



Journée SEE-SFGP

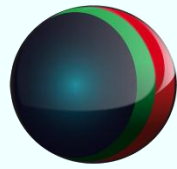
« Réseaux de neurones pour le contrôle et la surveillance de procédés »

Quelques études et prototypes développés ici et là

patrice.kiener@inmodelia.com

Tel : 09.53.45.07.38

ESPCI - 11 janvier 2012

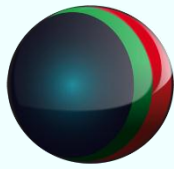


A propos d'InModelia

A propos d'InModelia :

- **Editeur – Revendeur de logiciels de réseaux de neurones**
- **Prestataire de Conseil, Formation, Etudes...**
- **Basé à Paris depuis 2009**
- **1,5 personne**

- **Expertise :**
 - **Réseaux de neurones et plans d'expériences**
 - **Réseaux de neurones dynamiques**

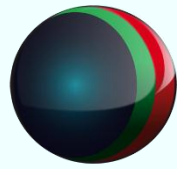


Contexte

« Réseaux de neurones pour le contrôle et la surveillance de procédés »

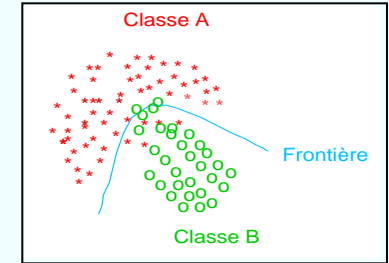
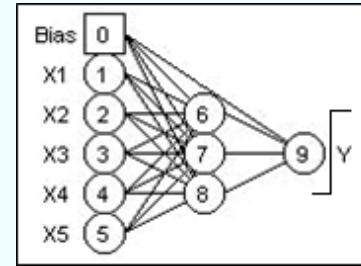
Quelques brefs exemples passés (études, prototype, réalisé) :

- **AC Système** : Tri de poisson
- **Schneider Electric** : Disjoncteur
- **Arkema** : Distillation produits pétroliers
- **Bluestar silicones** : Distillation produits silicones
- **Delphi** : Injection diesel
- **Onera** : Commande de navires + perspective
- **Cnes** : Considérations générales

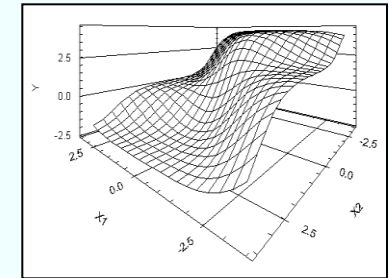
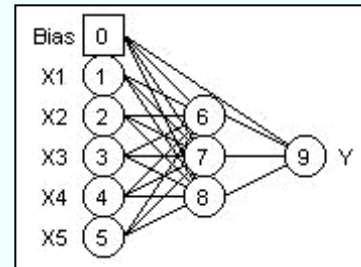


4 types de réseaux de neurones

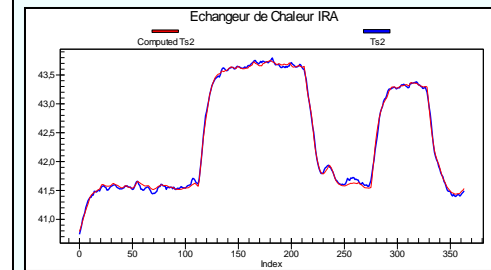
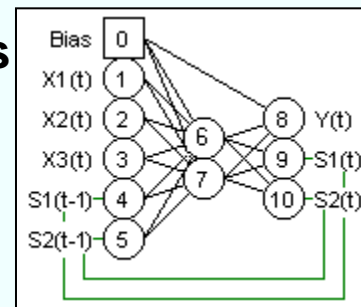
RN statique de classification
- appartenance classe A ou B



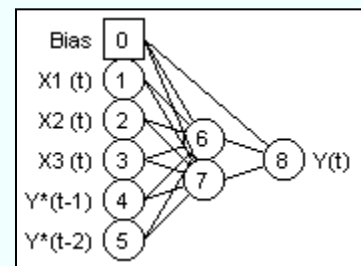
RN statique d'estimation
- surface de réponse (le plus fréquent)

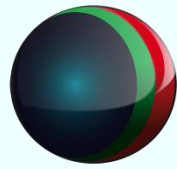


RN dynamiques pour séries chronologiques
- RN dynamiques sortie / entrée (modèle NARMAX)
- RN dynamiques d'état



RN faussement dynamique
- RN statique + série temporelle (Matlab)



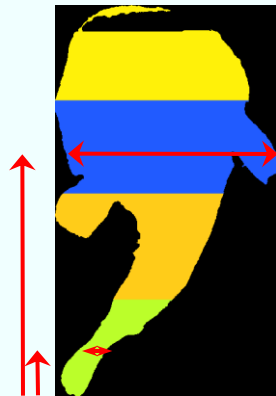
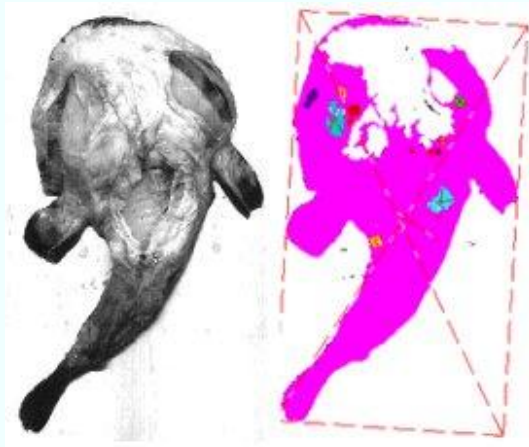


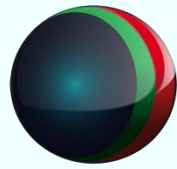
Tri de poisson :

RN statique de classification / Commande 0 - 1

Tri de poisson à la criée de Lorient :

- Arbor Technologies Landévant + AC Système Rennes
- Trier de 10 à 50 espèces
- Trier les espèces par calibre
- Avoir un taux de bonnes détection $> 95\%$
- Taux de mauvais rejets minimal



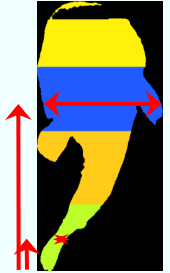


Tri de poisson :

RN statique de classification / Commande 0 - 1

Analyse :

- Extraction de la forme, 28 descripteurs : largeurs et aires tête, corps, queue, ratios relatifs, nageoires, niveaux de gris...



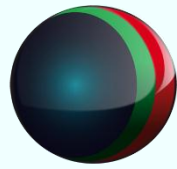
Réseaux de neurones (14 espèces de poisson) :

- Base d'apprentissage 80% - Base de validation 20% (1000 images)
- 14 espèces de poisson = 14 réseaux de neurones en parallèle
 - Sortie = Probabilité d'appartenance à la classe « poisson xx »
 - Modèle « 1 contre tous »
 - Avantage : Possibilité de réapprendre facilement et rapidement une espèce de poisson
- Choix du poisson = Meilleur score des RN
- Courbe de ROC pour détermination des seuils d'erreur (faux positifs – faux négatifs)

Commande binaire 0 – 1 :

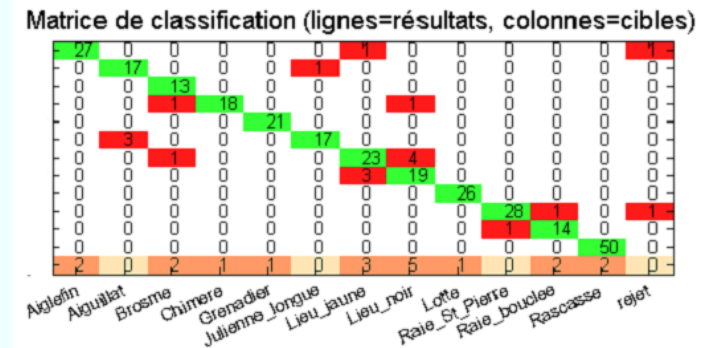
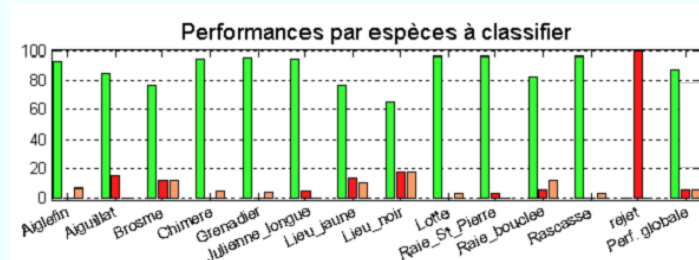
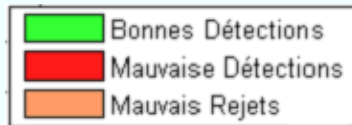
- Cagette X01 ... cagette X14





Tri de poisson : RN statique de classification / Commande 0 - 1

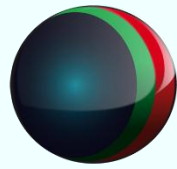
Résultats :



Perspectives : 48 espèces de poisson !

- Tri de 48 espèces avec des images « factices » de poisson en noir et blanc
- Base de ~500 images pas assez différenciées (manque de variabilité)
- À tester sur une base d'images réelles à l'installation sur site
- RN « un contre tous » pour l'instant
- RN « classe contre classe » envisagé pour les cas difficiles

- Installation prévue en juin 2012 à la criée de Lorient



Disjoncteur : RN statique d'estimation / Commande 0 - 1



le spécialiste mondial
de la gestion de l'énergie

International

Rechercher

Solutions

Produits et Services

Support

Votre activité

> Vous êtes ici : Accueil > Produits et Services > Relais de protection par application > Protection et contrôle de transformateur > Sepam protection différentiel

Relais de protection pour réseaux et postes HT/MT - Sepam protection différentielle 3 enroulements

Relais de protection performants pour les réseaux de distribution et les postes HT/MT

Présentation

Description | **Bénéfices** | Applications



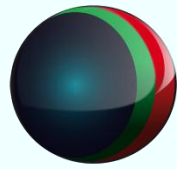
Relais de protection numériques, avec toutes les fonctions nécessaires à une application, prêts à l'emploi :

- protection complète contre les défauts internes du transformateur
- protection différentielle de terre restreinte inclus
- simplicité de mise en œuvre par l'emploi de réseaux de neurones
- mesure
- alarmes et signalisation commande
- surveillance et diagnostic
- communication

Deux applications :

D32: protection différentielle 3 enroulements destinée aux réseaux de distribution publique et industrielle?

D31: protection différentielle 3 enroulements destinée aux postes HT/MT.



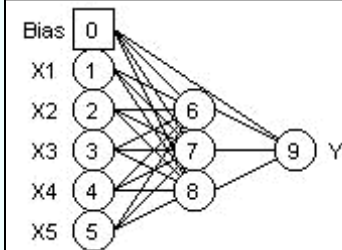
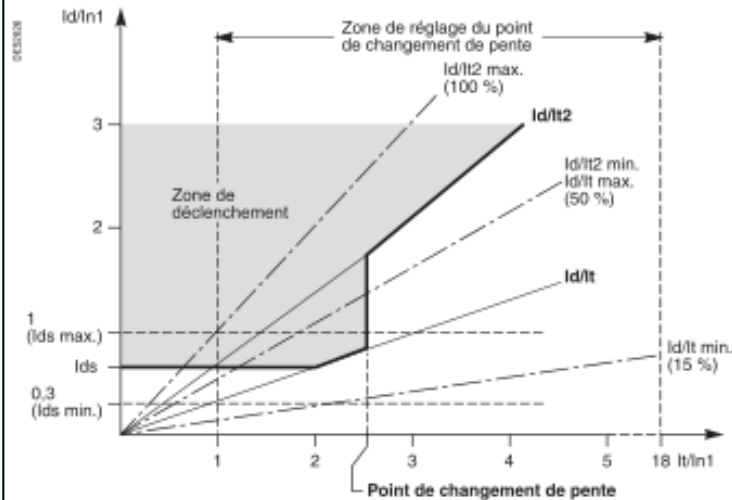
Disjoncteur : RN statique d'estimation / Commande 0 - 1

Courbe à pourcentage

La courbe à pourcentage est composée de plusieurs segments définis par :

- un seuil bas (I_{ds})
- 2 droites passant par l'origine et de pentes réglables (I_d/I_{t1} et I_d/I_{t2})
- le point de changement de pente.

Elle est à régler de manière à se prémunir des erreurs de mesure des capteurs de courant, des erreurs de transformation dues au régulateur en charge et à insensibiliser la protection à la dérivation de puissance dans le cas d'un enroulement auxiliaire.



+ post-traitement informatique

Seuil haut

Un seuil de courant différentiel, non retenu, garantissant un déclenchement rapide pour les forts courants de défaut. Ce seuil est à paramétrer au-dessus du courant d'enclenchement.

Retenue à l'enclenchement

Dans certains cas, les taux harmoniques du courant d'enclenchement transformateur ne sont pas suffisants pour faire fonctionner les retenues harmoniques. Une retenue supplémentaire peut être activée :

- lorsque le courant traversant dépasse un seuil réglable I_{snr}
- ou par une variable interne P87T_1_118, commandée par équations logiques ou Logipam.

Cette retenue s'applique aux éléments différentiels à pourcentage pendant la temporisation T réglable. Elle ne s'applique pas au seuil haut.



Retenue classique

La retenue classique est composée d'un seuil d'harmonique 2 par phase et d'un seuil d'harmonique 5 par phase.

Le seuil d'harmonique 2 garantit la stabilité de la protection à l'enclenchement du transformateur ainsi qu'à la saturation des capteurs de courant. La retenue peut être globale, c'est-à-dire que dès que le taux d'une phase dépasse le seuil, les trois phases sont retenues, ou ne retenir que la phase ayant un taux dépassant le seuil. Dans une utilisation triphasée du transformateur, la retenue globale est recommandée.

Le seuil d'harmonique 5 garantit la stabilité de la protection lorsque le transformateur est alimenté par une tension excessive. La retenue peut être globale aux trois phases ou ne retenir que la phase ayant un taux dépassant le seuil. Dans son utilisation habituelle, la retenue par phase est recommandée.

Retenue auto-adaptative

La retenue auto-adaptative est particulièrement adaptée aux transformateurs pour lesquels le courant d'enclenchement crête en A est inférieur à $8I_{n1}$ ou à $8I_{n2}$, selon l'enroulement par lequel le transformateur est enclenché.

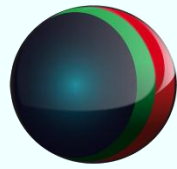
Cette retenue à base de réseau de neurones assure la stabilité sur défaut externe en analysant les taux d'harmoniques 2 et 5, les courants différentiels et les courants traversants.

Elle garantit la stabilité :

- lors de l'enclenchement du transformateur
- lors d'un défaut asymétrique extérieur à la zone et provoquant la saturation des capteurs de courant
- lors de l'exploitation du transformateur alimenté par une tension excessive (surfluxage).

En présence d'harmoniques et en fonction des courants traversants et différentiels, elle augmente automatiquement le seuil bas et les pentes à pourcentage.

Elle est aussi plus sensible que le seuil haut. Il n'est donc pas utile d'utiliser le seuil haut lorsqu'elle est active. D'autre part, elle intègre la pente de stabilisation sur fort courant traversant pouvant faire saturer les capteurs de courant, il n'est donc pas nécessaire d'activer la pente I_d/I_{t2} .



Disjoncteur :

RN statique d'estimation / Commande 0 - 1

Temps de latence pour un déclenchement ?

< 45 ms dans tous les cas pour une tempo de déclenchement immédiate = 0 ms.
Ce temps englobe toute la chaîne de traitement aussi bien hard que Soft, depuis l'acquisition des données en entrée du SEPAM jusqu'à la sortie physique du relais SEPAM pour activer le déclenchement du disjoncteur.

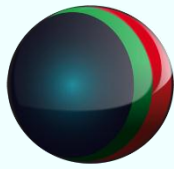
Temps de rafraîchissement entre 2 calculs ?

Le temps de cycle est le temps que met le SEPAM série 80 pour réaliser l'ensemble des fonctions "rapides". Au cours d'un temps de cycle fixe de **14 ms** sont effectués les autotests, les fonctions de protection, la mise à jour des entrées logiques, la logique de commande et l'éditeur d'équations, la mise à jour des sorties logiques et une partie des fonctions lentes (mesures)

Le rafraîchissement résulte-t-il de code logiciel ou matériel (FPGA ou autre) ?

Pas de précision sur ce point mais il s'agit probablement du **logiciel embarqué** qui réalise les autotests et la vérification de l'ensemble des variables.

Merci à M. François Chamillard du support technique de Schneider Electric

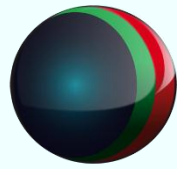


Distillation :

RN dynamique

Distillation d'un mélange quaternaire

- **Arkema**
- **Le premier modèle hybride réseau de neurones – modèle de connaissance**
- **Modèle neuronal de l'équilibre des phases (quaternaire)**
- **Voir présentation G. Dreyfus**



Distillation :

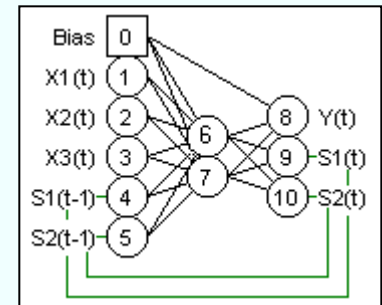
RN dynamique / Commande ??

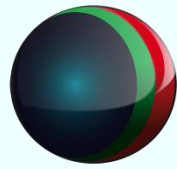
Distillation de produits pour silicones :

- Rhodia puis Bluestar Silicones – Centre R&D et usine de Roussillon
- Nouvelle production + nouvel atelier + nouveau matériel
=> pas d'historique de fabrication
- Distillation envisagée difficile car :
 - Points d'ébullition des composants très proches
 - Grande sensibilité supposée aux conditions opératoires
 - 8 - 10 colonnes en série
 - Capteur direct facilement pollué
- Souhait d'une commande simplifiée

Réseaux de neurones dynamiques :

- RN comme métamodèle du capteur à problème
- RN dynamique du procédé





Distillation :

RN dynamique / Commande ??

Commande :

- **Codage du modèle neuronal et de la commande associée dans un SNCC**
- **Le modèle neuronal a permis une commande simplifiée interagissant uniquement avec la deuxième et l'avant-dernière colonnes**
- **En parallèle, élaboration d'une commande classique en température**

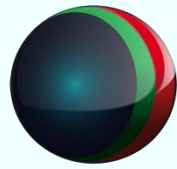
Mise en route :

- **Test initial de la commande classique en température**
- **Celle-ci fonctionne et s'avère stable en conditions opérationnelles**
- **Le modèle neuronal a été utilisé moins de 3 jours**
- **Choix d'utiliser la commande classique**

→ Dommage !!

Remarque :

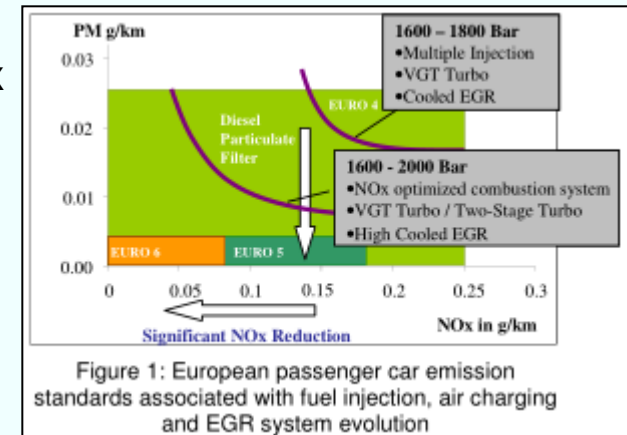
- **Ne pas négliger la perte d'expérience liée au départ des experts**



Injection diesel : RN statique au lieu de dynamique / PID

Modélisation de l'émission des NOx en sortie d'un pot d'échappement :

- Delphi Diesel, SIA 2007 et Rouen 2008
- Enjeu : diviser par 2 puis 4 les émissions de NOx
- Suppose un modèle précis en régime stabilisé et en régime transitoire

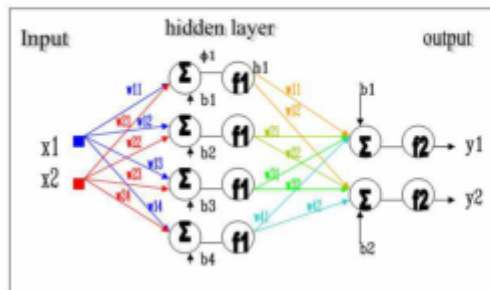


Réseaux de neurones :

- Modèle statique multi-sortie pour étudier un phénomène transitoire !!!....

To meet the increasingly strict emission regulations of the future, robust, dynamic calibration techniques will be required. For this reason, Delphi undertook to develop a dynamic, multivariable emissions model using neural networks. This new model improves the accuracy of emission prediction and opens new possibilities in the diesel vehicle dynamic calibration optimisation process.

3.3 Neural network model construction

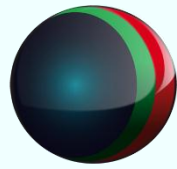


The input parameters are as follows:

- 13 engine parameters including injection quantities and timing (2 pilots, 1 main injection, and 1 after injection) rail pressure, air flow, boost pressure, swirl position, throttle position
- Inlet air temperature, coolant temperature and engine cycle speed

The outputs are:

- NOx / HC /CO emissions and smoke opacity
- Noise and CO2 emissions,



Injection diesel : RN statique au lieu de dynamique / PID

Résultats :

- De correct à franchement mauvais
- Les réseaux de neurones ont été abandonnés

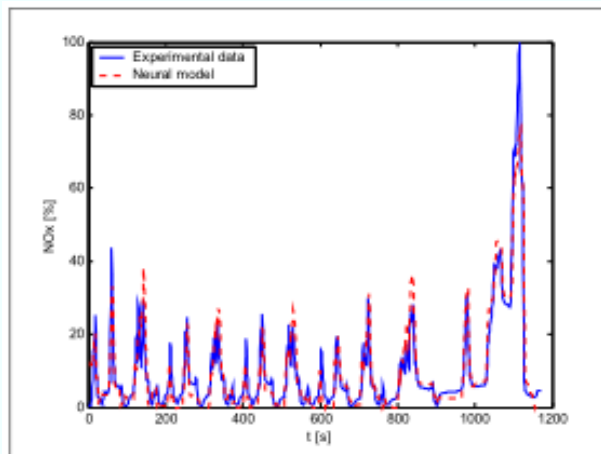
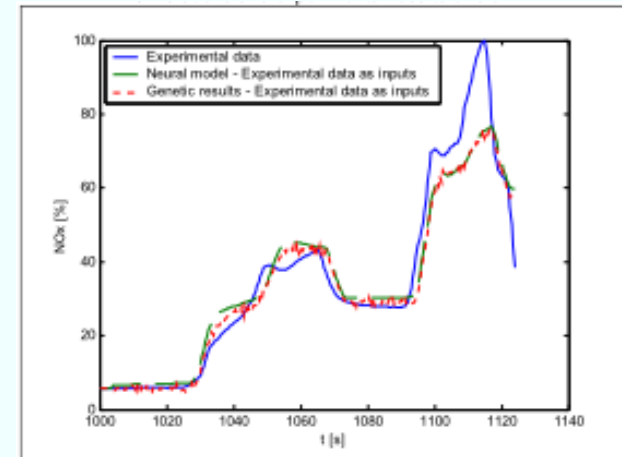
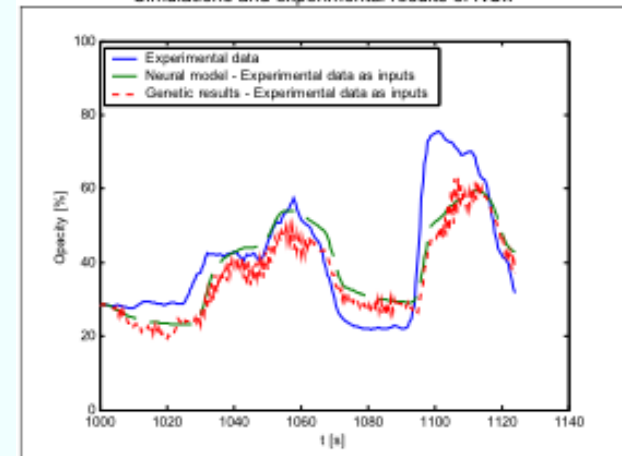


Figure 13: Comparison between neural model of NOx and experimental data over a complete cycle NEDC.



Simulations and experimental results of NOx

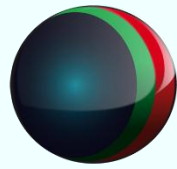


Simulations and experimental results of Opacity

Figure 18: Comparison between pollutants' emission obtained by experiment and by the genetic algorithm.

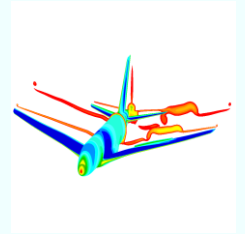
Commentaires :

- Il ne faut pas utiliser la Neural Toolbox de Matlab pour modéliser des phénomènes transitoires !!!
- Un mauvais outil peut donner des contre-résultats catastrophiques.



ONERA (Aéronautique + Marine) :

RN dynamique / Commande neuronale



Diverses études en modélisation :

- Onera : Intérêt des RN pour l'Automatique ?
- Premiers travaux exploratoires au début des années 1990 (en neuronal et neuroflu).
- Exemples étudiés : modèle de manoeuvrabilité et pilote automatique d'un navire

Spécificités du domaine :

- Bonne connaissance des phénomènes physiques
...complétée par mesures expérimentales (soufflerie + vol)
- Les modèles doivent demeurer lisibles et interprétables
- Pb essentiel : lois de commande robustes pré-déterminées (non adaptatives)
- Contraintes de certification fondamentales pour systèmes embarqués
→ Aujourd'hui, pas d'application industrielle dans le domaine du contrôle en aéronautique



Mais travaux pérennes dans des domaines connexes depuis 15 ans environ :

- Modélisation hybride pour améliorer le processus d'identification + développer estimateurs et systèmes de surveillance
- Construire des modèles simplifiés facilitant la mise en oeuvre des techniques récentes d'analyse et de synthèse robuste de correcteurs

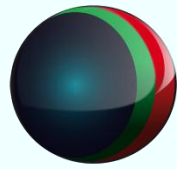


substitution
de codes de calcul

représentation
d'abaques tabulées

recalage de modèles
de dynamique du vol

modèles embarqués
(estimation, surveillance,...)



ONERA :

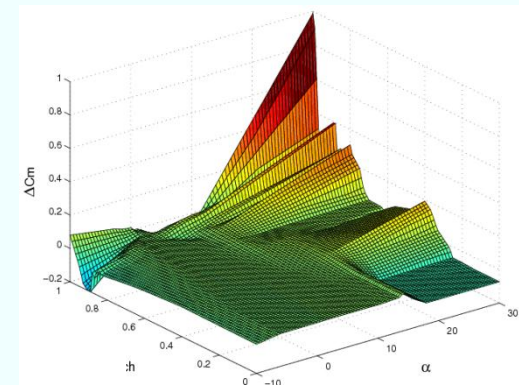
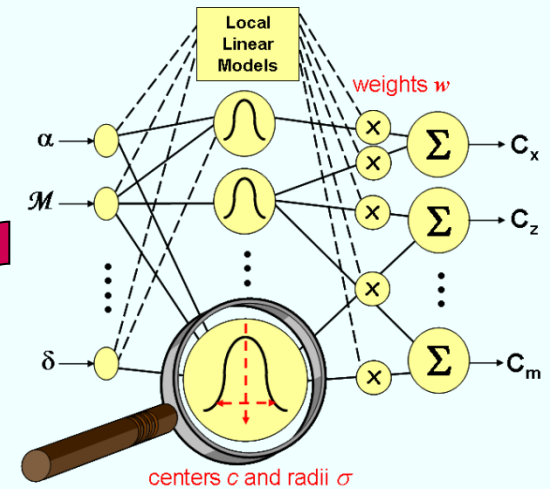
Département Commande des Systèmes

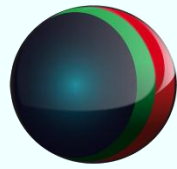
Réseaux RBF vs MLP

- Approximation locale (vs globale)
- Intégration contraintes physiques
- Adapté à répartition hétérogène des données
- Recalage local à partir de données partielles
- Démarche constructive possible (\rightarrow nb de cellules)
- Init puis interprétation plus aisée (\searrow boîte noire)
- Optimisation fractionnée des divers paramètres
- Généralisable à d'autres types de modèles (LLM)

Exemple : Représentation de coefs aérodynamiques par des modèles analytiques parcimonieux...

- ...pour recalage local et partiel à partir d'essais en vol
- ...pour l'analyse et la synthèse de lois de commande robustes
- ...pour faciliter l'implantation de schémas d'estimation/surveillance

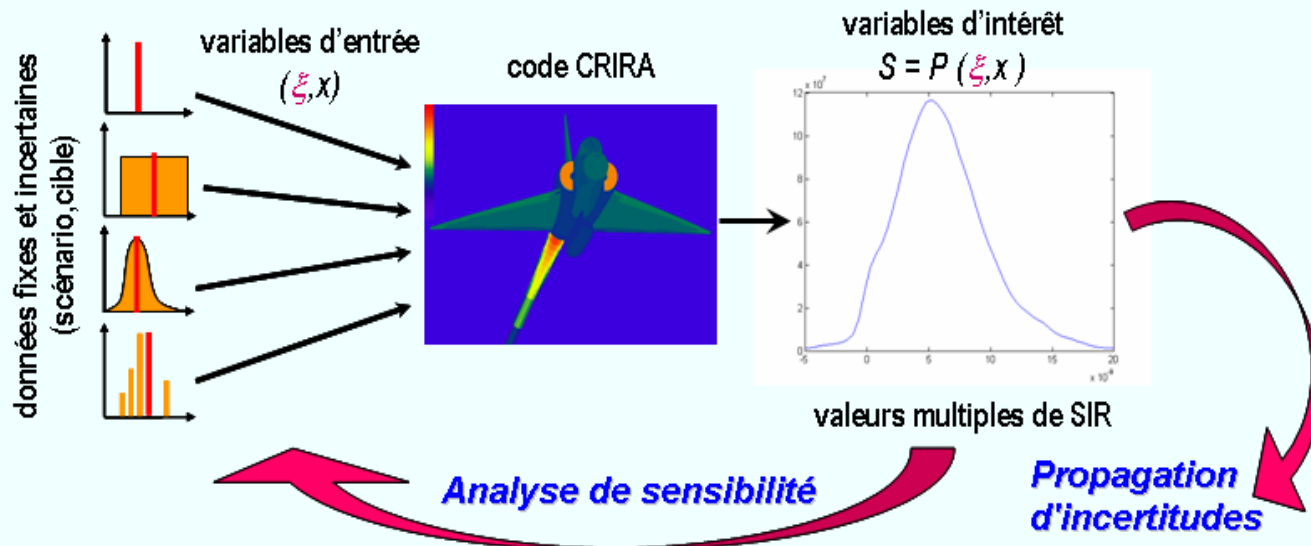




ONERA : Modèles et propagation d'incertitudes

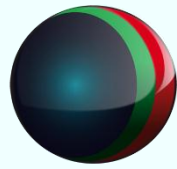
Modèle de substitution + propagation d'incertitudes :

- Exemple : Caractérisation de la signature Infra-Rouge d'aéronefs



Commentaires :

- La propagation d'incertitudes est le grand sujet à la mode rendu possible par la puissance décuplée des ordinateurs. Voir : www.openturns.org
- Habituellement modèles statiques. Modèles dynamiques ?



CNES (spatial) :

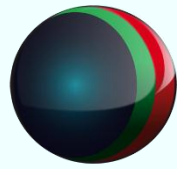
Considérations générales

Commentaires d'expert :

- **Les RN sont de bons modèles non-linéaires (statique, dynamiques)**
- **La robustesse des réseaux de neurones est toujours discutable**
- **Spatial => Tests extrêmement poussés**
- **Extrapolation, etc... L'expert trouvera toujours une configuration pour tuer le RN**
- **Incompatible avec la certification**

- **La gestion des contraintes est non comprise dans le RN / commande neuronale**
- **Pour la gestion des contraintes, la commande prédictive est idéale**

- **Formation des experts : la commande prédictive a une base d'experts suffisante**



Conclusion

Panorama de plusieurs modèles dynamiques / commande neuronales :

- Peu de sujets
- Encore moins de résultats
- Très beaux résultats (Rhodia / Bluestar Silicones) quasi-opérationnels, mais en concurrence avec des solutions plus simples
- Des échecs liés à une méconnaissance de la théorie / utilisation de mauvais outils lors de la phase exploratoire

Opinion de Jacques Richalet :

- Le père de la commande prédictive => Vive la commande prédictive !
- Est en faveur des réseaux de neurones
- Mélanger réseaux de neurones (pour la partie modèle) et commande prédictive quand le modèle est très non-linéaire

Importance du matériel :

- Sur ordinateur, on peut faire beaucoup de choses
- Disponibilité des réseaux de neurones dynamiques dans les régulateurs et systèmes de contrôle-commande industriels (effort souhaité des fabricants)



Journée SEE-SFGP

« Réseaux de neurones pour le contrôle et la surveillance de procédés »

Merci pour votre attention

patrice.kiener@inmodelia.com

Tel : 09.53.45.07.38

ESPCI - 11 janvier 2012

Dans le cadre de ses diverses activités et projets de recherche dans le domaine, l'ONERA organise 2 Journées Scientifiques (JSO) sur son site de Palaiseau :

- le **25 janvier 2012** sur les modèles de substitution
- le **26 janvier 2012** sur l'optimisation multi-disciplinaire

Inscription (gratuite) en ligne sur le site www-mip.onera.fr/projets/JSO-2012



JSO 2012

Modèles de Substitution & Optimisation Multi-Disciplinaire

Journées organisées par la branche Traitement de l'Information et Systèmes

25 et 26 janvier 2012 - Onera - Palaiseau

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

[Entrer](#)

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB