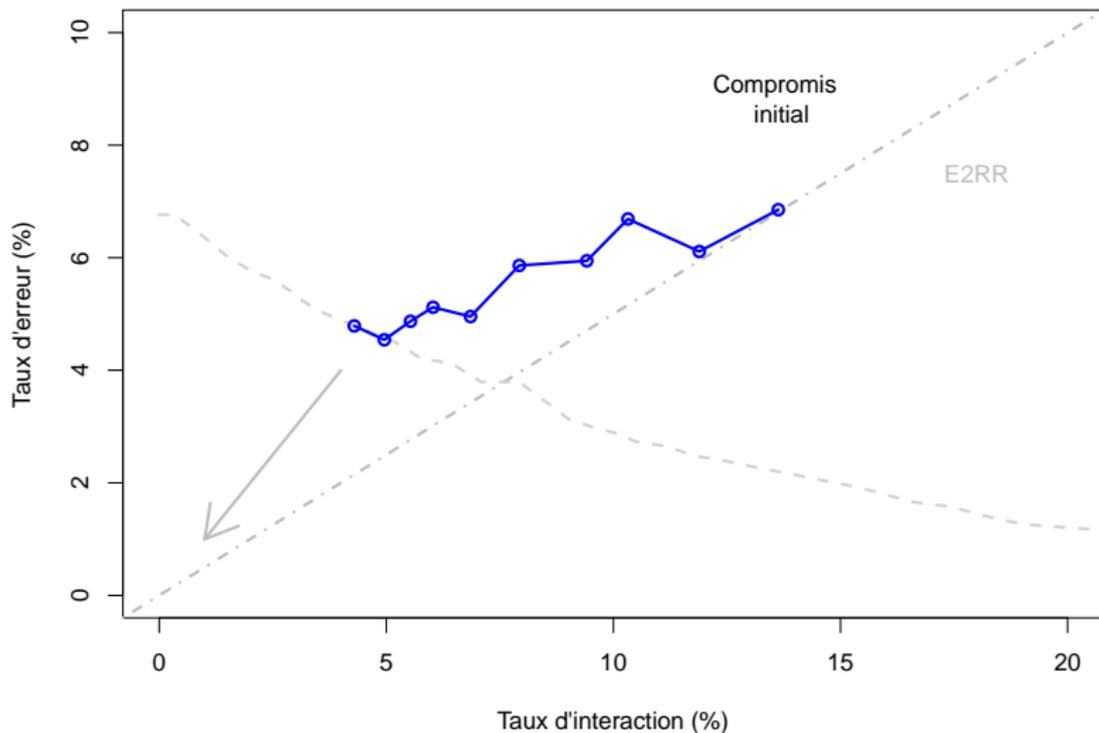
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



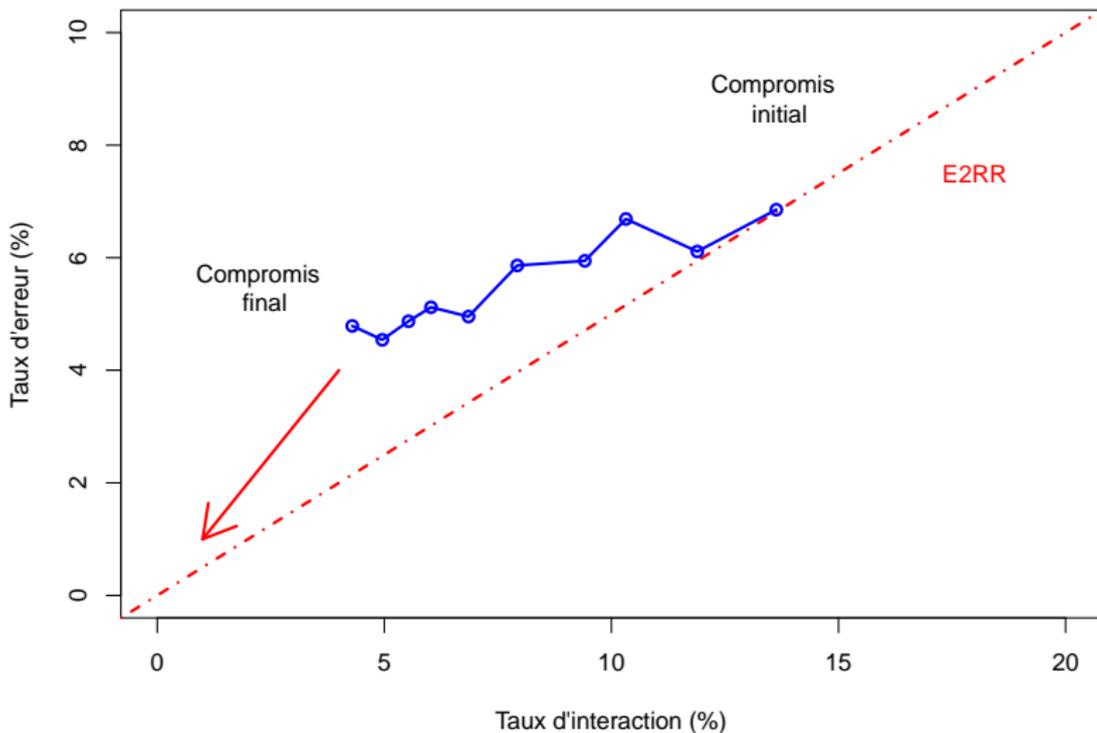
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



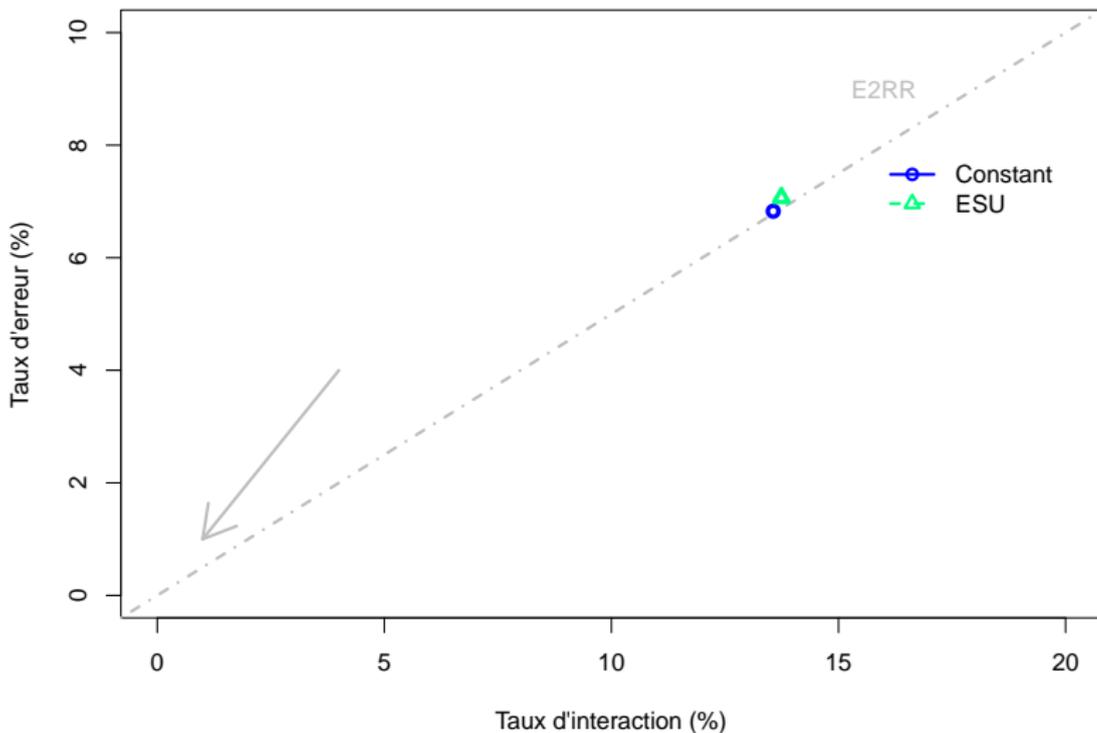
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



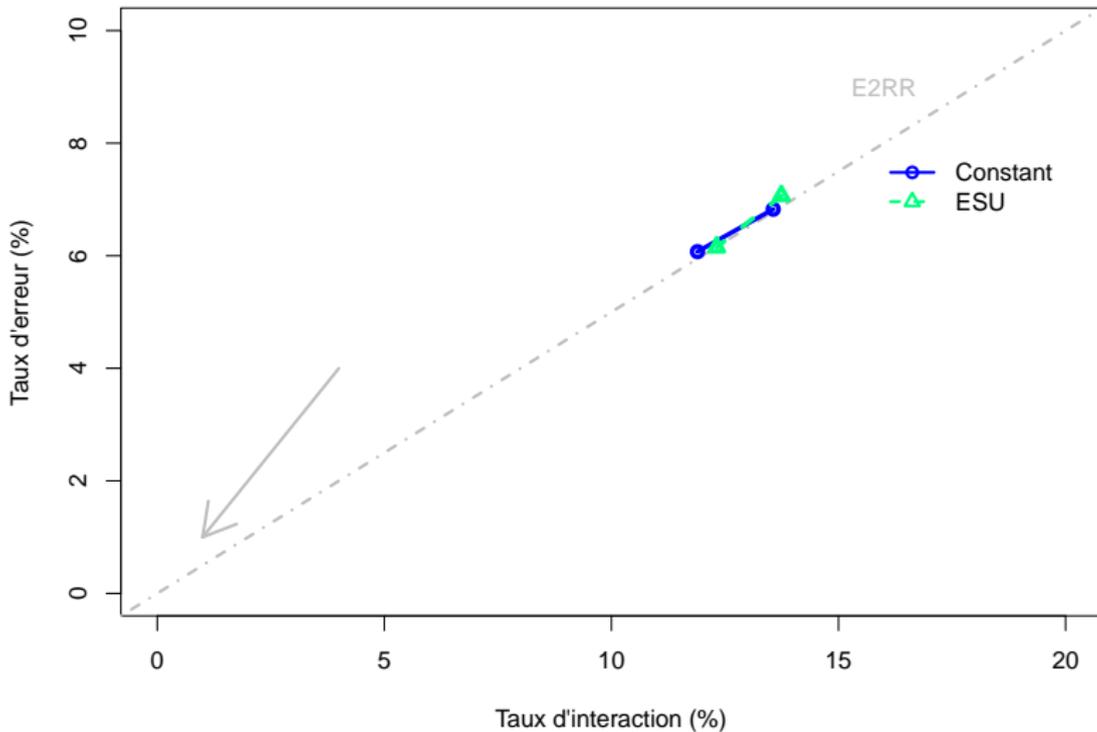
IntuiSup : compromis erreur/sollicitation



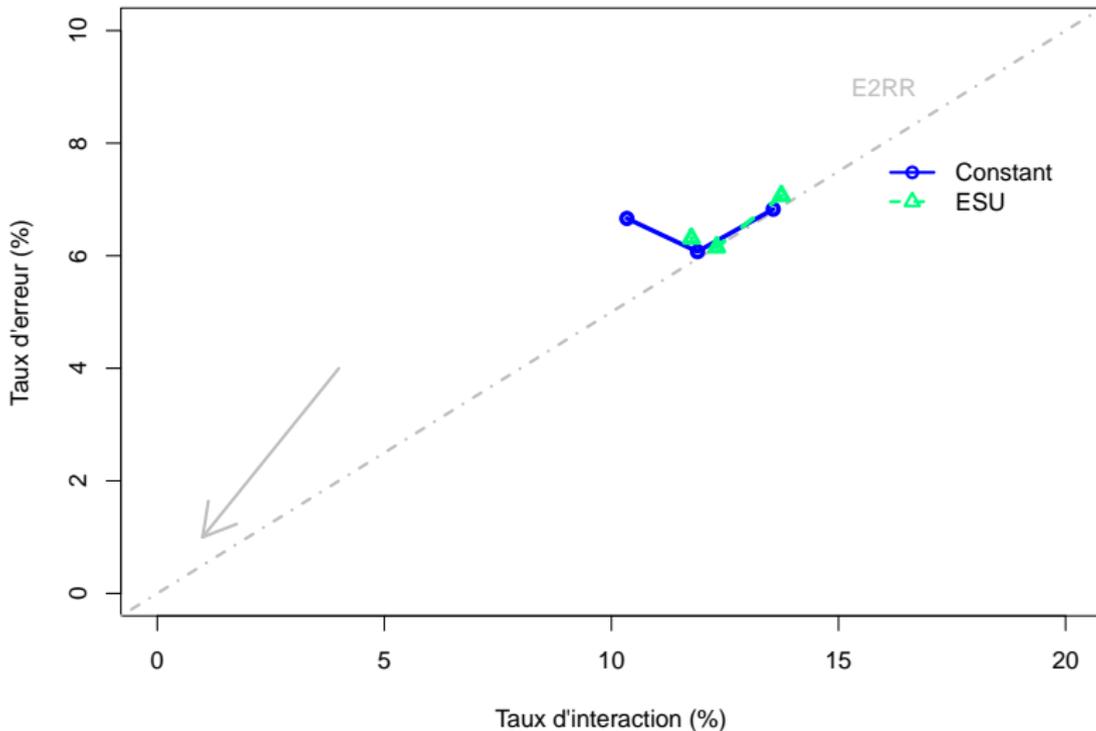
IntuiSup : supervision active ESU



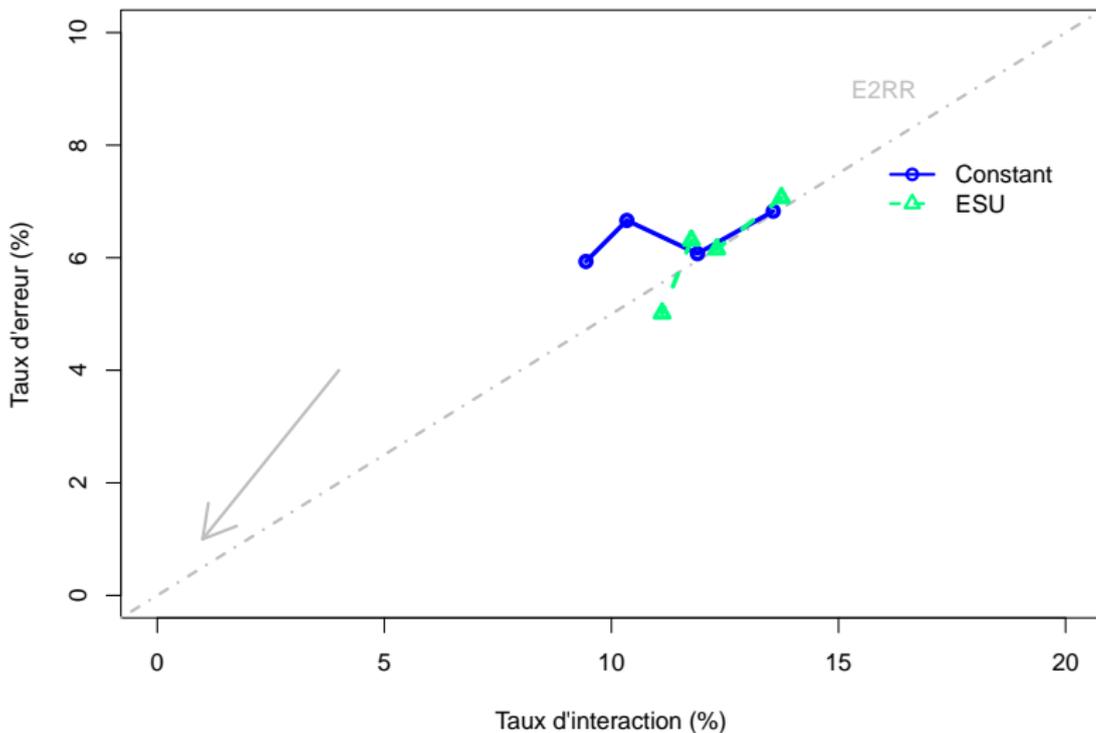
IntuiSup : supervision active ESU



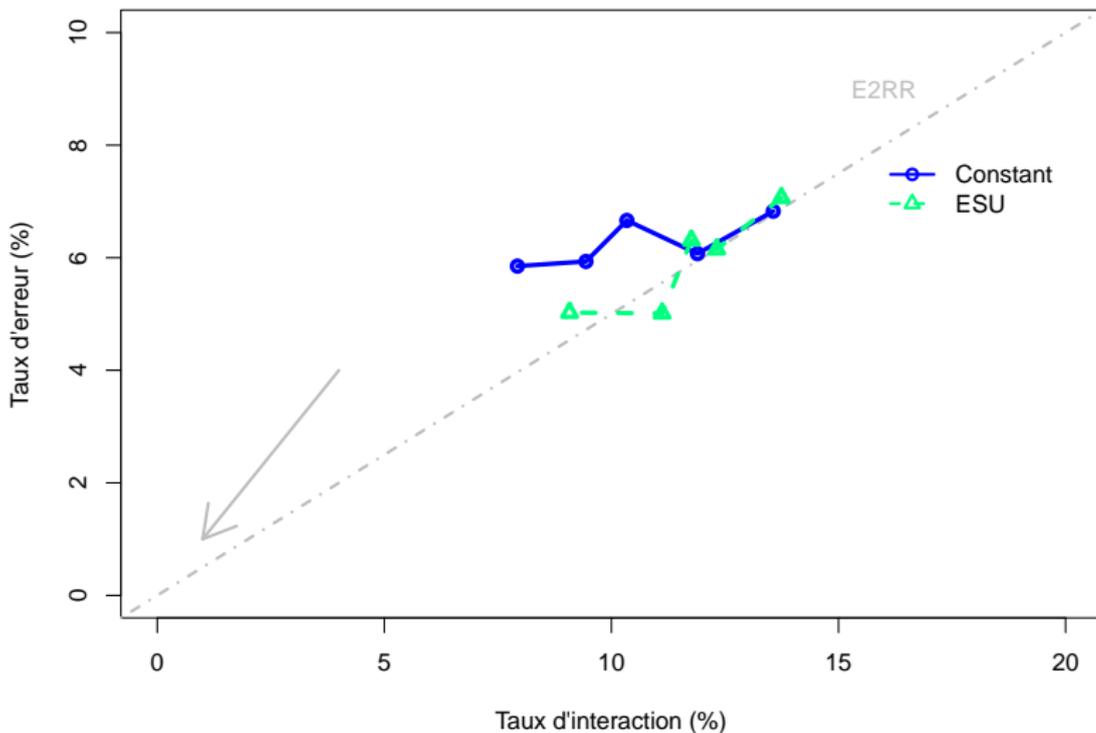
IntuiSup : supervision active ESU



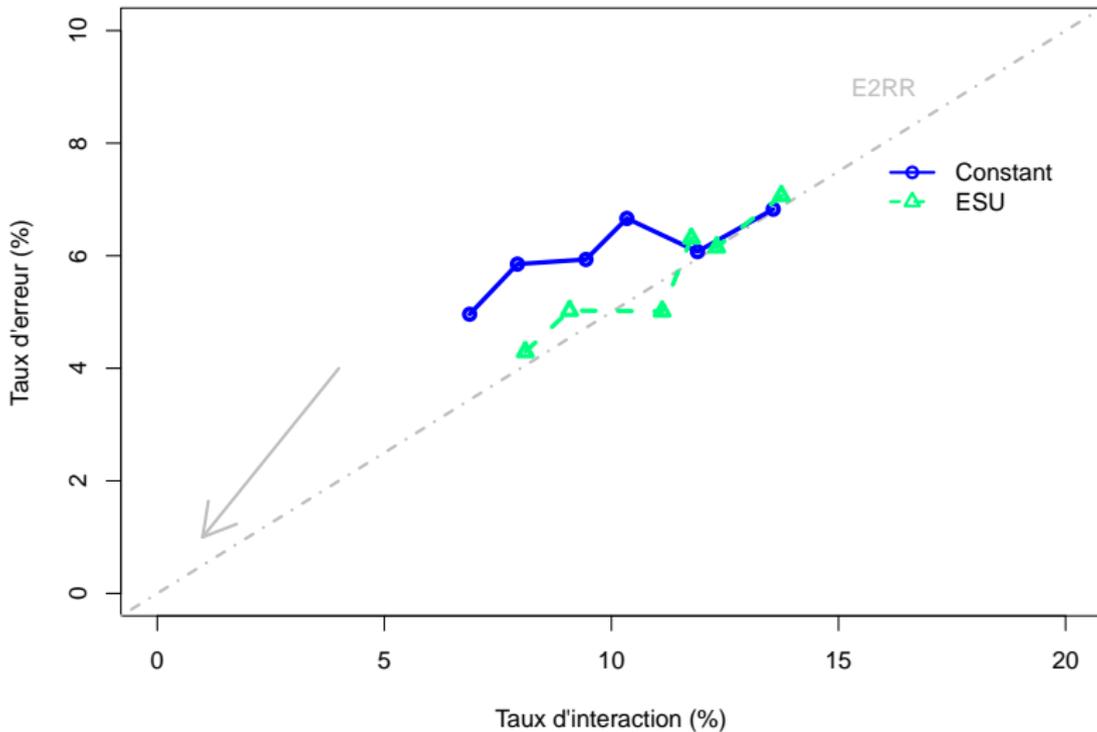
IntuiSup : supervision active ESU



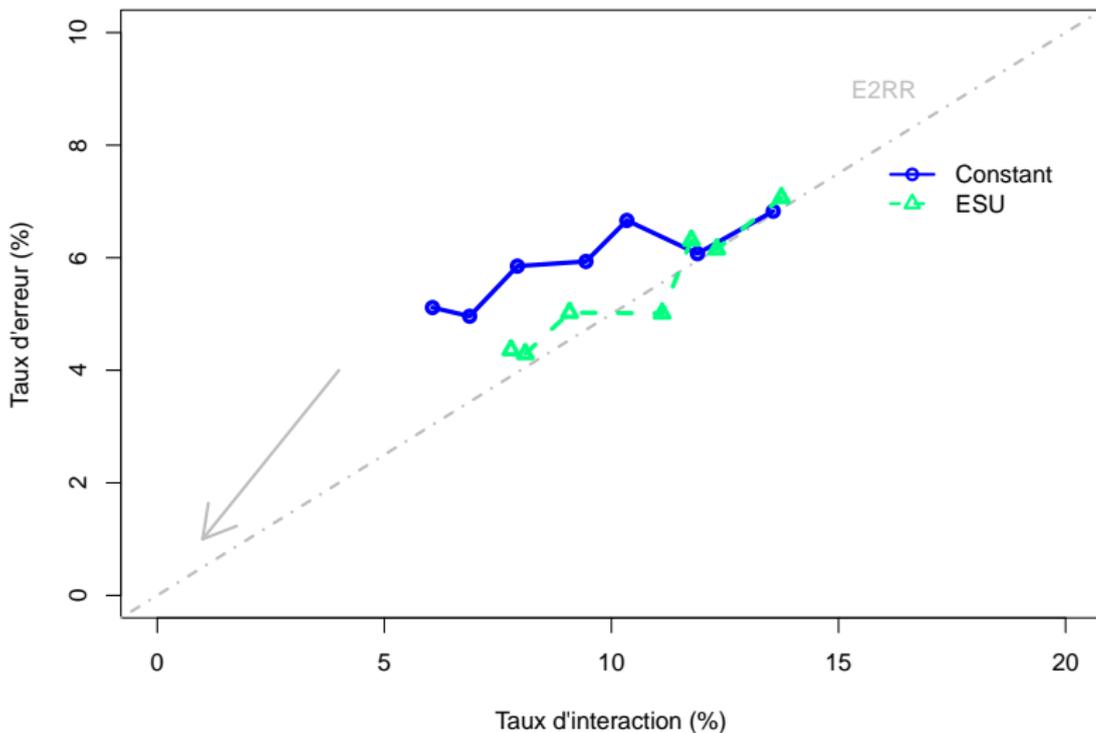
IntuiSup : supervision active ESU



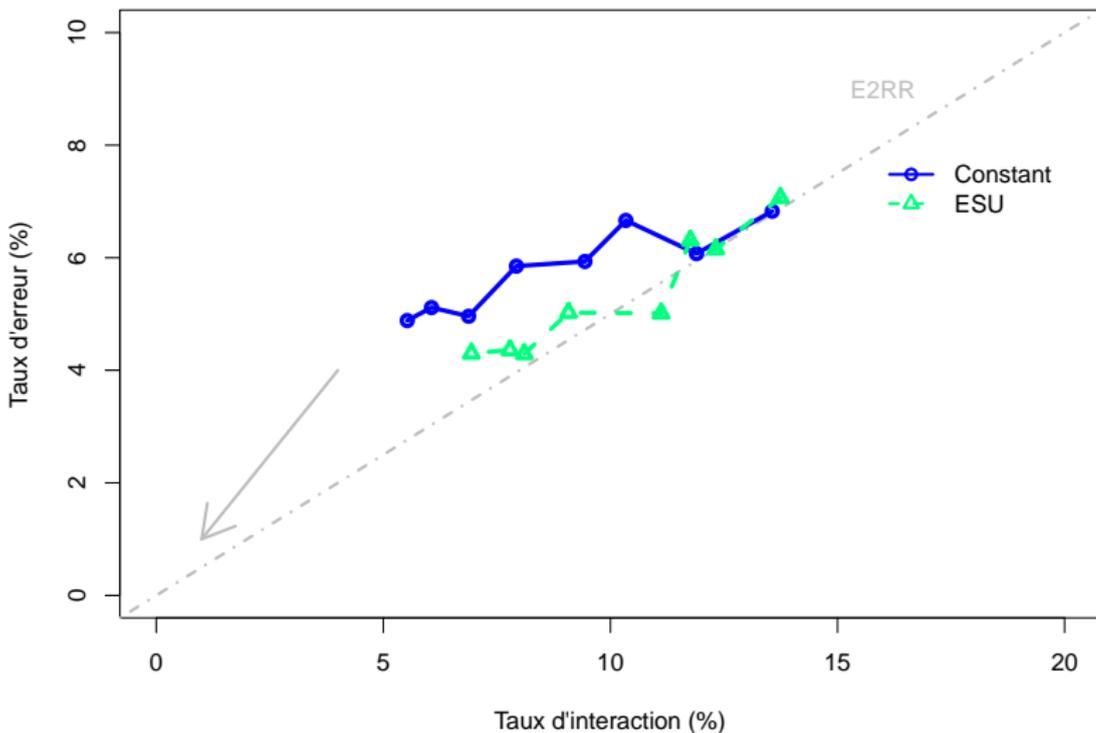
IntuiSup : supervision active ESU



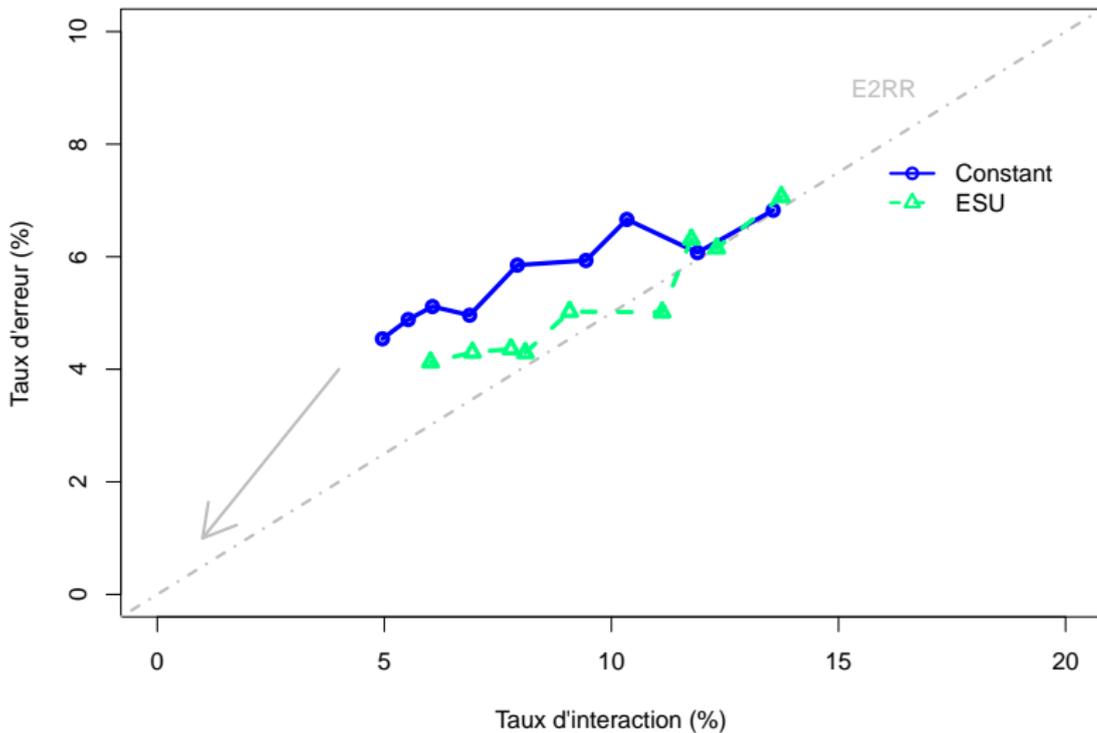
IntuiSup : supervision active ESU



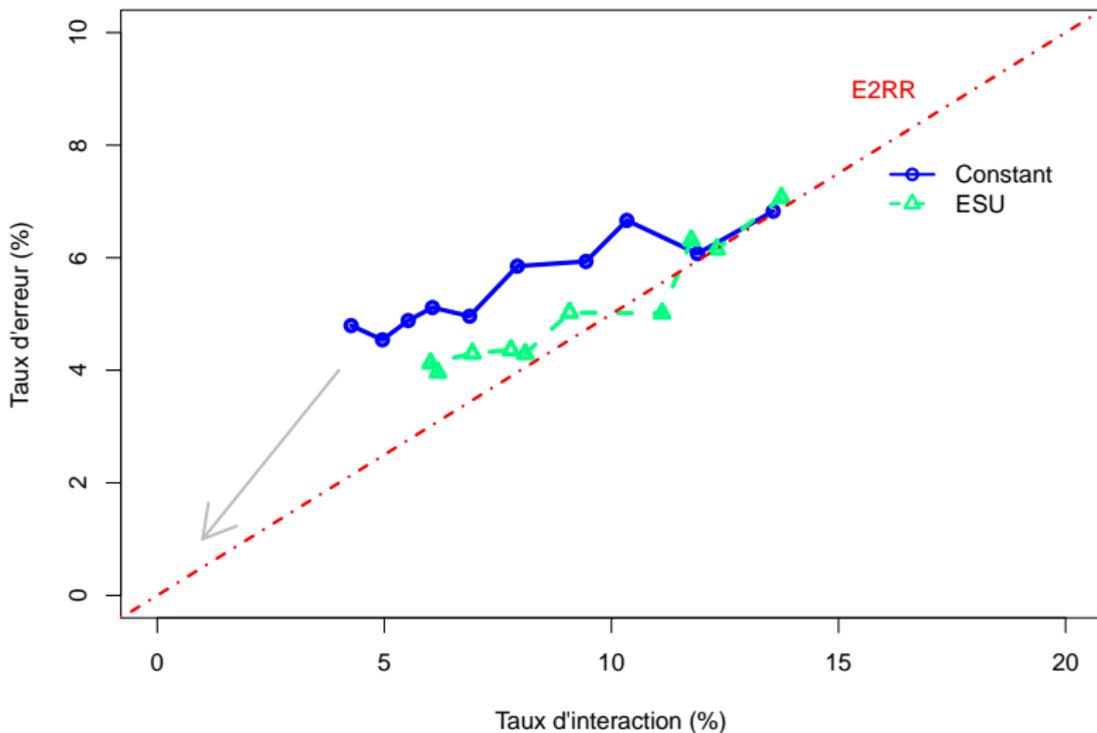
IntuiSup : supervision active ESU



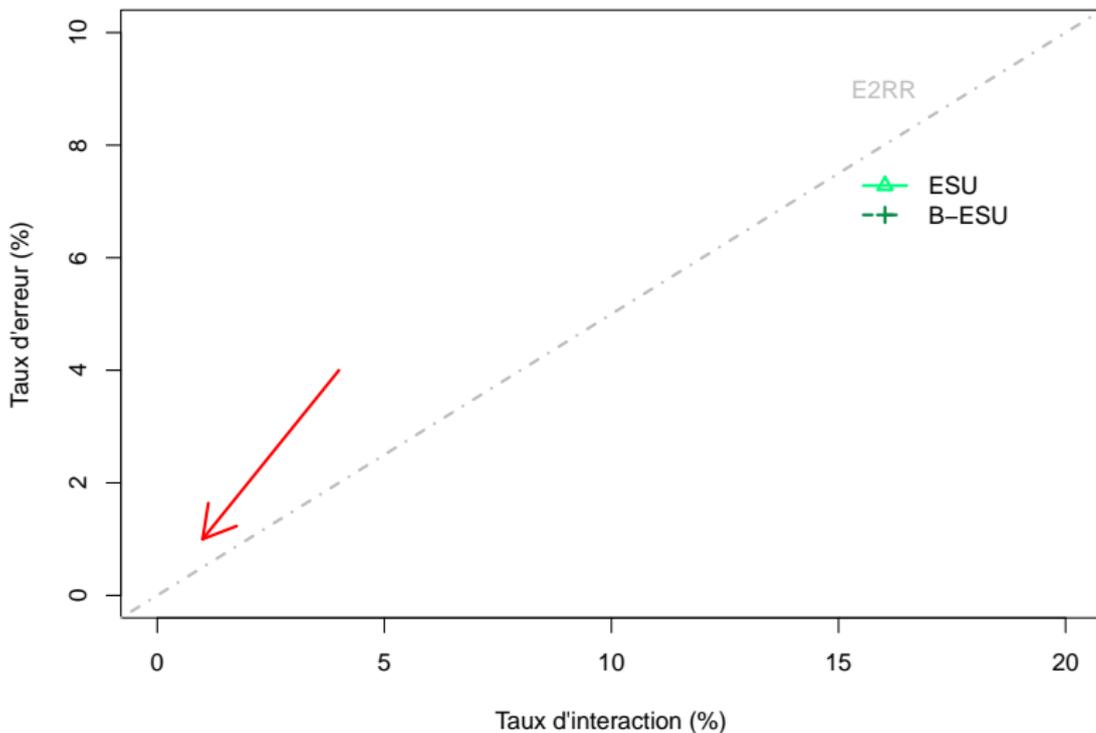
IntuiSup : supervision active ESU



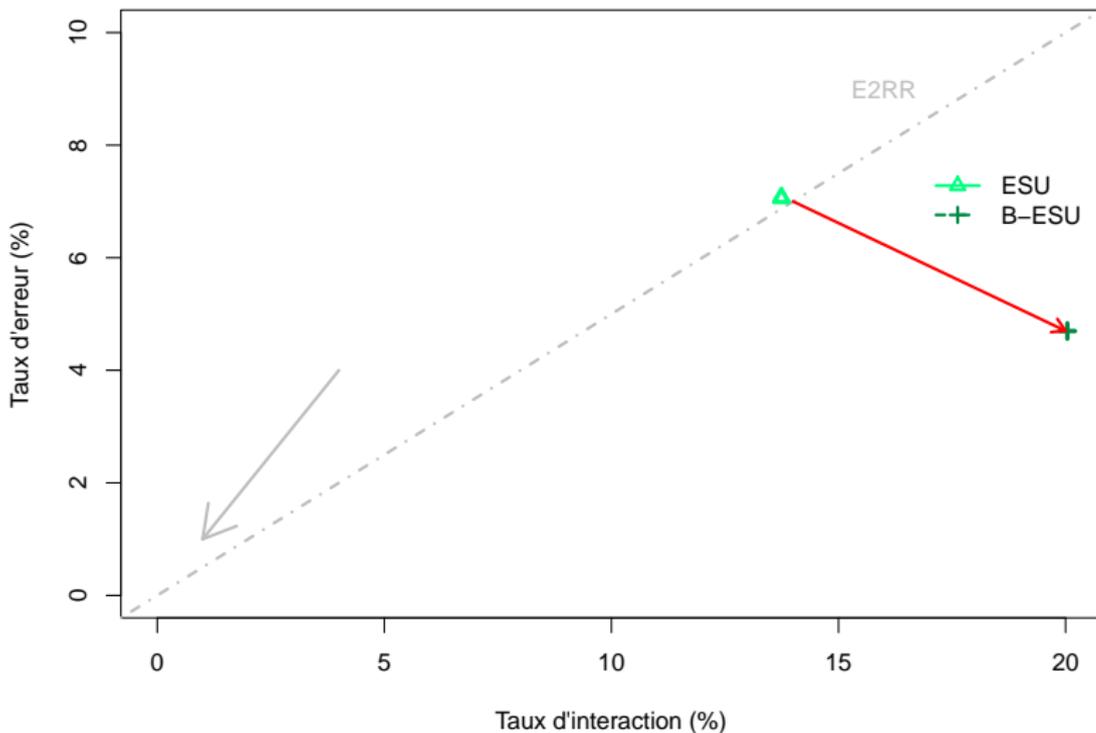
IntuiSup : supervision active ESU



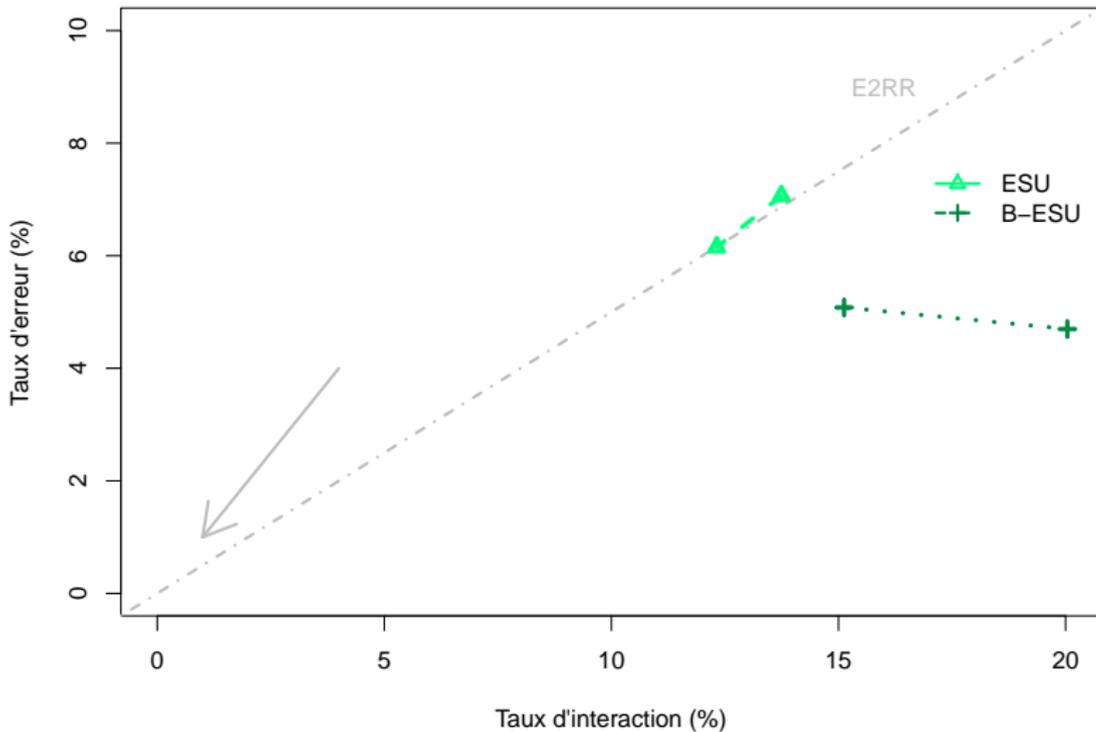
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



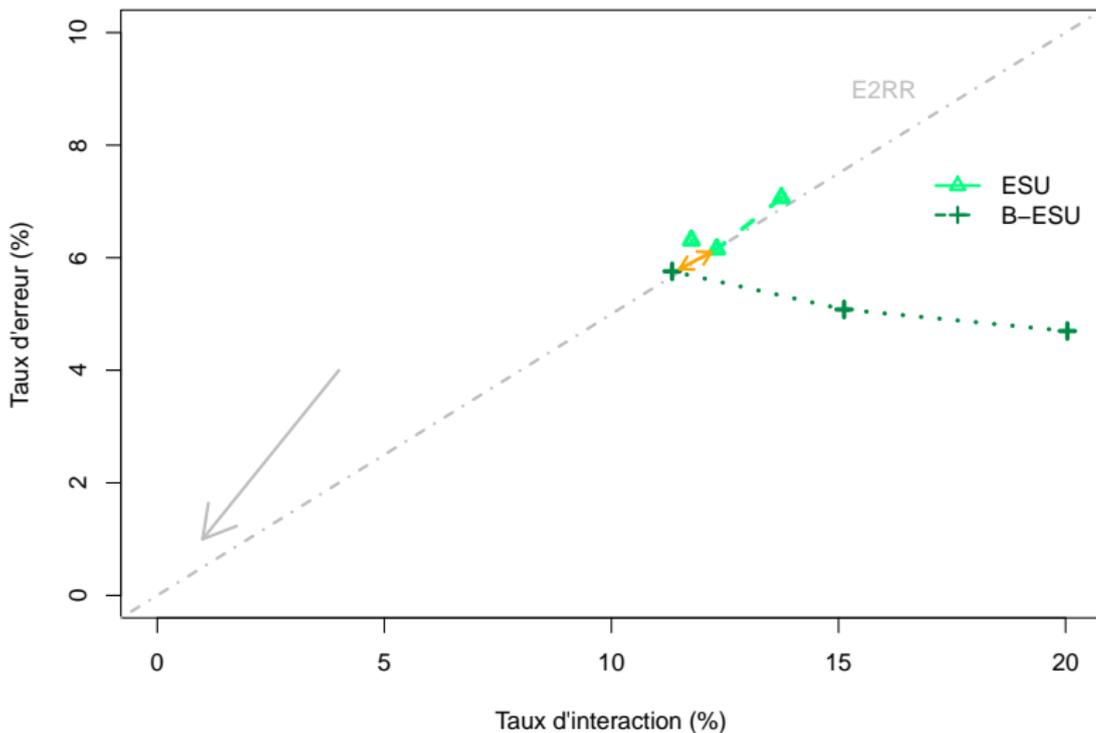
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



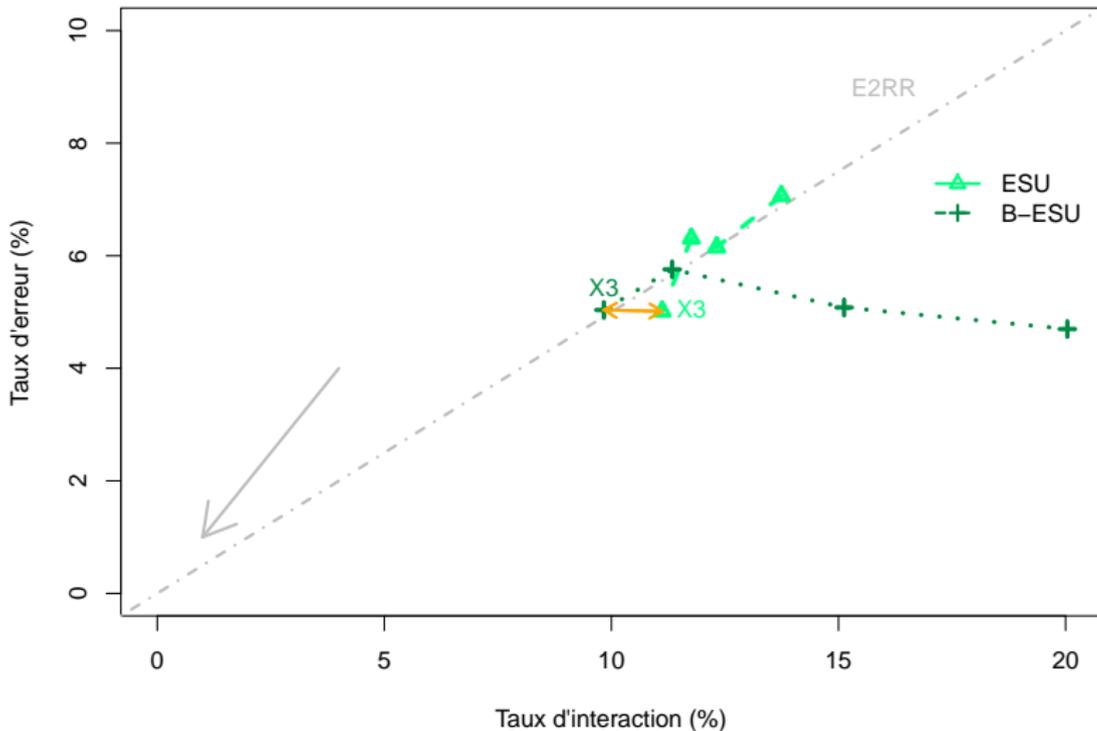
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



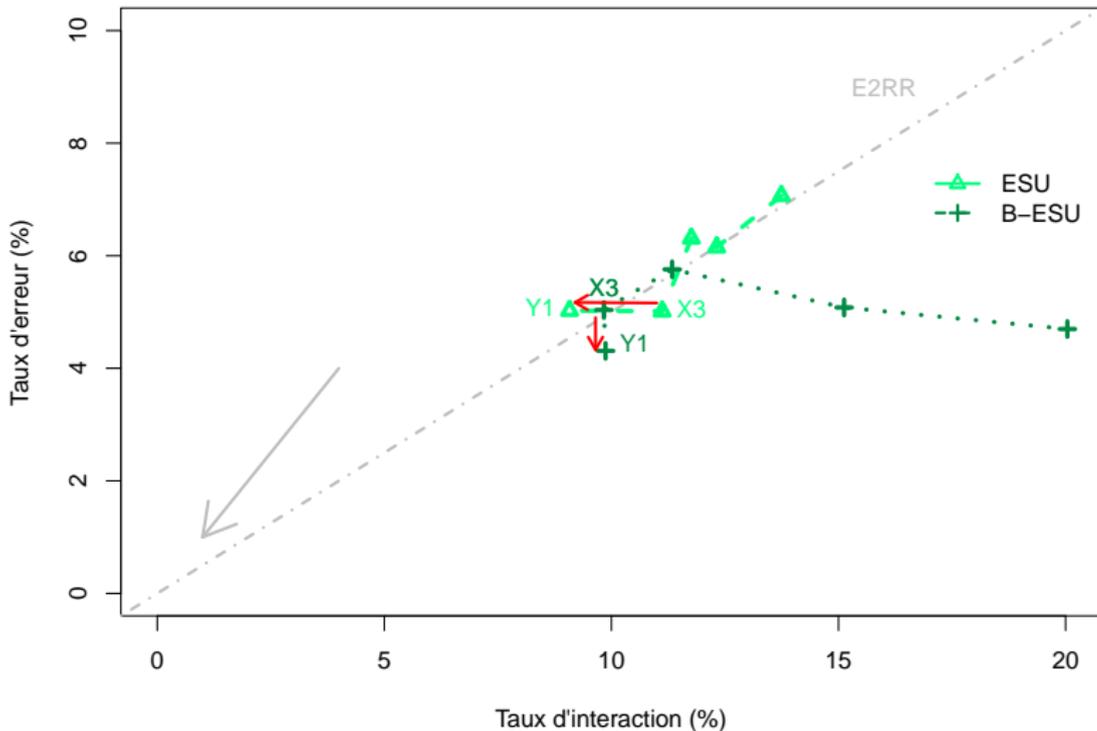
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



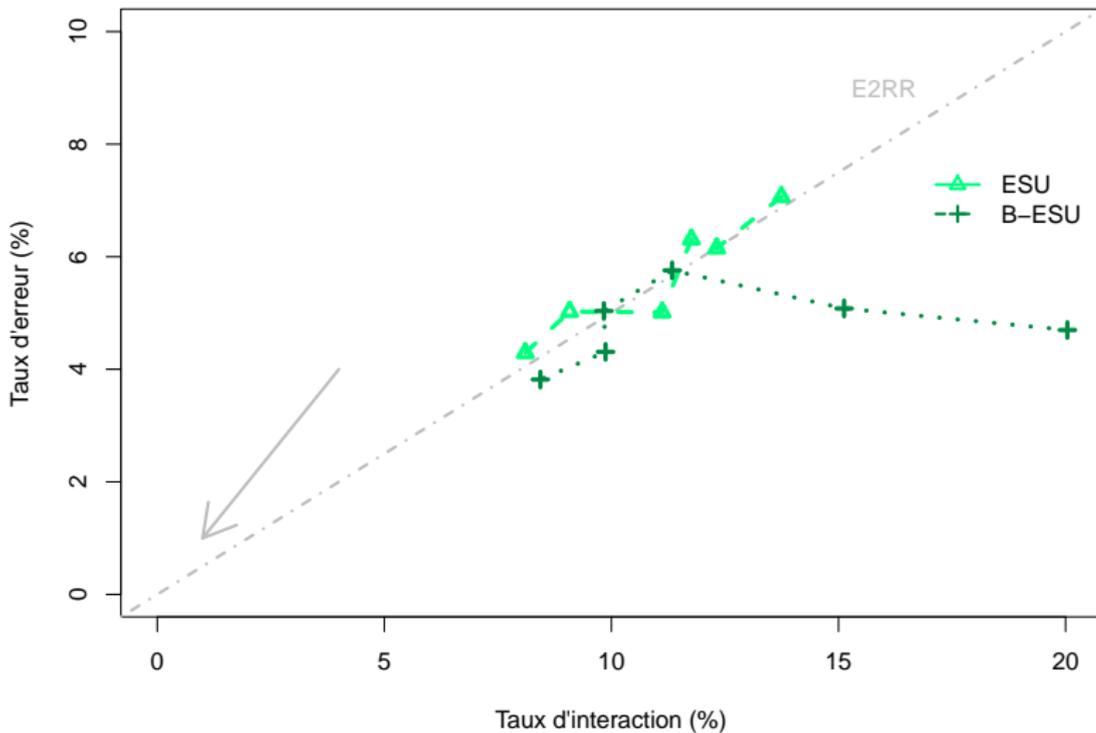
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



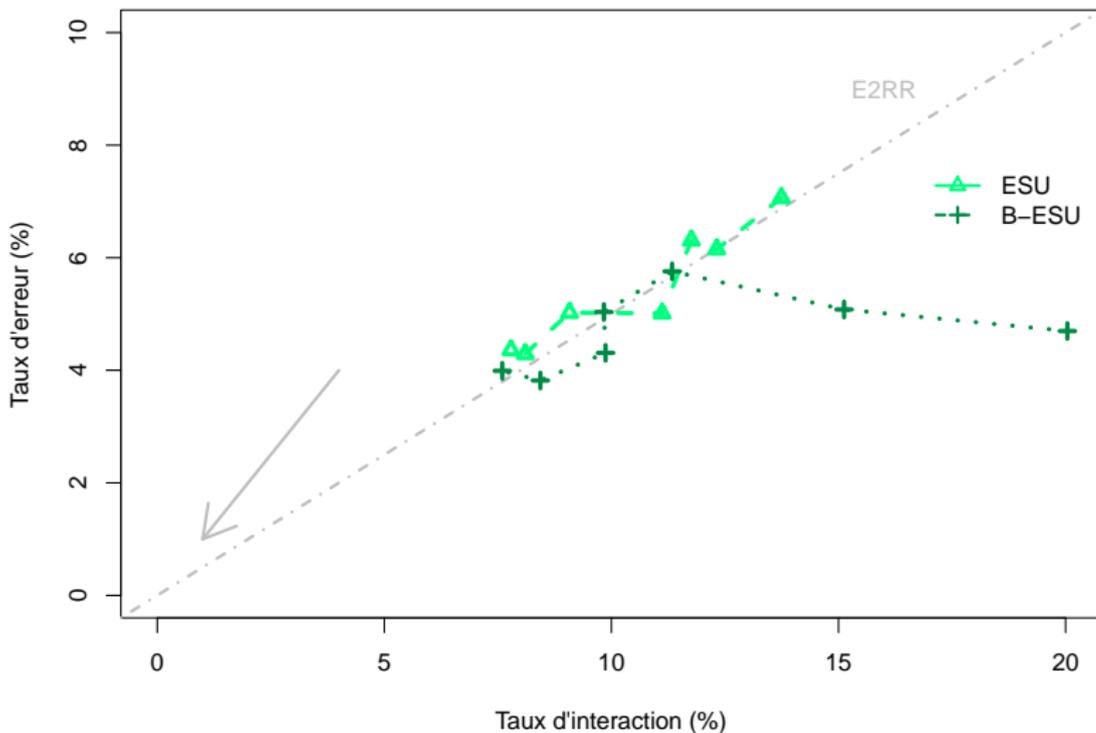
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



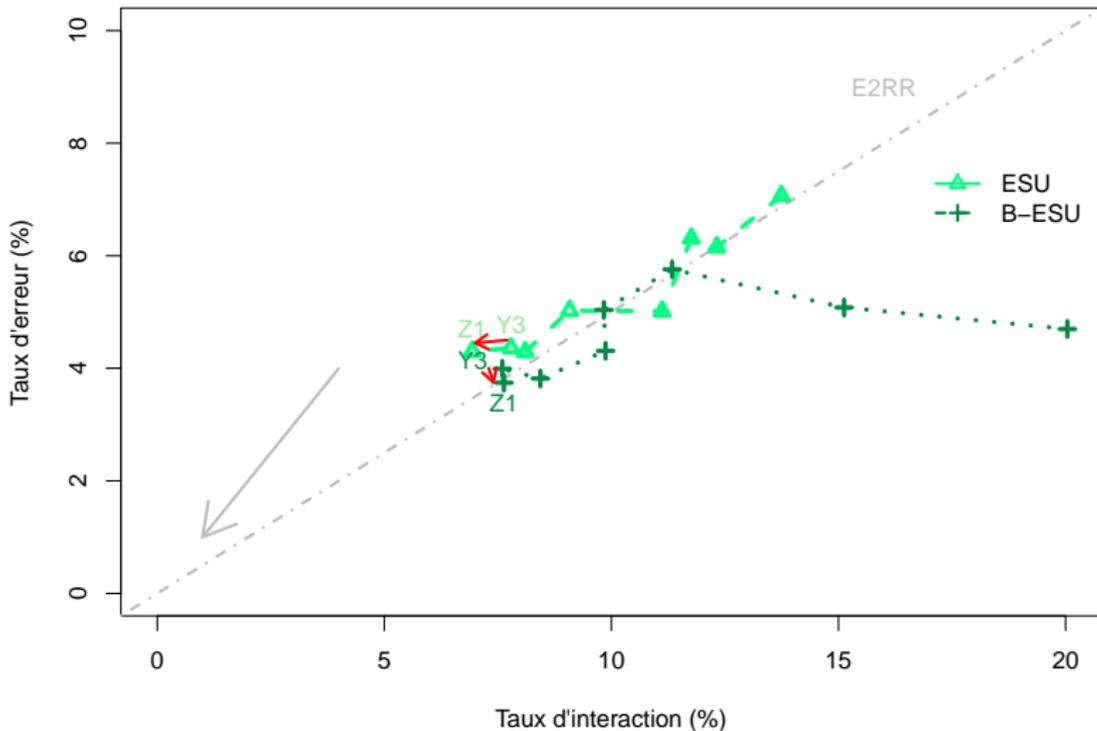
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



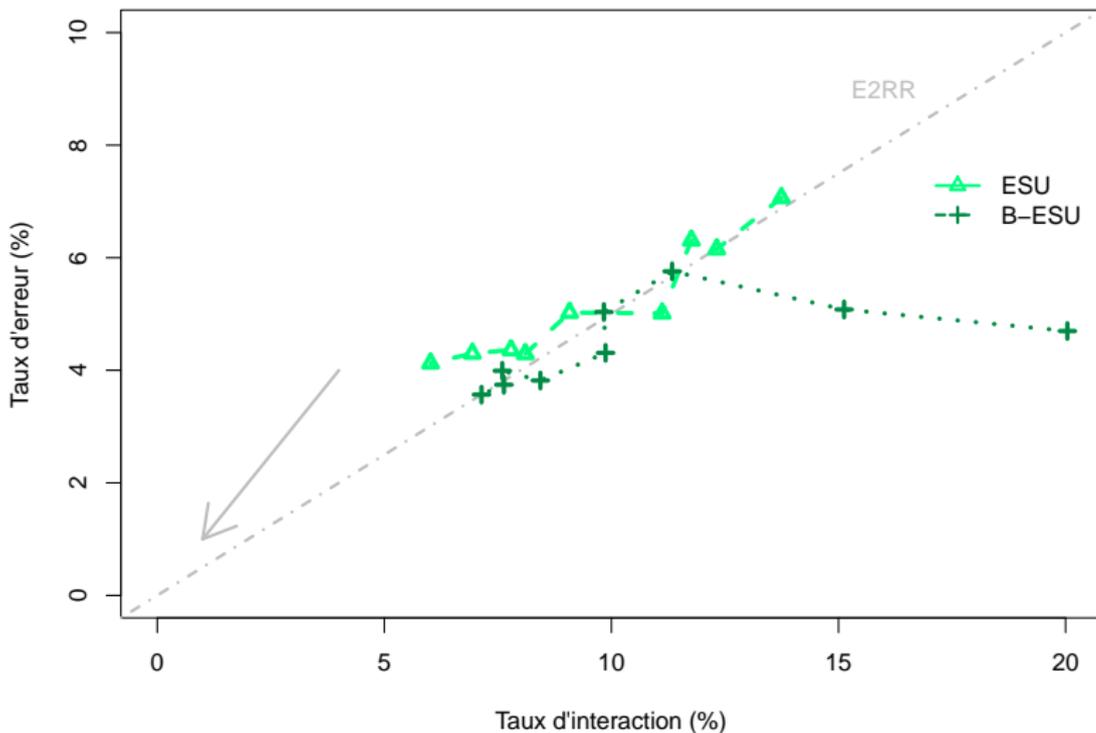
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



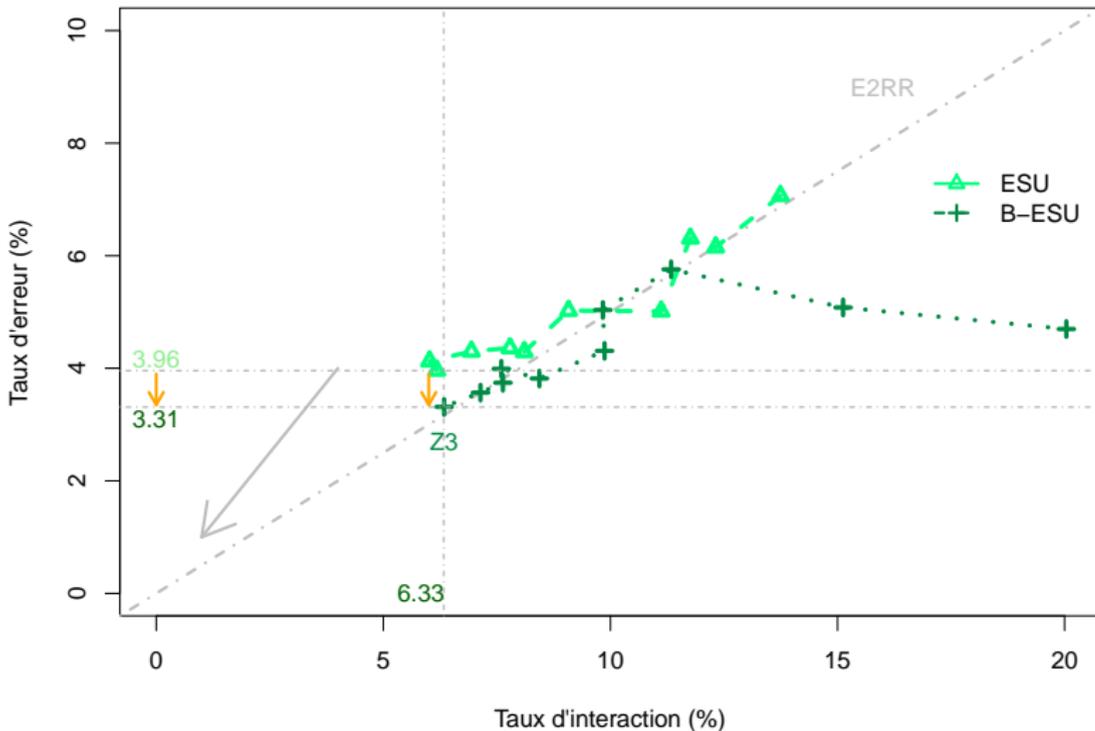
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



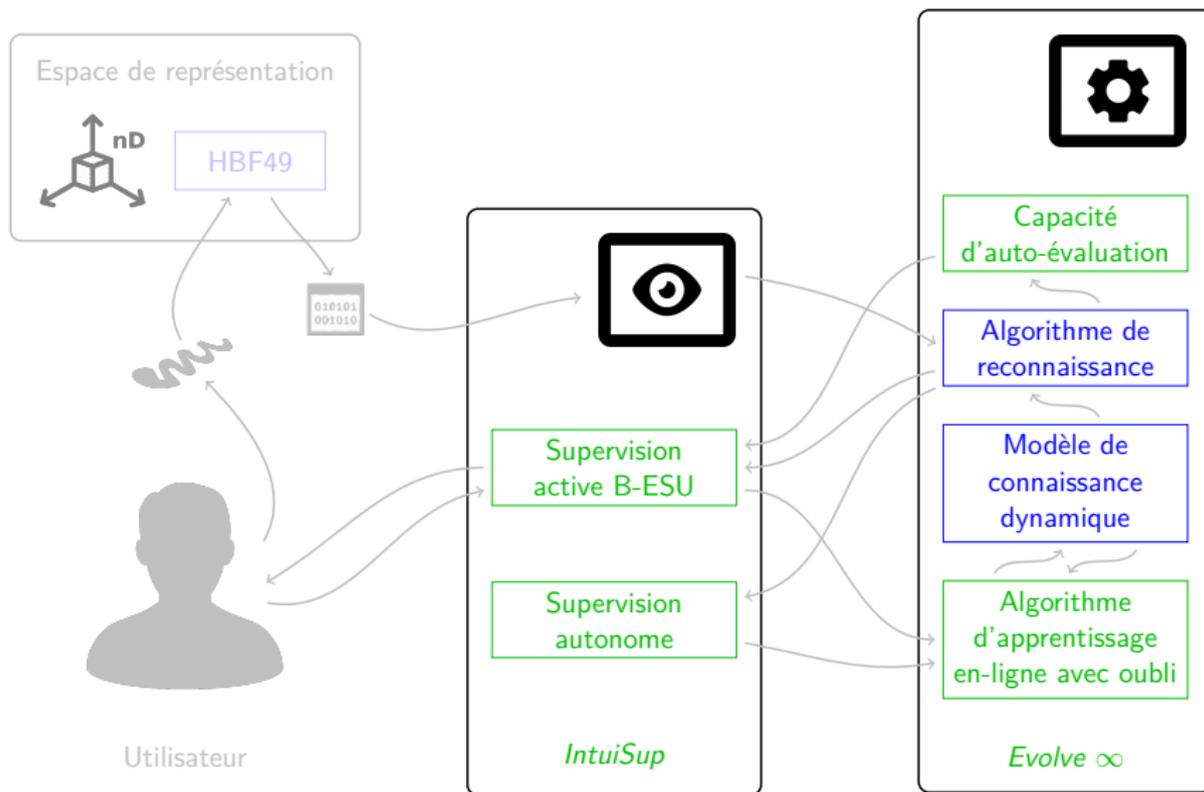
IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



IntuiSup : supervision active dopé B-ESU



Processus

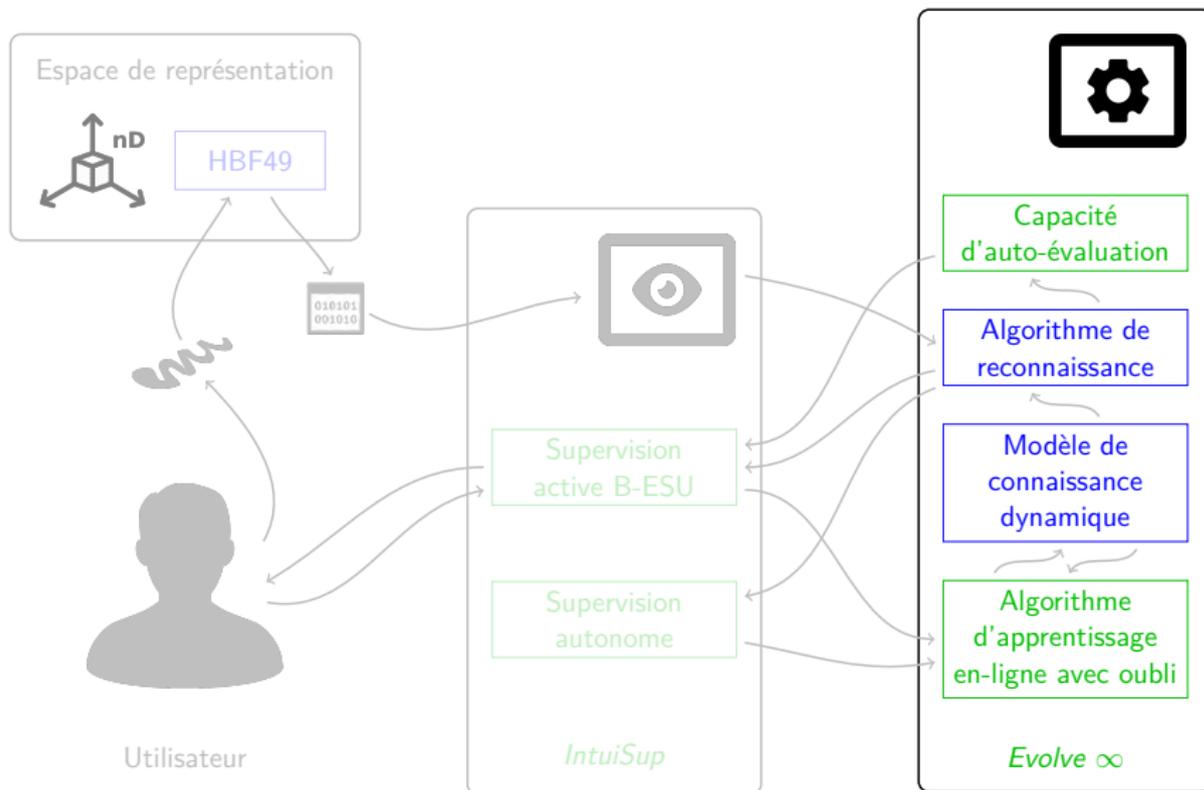


Introduction

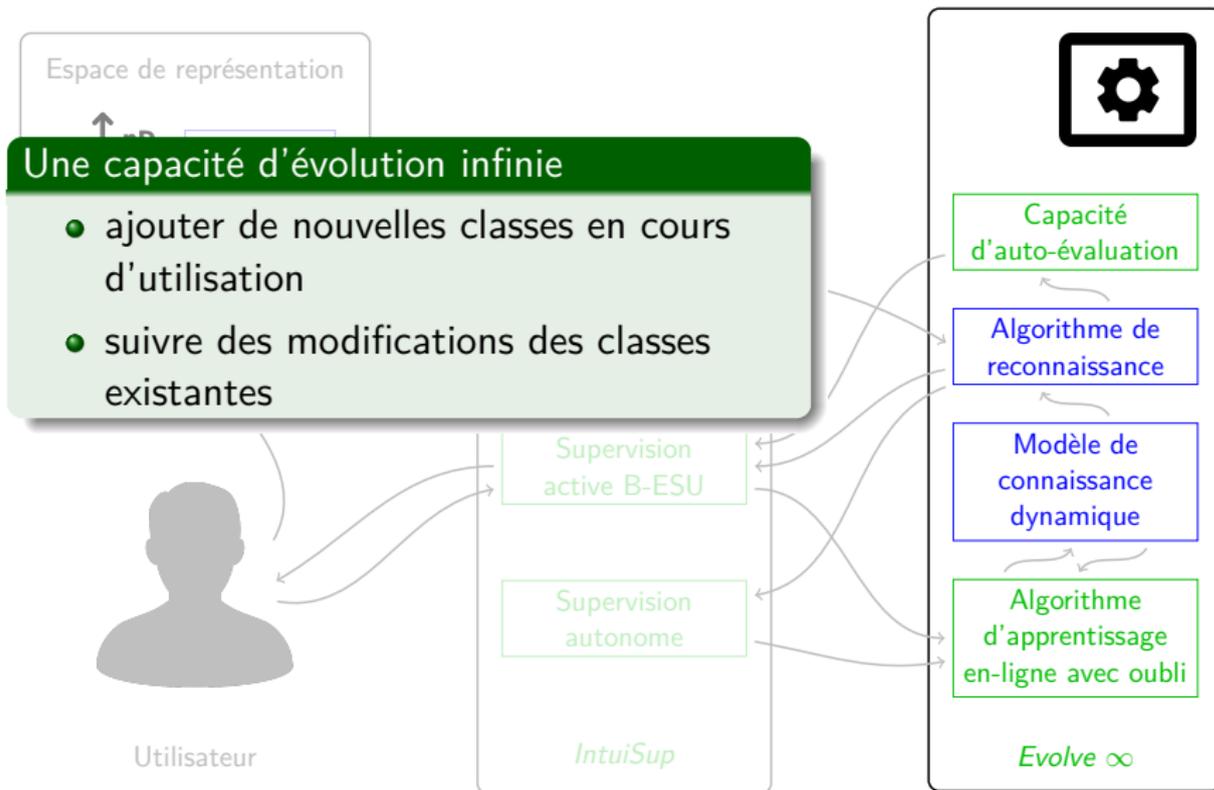
- 1 État de l'art
- 2 Contributions
- 3 Validation expérimentale

Conclusion

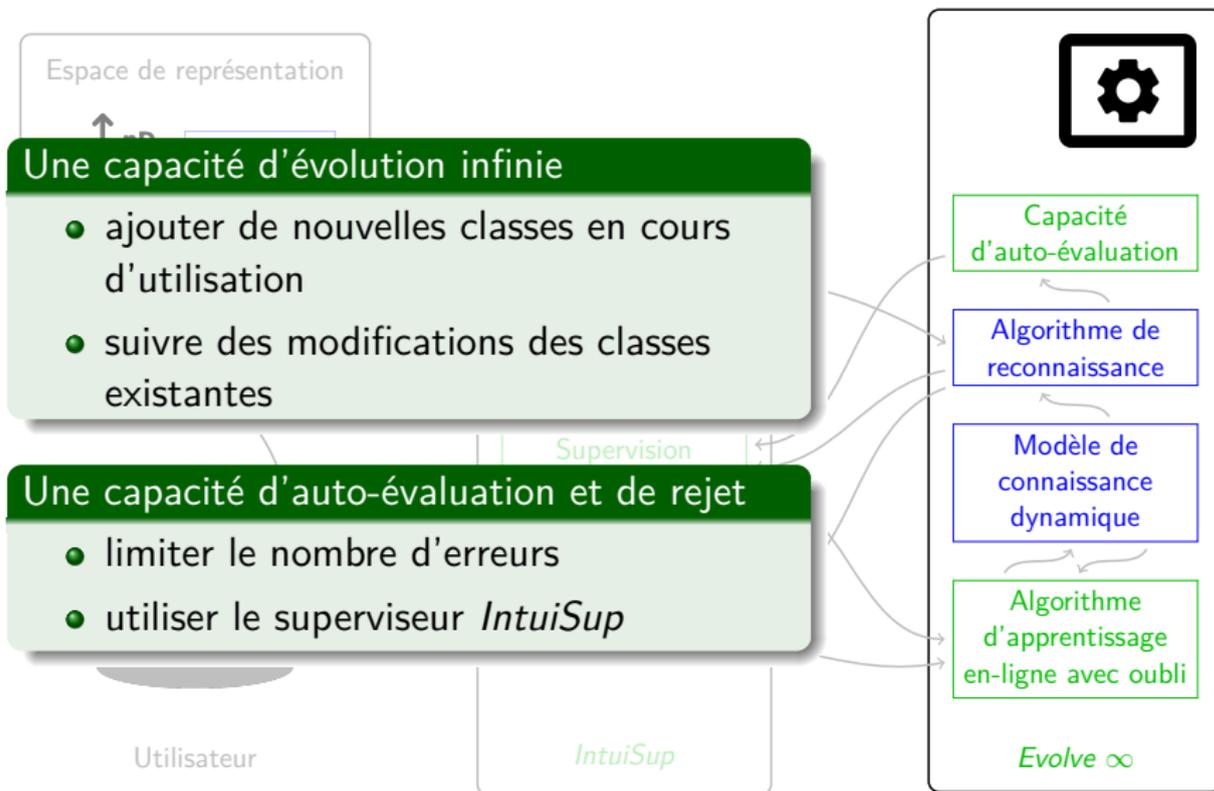
Synthèse : le classifieur *Evolve* ∞



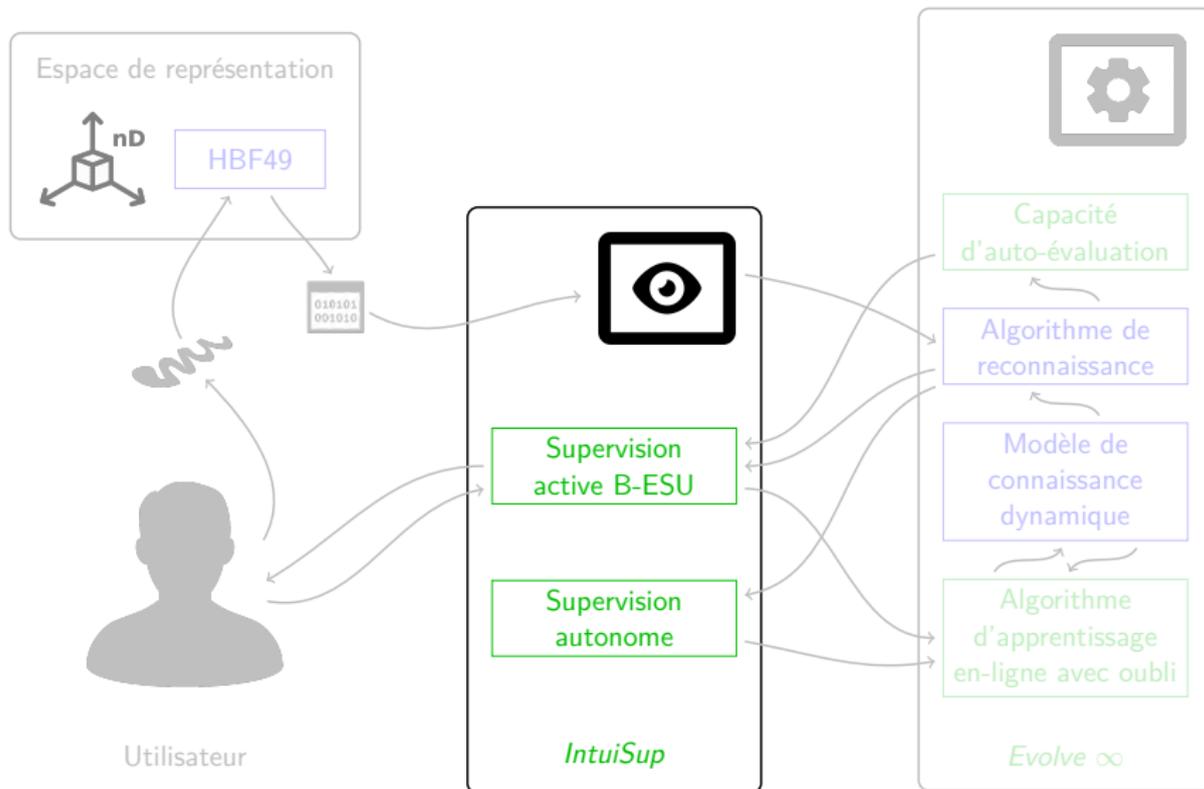
Synthèse : le classifieur *Evolve* ∞



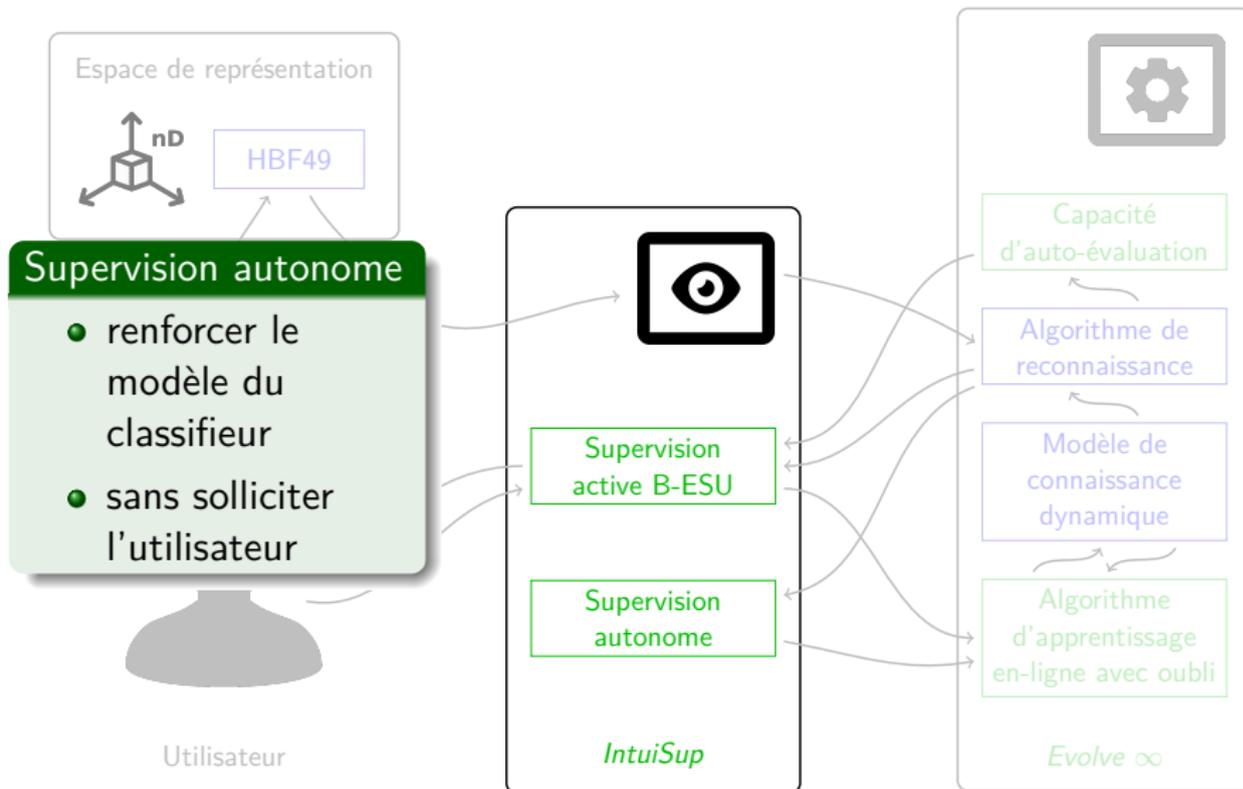
Synthèse : le classifieur *Evolve* ∞



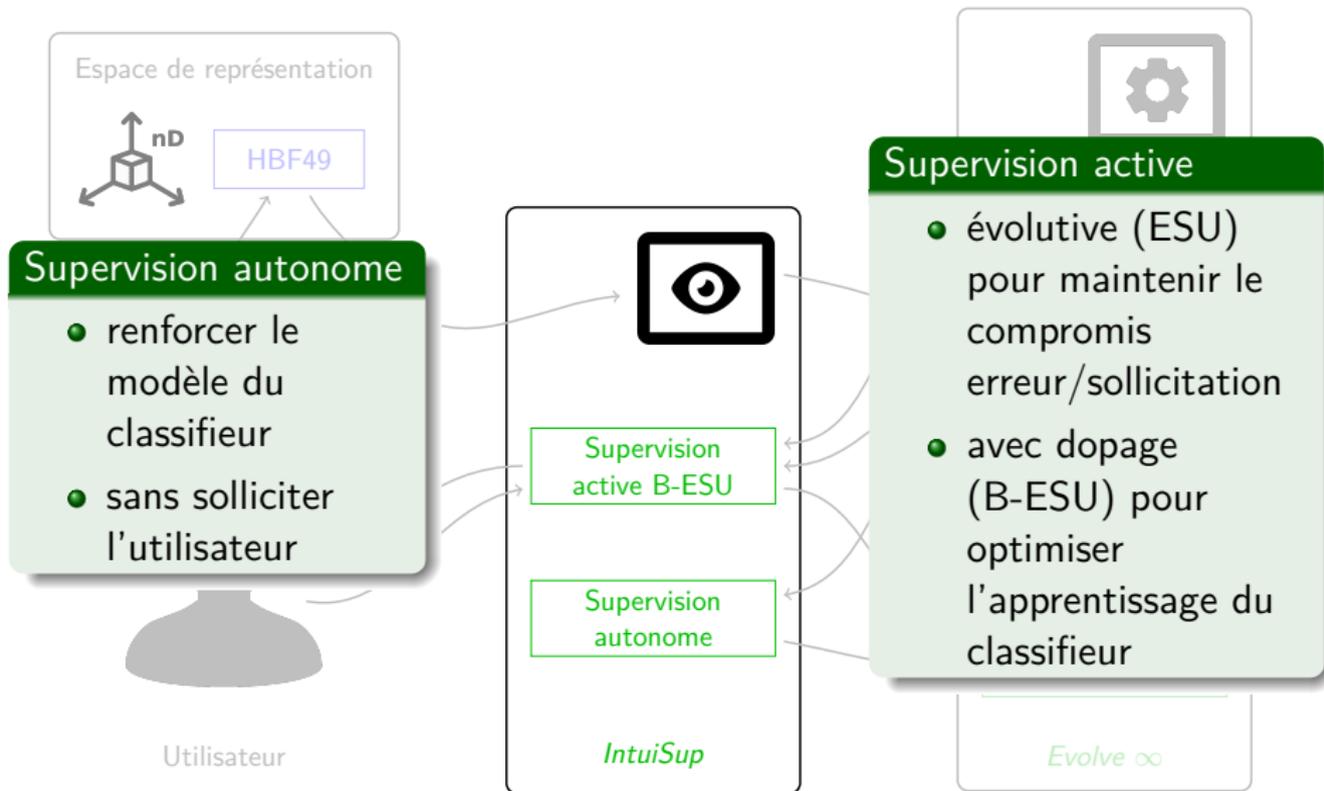
Synthèse : le superviseur *IntuiSup*



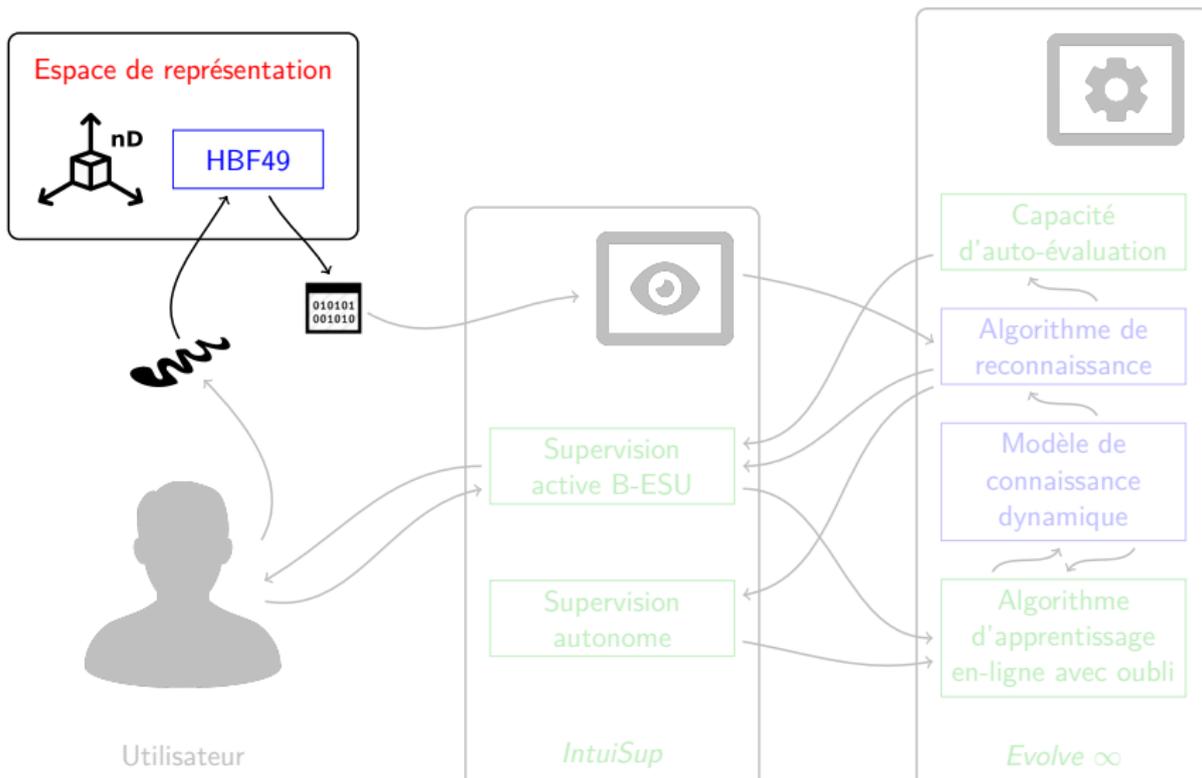
Synthèse : le superviseur *IntuiSup*



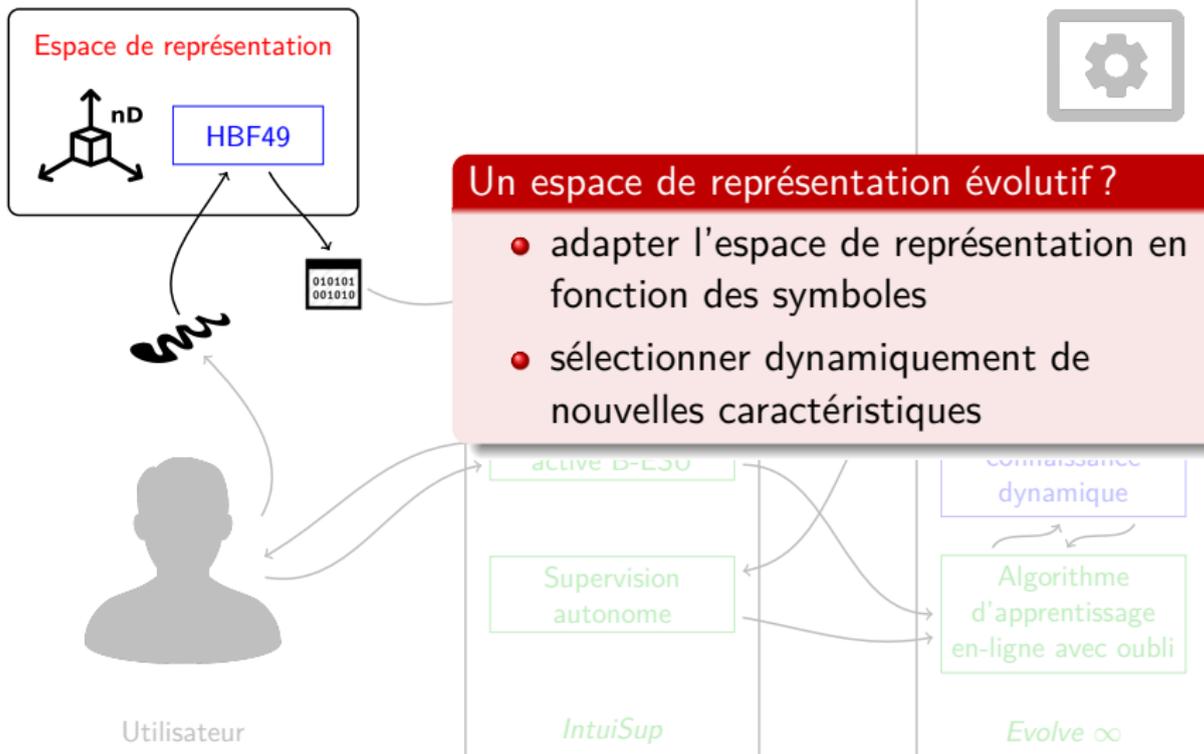
Synthèse : le superviseur *IntuiSup*



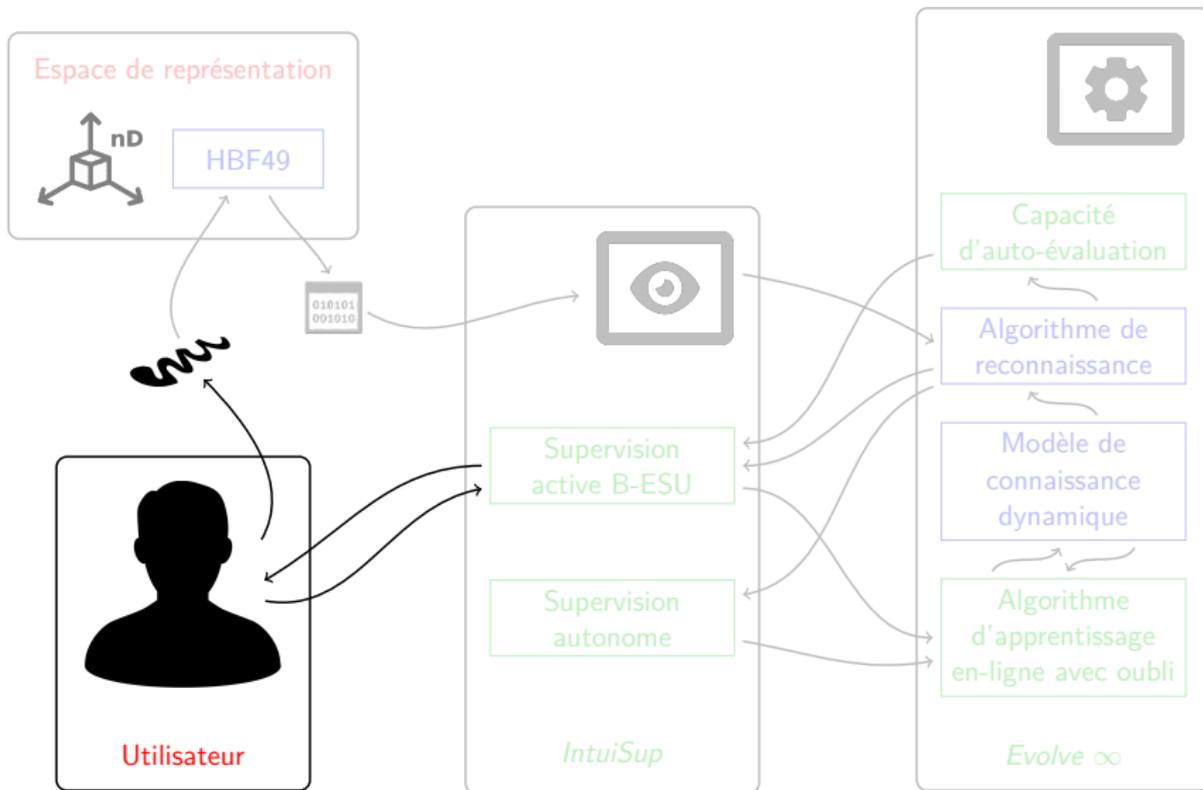
Perspectives : l'espace de représentation



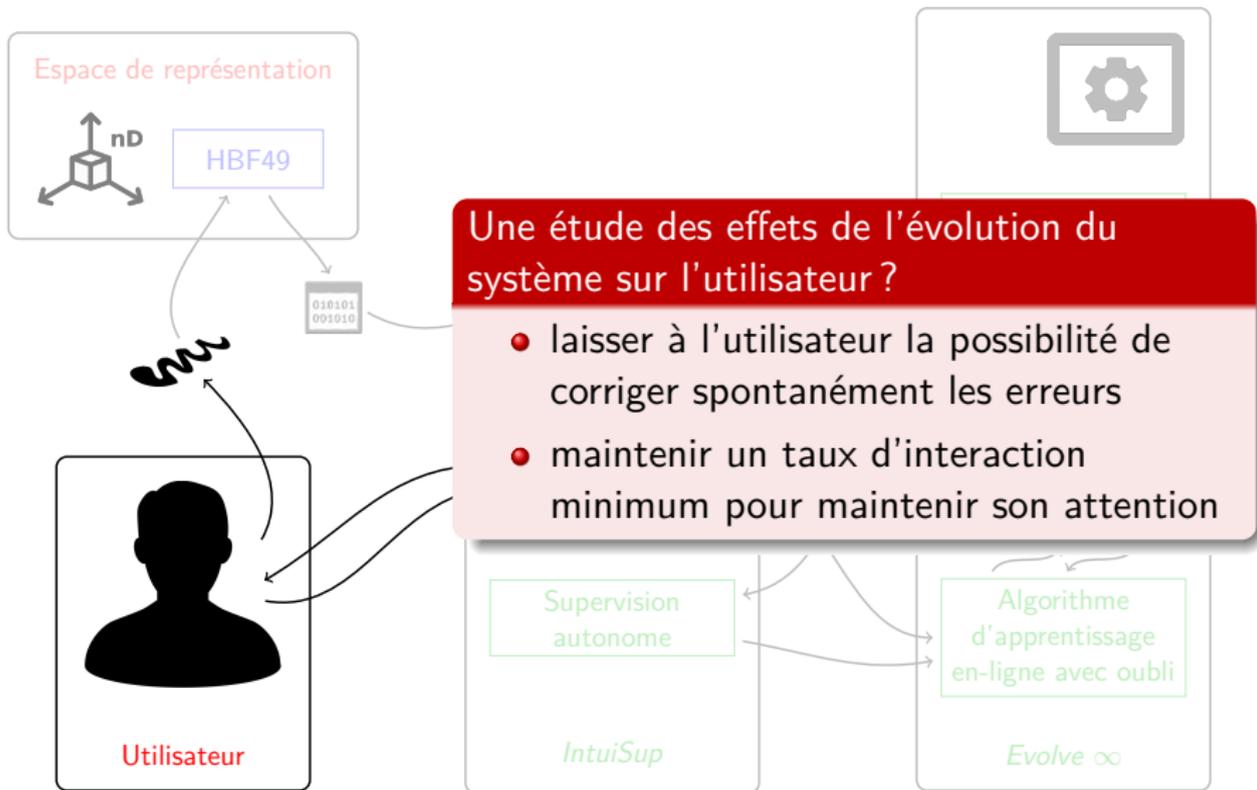
Perspectives : l'espace de représentation



Perspectives : l'utilisateur



Perspectives : l'utilisateur



Apprentissage actif en-ligne d'un classifieur évolutif, application à la reconnaissance de commandes gestuelles

Manuel BOUILLON

manuel.bouillon@protonmail.ch

Thèse INSA Rennes

Dirigée par Eric ANQUETIL

IRISA, CNRS UMR 6074

UEB

18 mars 2016





Almaksour, A. and Anquetil, E. (2011).

Improving premise structure in evolving Takagi-Sugeno neuro-fuzzy classifiers.

Evolving Systems, 2(1) :25–33.



Angelov, P. and Filev, D. (2004).

An approach to online identification of Takagi-Sugeno fuzzy models.

Systems, Man, and Cybernetics, Part B : Cybernetics, IEEE Transactions on, 34(1) :484–498.



Delaye, A. and Anquetil, E. (2013).

HBF49 feature set : A first unified baseline for online symbol recognition.

Pattern Recognition, 46(1) :117–130.

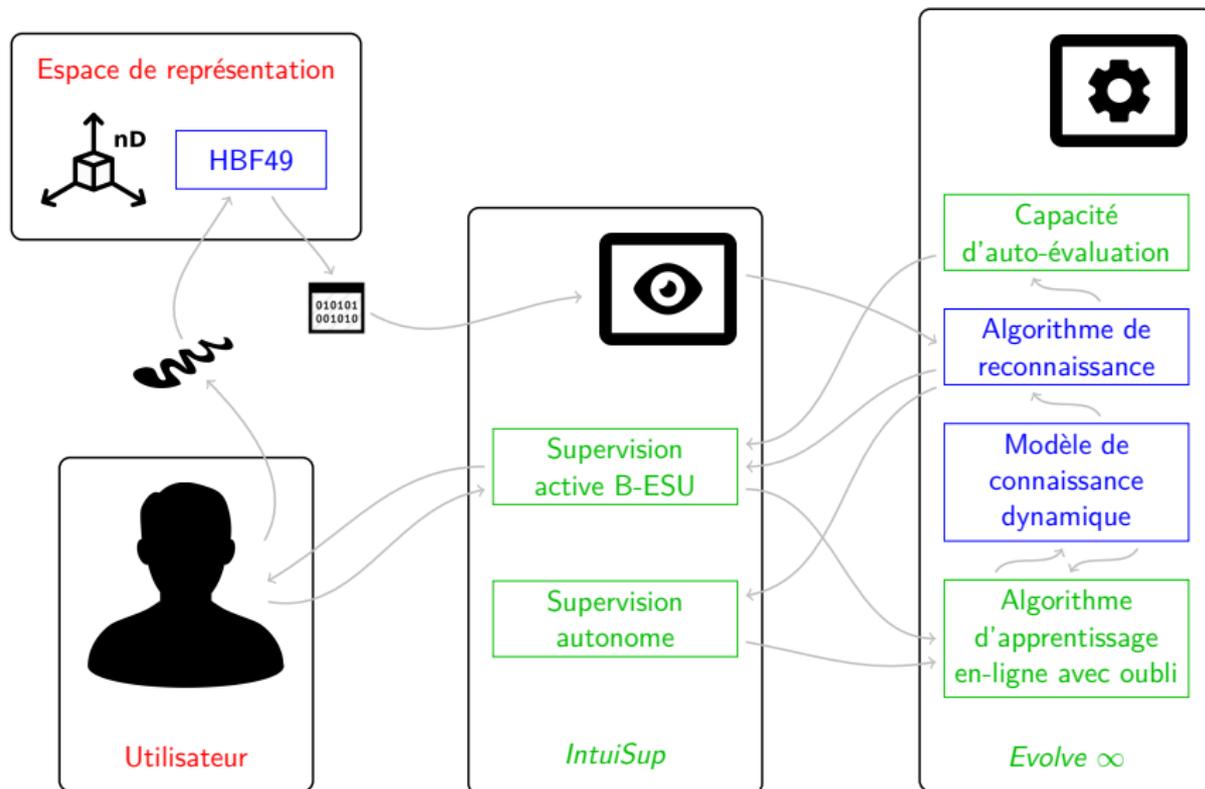


Ramezani, R., Zhou, X., and Angelov, P. (2008).

A fast approach to novelty detection in video streams using recursive density estimation.

volume 2, pages 14–2 –14–7.

Architecture générale



Apprentissage actif en-ligne d'un classifieur évolutif, application à la reconnaissance de commandes gestuelles

Manuel BOUILLON

manuel.bouillon@protonmail.ch

Thèse INSA Rennes

Dirigée par Eric ANQUETIL

IRISA, CNRS UMR 6074

UEB

18 mars 2016

