

Application du neuromimétisme  
à la gestion de production

*J.-L. Bouchez, J.-P. Gligny,  
IUT de Cachan*

**Résumé** : L'objectif de cet article est de montrer les possibilités qu'offre le neuromimétisme en ce qui concerne les **prévisions** de commandes ainsi que la **modélisation** du système de production dans une entreprise fonctionnant en "**juste à temps**" à travers une étude comparant une méthode neuronale à une méthode algorithmique pour ce qui est de la prévision.

**Mots-clé**: Productique. Complexité. Systémique. Gestion de Production. Flux tendu. Kanban. Prévision. Modélisation. Neuromimétisme.

### I Préambule : La Productique

La **Complexité** des conditions actuelles du marché a mis en évidence la nécessité d'une gestion extrêmement précise et rigoureuse des moyens de production:

La **Productique**, véritable science de la production, se développe dans le même temps et inclut en les intégrant **différents savoirs** : ceux issus de l'**expérience taylorienne**, des innovations nées du **pragmatisme** des entreprises ainsi que des **formalisations plus abstraites**, des réflexions ou des **recherches**.

La **Productique** relève d'une vision **systémique** de l'entreprise où l'on ne peut isoler les tâches de gestion de production du **contexte global** de l'entreprise (gestion du personnel, gestion commerciale, gestion financière....)

Pour mieux **maîtriser le comportement** du système de production les besoins se mesurent en termes de **Prévision, Modélisation et Traitements complexes** des multiples données qui caractérisent le système.

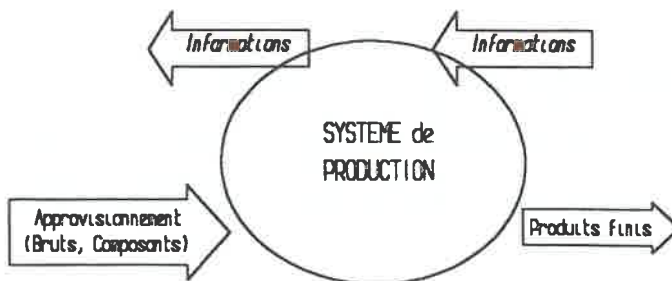
Les entreprises expriment donc un **important besoin en techniciens** aux connaissances **actualisées**, compétents et qualifiés. Les techniciens formés à la productique doivent savoir **utiliser plusieurs angles de vue** pour aborder chaque problème, et adopter une **démarche pluridisciplinaire**; en particulier ils doivent savoir utiliser la puissance du traitement informatique en manipulant de **nombreux logiciels** (Conception, Fabrication, Gestion...) : ils en sont les **utilisateurs** plutôt que les concepteurs.

Dans la formation à la Productique délivrée à l'IUT, nous avons délibérément choisi d'enseigner des bases de neuromimétisme et d'utiliser celui-ci qui nous semble **bien s'adapter aux systèmes de production** en particulier lorsque les systèmes sont **difficilement modélisables** ou **partiellement formalisés**, de **structuration mal connue** et lorsque les problèmes sont dépendants de **tant de paramètres** que l'on préfère souvent s'en remettre à "**l'expérience**", "**l'habitude**", "**l'empirisme intuitif**", voir même "**le hasard**". Cela est particulièrement le cas de la **prévision**.

## II Le besoin de prévision

La recherche de l'amélioration de la productivité par l'optimisation des flux physiques dans l'entreprise est une préoccupation essentielle pour affronter la concurrence, pour diminuer les coûts de stockage et réduire les délais d'obtention.

Le **flux tiré** est une réponse à cette recherche, il consiste pour une entreprise ou un service à "ne produire que ce dont on a besoin, quand on en a besoin". C'est le flux des commandes des clients (ou du service client) qui déclenche la production, on dit encore que l'on pilote la production par l'aval (fig.1).



*figure 1: flux d'informations et flux de produits.*

Ainsi l'entreprise ne dispose que de **très peu de stock** de produits finis qui **immobilisent** inutilement le **flux financier**.

L'utilisation d'étiquettes "Kanban" (fig 2) pour matérialiser le flux d'informations remontant constitue une méthode de gestion efficace, simple à appréhender et à implanter.

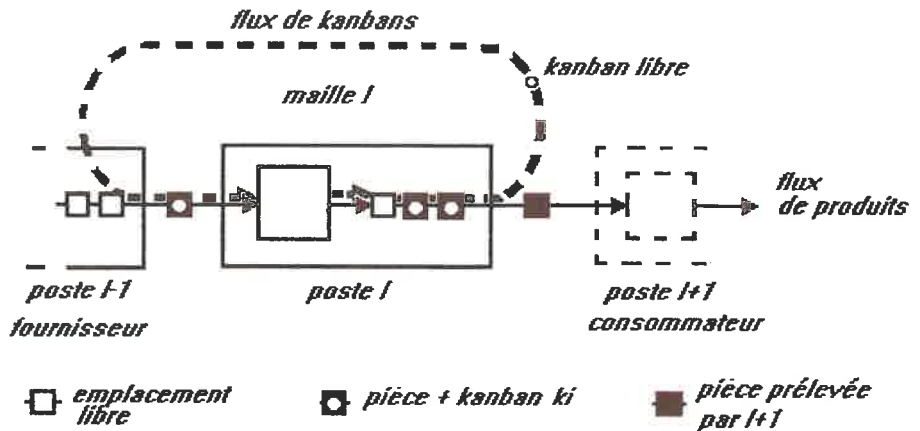


figure 2 : Circulation des kanbans dans une maille élémentaire

Cette méthode popularisée essentiellement dans le secteur de l'industrie automobile produit de nombreux effets positifs, mais elle a des inconvénients, en particulier l'entreprise, n'ayant pas (ou peu) de stocks, ne garantit un délais client très court que si la demande est "normale" c'est à dire pas trop éloignée de sa valeur moyenne (+/- 10%) par contre le délai s'allonge considérablement avec l'ampleur des demandes exceptionnelles (fig 3).

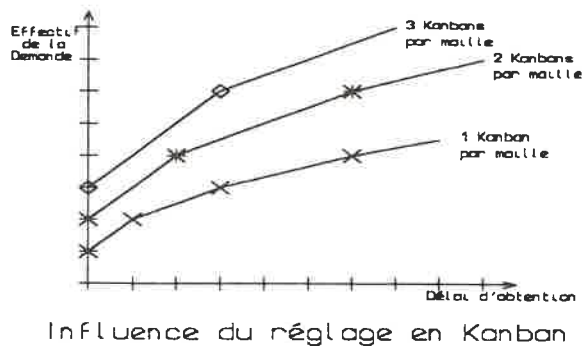


figure3

La **réponse rapide** à celles-ci, qui irait dans le sens d'une **meilleure satisfaction du client**, pourrait néanmoins devenir réalisable si l'on pouvait **anticiper** la demande du client et **régler autrement** le système de production (lui faire prendre de "l'avance"). Cela **gonflerait** temporairement

le stock de produits mais réduirait d'autant le délai client : l'**essentiel** étant de minimiser un coût total (fig.4) qui est fonction des délais (**pénalités de retard**) et des stocks (**coûts de stockage**).

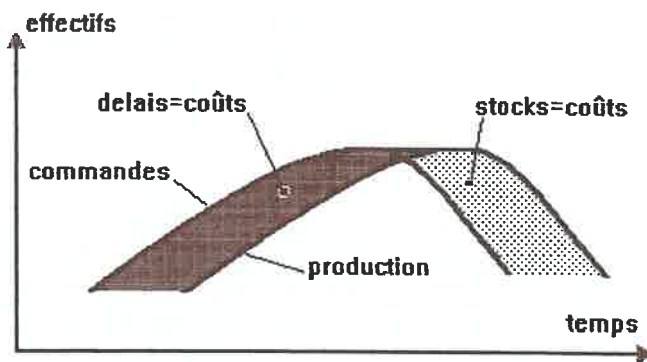


figure 4 : Le retard entre commandes et production

Dans le cadre d'un projet d'études de 200 heures, nous avons donc décidé de confier à un groupe d'étudiants le soin de comparer diverses méthodes de prévisions à partir des séries chronologiques des commandes clients d'une entreprise dans le but de tenter d'améliorer le temps de réponse de celle-ci vis à vis de la clientèle. L'entreprise pressentie n'ayant pas pu en temps utile fournir le tableau récapitulatif de l'historique des commandes clients nous avons été conduits à utiliser une série chronologique standard : le nombre mensuel de voyageurs kilomètres à la SNCF disponible dans de nombreux ouvrages (par ex.: *Séries temporelles et Modèles dynamiques*, C.Courieroux et A.Montfort, Editions ECONOMICA).

### III Méthodes de prévisions : Neuromimétisme ou Algorithmie

De manière à pouvoir disposer de bases de comparaison les étudiants se sont partagés le travail : l'un s'est occupé de réaliser la prévision par un réseau neuronal, l'autre au moyen d'une des "nombreuses" méthodes analytique avec deux objectifs précis :

- Voir si la méthode peut être adaptée à l'industrie et notamment à la production,
- Quantifier les précisions que l'on peut espérer avec chaque méthode.

Afin de donner à ce travail un rôle mesurable, il a fallu d'abord constituer un fichier de données constituant l'historique de l'entreprise : il s'agissait d'un fichier informatique contenant mois par mois le nombre de clients-km à la SNCF sur 5 années (donc 60 valeurs et leurs dates). Ce fichier se devait d'être la base commune aux deux méthodes comparées.

#### III .1 Prévision Neuromimétique

Disposant du logiciel NeuralWare professional II (distribué par la société Scientific Computer) nous l'avons donc utilisé pour cette partie du projet. Ce logiciel fonctionne sur différents matériels, nous l'avons installé sur un PC muni d'un coprocesseur arithmétique et après un temps d'adaptation très rapide (le logiciel étant relativement facile à aborder) les premiers réseaux étaient construits. L'encadré ci-joint présente en quelques lignes les Réseaux de Neurones ainsi que les principes de fonctionnement et d'apprentissage.

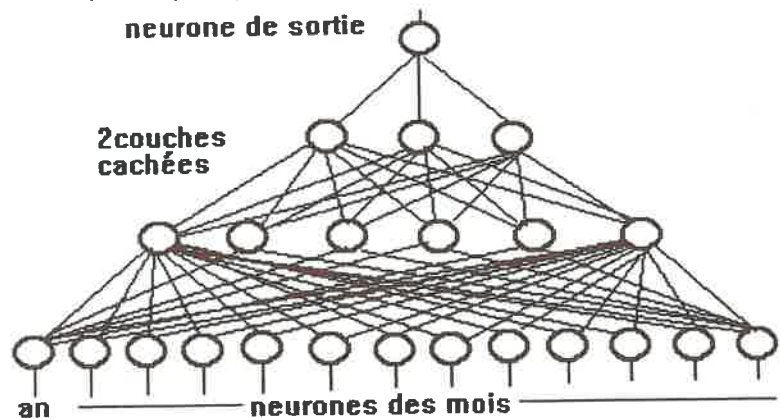


figure 5 : Réseau Neuromimétique utilisé en prévision

L'objectif étant de faire la prévision pour un mois donné, il fallait imaginer "entrer" une information concernant le mois et une concernant l'année pour obtenir en "sortie" le nombre de voyageurs prévus.

Après divers essais nous nous sommes arrêtés à un réseau multi-couches du type perceptron dont la couche d'entrée contient 1 neurone à entrée analogique qui recevra la valeur analogique de l'année (1982 par exemple) et 12 neurones à entrées binaires qui permettront de coder le mois (on met à "1" l'entrée du mois correspondant et à "0" les autres entrées). Le réseau devait aussi disposer d'un neurone de sortie fournissant une valeur analogique correspondant (à un facteur multiplicatif près) au nombre de voyageurs kilomètres prévus.

Pour ce qui est du nombre de couches cachées et du nombre de neurones par couches, nous avons effectué des essais l'un sur deux couches cachées entièrement connectées identiques ("structure rectangulaire"), l'autre sur deux couches cachées dont les nombres de neurones vont en décroissant ("structure pyramidale"). Finalement (fig.5), c'est la dernière solution qui a été retenue comme représentant au mieux l'image que nous nous faisons de l'agrégation de données dans le modèle implicite

Pour ce qui est des fonctions de transfert c'est la tangente hyperbolique qui a été utilisée dans chaque neurone. La règle d'apprentissage est la rétropropagation du gradient, la stratégie de l'apprentissage consiste à apprendre au réseau, mois par mois, toutes les données correspondant à 5 ans (60 valeurs) puis à demander au réseau sa prévision pour le premier mois de la 6ème année ensuite. Cette prévision trouvée, on reprend l'apprentissage avec les 60 valeurs précédentes ainsi que la valeur exacte du premier mois de la 6ème année et on peut alors effectuer une prévision pour le 2ème mois de la 6ème année, et ainsi de suite ...

Ce mode de fonctionnement simule un logiciel de prévision qui dans une entreprise aurait "accumulé le savoir" correspondant à l'historique, et qui ferait des prévisions mais aussi qui "apprendrait régulièrement" en tenant compte des dernières valeurs effectivement constatées.

Les résultats obtenus (figure 6) montrent sur une année les valeurs réelles et les valeurs prévues (à chaque fois à l'horizon d'un mois) : on constate que les prévisions respectent bien les saisonnalités qui sont incluses implicitement dans les multiples poids synaptiques du réseau pyramidal. La moyenne de l'erreur prévision/réalisation sur une année ne dépasse pas 6,5%. De pair

avec le travail sur la prévision par un réseau neuromimétique un autre étudiant s'est penché sur la mise en application d'une prévision au moyen d'un algorithme.

### III - 2 - Prévision algorithmique

Il existe à ce jour de nombreuses méthodes mathématiques de prévision à partir de séries chronologiques. On peut partager l'essentiel en trois catégories:

- Les méthodes d'extrapolation qui consistent à définir compte tenu du passé une espérance mathématique de la valeur à prévoir. Le lissage exponentiel relève de cette catégorie.
- Les méthodes de modélisation qui consistent à chercher une expression expliquant les résultats antérieurs et pouvant être conservée pour le futur. La recherche de la tendance et de la saisonnalité relève de cette catégorie.
- Les méthodes qui s'apparentent au traitement du signal et qui consistent à déterminer les paramètres du système filtre et générateur qui engendre la série et ses fluctuations aléatoires. Les méthodes ARMA ou ARIMA relèvent de cette catégorie.

Nous avons choisi la méthode de Holt Winters ou lissage exponentiel double : ce n'est certainement pas la meilleure méthode adaptée à ce type de prévision, mais elle est aisément programmable (... pour un technicien supérieur de niveau bac + 3). Le principe de la prévision est le suivant : la prévision est calculée par extrapolation linéaire à partir de la dernière valeur connue et des paramètres directeurs  $a_0$  et  $a_1$  d'une droite qui représente la tendance locale. Ces paramètres directeurs sont eux-mêmes calculés à partir des valeurs de l'erreur prévision/réalisation commise au pas précédent et d'un coefficient  $a$  (compris entre 0 et 1) qui chiffre l'adaptabilité du processus.

L'algorithme itératif est donc le suivant ; il faut calculer les paramètres " $a_0$  et  $a_1$ ", faire une prévision à l'horizon " $h$ " ( $h = 1$  mois), attendre la réalisation, calculer l'erreur prévision/réalisation, calculer à nouveau " $a_0$  et  $a_1$ " etc... Quant au choix du coefficient  $a$ , c'est par apprentissage qu'il est effectué, en effet si  $a$  est petit, la prévision est "molle" et à des difficultés à suivre les éventuelles variations brutales de la série, si  $a$  est grand c'est le contraire, la prévision est "trop sensible" aux moindres tendances locales.  $a$  a été déterminé de manière à minimiser la moyenne d'erreur prévision/réalisation ;



l'expérimentation nous a donné a voisin de 0,55.

La figure 6 représente les résultats obtenus par cette méthode sur un an ; on pourra noter en particulier le "déphasage" qui existe inévitablement entre la courbe prévue et la courbe réelle ainsi qu'une moyenne des erreurs prévision/réalisation se situant sur 1 an à 13% (soit 2 fois supérieur à la prévision neuronale).

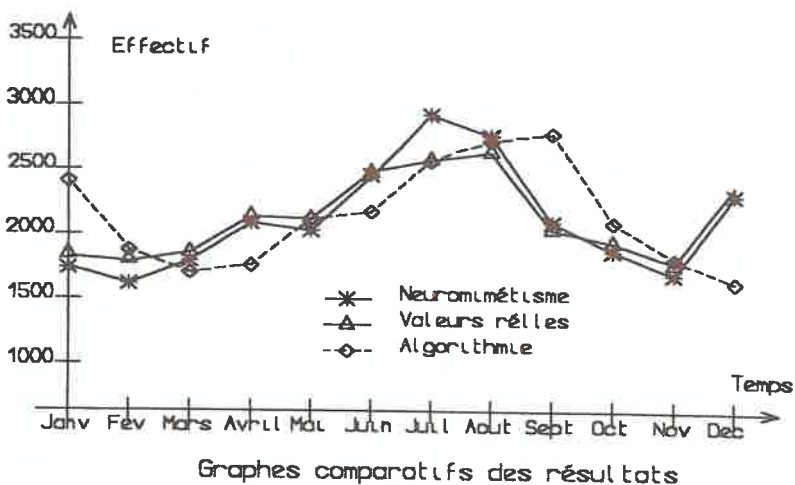


figure 6

#### IV Conclusion :

A l'issue de ces expériences (projet de technicien supérieur en Productique niveau Bac + 3 durée 200 heures), on peut tirer des conclusions de divers ordres :

- Au niveau des étudiants techniciens, il s'agit là d'un domaine tout à fait abordable en prévoyant une formation "légère" sur le sujet et en utilisant très vite des logiciels conviviaux.

- Au niveau des techniques de prévision appliquées en production les résultats sont encourageants puisque les erreurs ont des ordres de grandeur acceptables (environ 10%)
- En termes de production, une forme "compilée" du programme de prévision constituerait un outil puissant pour le directeur de production. L'aspect adaptatif du logiciel neuronal lui permettrait même d'être moins sensible à une modification de tendance car il y a apprentissage tout au long de sa phase d'utilisation.
- Enfin de nombreux développements sont à imaginer dans les directions suivantes :
  - Améliorer le choix de type de réseau pour optimiser le temps de calcul.
  - Utiliser la prévision pour régler les paramètres de la production (que donner comme ordre de fabrication ? à quelle machine ? et quand le faire ?).
  - L'opération précédente sous-tendant une modélisation du système de production, on peut imaginer constituer un réseau neuromimétique qui assure la prévision et qui inclut une modélisation implicite du système de production.

#### **Bibliographie :**

Série temporelle et modèles dynamiques. C. COURIEROUX, A. MONFORT, Edition Economica.

Modélisation et évaluation des performances d'un système KANBAN. M. DIMASCOLA, Y. FREIN, Y. DALLERIE . Congrès C.I.M. Bordeaux Juin 1990

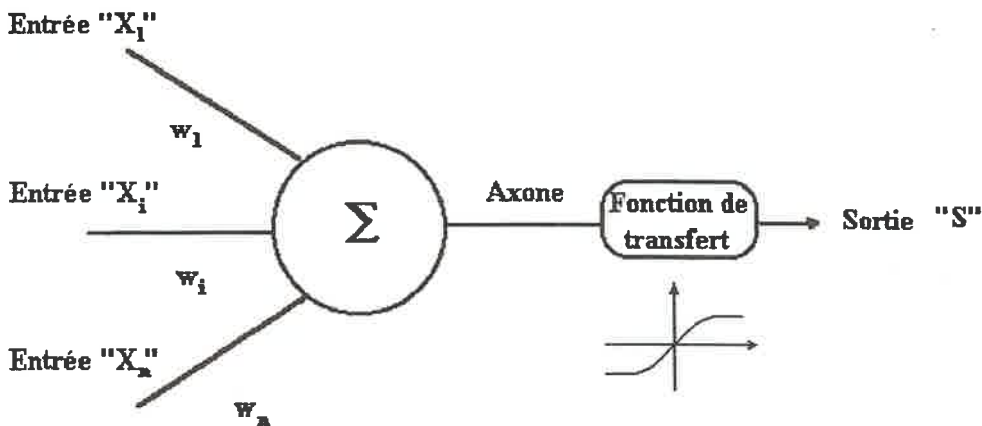
Application des réseaux de neurones artificiels à la prévision de la consommation d'eau. R. SOBRAL, S. CANU. Congrès Neuronîmes Novembre 1990.

Le Neuromimétisme, un pas vers un meilleur pilotage des systèmes de production. JP Gligny et JL Bouchez. 1er Congrès Qualité et Sûreté de fonctionnement. Compiègne. Novembre 1994.

### QU'EST-CE QU'UN RESEAU DE NEURONES

Un Réseau de Neurones est constitué d'un ensemble de processus élémentaires appelés "**neurones formels**", chacun est relié à d'autres par des connexions appelées synapses. Ce type de structure s'inspire de celle de notre cerveau. A la différence d'un ordinateur classique cette architecture n'est pas programmable et dans l'état actuel des techniques on n'en réalise uniquement la simulation informatique.

La définition des neurones formels est fortement inspirée des travaux de neurobiologie. Chaque neurone formel est un **petit automate** très simple qui réalise la **somme pondérée** par des poids  $w_1, \dots, w_n$ , des entrées  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , qu'il reçoit. Le résultat de la somme est ensuite modifié par une fonction pondérée par une **fonction de transfert** non linéaire pour obtenir la sortie  $S$  du neurone (figure ci-dessous).



Dans un **réseau à couches**, on distingue la couche des neurones d'entrée, la couche des neurones de sortie et des couches intermédiaires. Le réseau est ainsi un système non linéaire qui associe aux états de la couche d'entrée (qui sont les données du problème) des états de la couche de sortie (qui sont les résultats du problème). C'est la **structure** et la **configuration des poids** du réseau qui définissent le **modèle**.

Le but de l'**apprentissage** est de sélectionner une bonne configuration des poids à partir d'une **série d'exemples** donnés. On fait pour cela **évoluer progressivement** les poids du réseau jusqu'à réaliser au mieux la correspondance entre les entrées et les sorties décrites dans chacun des exemples donnés.

Cela est effectué à l'aide de techniques de minimisation d'erreur au moyen d'algorithmes tels que la "**rétropropagation du gradient**". Dès que l'apprentissage est effectué le réseau est alors prêt à l'emploi, il peut appliquer ce qu'il "vient d'apprendre" à des situations nouvelles.