

# Cahier d'expériences

Exploration de la notion de méta-apprentissage

*Dans quelle mesure un système apprenant peut prendre conscience de ses performances et altérer son comportement ?*

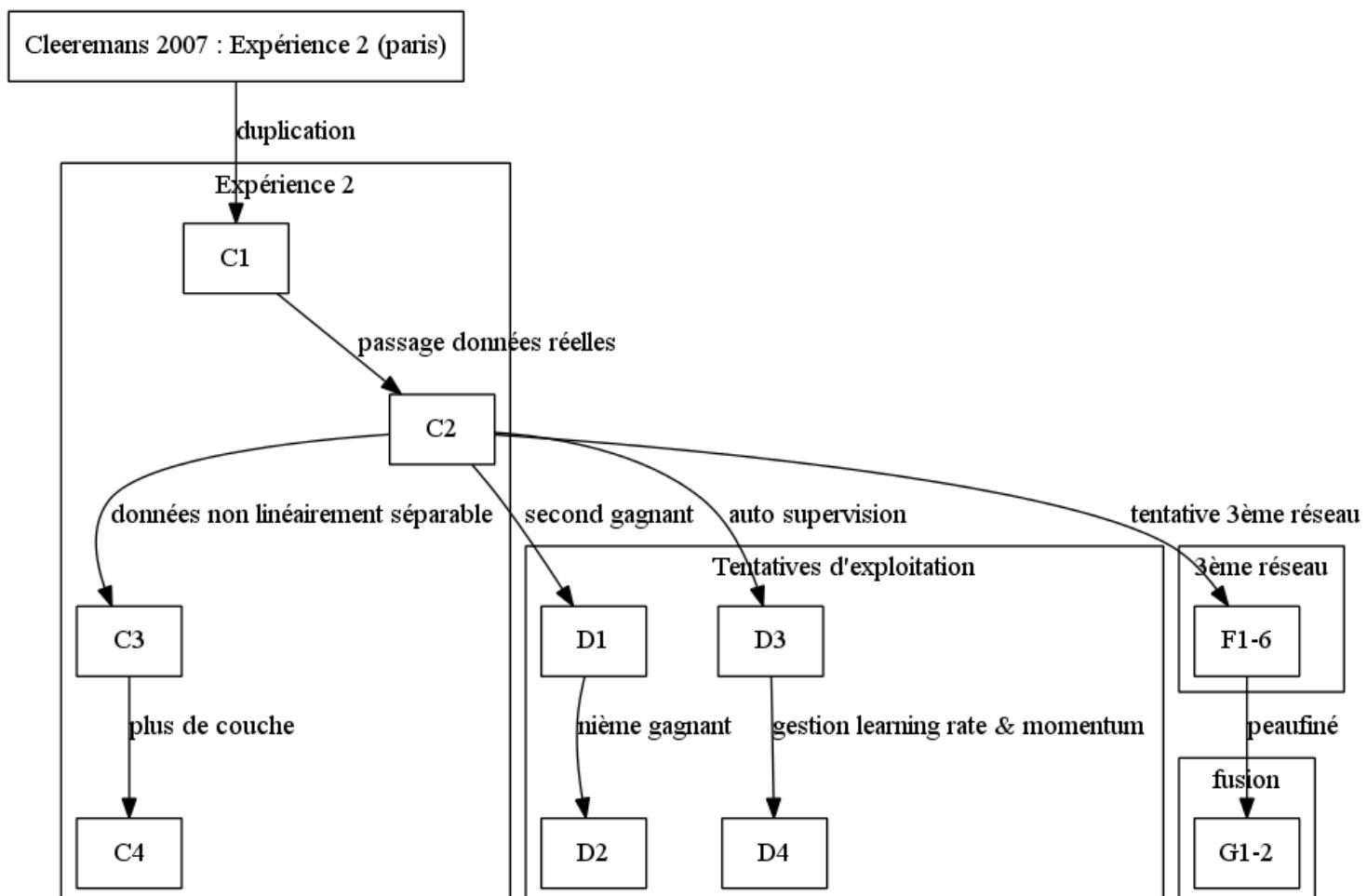
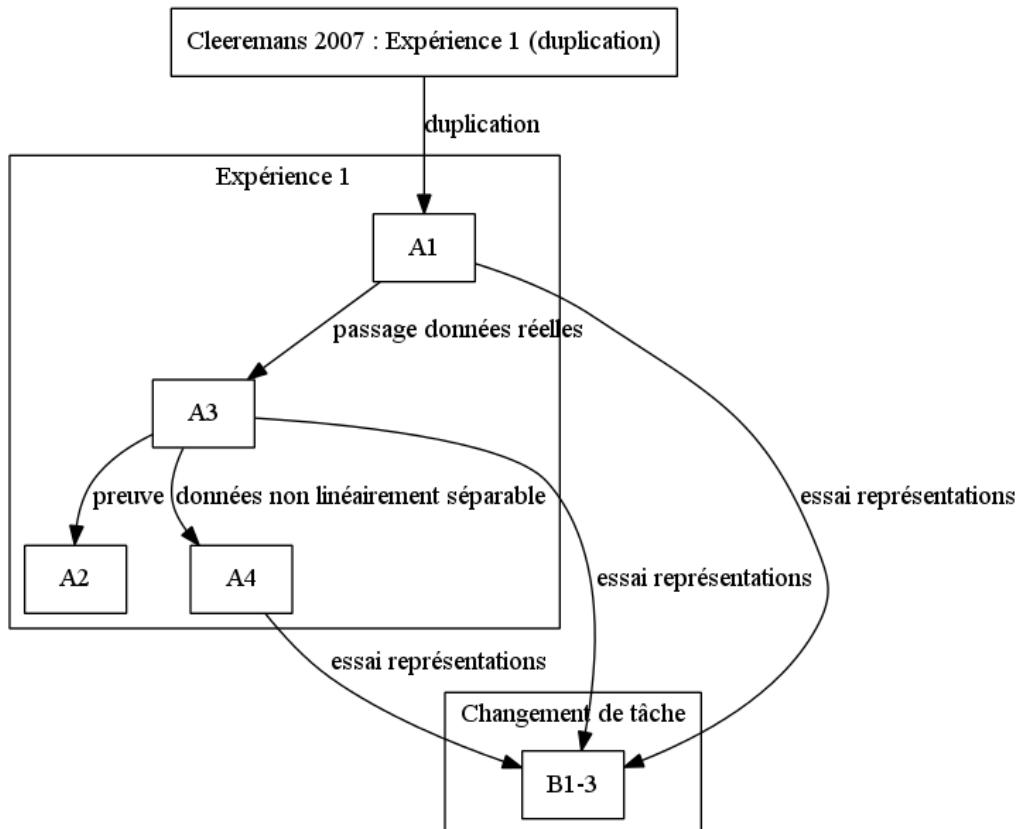
Yann Boniface, Alain Dutech, Nicolas Rougier  
Matthieu Zimmer

4 juin 2012

## Table des matières

Table de matière	2
Workflow	3
Expérience A1	4
Expérience A2	9
Expérience A3	14
Expérience A4	20
Expérience B1	24
Expérience B2	28
Expérience B3	32
Expérience C1	36
Expérience C2	40
Expérience C3	44
Expérience C4	48
Expérience D1	51
Expérience D2	55
Expérience D3	59
Expérience D4	63
Expérience F1	67
Expérience F2	71
Expérience F3	75
Expérience F4	79
Expérience F5	83
Expérience F6	86
Expérience G1	90
Expérience G2	94

## Workflow



# Expérience A1

## Objectif

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, plus particulièrement sur des perceptrons multicouches.

Reproduction et approfondissement des résultats de la première expérience de l'article Cleeremans Alex (2007).

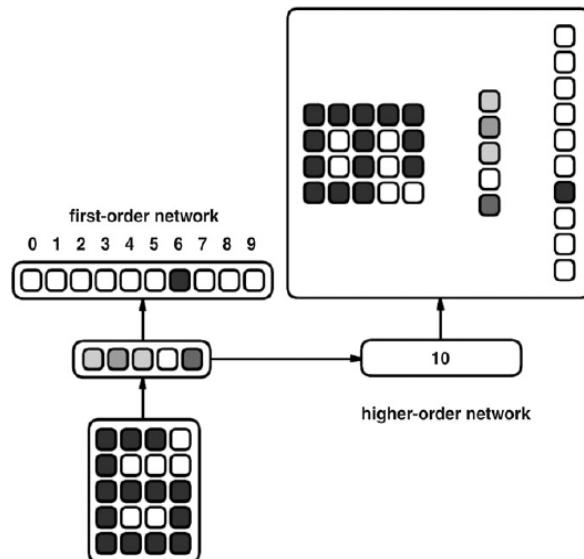
## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 20 neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 5 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

## Schéma

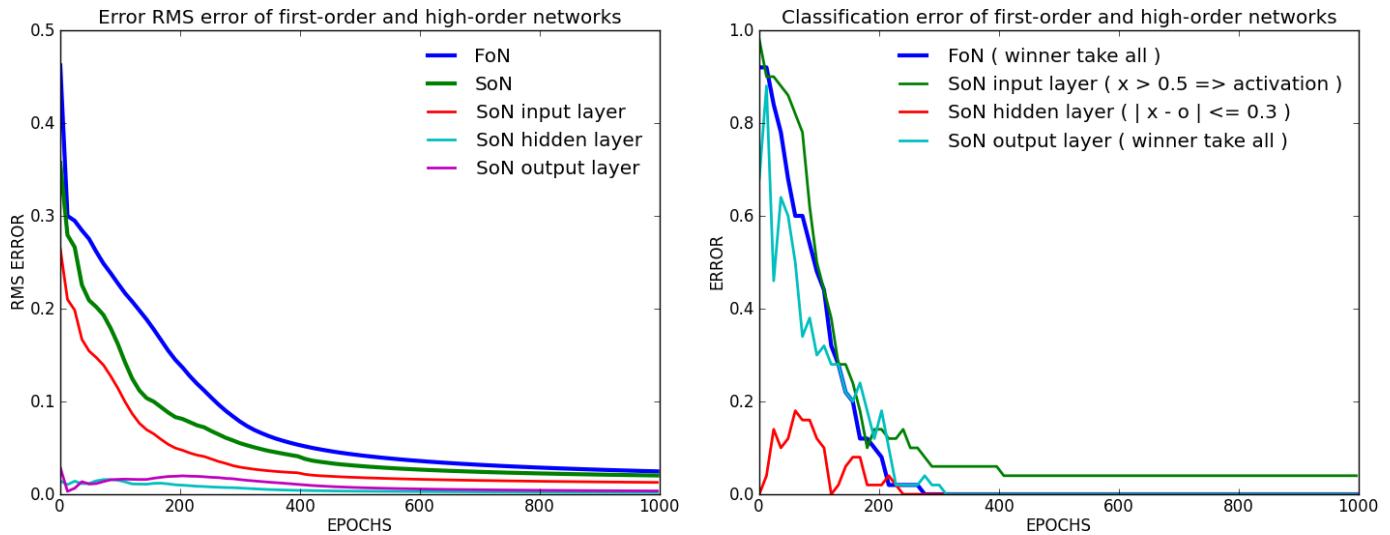


## Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- 10 chiffres différents présentés
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



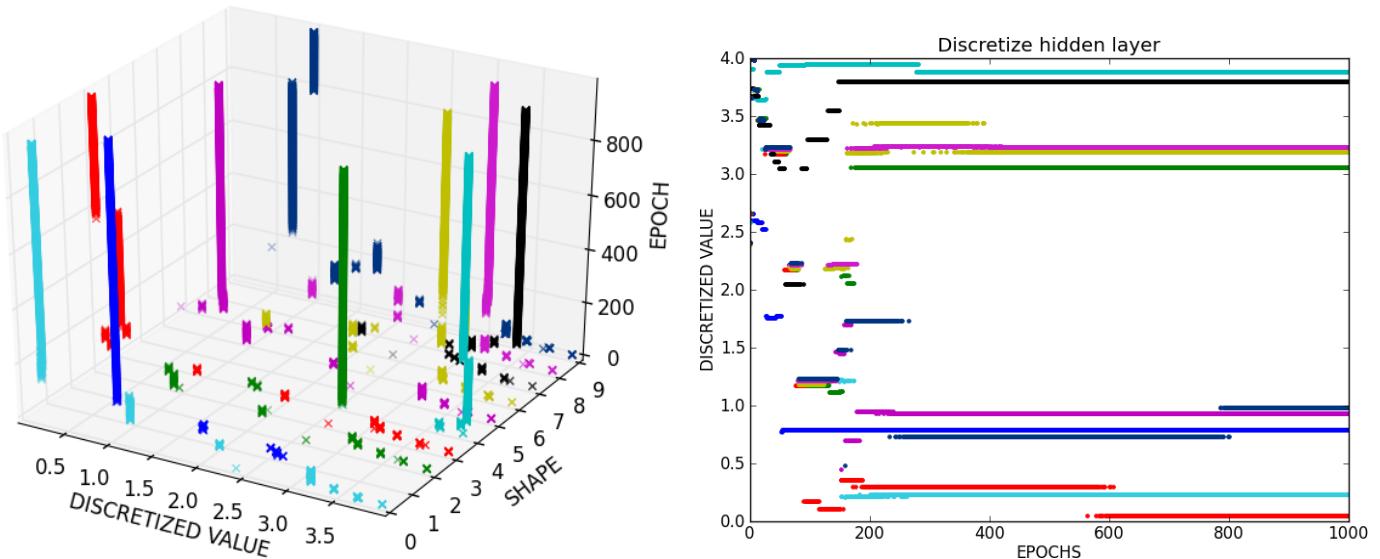
### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) sur les couches à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer
- l'erreur de classification représente le taux de mauvaises réponses pour les 10 formes présentées sur une époque
- pour SoN input layer et hidden layer, un winner-take-all n'est pas possible (ce n'est pas de la classification, mais une duplication), il y a donc un seuil d'erreur qui ne doit pas être dépassé par un seul neurone

### Conclusion

- le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- le second réseau réussit à apprendre sa tâche de duplication
- la couche cachée et la couche de sortie ne posent aucun problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier

### Secondaires Discrétisation de la couche cachée du premier réseau



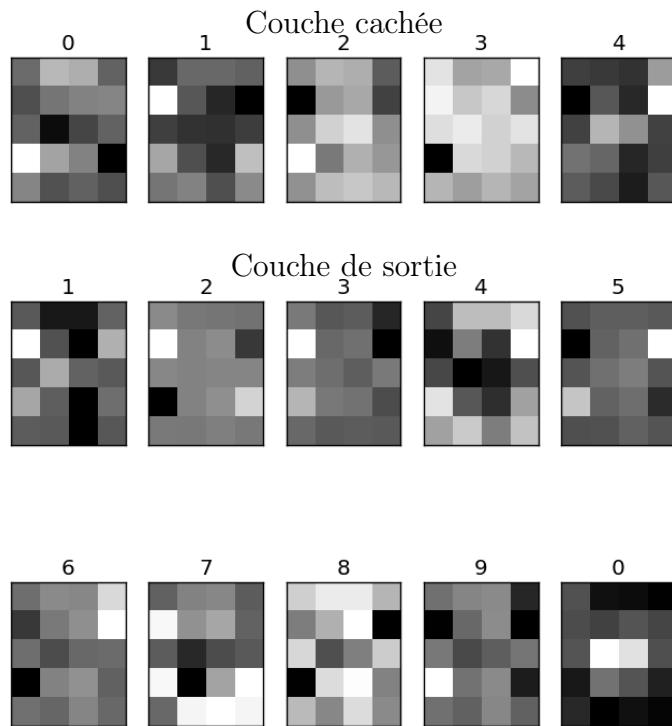
### Notes

- une couleur équivaut à un chiffre présent
- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes Discrétilisation)

**Conclusion** On peut voir ici, qu'un simple perceptron permet de résoudre le problème ; puisqu'à la fin, aucunes des couleurs n'est superposées à une autre.

Les neurones se stabilisent très rapidement (autour de la 50<sup>ième</sup> époque en moyenne), le tout permettant au second réseau d'avoir des entrées très peu variables, favorisant son apprentissage.

**Secondaires** Représentations au travers des poids du premier réseau

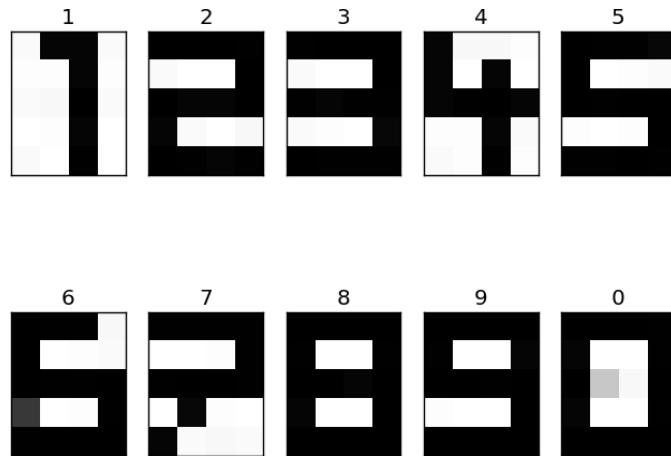


### Notes

- plus une case est noire, plus sa présence est importante pour le chiffre en question
- plus une case est blanche, plus son absence est importante
- c'est seulement lorsqu'elle est grise qu'elle n'est pas prise en compte

**Conclusion** Au vu du peu d'entrées différentes présentées au réseau (10), on peut voir qu'il fixe 3 à 4 points précis pour classifier un nombre.

**Secondaires** Prototypes à l'intérieur de la première partie de la couche de sortie du second réseau



### Notes

- Il s'agit de la moyenne des réponses du second réseaux sur toutes les entrées

**Conclusion** Le peu d'entrées permet l'apprentissage par-coeur de chaque forme. À tel point qu'on ne peut pas vraiment parler de prototype.

## Conclusion

Comme il l'est dit dans Cleeremans Alex (2007), cette architecture tente d'abolir les problèmes des réseaux connexionnistes classiques à avoir un semblant de conscience.

À savoir :

- qu'ils ne savent pas qu'ils peuvent se trouver dans différents états, et qu'ils ne traitent pas leurs propres états : d'où la présence de ce second réseau qui tente de traiter ses états et d'apprendre qu'il en a plusieurs
- des représentations rentant bloquées dans la chaîne de causalité de la tâche à apprendre : d'où le fait que ce second réseau n'affecte pas l'apprentissage du premier (ie. pour ne pas retomber dans la chaîne de causalité)

Au vu des résultats secondaires qui nous montre que la tâche est vraiment facile, dans l'Expérience A3, nous nous sommes intéressé à la même architecture mais sur des données réelles.

Quant à l'Expérience B1, nous avons expérimenté les représentations et le transfert de tâche.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée  $hiddenNeuron$  de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par  $number\_cutting$  valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0,25] [0 ; 0,25] [0,25 ; 0,5] [0,5 ; 0,75] [0,25 ; 0,5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionisme.

## Expérience A2

### Objectif

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, plus particulièrement sur des perceptrons multicouches.

Dans l'optique d'éprouver la première expérience de l'article Cleeremans Alex (2007) sur des données plus réelles, il sagit, dans un premier temps, de montrer qu'une augmentation du nombre de neurones, et qu'un simple agrandissement des chiffres en entrées, n'affecte pas fondamentalement le fonctionnement du réseau.

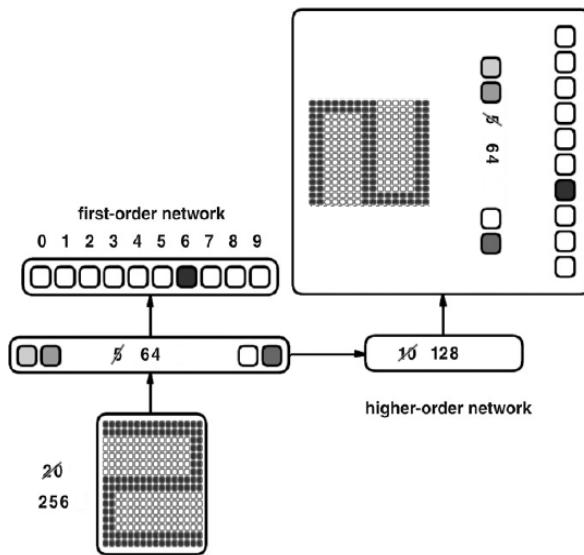
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 64 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

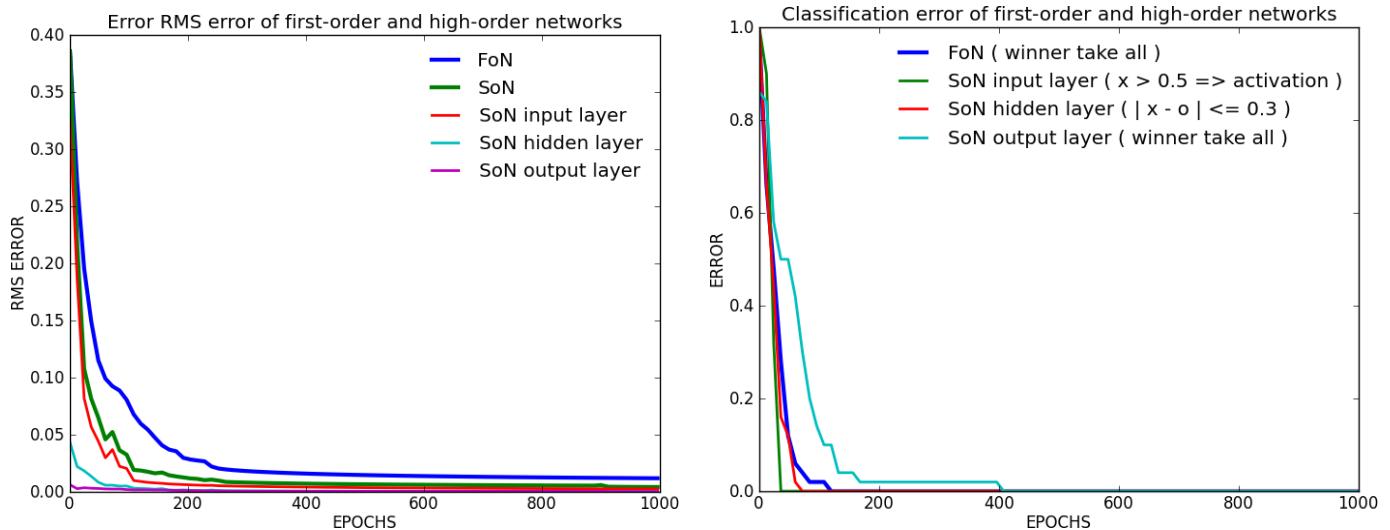


### Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- **10 formes** de chiffres différents présentées (shuffle)
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



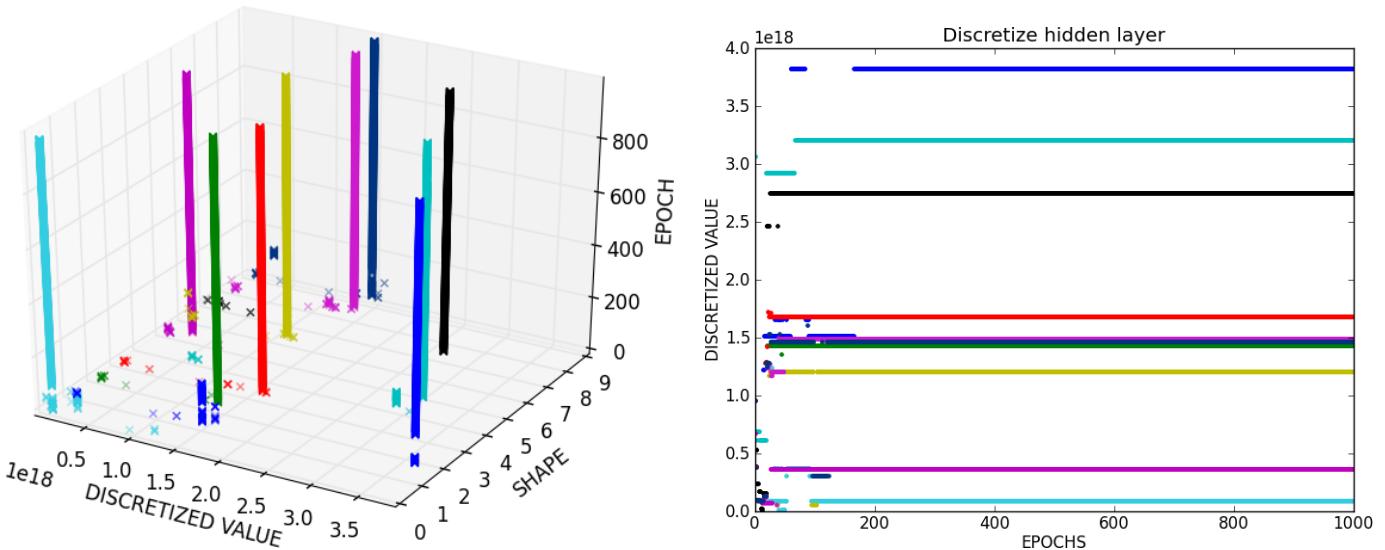
### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) sur les couches à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer
- l'erreur de classification représente le taux de mauvaises réponses pour les 10 formes présentées sur une époque
- pour SoN input layer et hidden layer, un winner-take-all n'est pas possible (ce n'est pas de la classification, mais une duplication), il y a donc un seuil d'erreur qui ne doit pas être dépassé par un seul neurone

### Conclusion

- le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- le second réseau réussit à apprendre sa tâche de duplication
- la couche cachée et la couche de sortie ne posent aucun problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier
- l'augmentation du nombre de neurone ne change pas les tendances des courbes

### Secondaires Discrétisation de la couche cachée du premier réseau



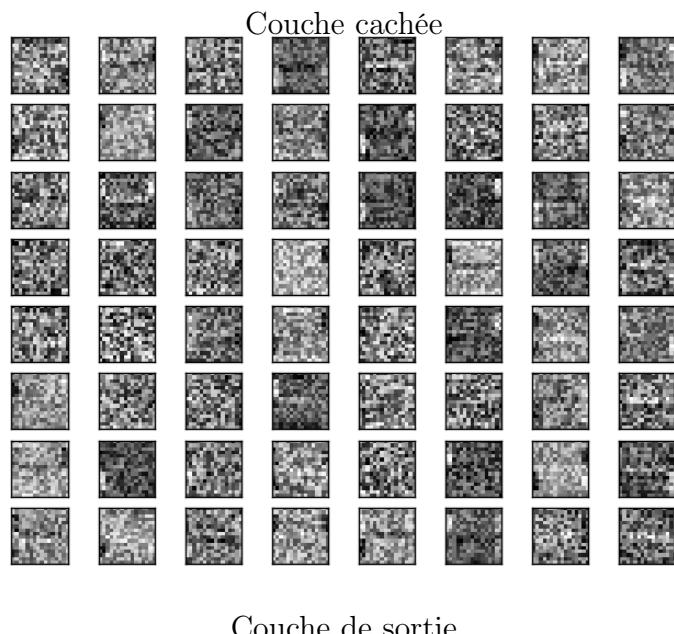
### Notes

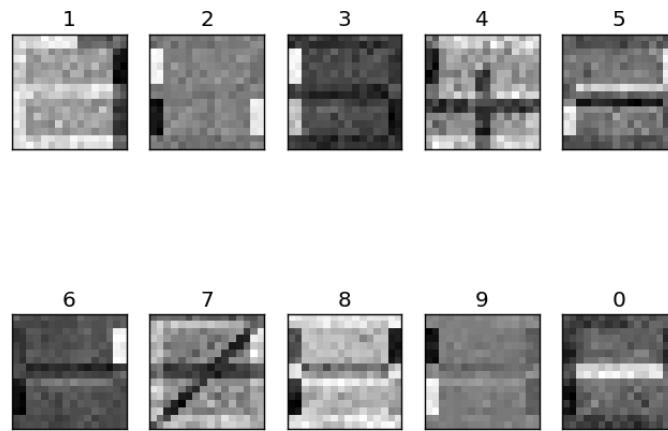
- une couleur équivaut à un chiffre présenté
- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes Discrétilisation)

**Conclusion** On peut voir ici, qu'un simple perceptron permet de résoudre le problème ; puisqu'à la fin, aucunes des couleurs n'est superposées à une autre.

Les neurones se stabilisent très rapidement (autour de la 50<sup>ième</sup> époque en moyenne), le tout permettant au second réseau d'avoir des entrées très peu variables, favorisant son apprentissage.

**Secondaires** Représentations au travers des poids du premier réseau

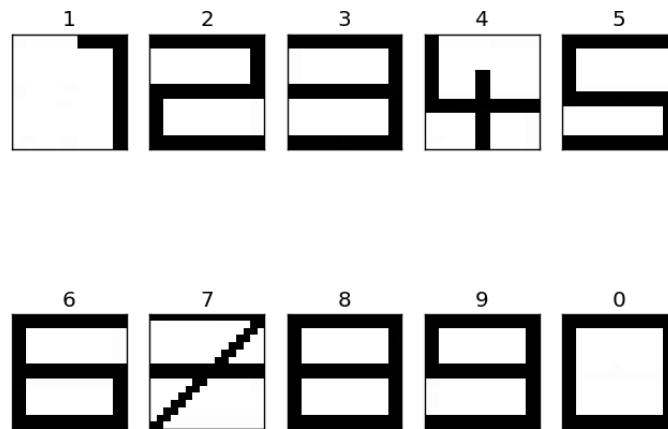


**Notes**

- plus une case est noire, plus sa présence est importante pour le chiffre en question
- plus une case est blanche, plus son absence est importante
- c'est seulement lorsqu'elle est grise qu'elle n'est pas prise en compte

**Conclusion** Il est intéressant de remarquer qu'au vu du peu d'entrée, le réseau cible des neurones très précis. Pour le chiffre 2, par exemple, seul 3 lignes sont ciblées.

**Secondaires** Prototypes à l'intérieur de la première partie de la couche de sortie du second réseau

**Notes**

- Il s'agit de la moyenne des réponses du second réseaux sur toutes les entrées

**Conclusion** Le peu d'entrées permet l'apprentissage par-coeur de chaque forme. À tel point qu'on ne peut pas vraiment parler de prototype.

## Conclusion

L'augmentation du nombre de neurones dans le réseau, et l'augmentation de la taille des entrées ne modifient pas l'attitude du réseau.

Au vu des résultats secondaires qui nous montre que la tâche est vraiment facile, dans l'Expérience A3, nous nous sommes intéressé à la même architecture mais sur des données réelles.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée *hiddenNeuron* de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par *number\_cutting* valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0,25] [0 ; 0,25] [0,25 ; 0,5] [0,5 ; 0,75] [0,25 ; 0,5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionisme.

# Expérience A3

## Objectif

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, plus particulièrement sur des perceptrons multicouches.

Réalisation de la première expérience de l'article Cleeremans Alex (2007) sur des données réelles.

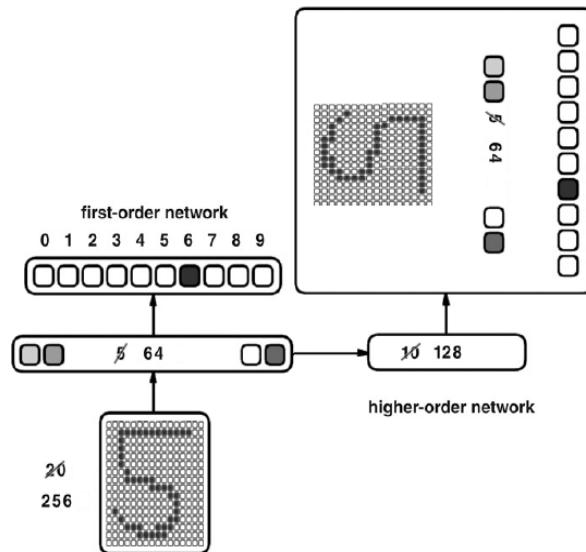
## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 64 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

## Schéma

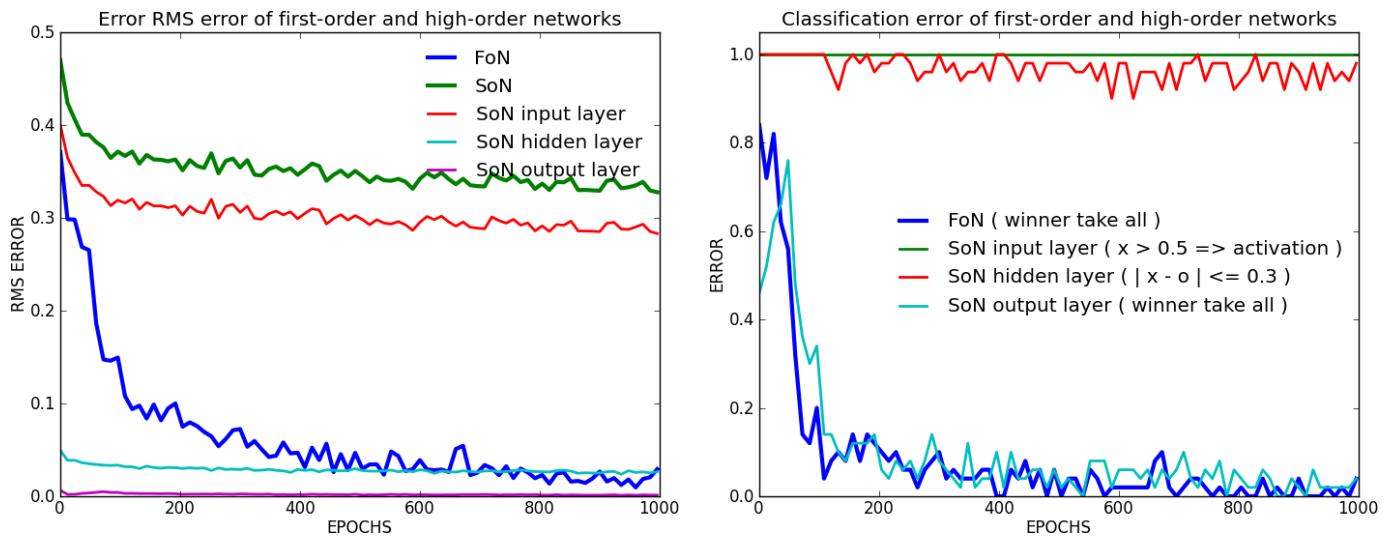


## Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



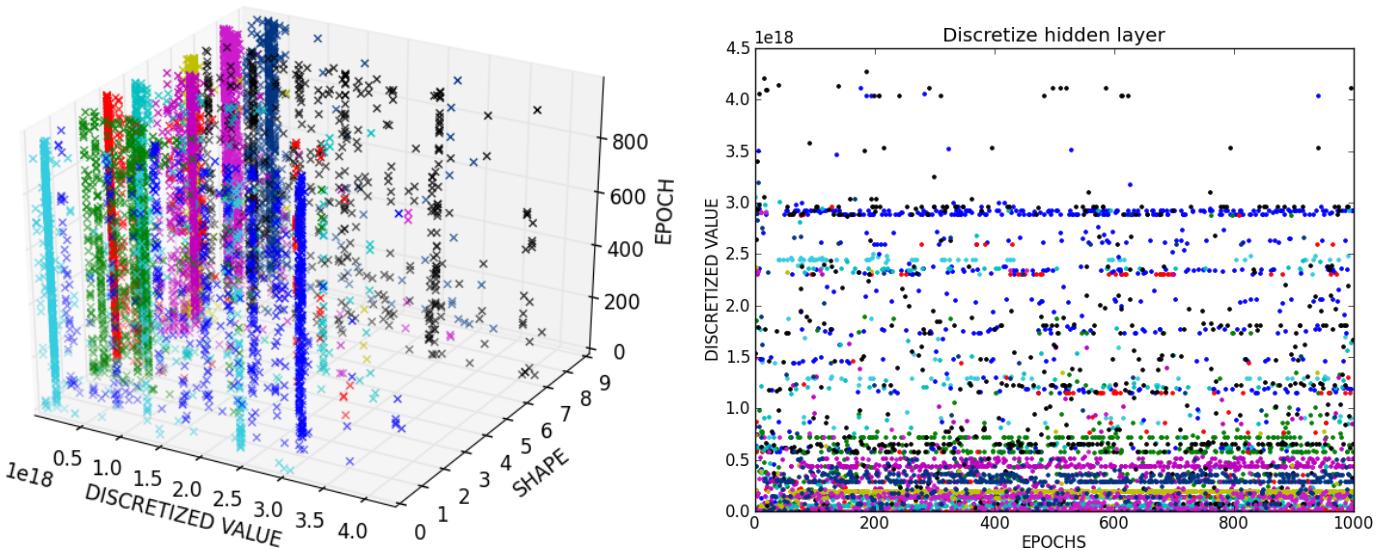
### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) sur les couches à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer
- l'erreur de classification représente le taux de mauvaises réponses pour les 10 formes présentées sur une époque
- pour SoN input layer et hidden layer, un winner-take-all n'est pas possible (ce n'est pas de la classification, mais une duplication), il y a donc un seuil d'erreur qui ne doit pas être dépassé par un seul neurone

### Conclusion

- le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- le second réseau **ne réussit pas** à apprendre sa tâche de duplication (seul la couche cachée et de sortie sont appris)
- la couche cachée et la couche de sortie posent peu de problèmes d'apprentissage
- le second réseau a du mal à reproduire les entrées
- le second réseau apprend maintenant (vs Expérience A1, Expérience A2) moins rapidement que le premier

### Secondaires Discrétisation de la couche cachée du premier réseau



### Notes

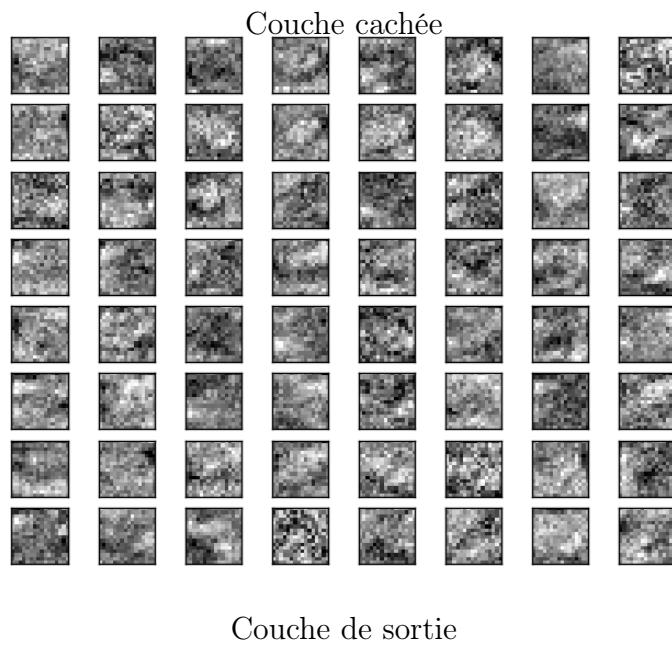
- une couleur équivaut à un chiffre présenté
- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes Discréttisation)

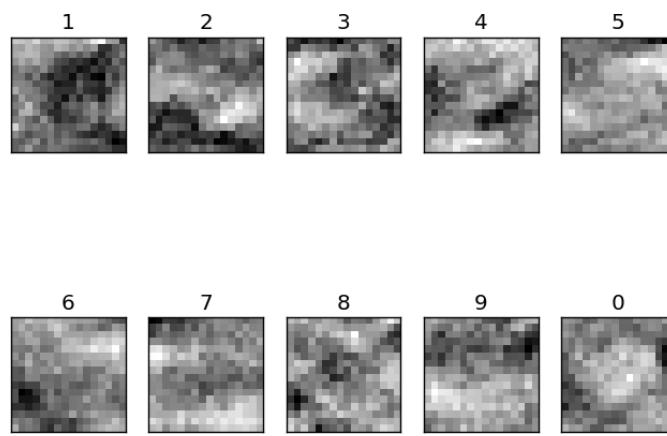
**Conclusion** Nous pouvons maintenant expliquer les raisons provoquant le mauvais apprentissage des entrées par le second réseau :

Pour un seul chiffre présenté, il existe différentes valeurs de la couche cachée le représentant ( factorisation dans la couche cachée du premier réseau). Le second réseau ne peut donc pas apprendre toutes les entrées.

Une même valeur discrétisée peut correspondre à plusieurs couleurs (différents nombres) ce qui augmentent la difficulté d'apprentissage.

**Secondaires** Représentations au travers des poids du premier réseau

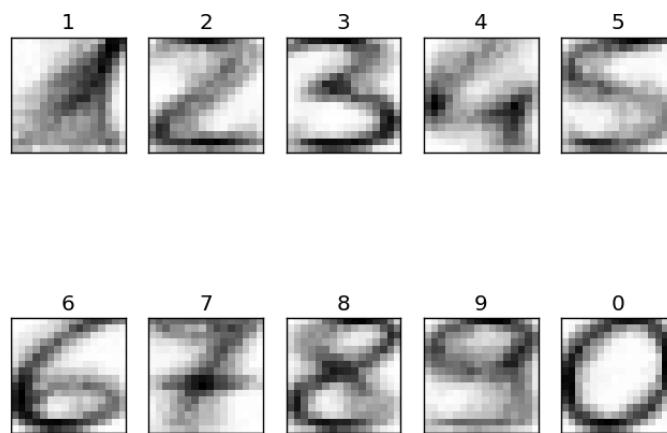


**Notes**

- plus une case est noire, plus sa présence est importante pour le chiffre en question
- plus une case est blanche, plus son absence est importante
- c'est seulement lorsqu'elle est grise qu'elle n'est pas prise en compte

**Conclusion** On arrive, sans trop de mal, à distinguer les chiffres.

**Secondaires** Prototypes à l'intérieur de la première partie de la couche de sortie du second réseau

**Notes**

- Il s'agit de la moyenne des réponses du second réseaux sur toutes les entrées

**Conclusion** Il est intéressant de constaté que malgré la difficulté de la tâche, ces prototypes émergent.

Et que contrairement à ce qu'indique les performances, les chiffres sont bien distincts.

On peut, par ailleurs, conjecturer que plus la couche cachée du premier réseau est petite, plus les prototypes seront factorisés (ie. personnels au réseau).

## Conclusion

Comme il l'est dit dans Cleeremans Alex (2007), cette architecture tente d'abolir les problèmes des réseaux connexionnistes classiques à avoir un semblant de conscience.

À savoir :

- qu'ils ne savent pas qu'ils peuvent se trouver dans différents états, et qu'ils ne traitent pas leurs propres états : d'où la présence de ce second réseau qui tente de traiter ses états et d'apprendre qu'il en a plusieurs
- des représentations rentant bloquées dans la chaîne de causalité de la tâche à apprendre : d'où le fait que ce second réseau n'affecte pas l'apprentissage du premier (ie. pour ne pas retomber dans la chaîne de causalité)

Lors de l'Expérience A4, nous avons confronter la même architecture à des données non linéairement séparables.

Dans l'Expérience B2, nous avons expérimenté les représentations et le transfert de tâche.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée *hiddenNeuron* de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par *number\_cutting* valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0, 25] [0 ; 0, 25] [0, 25 ; 0, 5] [0, 5 ; 0, 75] [0, 25 ; 0, 5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience A4

### Objectif

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, plus particulièrement sur des perceptrons multicouches.

Réalisation de la première expérience de l'article Cleeremans Alex (2007) sur des données réelles et non linéairement séparables.

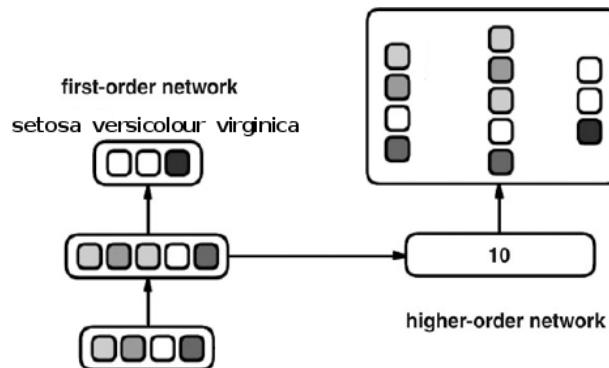
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des fleurs caractérisées par 4 neurones d'entrées qui représentent taille et largeur de la pétalement et la sépale. Il est composé d'une couche cachée de 5 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

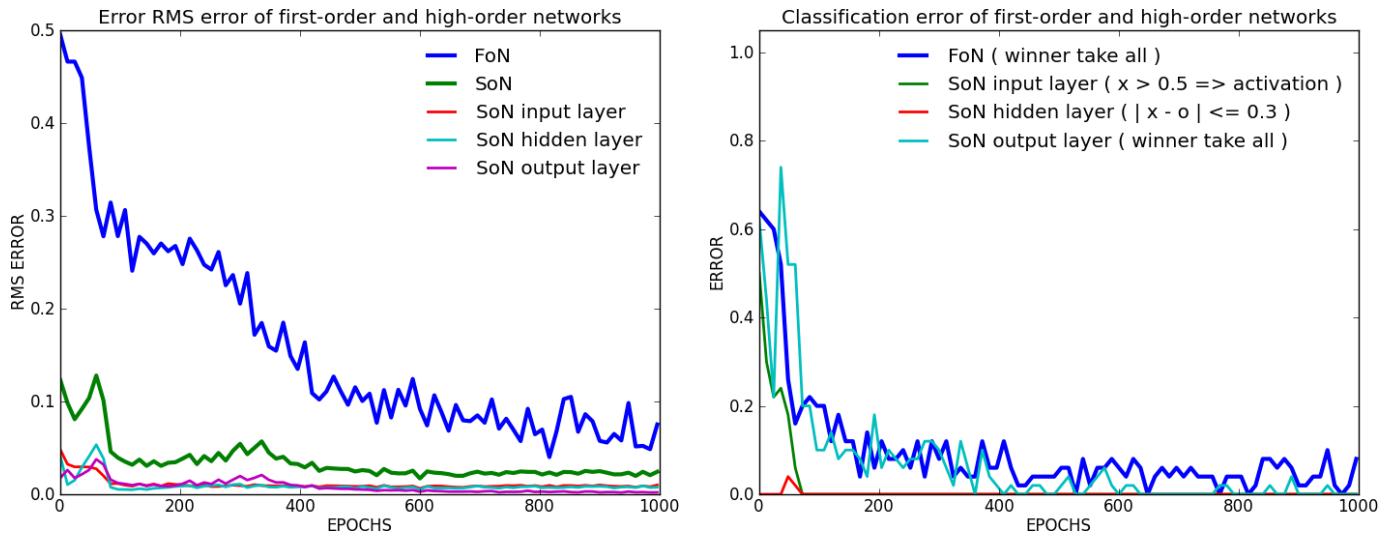


### Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- 150 fleurs différentes présentées Fisher (1988)
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées réelles sur [0 ; 1]
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



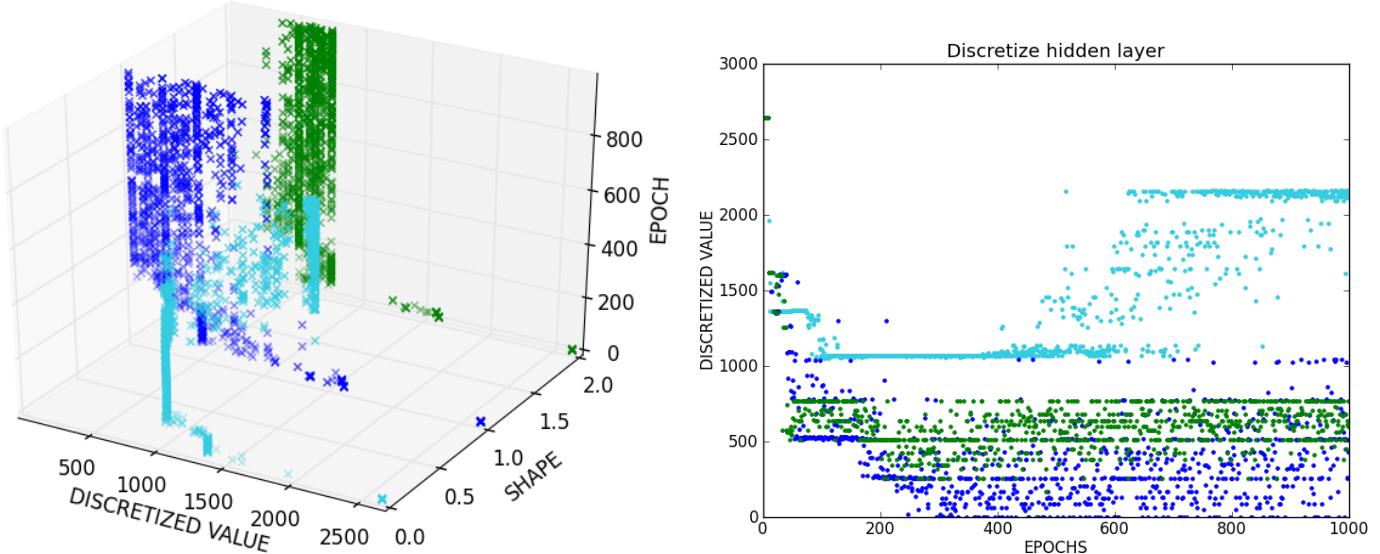
### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) sur les couches à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer
- l'erreur de classification représente le taux de mauvaises réponses pour les 10 formes présentées sur une époque
- pour SoN input layer et hidden layer, un winner-take-all n'est pas possible (ce n'est pas de la classification, mais une duplication), il y a donc un seuil d'erreur qui ne doit pas être dépassé par un seul neurone

### Conclusion

- le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- le second réseau réussit à apprendre sa tâche de duplication
- la couche cachée et la couche de sortie posent peu de problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier

### Secondaires Discréétisation de la couche cachée du premier réseau



### Notes

- une couleur équivaut à une fleur présentée
- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes Discrétilsation)

**Conclusion** Les données n'étant pas linéairement séparables, leur passage dans une seule couche rend la tâche d'apprentissage du second réseau plus complexe.

On peut voir plusieurs points de différentes couleurs aux mêmes endroits (ie. pour la même couche cachée).

## Conclusion

Le passage sur des données non linéairement séparables se passent bien.

Comme il l'est dit dans Cleeremans Alex (2007), cette architecture tente d'abolir les problèmes des réseaux connexionnistes classiques à avoir un semblant de conscience.

À savoir :

- qu'ils ne savent pas qu'ils peuvent se trouver dans différents états, et qu'ils ne traitent pas leurs propres états : d'où la présence de ce second réseau qui tente de traiter ses états et d'apprendre qu'il en a plusieurs
- des représentations rentant bloquées dans la chaîne de causalité de la tâche à apprendre : d'où le fait que ce second réseau n'affecte pas l'apprentissage du premier (ie. pour ne pas retomber dans la chaîne de causalité)

Dans l'Expérience B3, nous avons expérimenté les représentations et le transfert de tâche.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée *hiddenNeuron* de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par *number\_cutting* valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0, 25] [0 ; 0, 25] [0, 25 ; 0, 5] [0, 5 ; 0, 75] [0, 25 ; 0, 5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

- Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.
- Fisher, R. (1988). Iris plants database. 150 (50 in each of three classes).
- Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience B1

## Objectif

Reproduction et approfondissement des résultats de la première expérience 1 dans l'article Cleeremans Alex (2007).

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, en particulier sur des perceptrons multicouches.

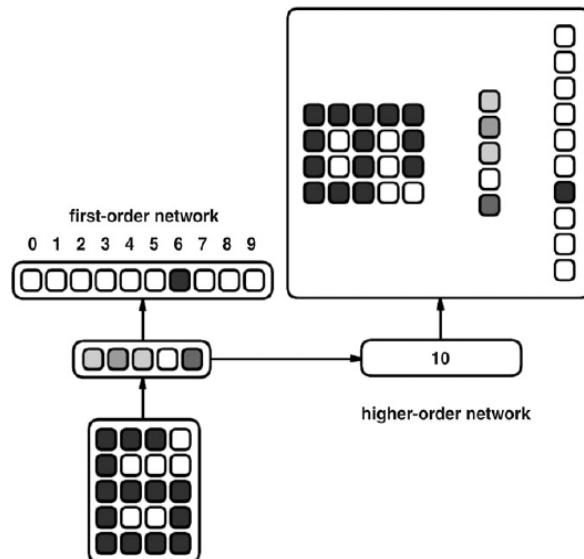
## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 20 neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 5 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

## Schéma

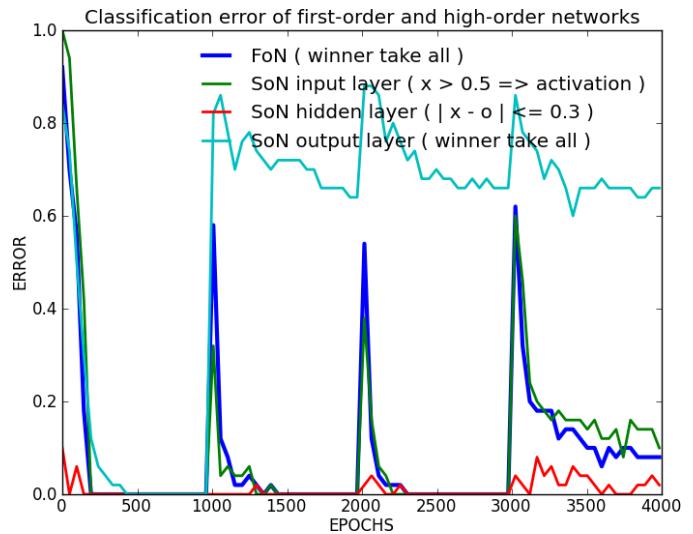
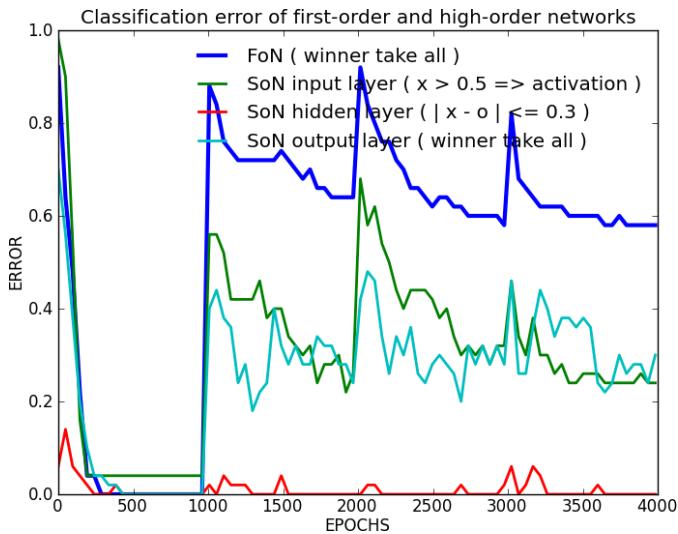


## Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- 10 chiffres différents présentés
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



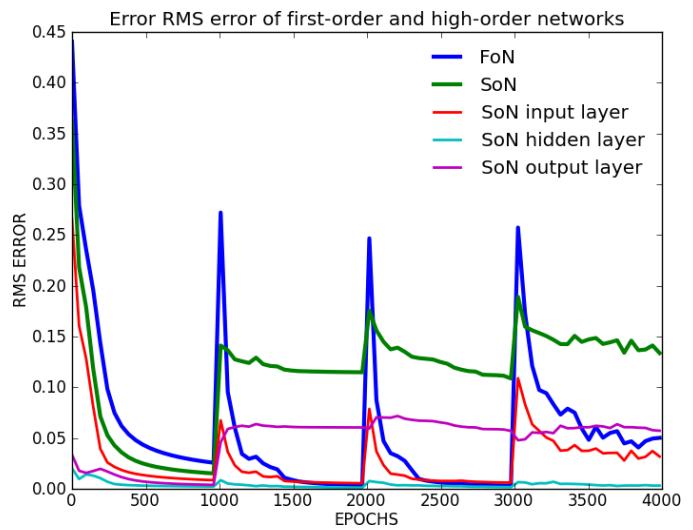
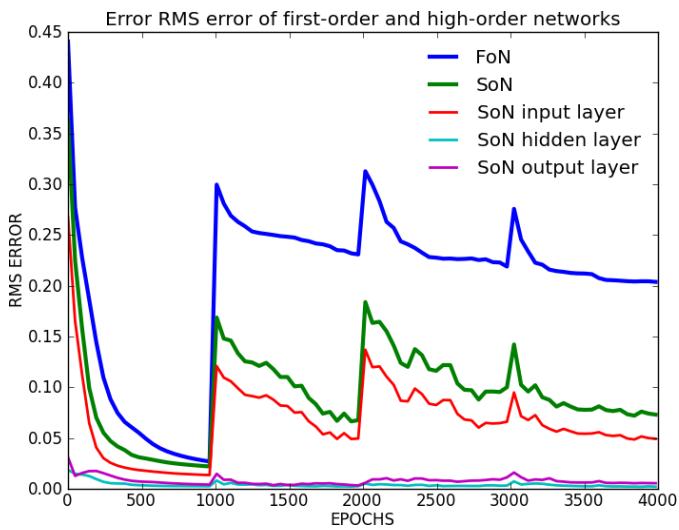
### Notes

- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) des couches du premier à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer

### Conclusion

- la couche cachée et la couche de sortie ne posent aucun problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier

### Secondaires RMS



### Notes

- une couleur équivaut à un chiffre présenté
- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes)

**Conclusion** Les neurones se stabilisent très rapidement (autour de la 50<sup>ième</sup> époque en moyenne), le tout permettant au second réseau d'avoir des entrées très peu variables, favorisant son apprentissage.

## Conclusion

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée *hiddenNeuron* de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par *number\_cutting* valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0,25] [0 ; 0,25] [0,25 ; 0,5] [0,5 ; 0,75] [0,25 ; 0,5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionisme.

## Expérience B2

### Objectif

Reproduction et approfondissement des résultats de la première expérience 1 dans l'article Cleeremans Alex (2007).

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, en particulier sur des perceptrons multicouches.

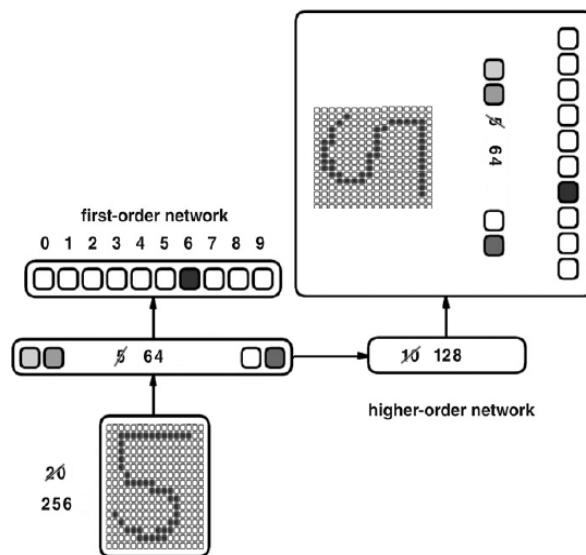
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 64 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

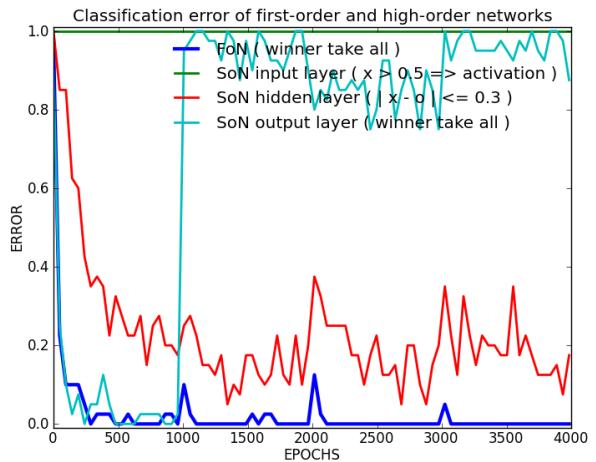
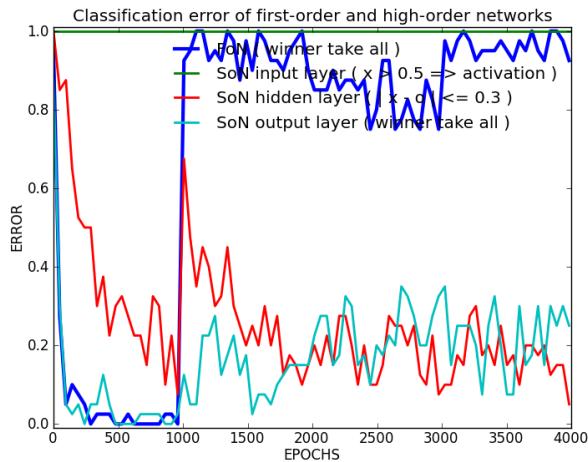


### Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



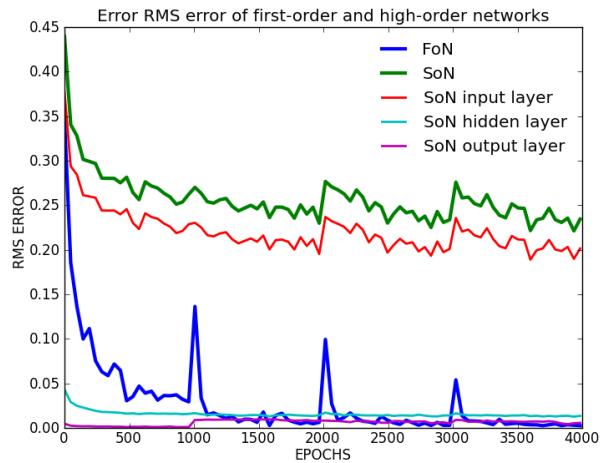
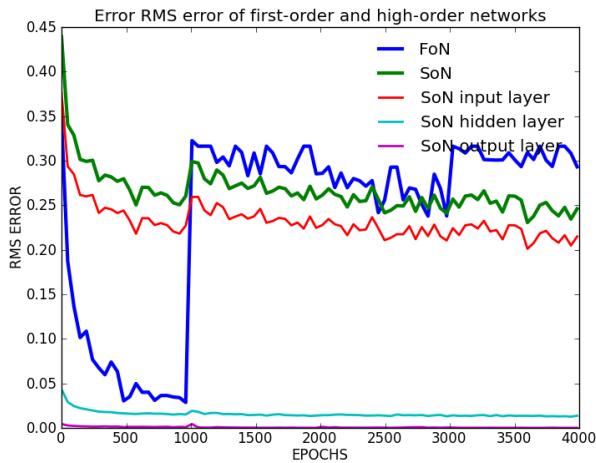
### Notes

- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) des couches du premier à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer

### Conclusion

- la couche cachée et la couche de sortie ne posent aucun problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier

### Secondaires RMS



### Notes

- une couleur équivaut à un chiffre présenté
- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes)

**Conclusion** Les neurones se stabilisent très rapidement (autour de la 50<sup>ième</sup> époque en moyenne), le tout permettant au second réseau d'avoir des entrées très peu variables, favorisant son apprentissage.

## Conclusion

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée *hiddenNeuron* de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par *number\_cutting* valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0, 25] [0 ; 0, 25] [0, 25 ; 0, 5] [0, 5 ; 0, 75] [0, 25 ; 0, 5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience B3

### Objectif

Reproduction et approfondissement des résultats de la première expérience 1 dans l'article Cleeremans Alex (2007).

Comprendre de quelles manières peuvent émerger des représentations et métaréprésentations dans un réseau de neurone connexionniste, en particulier sur des perceptrons multicouches.

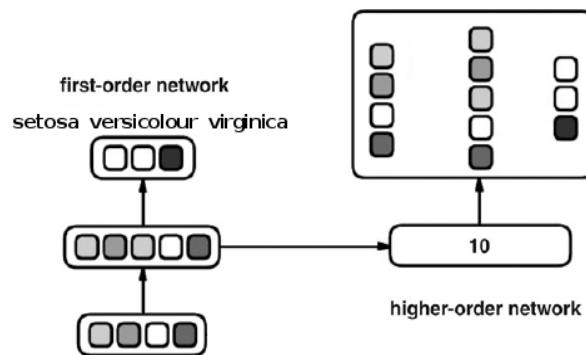
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 20 neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 5 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à dupliquer toutes les couches du premier réseau en n'ayant que sa couche cachée en entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

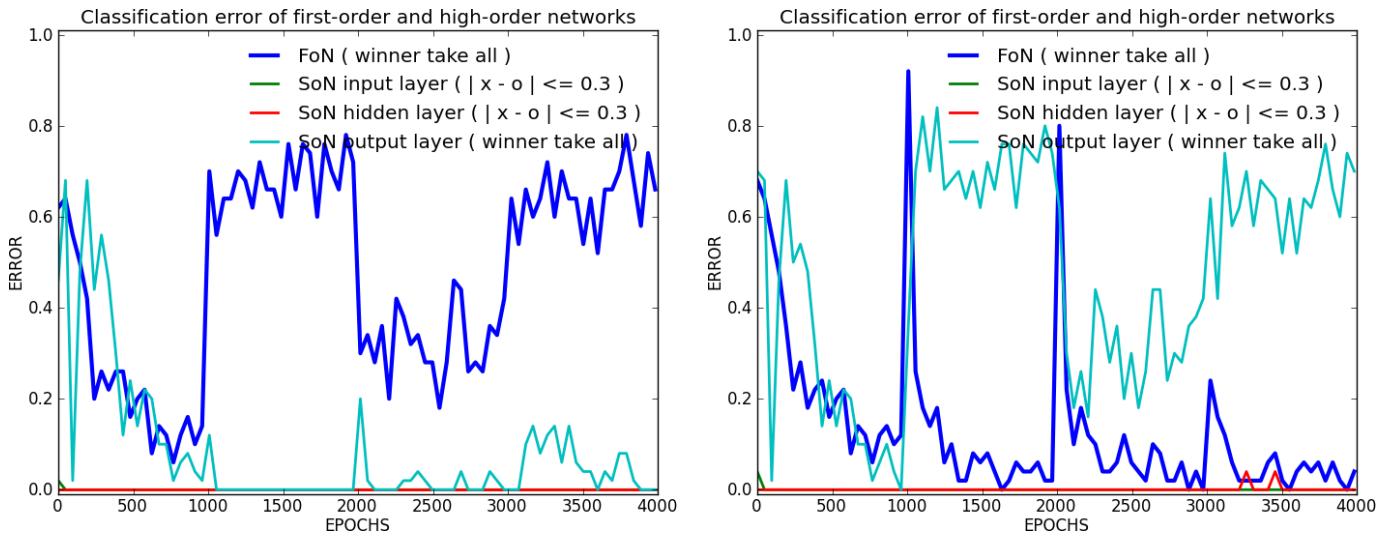


### Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- 10 chiffres différents présentés
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



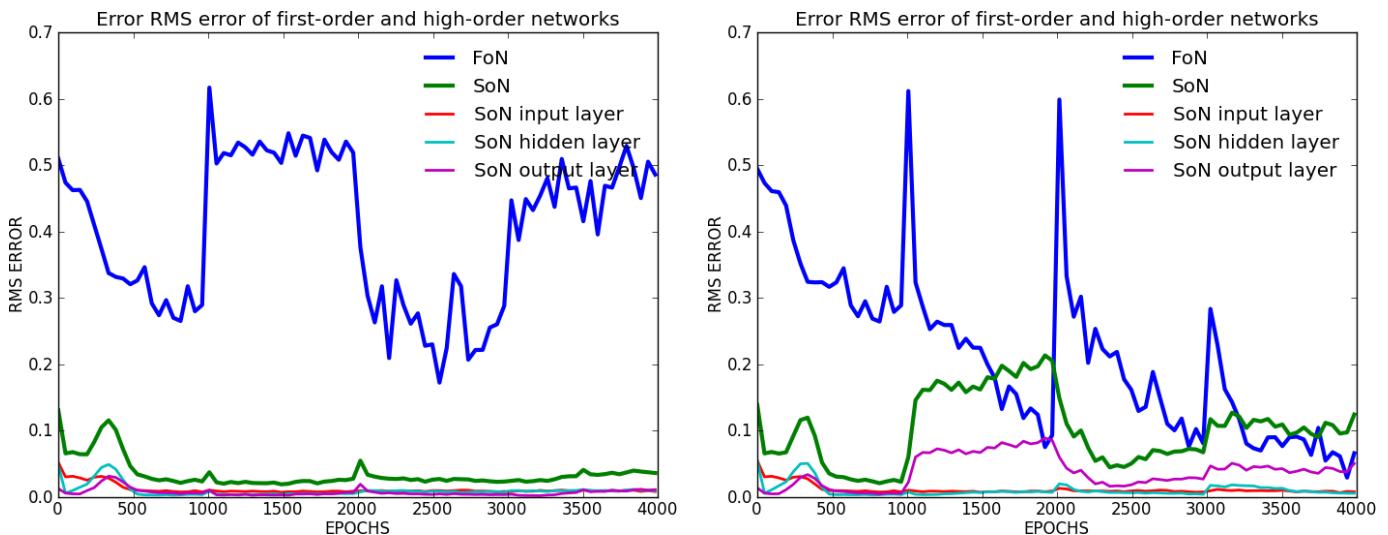
### Notes

- les courbes SoN layer représentent les erreurs (du second réseaux) des couches du premier à reproduire
- la courbe RMS verte (SoN) est la somme des 3 courbes SoN layer

### Conclusion

- la couche cachée et la couche de sortie ne posent aucun problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier

### Secondaires RMS



### Notes

- une couleur équivaut à un chiffre présenté

- une valeur discrétisée correspond à un certain encodage de la couche cachée (cf Algorithmes)

**Conclusion** Les neurones se stabilisent très rapidement (autour de la 50<sup>ième</sup> époque en moyenne), le tout permettant au second réseau d'avoir des entrées très peu variables, favorisant son apprentissage.

## Conclusion

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number \text{ of neurons on the output layer} \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Discrétisation** Pour la couche cachée *hiddenNeuron* de  $n$  neurones, un neurone pouvant être encodé par *number\_cutting* valeurs différentes :

$$\sum_{i=0}^n number\_cutting^i \times cutting(hiddenNeuron[i])$$

**Exemple**  $400 \leftarrow [0 ; 0,25] [0 ; 0,25] [0,25 ; 0,5] [0,5 ; 0,75] [0,25 ; 0,5]$   
 $400 \leftarrow 0 \times 4^0 + 0 \times 4^1 + 1 \times 4^2 + 2 \times 4^3 + 1 \times 4^4$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction \text{ sigmoide} \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionisme.

# Expérience C1

## Objectif

Comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexioniste peut parier sur ses propres résultats à partir de ses représentations personnelles.

Reproduction et approfondissement des résultats de la seconde expérience de l'article Cleeremans Alex (2007).

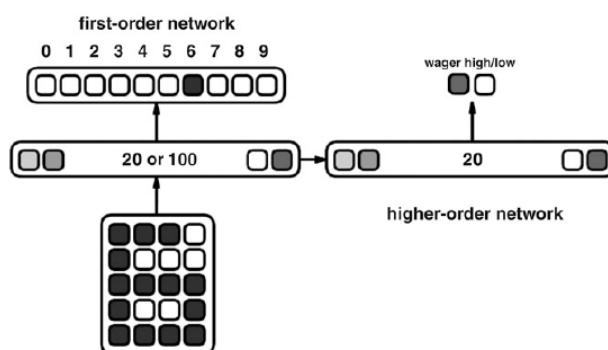
## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 20 neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 20 ou 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

## Schéma

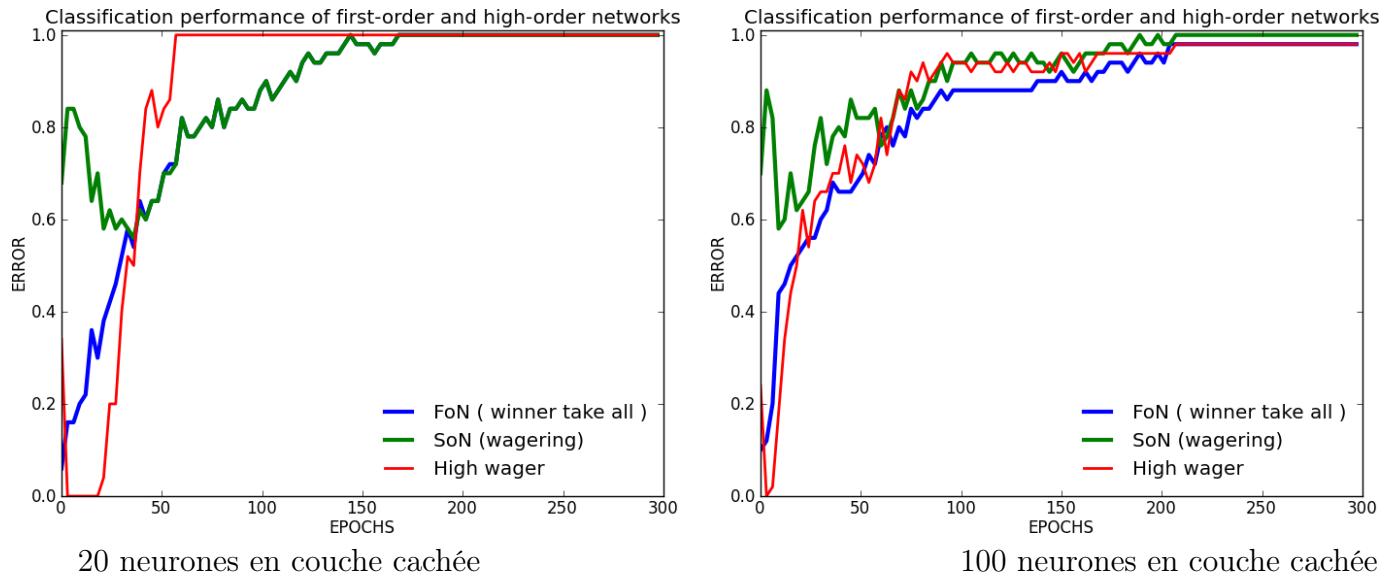


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.15 sur les 2 réseaux
- 10 chiffres différents présentés
- apprentissage 10 (formes) x 300 (époques)
- utilisation de biais
- sigmoïde à température 1
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour les 2 réseaux
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



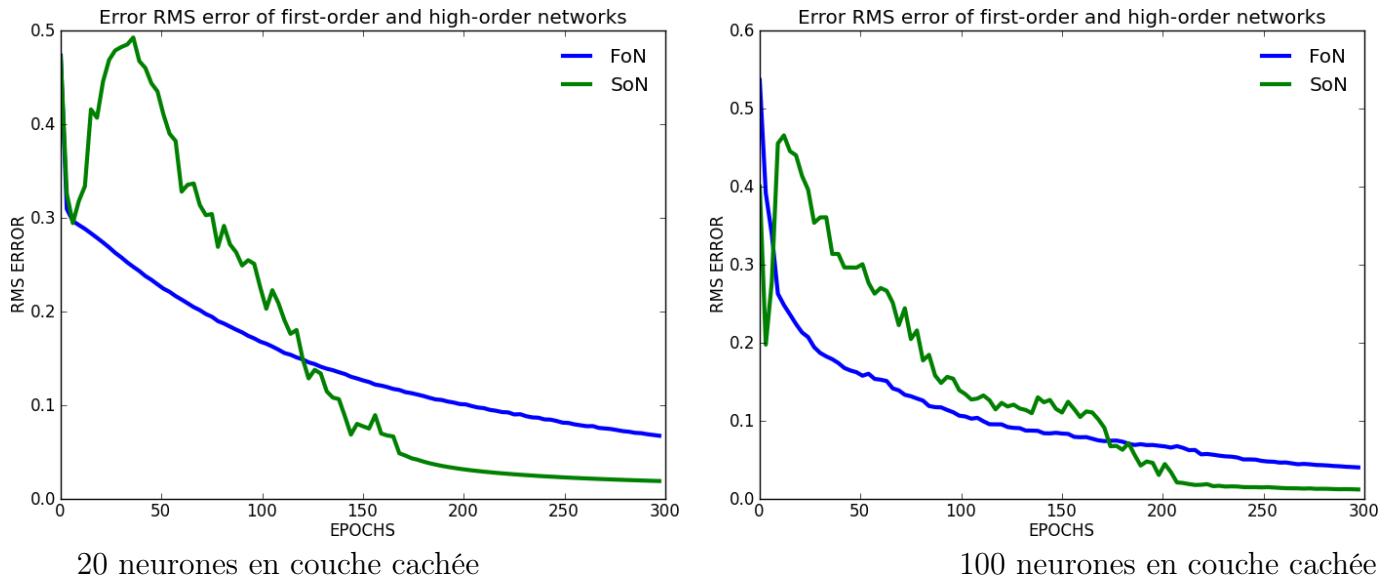
### Notes

- la courbe rouge représente le taux de paris hauts du second réseau
- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 10 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- dans les 2 cas, le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- lorsque le nombre de neurones dans la couche cachée est faible, l'apprentissage de la tâche est optimal, il ne peut plus être amélioré  
Ainsi le second réseau se contente de parier haut.
- lorsque le nombre de neurones dans la couche cachée est élevé, l'apprentissage peut être amélioré, le second réseau le remarque et peut accorder son taux de paris hauts avec le taux de succès du premier réseau.  
Remarquons tout de même qu'avec l'amélioration du second réseau, on ne peut pas dépasser un réseau optimal, seulement l'égaler

### Secondaires RMS



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** On remarque que le second réseau apprend et désapprend. De plus, il reste toujours sous la barre des 0.5.

## Conclusion

Comme il l'est dit dans Cleeremans Alex (2007), cette architecture tente d'abolir les problèmes des réseaux connexionnistes classiques à avoir un semblant de conscience.

À savoir :

- qu'ils ne savent pas qu'ils peuvent se trouver dans différents états, et qu'ils ne traitent pas leurs propres états : d'où la présence de ce second réseau qui tente de traiter ses états et d'apprendre qu'il en a plusieurs
- des représentations rentant bloquées dans la chaîne de causalité de la tâche à apprendre : d'où le fait que ce second réseau n'affecte pas l'apprentissage du premier (ie. pour ne pas retomber dans la chaîne de causalité)
- qu'ils n'ont pas les connaissances conscientes des raisons de leurs décisions : on essaye de les y sensibiliser avec les paris

Par ailleurs, cette architecture ouvre des possibilités d'amélioration de l'apprentissage. Elle permet au réseau de détecter lui même un nombre de neurones trop important dans la couche cachée. On pourrait, par exemple, imaginer un réseau autorégulant son nombre de neurone.

L'expérience suivante (Expérience C2) retente l'expérience sur des données réelles.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience C2

## Objectif

Comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexioniste peut parier sur ses propres résultats à partir de ses représentations personnelles.

Réalisation de la seconde expérience de l'article Cleeremans Alex (2007) sur des données réelles.

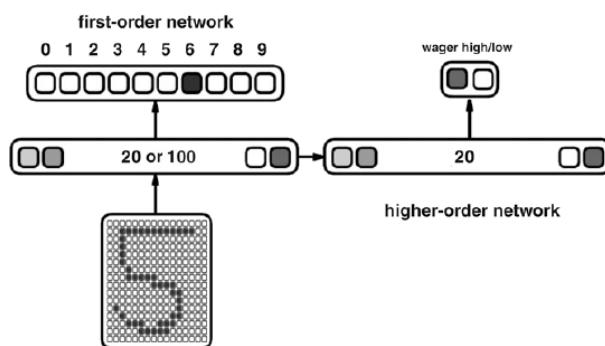
## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 20 ou 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

## Schéma

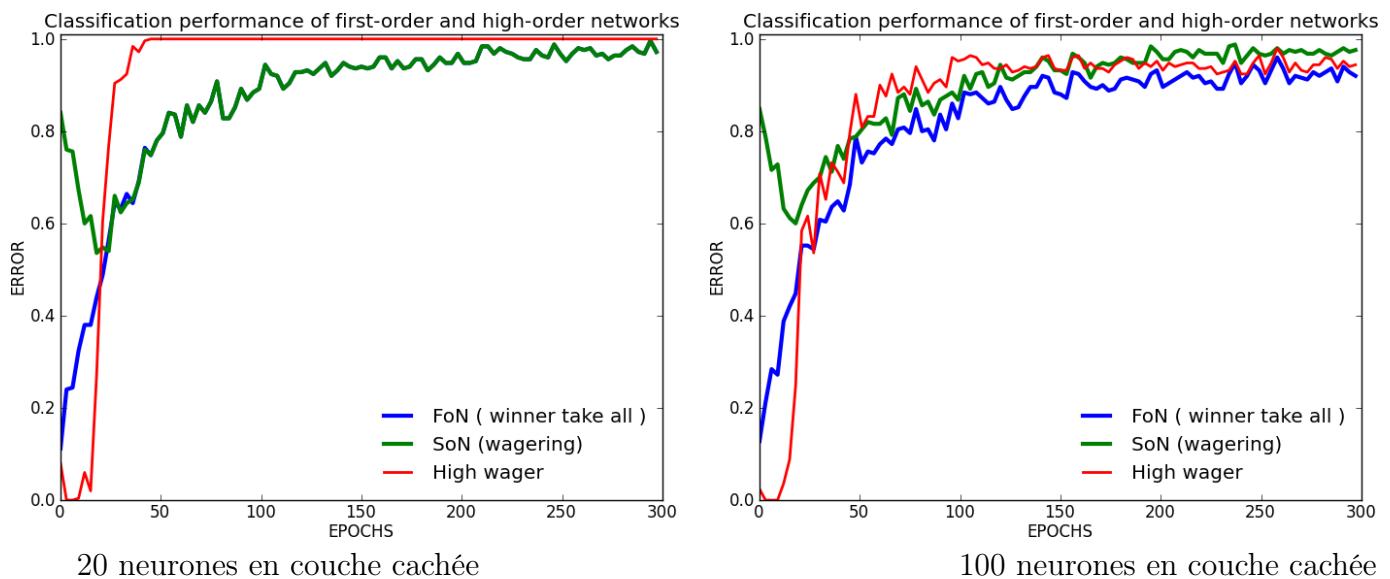


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le second réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur les 2 réseaux
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le second réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



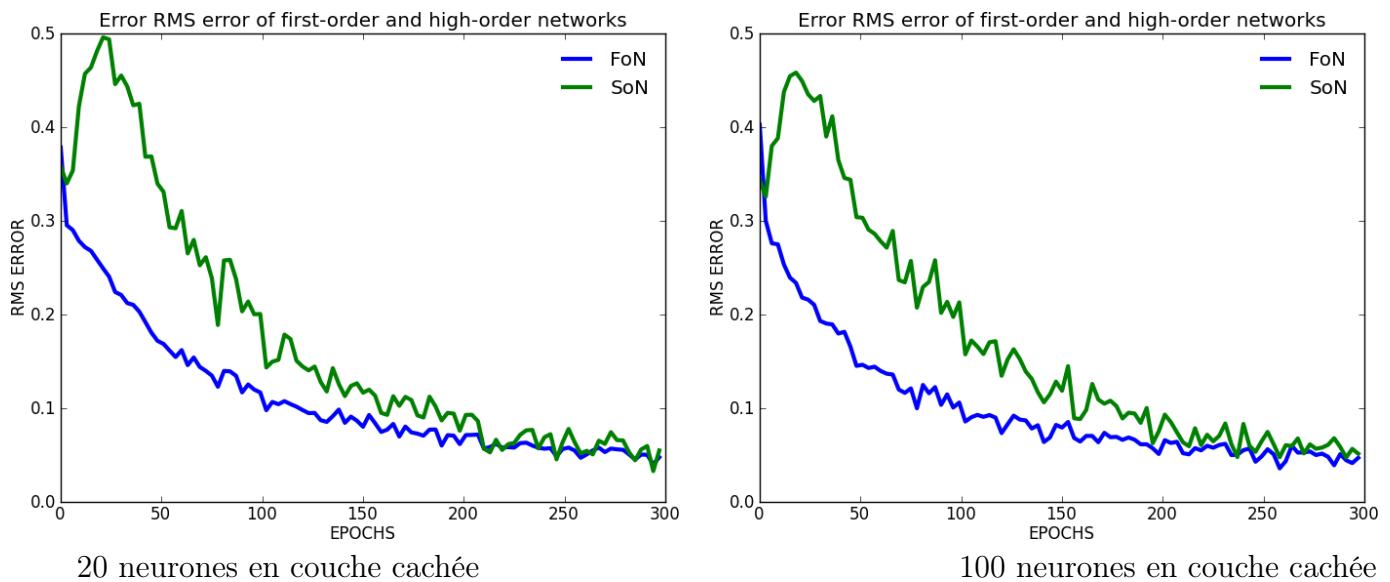
### Notes

- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque
- la courbe rouge représente le taux de paris hauts du second réseau

### Conclusion

- dans les 2 cas, le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- lorsque le nombre de neurones dans la couche cachée est faible, l'apprentissage de la tâche est optimal, il ne peut plus être amélioré  
Ainsi le second réseau se contente de parier haut.
- lorsque le nombre de neurones dans la couche cachée est élevé, l'apprentissage peut être amélioré, le second réseau le remarque et peut accorder son taux de paris hauts avec le taux de succès du premier réseau.  
Remarquons tout de même qu'avec l'amélioration du second réseau, on ne peut pas dépasser un réseau optimal, seulement l'égaler

### Secondaires RMS



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** On remarque que le second réseau apprend et désapprend. De plus, il reste toujours sous la barre des 0.5.

## Conclusion

Comme il l'est dit dans Cleeremans Alex (2007), cette architecture tente d'abolir les problèmes des réseaux connexionnistes classiques à avoir un semblant de conscience.

À savoir :

- qu'ils ne savent pas qu'ils peuvent se trouver dans différents états, et qu'ils ne traitent pas leurs propres états : d'où la présence de ce second réseau qui tente de traiter ses états et d'apprendre qu'il en a plusieurs
- des représentations rentant bloquées dans la chaîne de causalité de la tâche à apprendre : d'où le fait que ce second réseau n'affecte pas l'apprentissage du premier (ie. pour ne pas retomber dans la chaîne de causalité)
- qu'ils n'ont pas les connaissances conscientes des raisons de leurs décisions : on essaye de les y sensibiliser avec les paris

Le passage sur des données réelles ne modifient pas le comportement du réseau.

Par ailleurs, cette architecture ouvre des possibilités d'amélioration de l'apprentissage. Elle permet au réseau de détecter lui-même un nombre de neurones trop important dans la couche cachée. On pourrait, par exemple, imaginer un réseau autorégulant son nombre de neurone.

Toutes les expériences F et G découlent de cette architecture.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience C3

### Objectif

Comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut parier sur ses propres résultats à partir de ses représentations personnelles.

Réalisation de la seconde expérience de l'article Cleeremans Alex (2007) sur des données réelles non linéairement séparables.

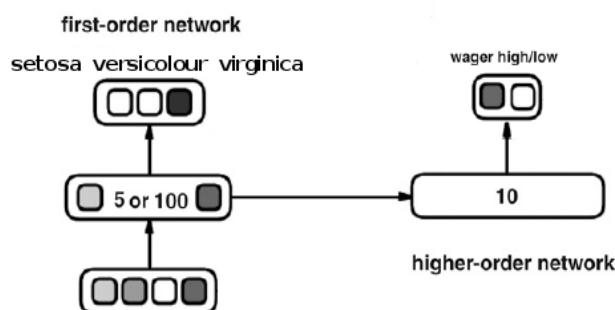
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des fleurs caractérisées par 4 neurones d'entrées qui représentent taille et largeur de la pétale et la sépale. Il est composé d'une couche cachée de 5 ou 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

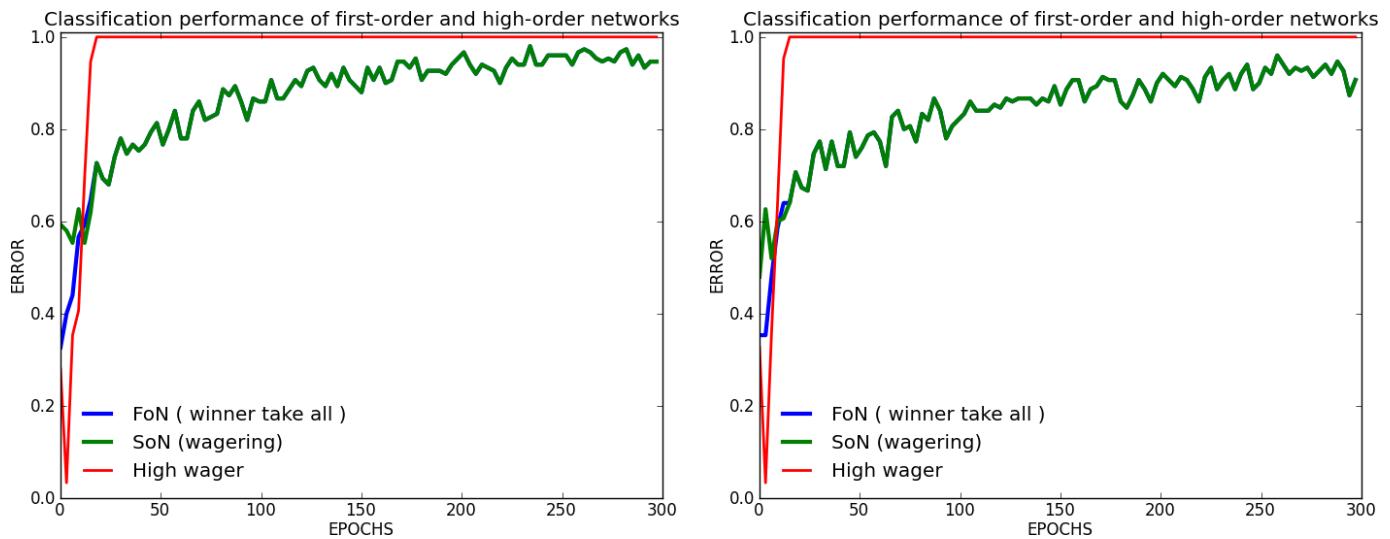


### Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le second réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur les 2 réseaux
- **150 formes** de fleurs différents présentées (shuffle) Fisher (1988)
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le second réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées réelles sur [0 ; 1]
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



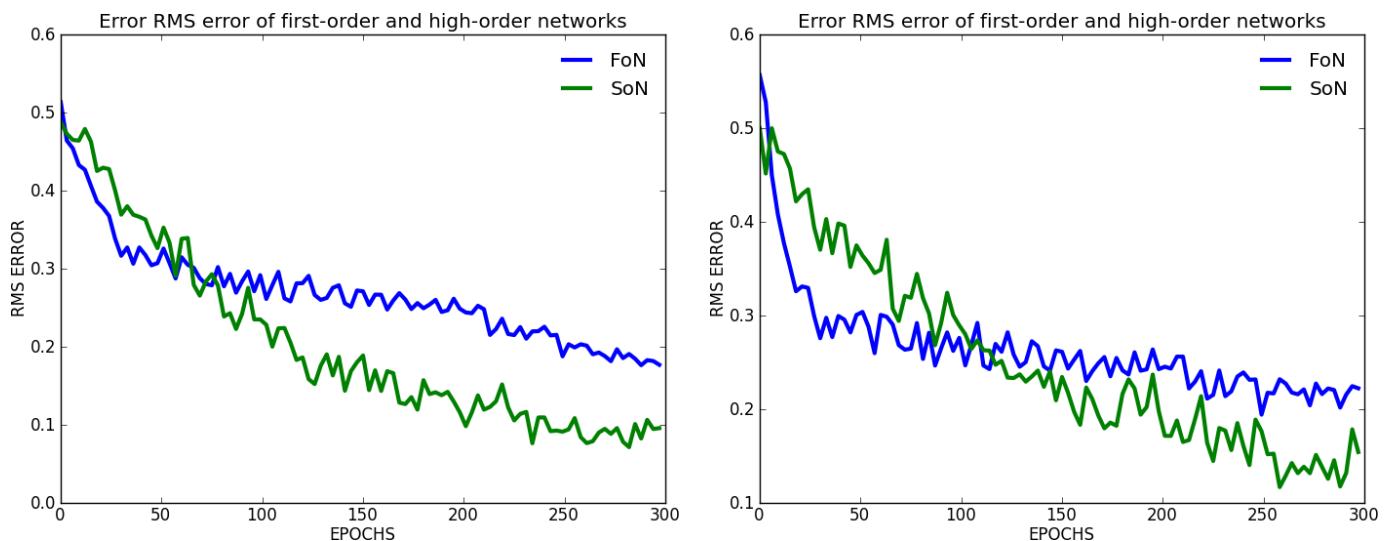
### Notes

- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque
- la courbe rouge représentent le taux de paris hauts du second réseau

### Conclusion

- dans les 2 cas, le premier réseau réussit à apprendre sa tâche de classification
- dans les 2 cas, le second réseau n'arrive pas à tirer parti de ses représentations, il se contente simplement de parier haut au bout d'un moment

### Secondaires RMS



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** Il n'y a plus de pique du second réseau comme dans les Expérience C1 et Expérience C2.

## Conclusion

Comme il l'est dit dans Cleeremans Alex (2007), cette architecture tente d'abolir les problèmes des réseaux connexionnistes classiques à avoir un semblant de conscience.

À savoir :

- qu'ils ne savent pas qu'ils peuvent se trouver dans différents états, et qu'ils ne traitent pas leurs propres états : d'où la présence de ce second réseau qui tente de traiter ses états et d'apprendre qu'il en a plusieurs
- des représentations restant bloquées dans la chaîne de causalité de la tâche à apprendre : d'où le fait que ce second réseau n'affecte pas l'apprentissage du premier (ie. pour ne pas retomber dans la chaîne de causalité)
- qu'ils n'ont pas les connaissances conscientes des raisons de leurs décisions : on essaye de les y sensibiliser avec les paris

Lors du passage sur des données réelles non linéairement séparables, l'utilité du second réseau s'écroule, les représentations ne sont plus exploitées.

Pour tenter de résoudre ce problème, l'Expérience C4 augmente le nombre de couche du premier réseau.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Fisher, R. (1988). Iris plants database. 150 (50 in each of three classes).

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience C4

### Objectif

Comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut parier sur ses propres résultats à partir de ses représentations personnelles.

Réalisation de la seconde expérience de l'article Cleeremans Alex (2007) sur des données réelles non linéairement séparables à l'aide de plusieurs couches dans le perceptron.

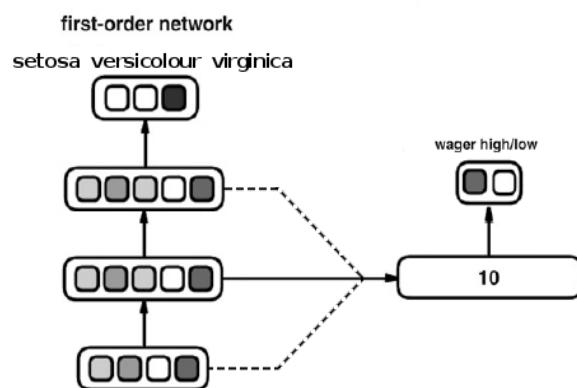
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des fleurs caractérisées par 4 neurones d'entrées qui représentent taille et largeur de la pétale et la sépale. Il est composé de plusieurs couche cachée de 5 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de ses couches cachées et de sa couche d'entrée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas le premier réseau.

### Schéma

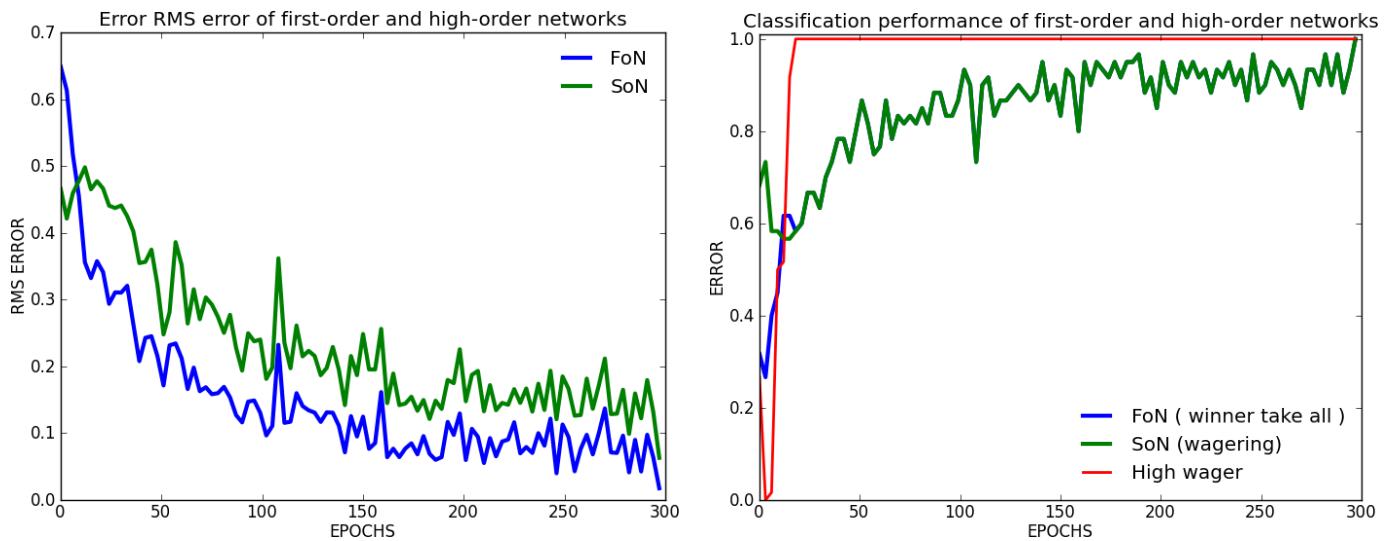


### Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- taux d'apprentissage : 0.1 sur les 2 réseaux
- 10 chiffres différents présentés
- apprentissage 10 (formes) x 1000 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



#### Notes

- la courbe rouge représente le taux de paris hauts du second réseau
- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

**Conclusion** Peut importe l'architecture choisi (2 couches cachées, 1 couches cachée, 2 couches cachées + entrées), les performances sont sensiblement les mêmes.

Le second réseau n'arrive pas à tirer parti des représentations du premier réseau et se contente de partier hauts à chaque fois au bout d'un moment.

## Conclusion

Lors du passage sur des données réelles non linéairement séparables, l'utilité du second réseau s'écroule, les représentations ne sont plus exploitées, même avec plusieurs couches.

Il faut continuer les essais pour réussir à le faire fonctionner.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience D1

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement.

## Architecture

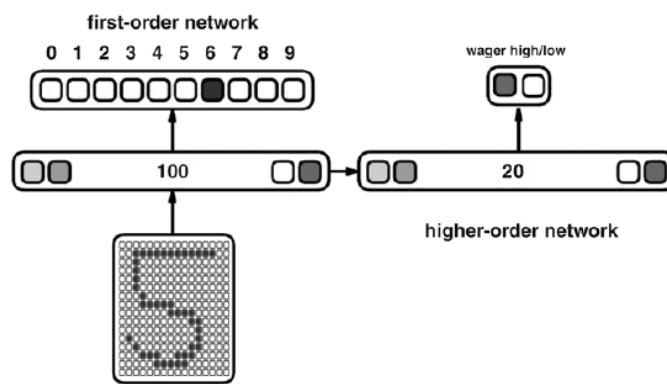
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Lorsque le second réseau parie haut, la réponse du premier réseau est gardée, à l'inverse, lorsqu'il parie bas, c'est le second neurone le plus élevé du premier réseau qui sera la réponse.

## Schéma

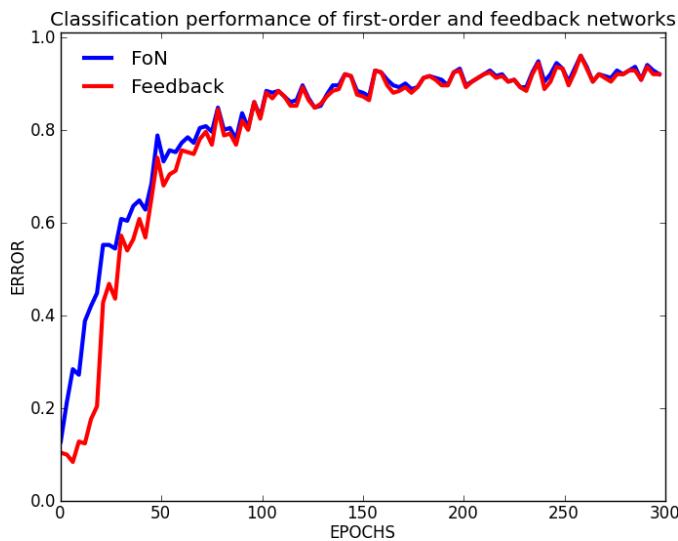


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le second réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur les 2 réseaux
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le second réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



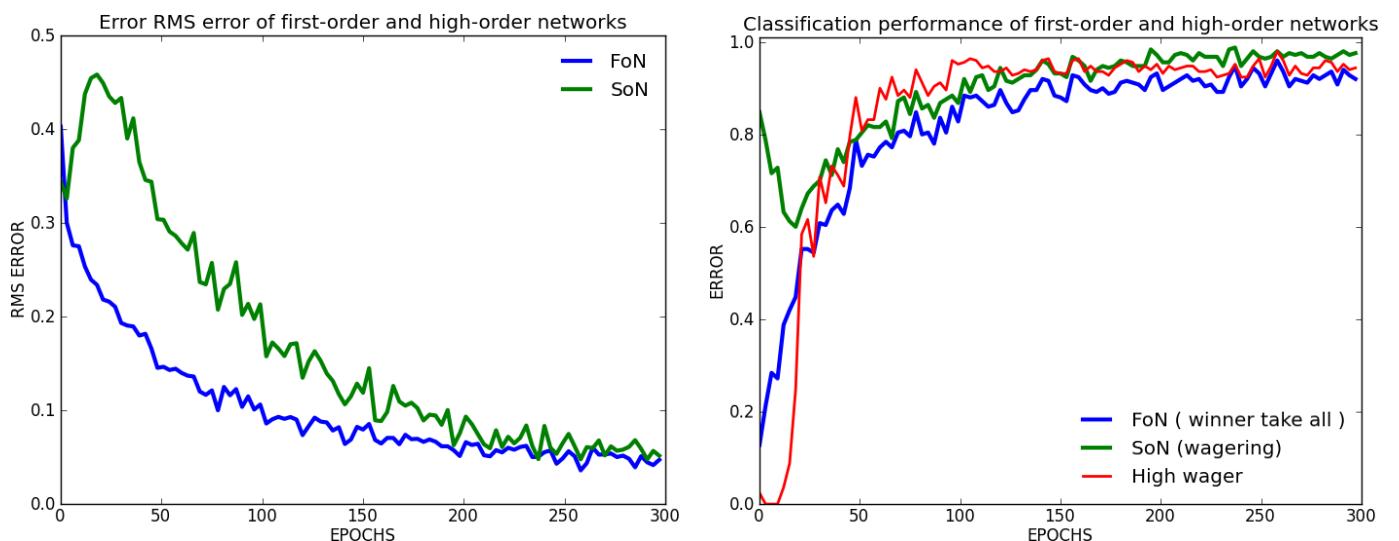
### Notes

- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- l'architecture n'arrive pas à obtenir une augmentation de performance, ce qui veut dire que la bonne réponse ne se trouve pas dans le second neurone le plus élevé (lorsque la réponse n'est pas dans le premier).

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- la courbe rouge représentent le taux de paris hauts du second réseau
- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque
- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** Les performances du second réseau sont respectables ceci prouve bien l'hypothèse précédente.

## Conclusion

Lorsque la réponse n'est pas dans le neurone le plus élevé, elle ne se trouve pas non plus toujours dans le second neurone le plus élevé.

Cette idée nous ouvre le chemin vers l'Expérience D2 qui tentera d'enregistrer la profondeur de la bonne réponse.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience D2

### Objectif

En partant de la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement.

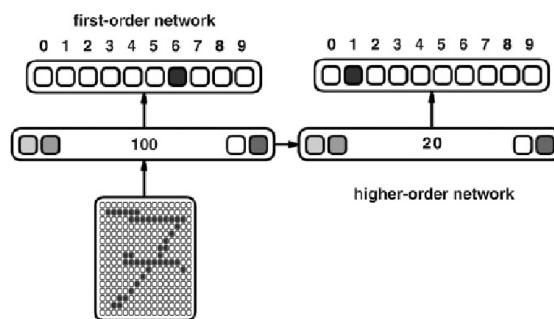
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à suivre une **intuition** qui représente la profondeur du neurone le plus actif contenant la bonne réponse.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

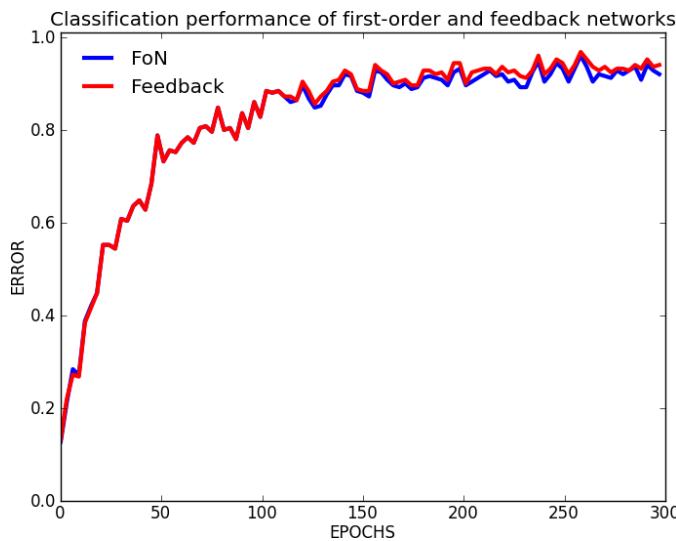


### Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le second réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur les 2 réseaux
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le second réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



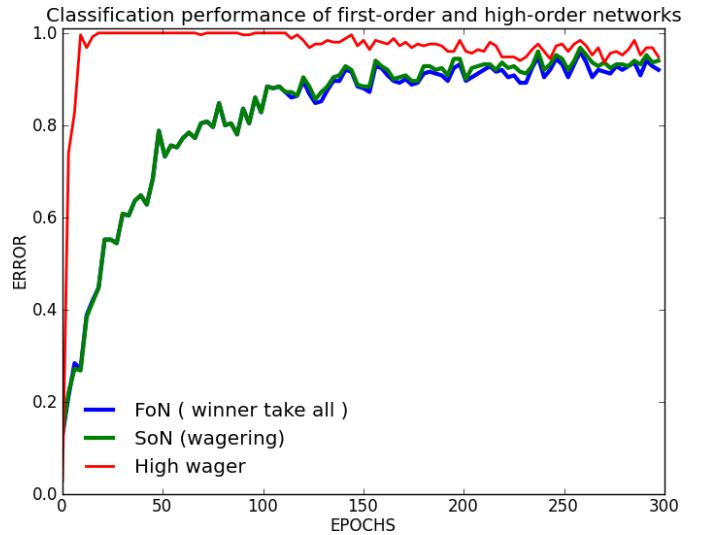
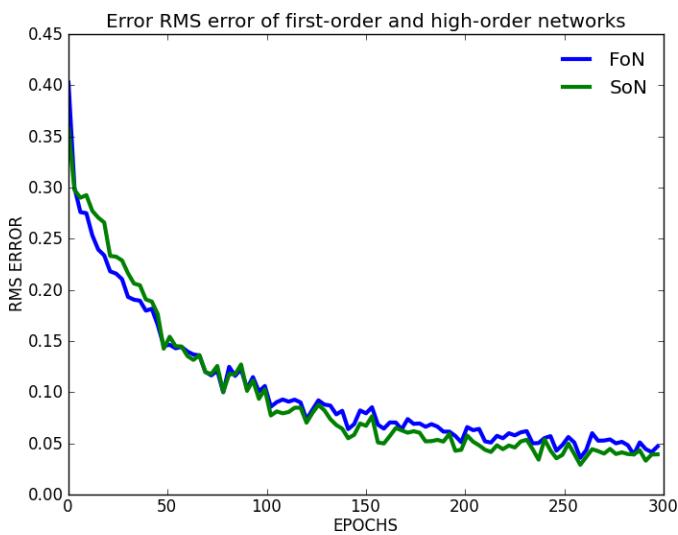
### Notes

- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- l'architecture n'arrive qu'à une très faible augmentation de performance

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- la courbe rouge représentent le taux de paris hauts (ie. premier neurone activé) du second réseau
- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque
- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** Cette fois-ci les performances du second réseau sont bien plus mitigées. N'ayant plus seulement 2 sorties mais 10, il ne dépasse que de peu le premier réseau.

## Conclusion

L'augmentation de performance est moindre, à cause d'une tâche plus ardue pour le second neurone.

Avant de fermer ce chemin, il faudrait pousser un peu plus les recherches au niveau des paramètres choisis pour les réseaux.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience D3

### Objectif

En partant de la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement.

### Architecture

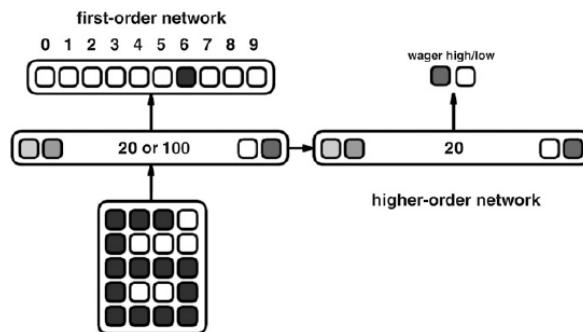
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Lorsque le second réseau parie bas, le taux d'apprentissage

### Schéma

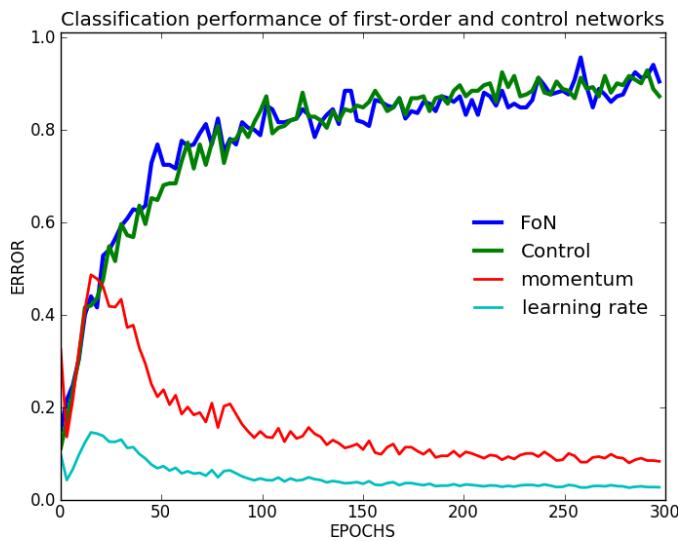


### Paramètres

- momentum : 0. sur le second réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur les second réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)
- utilisation de biais
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le second réseau
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



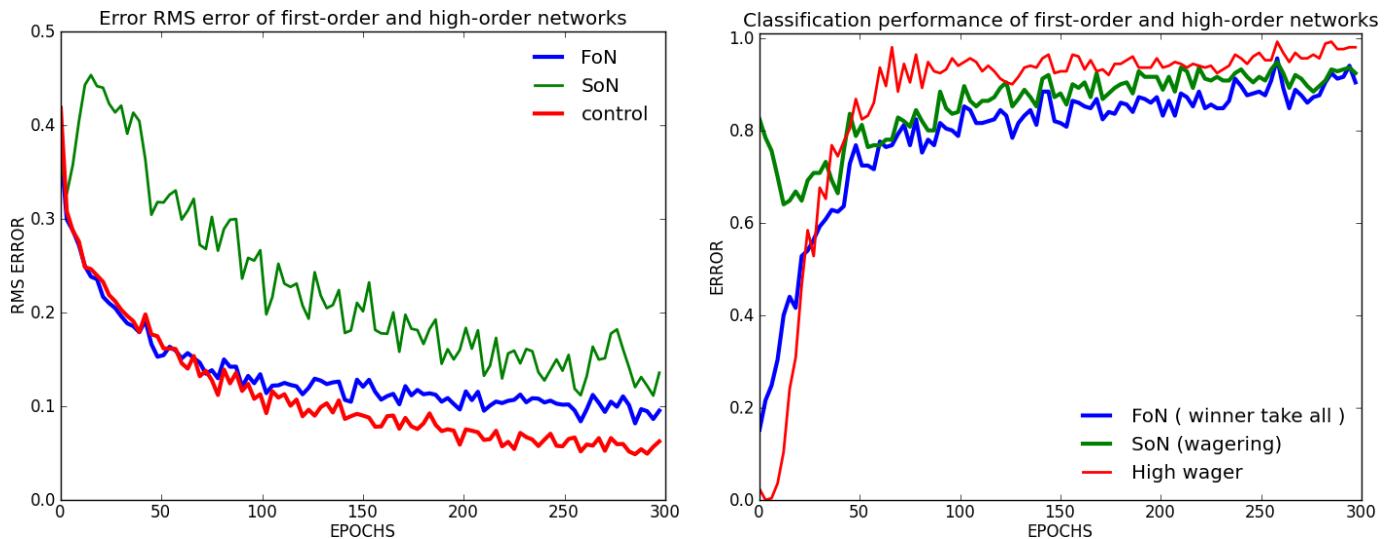
#### Notes

- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

#### Conclusion

- la couche cachée et la couche de sortie ne posent aucun problèmes d'apprentissage
- les performances du second réseau dépendent principalement de sa capacité à reproduire les entrées
- le second réseau apprend plus rapidement que le premier

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



#### Notes

- la courbe rouge représentent le taux de paris hauts du second réseau
- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque
- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** Les neurones se stabilisent très rapidement (autour de la 50<sup>ième</sup> époque en moyenne), le tout permettant au second réseau d'avoir des entrées très peu variables, favorisant son apprentissage.

## Conclusion

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience D4

### Objectif

En partant de la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement.

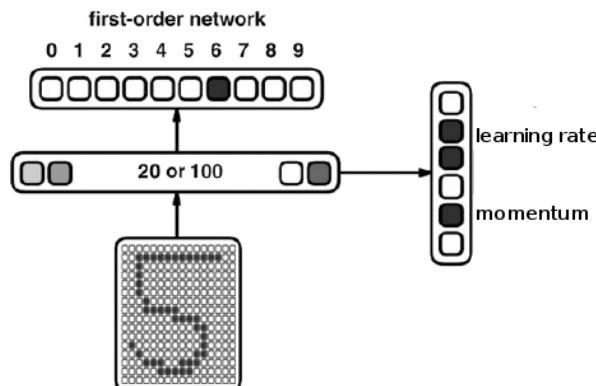
### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron apprend par renforcement le taux d'apprentissage et le momentum idéale en fonction des représentations du premier réseau. Ces paramètres sont encodé sur 3 neurones de façon binaire. Au final, le taux d'apprentissage est défini sur [0.1 ; 0.35] et le momentum sur [0.2 ; 0.85].

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

### Schéma

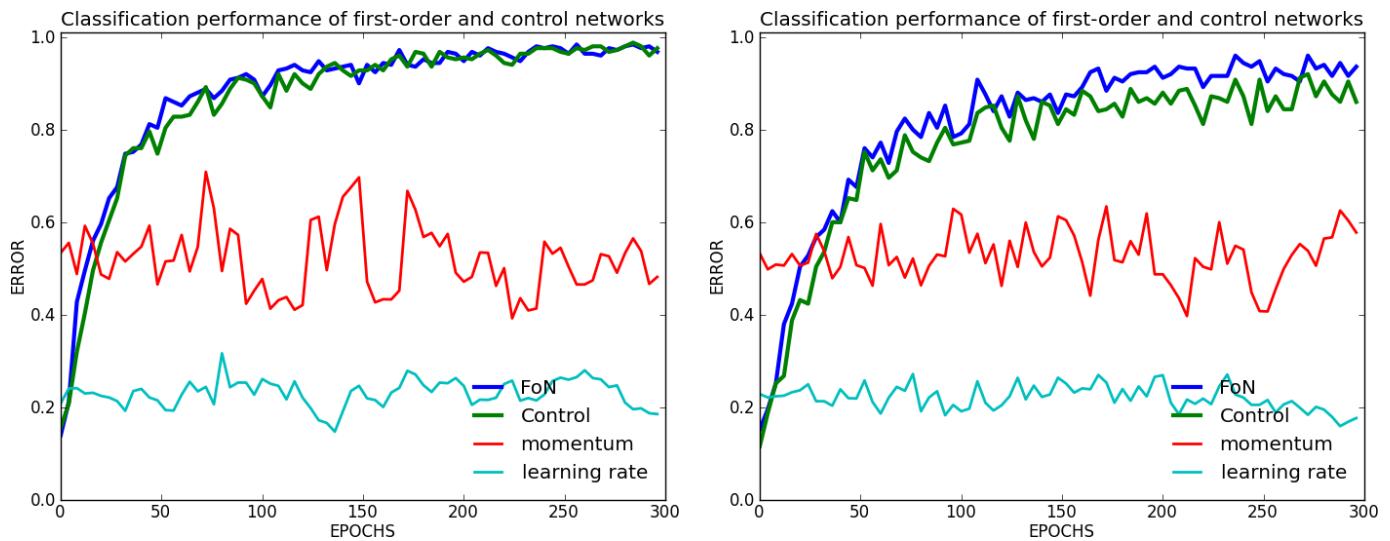


### Paramètres

- momentum : 0.9 sur les 2 réseaux
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25]
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



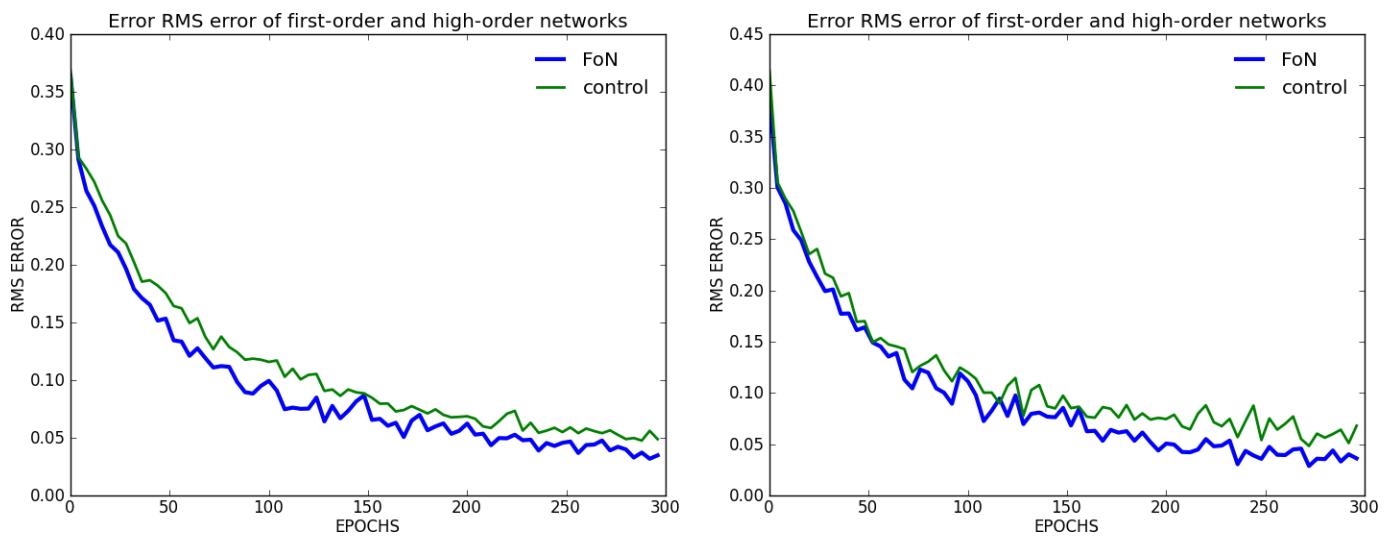
#### Notes

- la performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque
- momentum et learning rate sont la moyenne des paramètres appliquées au premier réseau sur une époque

#### Conclusion

- il y a une légère hausse de performance par rapport à un réseau de base, elle est plus accentuée lorsque le nombre de neurones dans la couche cachée est élevé

### Secondaires Analyse des performances RMS



#### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)

**Conclusion** Le RMS ne nous dit pas grand chose de plus que la performance de classification.

## Conclusion

L'expérience est plutôt concluente, mais le système d'encodage/décodage du perceptron à apprentissage par renforcement peut probablement être amélioré.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience F1

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

## Architecture

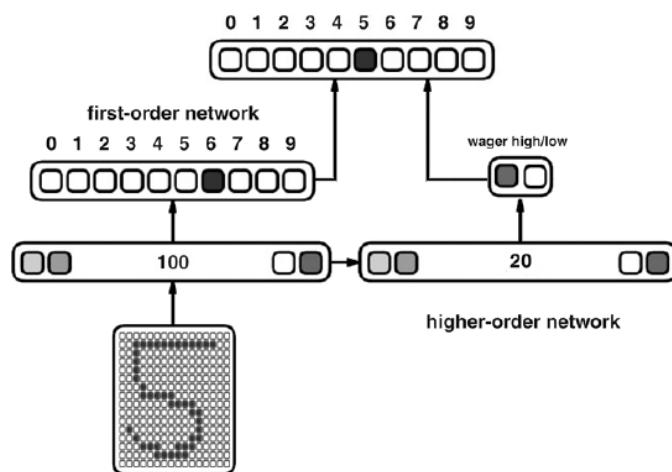
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir des sorties des 2 premiers réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

## Schéma

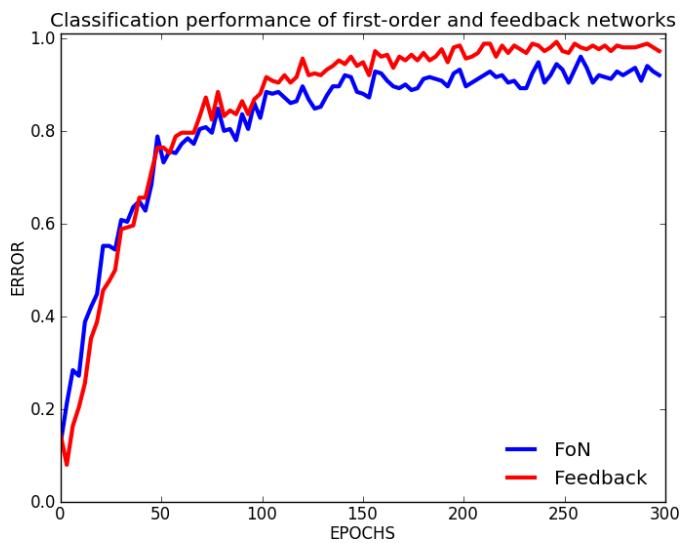


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



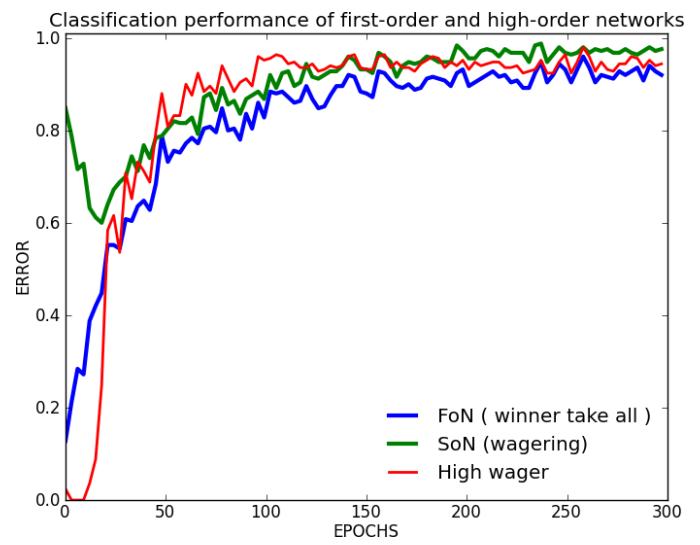
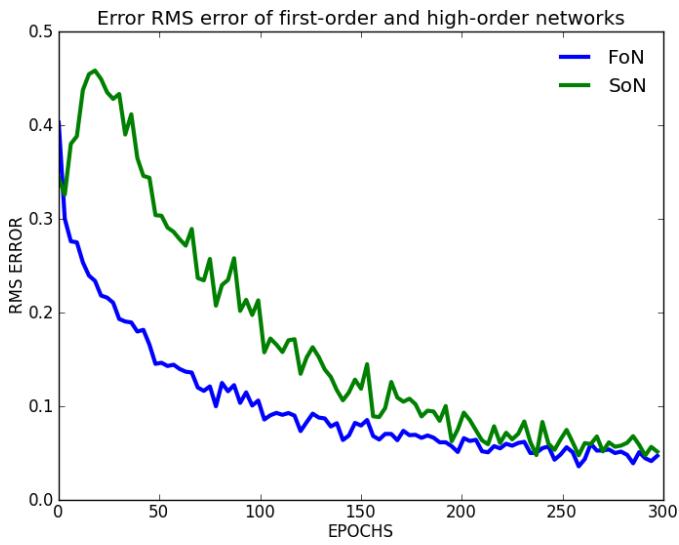
#### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

#### Conclusion

- il faut attendre les 50 premières époques pour que le 3<sup>ème</sup> réseau puisse profiter d'une hausse de performance

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



#### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Les bonnes performances du second réseau permettent une l'augmentation de performance du 3<sup>ème</sup> réseau. On retrouve toujours la chute puis la remontée du second réseau.

## Conclusion

La mise en place de ce 3<sup>ème</sup> réseau permet une légère hausse de performance. Il est intéressant de voir qu'uniquement grâce à un chiffre donné ( sortie du premier réseau ) et grâce à un paris ( sortie du 2<sup>ème</sup> réseau ), on arrive quand même à avoir une hausse de performance.

Pour résoudre le problème de temps d'apprentissage des 50 premières époques et du 3<sup>ème</sup> réseau supplémentaire, l'Expérience G1 tente de supprimer ce 3<sup>ème</sup> réseau et de fusionner les sorties.

Évidemment, comme nous l'avons montré dans les expériences C, il faut un nombre élevé de neurone dans la couche cachée du premier réseau. Cette hausse de performance ne peut dépasser les performances d'un réseau optimal.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience F2

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

## Architecture

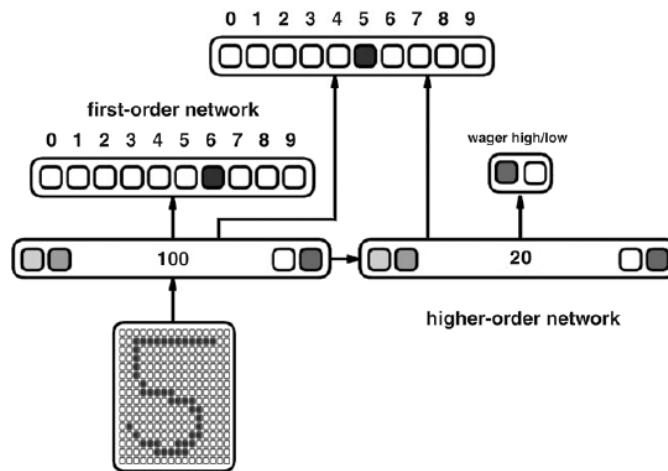
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir des couches cachées des 2 premiers réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

## Schéma

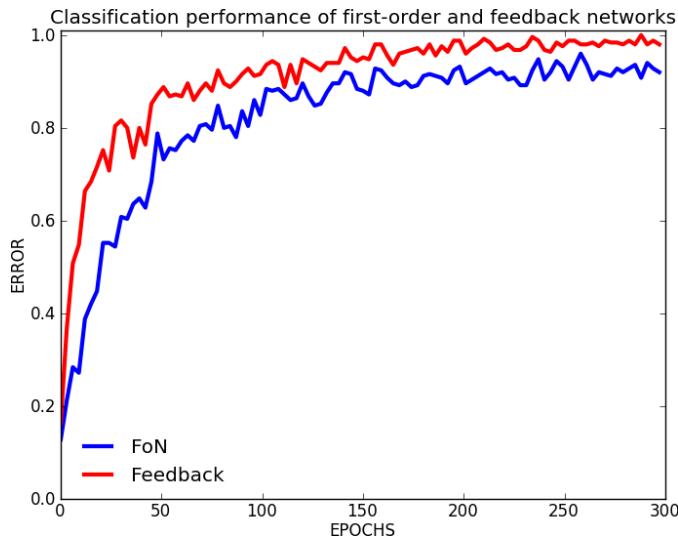


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



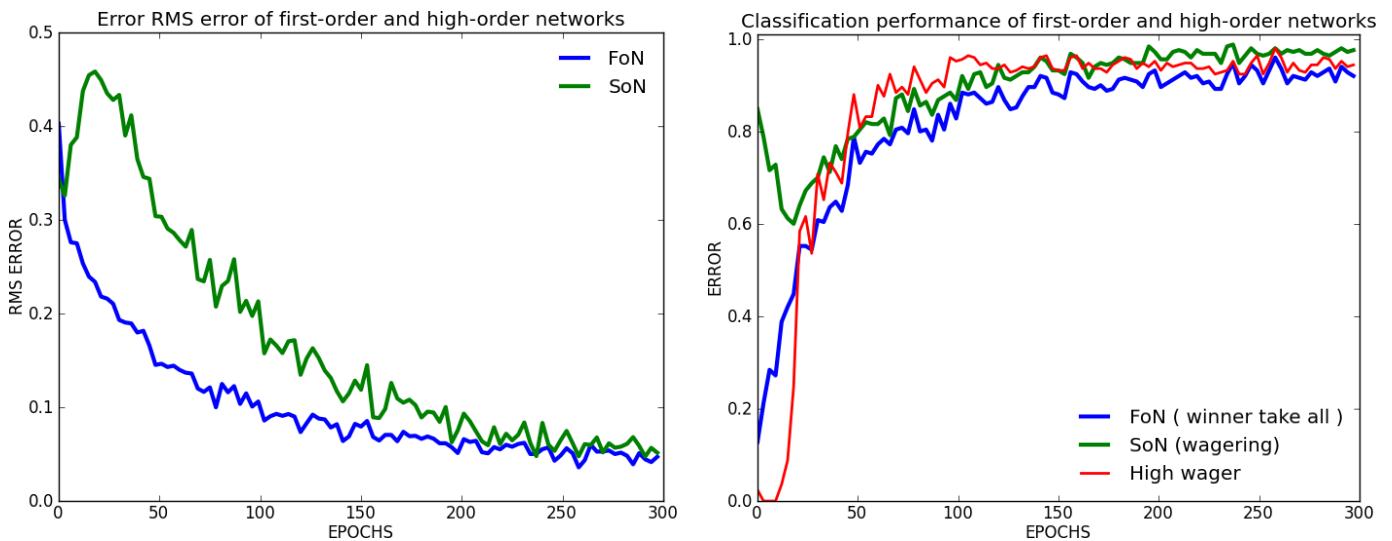
### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- Il y a une très belle hausse de performance toute au long de l'apprentissage

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Les bonnes performances du second réseau permettent une l'augmentation de performance du 3<sup>ème</sup> réseau. On retrouve toujours la chute puis la remontée du second réseau.

## Conclusion

La mise en place de ce 3<sup>ème</sup> réseau permet une belle hausse de performance. Il est intéressant de voir que le dernier perceptron exploite à la fois les **représentations** et les **méta-représentations**.

Évidemment, comme nous l'avons montré dans les expériences C, il faut un nombre élevé de neurone dans la couche cachée du premier réseau. Cette hausse de performance ne peut dépasser les performances d'un réseau optimal.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience F3

### Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

### Architecture

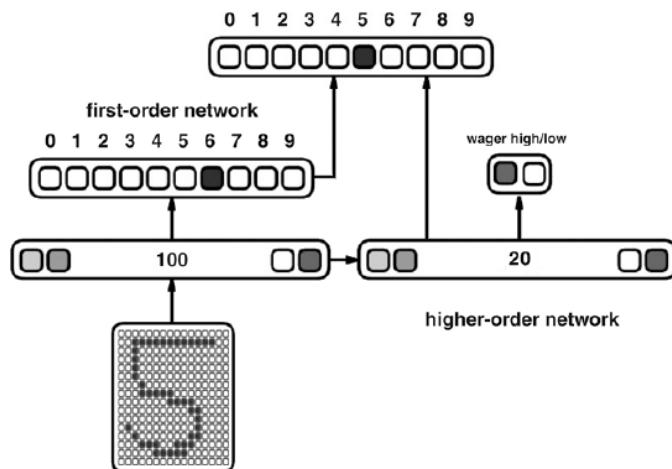
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir de la couche de sortie du premier réseau et de la couche cachée du second réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

### Schéma

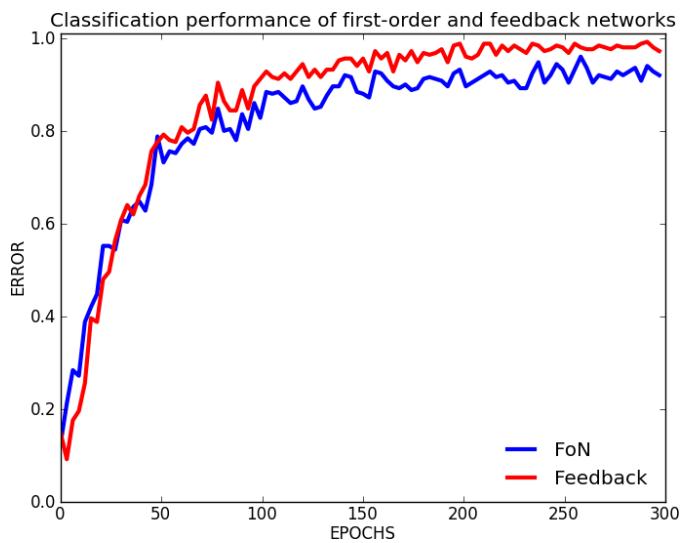


### Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



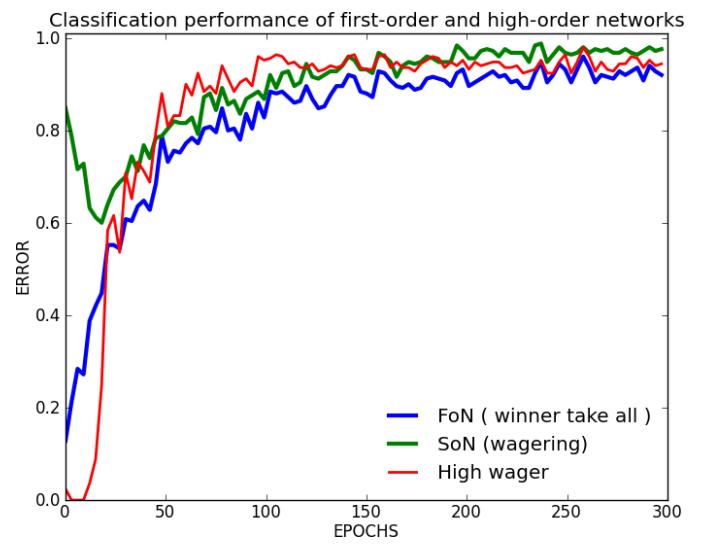
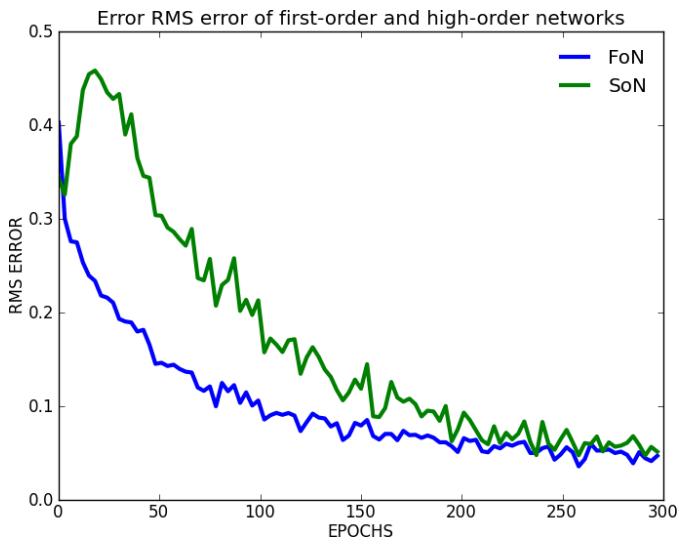
#### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

#### Conclusion

- il faut attendre les 50 premières époques pour que le 3<sup>ème</sup> réseau puisse profiter d'une hausse de performance

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



#### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Les bonnes performances du second réseau permettent une l'augmentation de performance du 3<sup>ème</sup> réseau. On retrouve toujours la chute puis la remontée du second réseau.

## Conclusion

La mise en place de ce 3<sup>ème</sup> réseau permet une légère hausse de performance.

Pour résoudre le problème de temps d'apprentissage des 50 premières époques et du 3<sup>ème</sup> réseau supplémentaire, l'Expérience G2 tente de supprimer ce 3<sup>ème</sup> réseau et de fusionner les sorties.

Évidemment, comme nous l'avons montré dans les expériences C, il faut un nombre élevé de neurone dans la couche cachée du premier réseau. Cette hausse de performance ne peut dépasser les performances d'un réseau optimal.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience F4

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

## Architecture

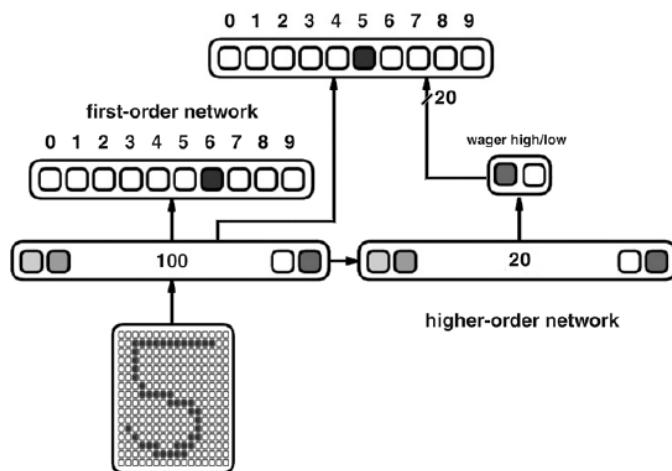
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir de la couche de cachée du premier réseau et de la couche de sortie du second réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

## Schéma

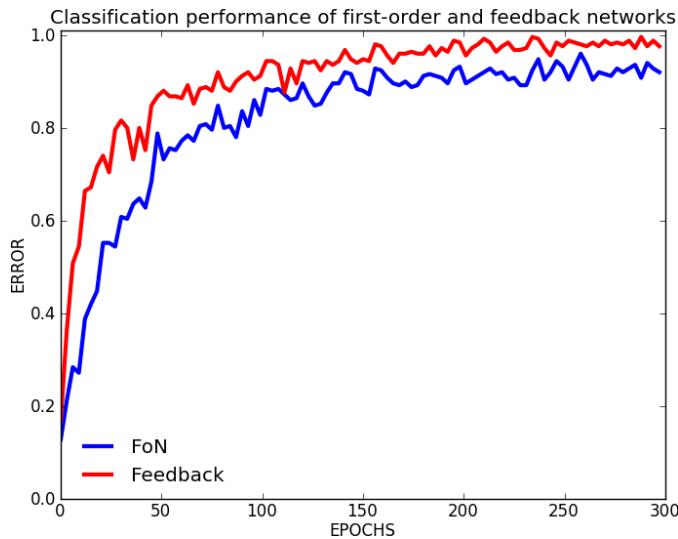


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



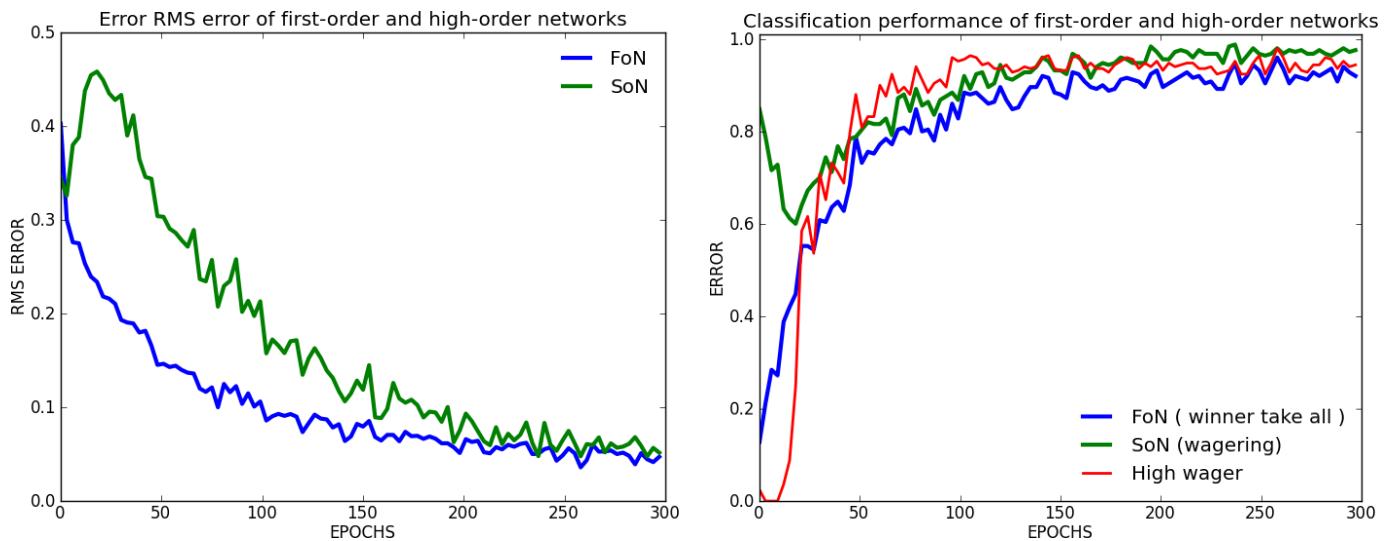
### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- Il y a une très belle hausse de performance toute au long de l'apprentissage

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Les bonnes performances du second réseau permettent une l'augmentation de performance du 3<sup>ème</sup> réseau. On retrouve toujours la chute puis la remontée du second réseau.

## Conclusion

La mise en place de ce 3<sup>ème</sup> réseau permet une belle hausse de performance.

Évidemment, comme nous l'avons montré dans les expériences C, il faut un nombre élevé de neurone dans la couche cachée du premier réseau. Cette hausse de performance ne peut dépasser les performances d'un réseau optimal.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

## Expérience F5

### Objectif

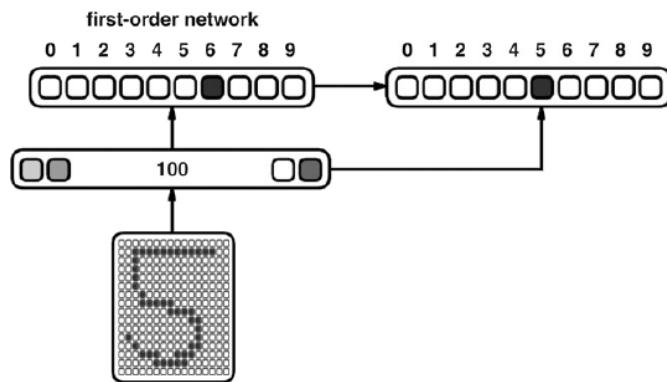
En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

### Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un deuxième réseau de perceptron apprend la solution à partir de la couche cachée et de la couche de sortie du premier réseau. Son apprentissage n'affecte pas le premier réseau.

### Schéma



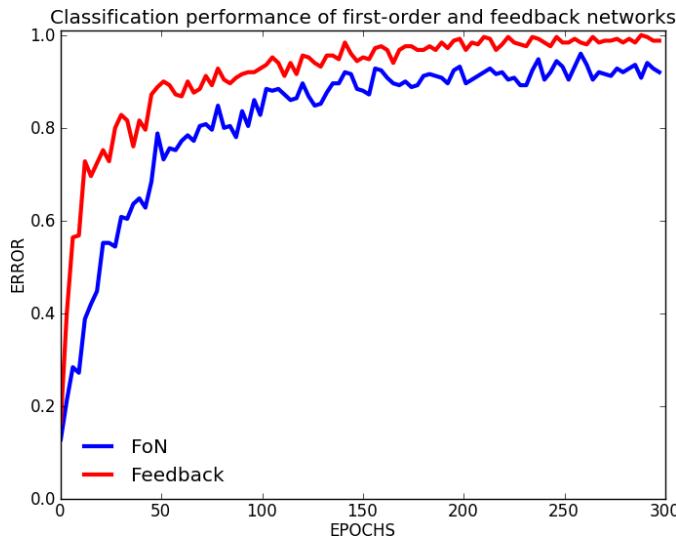
### Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)

- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- Il y a une très belle hausse de performance toute au long de l'apprentissage

## Conclusion

Cette belle hausse de performance est très étrange car elle **remet en cause l'utilité du second réseau et des paris.**

## Formules

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\left\{ \begin{array}{l} f : \text{fonction sigmoïde} \\ x_i : \text{valeur du neurone } i \\ d_i : \text{valeur désirée pour le neurone } i \\ a_i : \text{somme pondérée des poids du neurone } i \end{array} \right.$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. *doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011*.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience F6

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

## Architecture

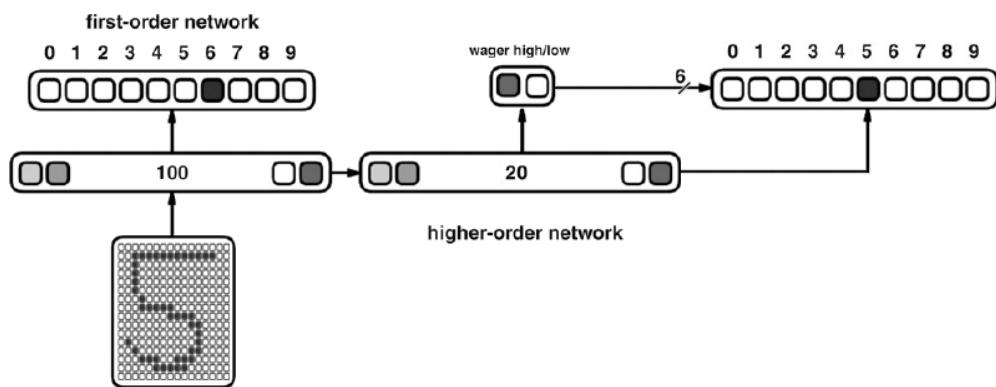
**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir de la couche cachée et de la couche de sortie du second réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

## Schéma

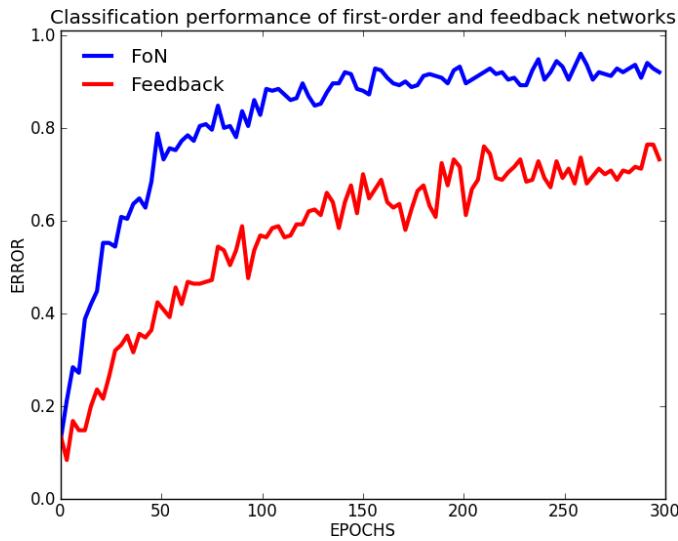


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



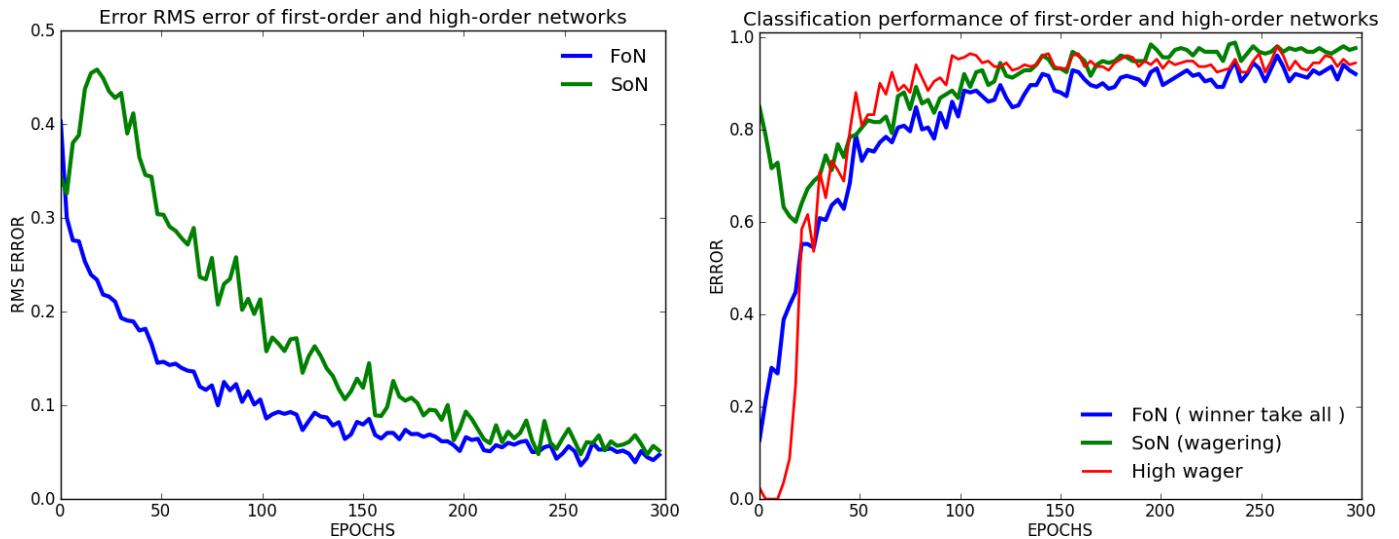
### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- il n'y a jamais de hausse de performance, la perte d'information est trop élevée

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Même les bonnes performances du second réseau ne permettent une augmentation du 3<sup>ème</sup> réseau. On retrouve toujours la chute puis la remontée du second réseau.

## Conclusion

Il n'y a jamais de hausse de performance avec cette architecture, la perte d'information subit à travers les paris dans le second réseau est trop élevée pour pouvoir retrouver les chiffres.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience G1

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

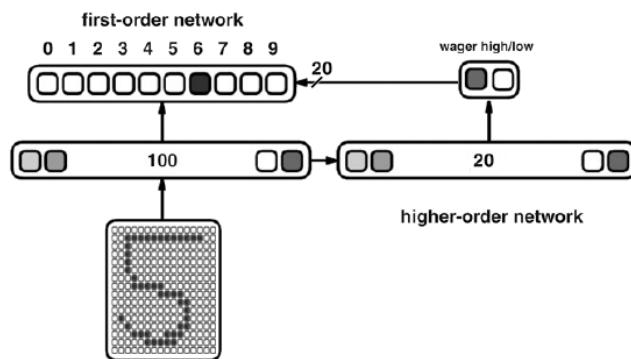
Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Lorsque le second réseau parie haut, la réponse du premier réseau est gardée, à l'inverse, lorsqu'il parie bas, c'est le second neurone le plus élevé du premier réseau qui sera la réponse.

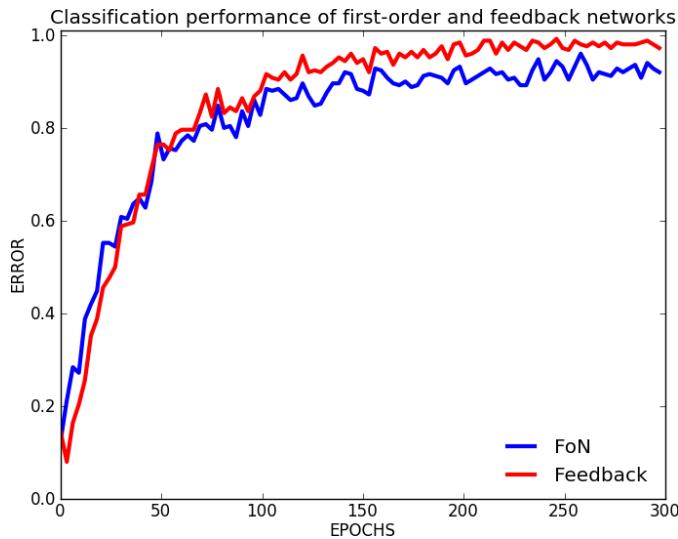
Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir des sorties des 2 premiers réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

## Schéma



## Résultats

### Principaux Analyse des performances



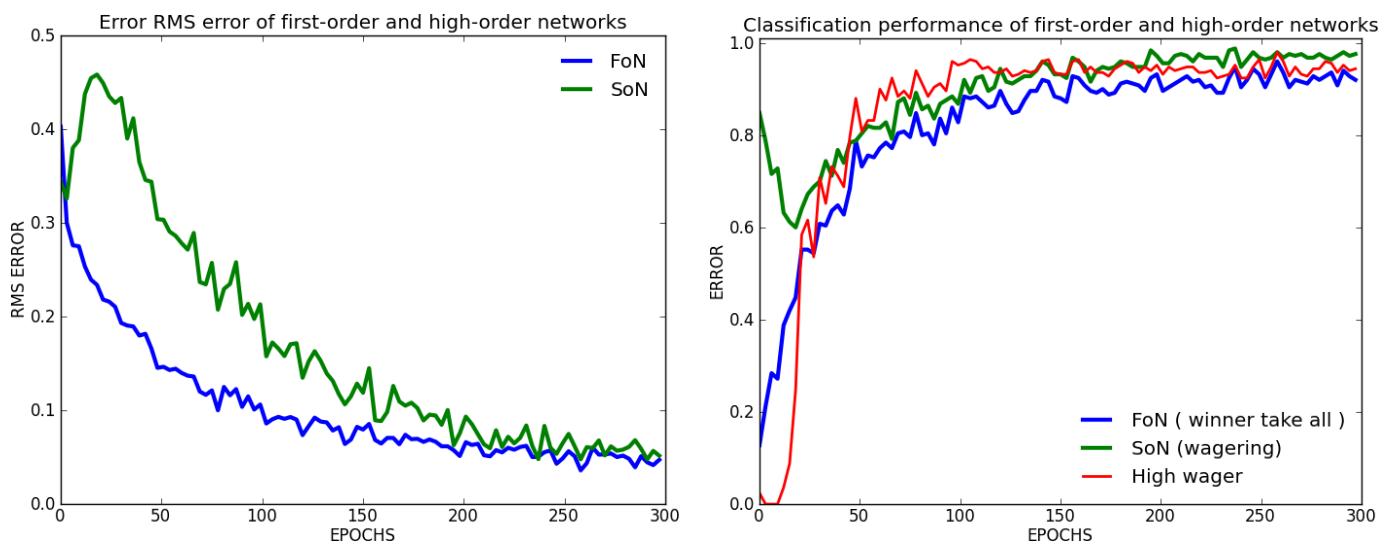
### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- il faut attendre les 50 premières époques pour que le 3<sup>ème</sup> réseau puisse profiter d'une hausse de performance

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Les bonnes performances du second réseau permettent une l'augmentation de performance du 3<sup>ème</sup> réseau.

## Conclusion

La mise en place de ce 3<sup>ème</sup> réseau permet une légère hausse de performance. Il est intéressant de voir qu'uniquement grâce à un chiffre donné ( sortie du premier réseau ) et grâce à un paris ( sortie du 2<sup>ème</sup> réseau ), on arrive quand même à avoir une hausse de performance.

Pour résoudre le problème de temps d'apprentissage des 50 premières époques et du 3<sup>ème</sup> réseau supplémentaire, l'expérience G1.

Évidemment, comme nous l'avons montré dans les expériences C, il faut un nombre élevé de neurone dans la couche cachée du premier réseau. Cette hausse de performance ne peut dépasser les performances d'un réseau optimal.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.

# Expérience G2

## Objectif

En utilisant la seconde architecture de Cleeremans Alex (2007), comprendre de quelles manières un réseau de neurone connexionniste peut, à partir de ses propres paris sur son résultat, améliorer son comportement, à partir d'un 3<sup>ème</sup> réseau.

## Architecture

**Description** Un premier réseau de perceptron multicouche apprend à discréteriser des chiffres représentés par 256 (16x16) neurones d'entrées. Il est composé d'une couche cachée de 100 neurones.

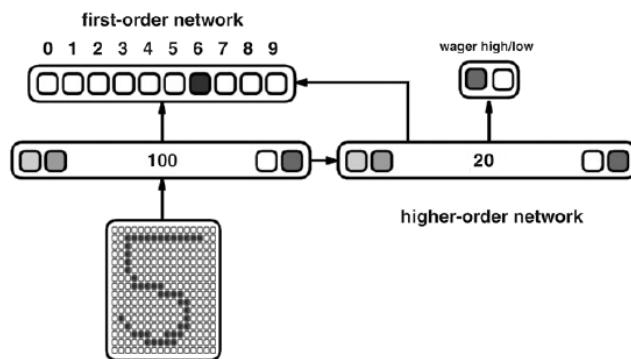
Un second réseau de perceptron multicouche apprend à parier sur la qualité de la réponse du premier réseau à partir de sa couche cachée.

L'apprentissage du second réseau, n'affecte pas les poids entre la couche d'entrée et la couche cachée du premier réseau.

Lorsque le second réseau parie haut, la réponse du premier réseau est gardée, à l'inverse, lorsqu'il parie bas, c'est le second neurone le plus élevé du premier réseau qui sera la réponse.

Un troisième réseau de perceptron apprend la solution à partir des sorties des 2 premiers réseau. Son apprentissage n'affecte aucun des 2 sous réseaux.

## Schéma

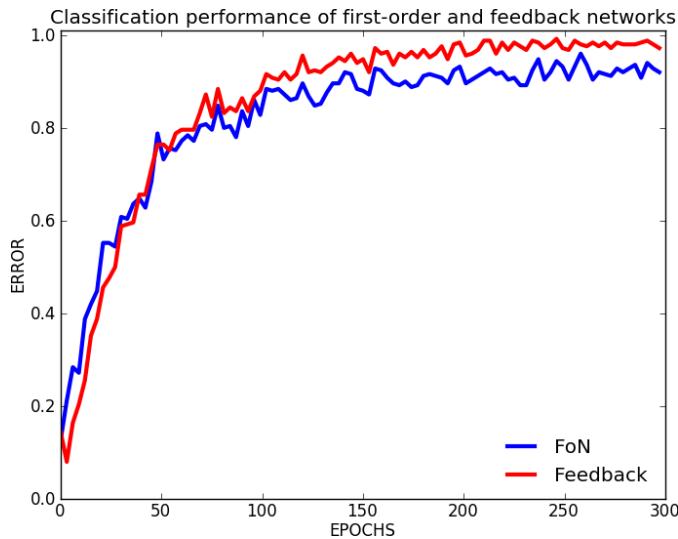


## Paramètres

- momentum : 0.5 sur le premier réseau
- momentum : 0. sur le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage : 0.15 sur le premier réseau
- taux d'apprentissage : 0.1 sur 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- **1600 formes** de chiffres différents présentées (shuffle) Semeion Research Center (1994)
- poids initialisés sur [-1 ; 1] pour le premier réseau
- poids initialisés sur [-0.25 ; 0.25] pour le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> réseau
- taux d'apprentissage constant
- entrées valent 0 ou 1
- sigmoïde à température 1
- utilisation de biais
- apprentissage 50 (formes) x 300 (époques)

## Résultats

### Principaux Analyse des performances



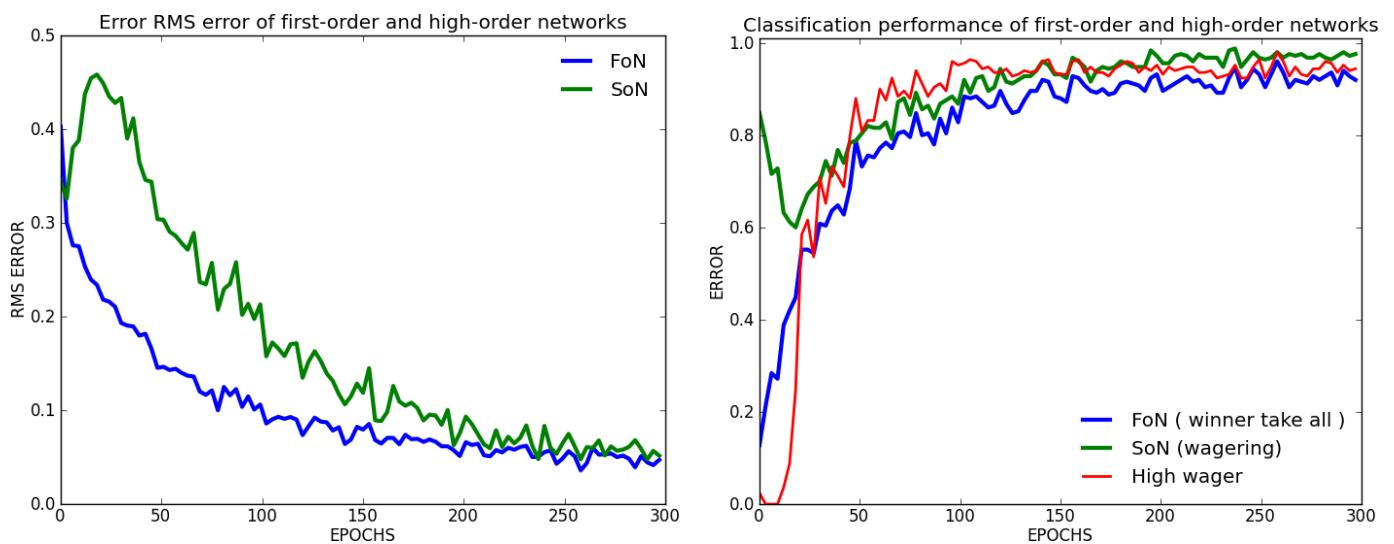
### Notes

- La performance de classification représente le taux de bonnes réponses (winner-take-all) pour les 50 formes présentées sur une époque

### Conclusion

- il faut attendre les 50 premières époques pour que le 3<sup>ème</sup> réseau puisse profiter d'une hausse de performance

### Secondaires Analyse des performances sous-jacentes



### Notes

- formule utilisée pour RMS (cf. Formules RMS)
- la courbe rouge représente le taux de paris haut du second réseau

**Conclusion** Les bonnes performances du second réseau permettent une l'augmentation de performance du 3<sup>ème</sup> réseau.

## Conclusion

La mise en place de ce 3<sup>ème</sup> réseau permet une légère hausse de performance. Il est intéressant de voir qu'uniquement grâce à un chiffre donné ( sortie du premier réseau ) et grâce à un paris ( sortie du 2<sup>ème</sup> réseau ), on arrive quand même à avoir une hausse de performance.

Pour résoudre le problème de temps d'apprentissage des 50 premières époques et du 3<sup>ème</sup> réseau supplémentaire, l'expérience G1.

Évidemment, comme nous l'avons montré dans les expériences C, il faut un nombre élevé de neurone dans la couche cachée du premier réseau. Cette hausse de performance ne peut dépasser les performances d'un réseau optimal.

## Formules

**RMS** Pour une époque  $e$  :

$$rms_e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_{i,e} - d_i)^2}$$

with  $\begin{cases} n : number of neurons on the output layer \\ o_{i,e} : value obtained for the i^{th} neuron at the e^{th} epoch \\ d_i : value desired for the i^{th} neuron \end{cases}$

**Descente de gradient** Touzet (1992)

Construction de l'erreur :

$$\begin{aligned} y_i &= f'(a_i) \times (d_i - x_i) \text{ si } i \text{ neurone de sortie} \\ y_i &= f'(a_i) \times \sum_k (w_{ki} \times y_k) \text{ si } i \text{ neurone cache} \end{aligned}$$

Mise à jour des poids :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + learning\_rate \times y_i \times x_j + momentum \times (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1))$$

Variables :

$$\begin{cases} f : fonction sigmoide \\ x_i : valeur du neurone i \\ d_i : valeur desire pour le neurone i \\ a_i : somme pondere des poids du neurone i \end{cases}$$

## References

Cleeremans Alex, Timmermans Bert, P. A. (2007). Consciousness and metarepresentation : A computational sketch. doi :10.1016/j.neunet.2007.09.011.

Semeion Research Center, o. S. o. C. (1994). Semeion handwritten digit data set. 1593 handwritten digits from around 80 persons.

Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels - introduction au connexionnisme.