

RÉSEAUX DE NEURONES

DE LA PHYSIQUE À LA PSYCHOLOGIE

Jean-Pierre NADAL



ARMAND COLIN

Table des matières

Introduction	1
Liminaire	1
Motivations	2
Une vieille histoire	2
Le choix d'un point de vue	4
Plan du livre et mode d'emploi	5
1 Le neurone formel	7
1.1 Du réel au formel	7
1.1.1 Quelques éléments de neurobiologie	7
1.1.2 Une caricature : l'automate à seuil	10
1.2 Des réseaux de neurones	11
1.2.1 Dynamiques	12
1.2.2 Architectures	13
1.3 Du digital à l'analogique	15
1.3.1 Digital <i>et</i> analogique	15
1.3.2 Analogique ou analogique	17
1.3.3 Un amplificateur opérationnel	18
1.4 Calculer, apprendre et comprendre	19
1.4.1 Codage	19
1.4.2 <i>Computation</i> neuronale	21
1.4.3 Apprendre par cœur	21
1.4.4 Apprendre par l'exemple	22
1.4.5 La brique de base	23
2 Mémoire associative et réseaux à attracteurs	25
2.1 Un minimum de psychologie	25
2.2 La physique statistique entre en scène	27
2.2.1 Une longue marche	27

2.2.2	Pourquoi la mécanique statistique ?	27
2.3	Le modèle de Hopfield :	
	une présentation informelle et naïve	29
2.3.1	Interpréter l'activité du réseau	29
2.3.2	Dynamique	30
2.3.3	Apprentissage	32
2.3.4	De l'utilité du bruit	33
2.4	Une présentation plus formelle	
	– et un peu moins naïve	34
2.4.1	Le modèle standard	34
2.4.2	Un pas en arrière, un bond en avant	36
2.4.3	La loi de Hebb	39
2.4.4	Capacités critiques	40
2.4.5	Diagramme de phase	42
2.4.6	Réseaux de taille finie	44
	Annexe 1 : l'analyse signal/bruit	45
	Annexe 2 : l'énergie libre	47
3	Au-delà du modèle standard	49
3.1	Critique du modèle de Hopfield	49
3.2	Vers plus de réalisme	51
3.2.1	Le problème des faibles taux d'activités	51
3.2.2	Des neurones à plus grande plausibilité	52
3.2.3	Réunir ce qui a été séparé	54
3.2.4	Des architectures spécifiques	55
3.2.5	Sélection <i>versus</i> instruction	56
3.3	Mémoire à court terme	57
3.3.1	Le nombre magique 7 ± 2	57
3.3.2	Palimpsestes	58
3.3.3	Une théorie de l'interférence	61
3.3.4	L'interférence proactive	62
3.4	De la physique à la psychologie	64
3.4.1	D'une introspection à l'autre	64
3.4.2	Une nouvelle <i>Gestalt</i> ?	65
3.4.3	D'un niveau à l'autre	66

4 Apprendre par cœur	69
4.1 Réseaux en couches : le cas du perceptron	69
4.1.1 Un séparateur linéaire	69
4.1.2 Capacité du perceptron : une approche géométrique	72
4.2 Performances optimales et propriétés génériques	74
4.2.1 Tout un programme	74
4.2.2 Capacités du perceptron	76
4.2.3 Catégoriser	80
4.3 Réseaux à attracteurs	81
4.3.1 Stabilités et bassins d'attraction	82
4.3.2 Retour au perceptron	84
4.3.3 Capacité d'un réseau à attracteurs	84
5 Algorithmes pour la brique de base	87
5.1 Apprentissage supervisé	87
5.1.1 Adaline et la règle de Widrow et Hoff	87
5.1.2 Pseudo-inverse	89
5.1.3 L'algorithme du perceptron	90
5.1.4 Variantes à la carte	92
5.1.5 Analyse discriminante	94
5.2 Apprentissage non supervisé : le réseau autodidacte	95
5.2.1 Loi de Hebb et analyse en composantes principales	96
5.2.2 Auto-organisation et cartes corticales	99
5.2.3 Apprentissage semi-supervisé	101
6 Apprendre et généraliser	103
6.1 Qu'est-ce que généraliser ?	103
6.1.1 Une entreprise osée	103
6.1.2 Le choix de la complexité minimale	104
6.2 Savoir généraliser	106
6.2.1 Apprendre par l'exemple	106
6.2.2 Capacité et nombre effectif de paramètres	107
6.2.3 Une affaire d'entropie — ou d'information	109
6.2.4 Le doute, source de progrès	111
6.2.5 Approximation de fonctions	113
6.3 Stratégies pour bien apprendre	114

7 Réseaux en couches et applications	117
7.1 Au-delà du perceptron : cachez ces neurones que je ne saurais voir	117
7.2 La rétropropagation du gradient	119
7.2.1 Principe de l'algorithme	119
7.2.2 L'algorithme de base	121
7.2.3 NetTalk : un succès médiatique	122
7.3 L'inné et l'acquis	124
7.3.1 Alors, quoi de neuf ?	124
7.3.2 Digression	125
7.4 De la parole aux protéines	126
7.4.1 Reconnaissance de la parole	126
7.4.2 Océanographie	127
7.4.3 De l'ADN aux protéines	128
7.4.4 Physique des hautes énergies	129
7.4.5 Les applications se ramassent à la pelle...	130
7.5 Algorithmes constructifs	131
7.5.1 Apprendre en grandissant	132
7.5.2 Des arbres de neurones	134
7.6 Algorithmes avec relaxation	137
7.6.1 Monte-Carlo et recuit simulé	137
7.6.2 La machine de Boltzmann	139
7.6.3 Les réseaux à attracteurs pour l'optimisation	140
7.7 Logiciels et matériels	141
7.7.1 Logiciels	141
7.7.2 Matériels : analogique ou numérique ?	142
7.7.3 Machines et puces	143
A suivre	147
Bibliographie	149
Index	151