

# Conception de métaheuristiques hybrides et leurs applications

**Lhassane IDOUMGHAR**

Équipe MAGE, Laboratoire LMIA, Université de Haute Alsace  
Équipe TRIO-INRIA-Grand Est, Laboratoire LORIA, Université de Lorraine

Habilitation à Diriger des Recherches

21 novembre 2012

# Plan

Curriculum Vitæ

Activités pédagogiques et responsabilités administratives

Activités de recherche et synthèse scientifique

Conclusions & Perspectives

# Plan

## Curriculum Vitæ

Activités pédagogiques et responsabilités administratives

Activités de recherche et synthèse scientifique

Conclusions & Perspectives

## Formation et Parcours

- ▶ 1996 : DEUG en Physique Chimie, Université Ibnou Zohr, Agadir
- ▶ 1998 : Maîtrise en informatique, Université Ibnou Zohr, Agadir
- ▶ 1999 : DEA en Informatique, Université Picardie Jules Verne, Amiens  
*Sujet : Proposition d'un modèle de gestion de qualité de service dans l'architecture Corba*
- ▶ 02/2000-12/2002 : Doctorat en informatique, Université Henri Poincaré, Nancy  
*Sujet : Méthodes Algorithmiques pour l'Allocation de Fréquences*
- ▶ 2003-2004 : ATER, Université de Haute Alsace, Mulhouse
- ▶ depuis 2004 : Maître de conférences, Université de Haute Alsace, Mulhouse

# Plan

Curriculum Vitæ

Activités pédagogiques et responsabilités administratives

Activités de recherche et synthèse scientifique

Conclusions & Perspectives

## Enseignements et responsabilités

Matière	Niveau	Période	Heures/an
Algorithmes évolutionnaires et projet transversal	M2	2008 -2012	18h
Optimisation et calcul distribué (C-TD)	M1	depuis 2007	20h
Architecture et système d'exploitation (C-TD-TP)	L3	2007-2011	23h
Algorithmique en Java (C-TD)	L3	depuis 2009	35h
Algorithmique en C++ (C-TD-TP)	L1	depuis 2007	84h
Langage C++ (C-TD-TP)	L1	depuis 2007	48h
Outils informatique (TD)	L1	depuis 2008	49h
Analyse Numérique et prog. informatique (C-TD-TP)	L1	2003-2005	60h

En moyenne : 220 h EqTD / an

- ▶ Animation et coordination de l'équipe informatique (5 MCF) intervenant en L1 (S1)
- ▶ Participation aux montages des formations (proposition des contenus, maquettes, etc.)
- ▶ depuis 2009 : Responsable pédagogique de la licence professionnelle  
*"Conception, Administration et Maintenance de Services de Réseaux d'Entreprise"*
- ▶ 2008 - 2012 : membre élu au CS de l'UHA
- ▶ 2009 - 2011 : membre de commissions (PES, promotions, HDR, etc.)
- ▶ depuis 2011 : membre élu au conseil du laboratoire LMIA

# Plan

Curriculum Vitæ

Activités pédagogiques et responsabilités administratives

Activités de recherche et synthèse scientifique

Métaheuristiques pour la planification des réseaux de radiodiffusion

Métaheuristiques pour la gestion intelligente de l'énergie

Métaheuristiques pour l'optimisation de moteurs électriques

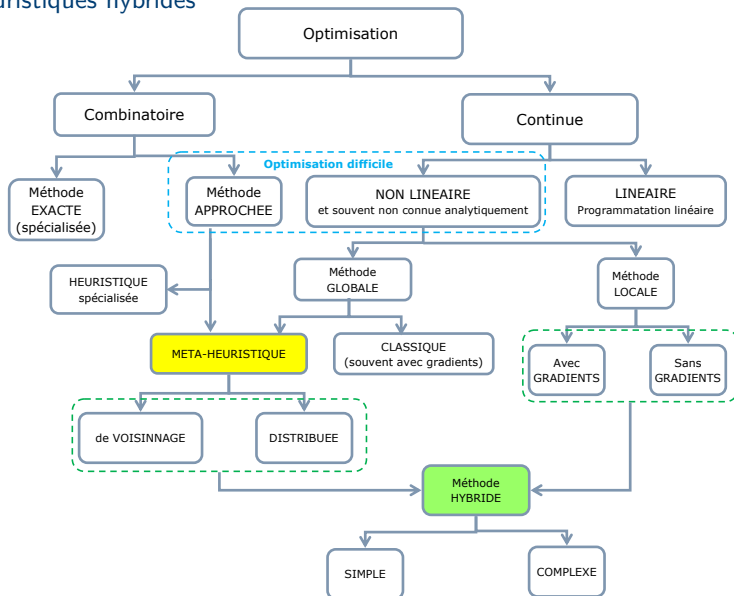
Métaheuristiques pour l'optimisation des *benchmarks* mathématiques

Conclusions & Perspectives

## Axe de recherche

- ▶ Pilotage de l'axe de recherche "Métaheuristiques et optimisation" de l'équipe MAGE - LMIA
- ▶ Conception de nouvelles métaheuristiques séquentielles et/ou distribuées
- ▶ Validation sur des problèmes industriels et/ou académiques difficiles

# Métaheuristiques hybrides



# Métaheuristiques hybrides

## Avantages

- ▶ Robustes (part d'aléatoire)
- ▶ Directes (pas de recours aux dérivées)
- ▶ Algorithmes simples et génériques
- ▶ Nombreuses extensions

Les métaheuristiques classiques peuvent rarement résoudre efficacement des problèmes d'optimisation par leurs seules capacités, c'est-à-dire sans être hybridées avec des méthodes de résolution locales *ad hoc*.

## Inconvénients

- ▶ Méthodes approchées : pas de garantie de l'optimum
- ▶ Peuvent être lentes
- ▶ Paramètres difficiles à régler (méthodes subtiles ; à maîtriser !)
- ▶ Choix difficile de la méthode la plus appropriée



# Métaheuristiques pour la planification des réseaux de radiodiffusion

depuis 02/2000 : Collaboration avec le LORIA et la société TDF

2012-2014 : thèse Cifre de M. A. Bedoui co-encadré (50%) avec le Prof. R. Schott  
*Optimisation multiobjectif de la planification des réseaux de radiodiffusion*

## Un logiciel et plusieurs publications

- ▶ Logiciel ALOES (ALgorithme d'Optimisation de l'Emploi de Spectre), actuellement utilisé pour le déploiement en France et en Europe de la Télévision Numérique par voie Terrestre (TNT)
- ▶ 4 Revues (IEEE Trans. Broadcasting IF 1,703, Appl. Artif. Intel. IF 0,849)
- ▶ 5 Conférences internationales avec actes et comité de lecture (ICTAI, ICIAM, SEA, ASC)
- ▶ 2 Conférences nationales avec actes et comité de lecture (RFIA, AlgoTel)
- ▶ 1 demande de Brevet

# Présentation du problème

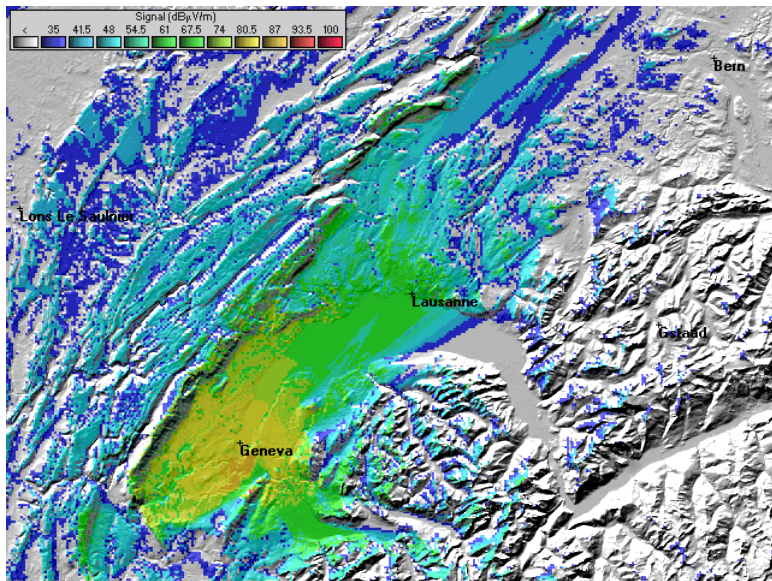
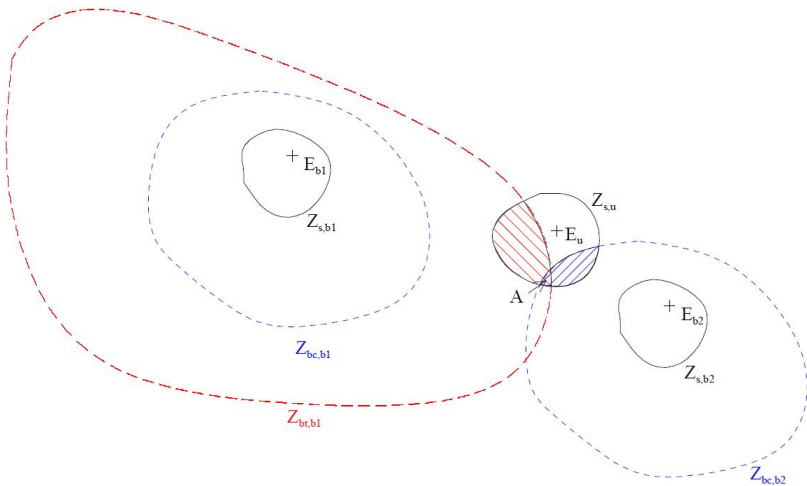


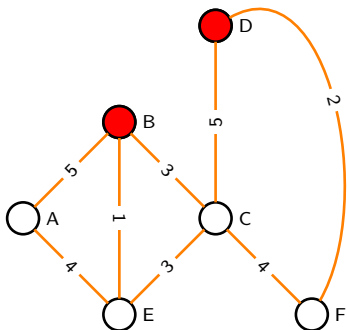
Image extraite de : [http://www.emetteurs.ch/coverage\\_maps/maps.html](http://www.emetteurs.ch/coverage_maps/maps.html)

# Modélisation du problème



- ▶  $E_u$  et  $E_{b_i}$  : émetteur utile ( $u$ ) et brouilleur ( $b_i$ )
- ▶  $Z_{b_c, b_i}$  et  $Z_{b_t, b_i}$  : zone de brouillage constant ( $b_c$ ) et troposphérique ( $b_t$ )

# Modélisation par contraintes



Graphe des contraintes

## Fonction objectif

$$F = \sum_{e_i, e_j \in G} \rho_{ij} \delta_{ij} \quad (1)$$

- ▶  $e_i, e_j$  deux sommets reliés par une contrainte  $c_{ij} \neq 0$
- ▶  $\rho_{ij}$  représente le poids associé à la contrainte  $c_{ij}$
- ▶  $\delta_{ij}$  est défini par :

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{Si } |f_i - f_j| \geq c_{ij} \\ c_{ij} - |f_i - f_j| & \text{Sinon} \end{cases} \quad (2)$$

## Algorithme 1 : L'algorithme génétique hybride (HGA)

Construire le graphe des contraintes

Générer une population  $P_0$

Évaluer  $P_0$  et trouver la meilleure solution  $\pi^*$

$\pi_{Elite} \leftarrow \pi^*$ ,  $i \leftarrow 1$

**Tant que** Critère d'arrêt n'est pas vérifié **faire**

$P_i \leftarrow \emptyset$

**Pour**  $j \leftarrow 1$  à  $PopSize/2$  **Faire**

    Sélectionner deux parents  $l_1$  et  $l_2$  dans  $P_{i-1}$ , Enfants  $\leftarrow (l_1, l_2)$

    Avec une probabilité  $p_c$ , exécuter Enfants  $\leftarrow$  croisement( $l_1, l_2$ )

    Avec une probabilité  $p_m$ , muter les Enfants en utilisant la méthode *Tabou Probabilisée*

    Évaluer les Enfants et les ajouter à  $P_i$

**Fin**

Ajouter  $P_{i-1}$  à  $P_i$

Trier  $P_i$

Garder  $PopSize$  meilleurs individus dans  $P_i$

Trouver le meilleur individu  $\pi^*$  dans  $P_i$

**Si**  $\pi_{Elite} = \pi^*$  **Alors**

    |  $cpt \leftarrow cpt + 1$

**Fin**

**Si**  $\pi^*$  est meilleur que  $\pi_{Elite}$  **Alors**

    |  $cpt \leftarrow 0$  et  $\pi_{Elite} \leftarrow \pi^*$

**Fin**

**Si**  $fitness(\pi_{Elite}) = 0$  ou  $cpt = K$  ou  $i = maxGen$  **Alors**

    | terminer HGA

**Fin**

$i \leftarrow i + 1$

**Fin**

## Modélisation par contraintes



**L. Idoumghar, M. Alabau and R. Schott**, “*New Hybrid Genetic Algorithms for The Frequency Assignment Problem*”. Journal of IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 48, N. 1, 27-34, March 2002, IF 1,703



**L. Idoumghar and R. Schott**, “*Two Distributed Algorithms for the Frequency Assignment Problem in the Field of RadioBroadcasting*”. Journal of IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 55, N. 2, pp. 223-229, June 2009, IF 1,703

	HGA	ANT	FM
Non SAT	127	151	466
Cont. 1	74	74	157
Cont. 2	48	68	202
Cont. 3	3	6	44
Cont. 4	2	3	25
Cont. 5	0	0	38

86 / 970 émetteurs  
/ 25550 contraintes

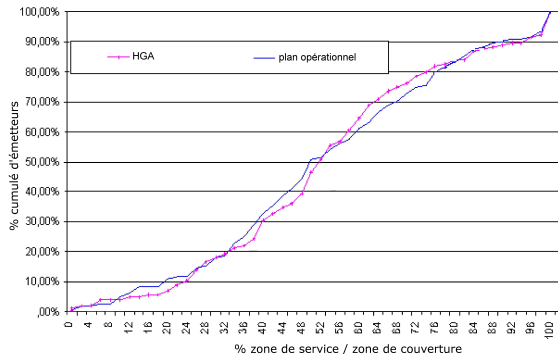
# Modélisation par contraintes



**L. Idoumghar, M. Alabau and R. Schott**, "New Hybrid Genetic Algorithms for The Frequency Assignment Problem". Journal of IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 48, N. 1, 27-34, March 2002, IF 1,703



**L. Idoumghar and R. Schott**, "Two Distributed Algorithms for the Frequency Assignment Problem in the Field of RadioBroadcasting". Journal of IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 55, N. 2, pp. 223-229, June 2009, IF 1,703

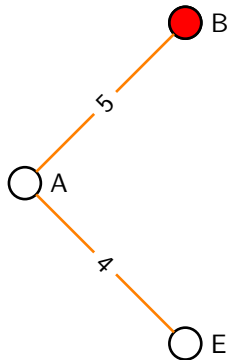


	HGA	ANT	FM
Non SAT	127	151	466
Cont. 1	74	74	157
Cont. 2	48	68	202
Cont. 3	3	6	44
Cont. 4	2	3	25
Cont. 5	0	0	38

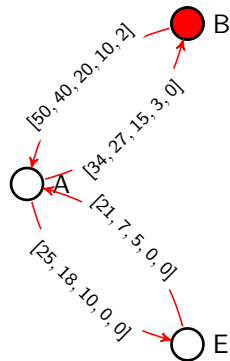
86 / 970 émetteurs  
/ 25550 contraintes

144 / 5790 émetteurs / 153480 contraintes

# Modélisation par histogrammes



Graphe des contraintes



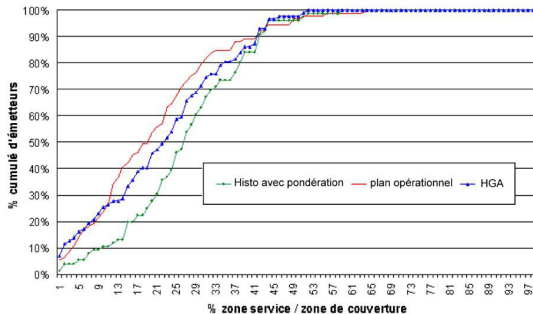
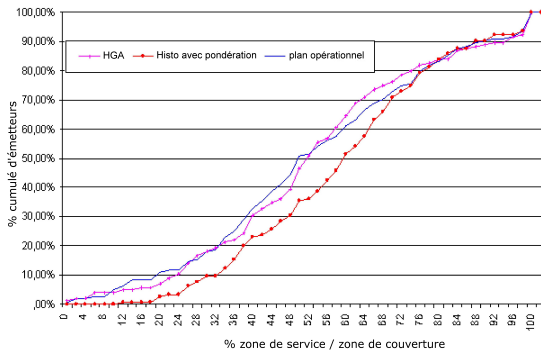
Graphe d'histogrammes



**L. Idoumghar** and Ph. Debreux, "New Modeling Approach for the Frequency Assignment Problem in Broadcasting". IEEE Trans. on Broadcasting, pp. 293-298, Vol. 48, N. 4, December 2002, IF 1,703.



144 / 5790 émetteurs



37 / 970 émetteurs



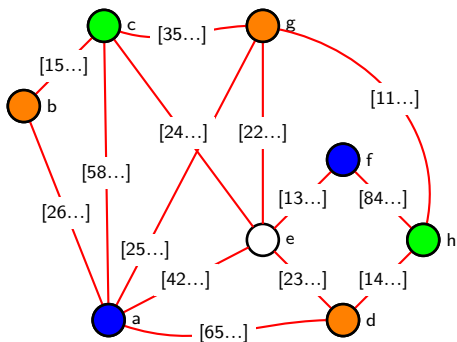
# Conclusions et perspectives dans le domaine de la radiodiffusion

## Conclusions

- ▶ Proposition de deux modélisations du problème d'allocation de fréquences
- ▶ Intégrer les aspects métier dans le processus de l'allocation de fréquences
- ▶ Résolution du problème d'optimisation à l'aide de métaheuristiques
- ▶ Développement du logiciel ALOES
- ▶ Travaux mêlant l'informatique et les télécommunications

## Travaux en cours et perspectives

- ▶ Intégrer d'avantage d'aspects métier dans le processus d'allocation de fréquences
- ▶ Prise en compte des réseaux mono-fréquence dans le processus d'allocation de fréquences
- ▶ Modélisation du problème sous forme de problème multiobjectifs/multicontraintes
- ▶ Développement de nouvelles approches hybrides



### Réseau mono-fréquence

- ▶ Réseau 1 : b, g, d
- ▶ Réseau 2 : a, f
- ▶ Réseau 3 : c, h

## Métaheuristiques pour la gestion intelligente de l'énergie dans les *smarts grids*

Thèse de R. Roche, co-encadré (33%) avec le Prof. A. Miraoui et B. Blunier

Algorithmes et architectures multi-agents pour la gestion de l'énergie dans les réseaux électriques intelligents.

Projet en partenariat avec IRTES-UTBM et GE Belfort

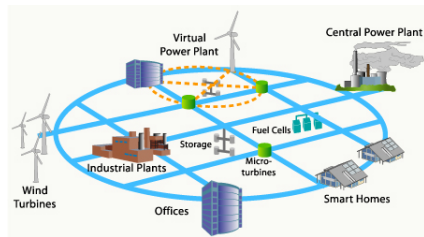
2010 - 2011 : Projet COMCO (COMparaison des Moyens de COntrol)

*"Système et procédé de commande d'une installation de production d'énergie électrique"*

Un logiciel et plusieurs publications

- ▶ 1 Revue en 2012 (Applied Energy IF 5,106 )
- ▶ 3 Conférences internationales avec actes et comité de lecture (EA, IAS, ICTAI)
- ▶ 1 Conférences nationales avec actes et comité de lecture (JFPDA)
- ▶ 1 Brevet

## Description du problème



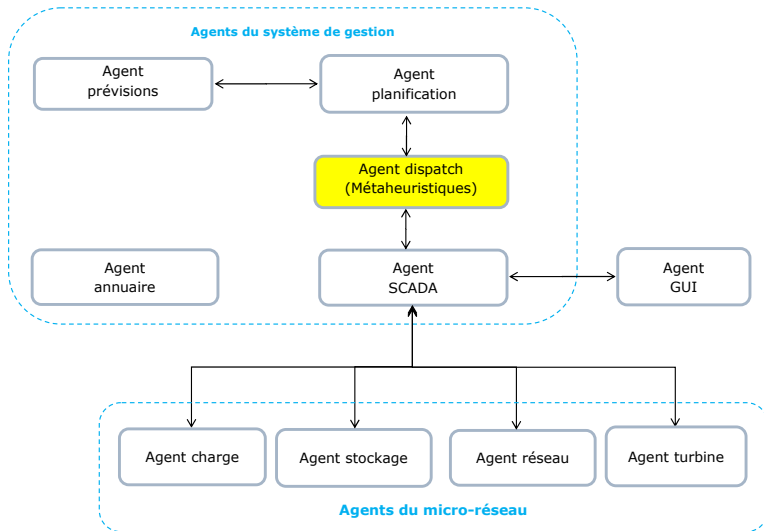
### Objectifs

- ▶ Proposer une architecture flexible et distribuée
- ▶ Calculer les points de fonctionnement de chaque élément pour répondre à la demande
- ▶ Tout en minimisant les coûts d'opération et les émissions de GES

### Éléments à prendre en compte

- ▶ Sources conventionnelles et thermiques : gaz, nucléaire, etc.
- ▶ Sources renouvelables intermittentes : éolien, solaire, etc.
- ▶ Moyens de stockage : batteries, eau pompée, air comprimé, etc.
- ▶ Divers types de charges électriques

# Architecture du système de contrôle du micro-réseau



## Description mathématique

Solution : vecteur de points de fonctionnement (puissances)

$$[P_{gen,0}(t), \dots, P_{gen,n_{gen}}(t), P_{sto,0}(t), \dots, P_{sto,n_{sto}}(t), P_{res,0}(t), \dots, P_{res,n_{res}}(t), P_{l,0}(t), \dots, P_{l,n_l}(t)] \quad (3)$$

Fonctions objectif à optimiser : coût d'opération total et émissions

$$\begin{cases} c_{tot}(t) = \sum_{i=1}^{n_{gen}} c(P_{gen,i}(t)) + \sum_{i=1}^{n_{enr}} c(P_{enr,i}(t)) + \sum_{i=1}^{n_{sto}} c(P_{sto,i}(t)) \\ \quad + \sum_{i=1}^{n_{res}} c(P_{res,i}(t)) \\ e_{tot}(t) = \sum_{i=1}^{n_{gen}} e(P_{gen,i}(t)) \end{cases} \quad (4)$$

Zones de fonctionnement des éléments

$$\begin{aligned} P_{gen,i}^{min} &\leq P_{gen,i}(t) \leq P_{gen,i}^{max} \\ RD_{gen,i}^{min} &\leq \frac{P_{gen,i}(t)}{dt} \leq RP_{gen,i}^{max} \\ P_{sto,i}^{min} &\leq P_{sto,i}(t) \leq P_{sto,i}^{max} \\ SOC_i^{min} &\leq SOC_i(t) \leq SOC_i^{max} \\ P_{res,i}^{min} &\leq P_{res,i}(t) \leq P_{res,i}^{max} \end{aligned} \quad (5)$$

# Description mathématique

Contrainte principale : production = demande + pertes

$$P_{imb}(t) = \sum_{i=1}^{n_{gen}} P_{gen,i}(t) + \sum_{i=1}^{n_{enr}} P_{enr,i}(t) + \sum_{i=1}^{n_{sto}} P_{sto,i}(t) + \sum_{i=1}^{n_{res}} P_{res,i}(t) - \sum_{i=1}^{n_{dem}} P_{dem,i}(t) - P_{loss} \quad (6)$$

$$P_{imb}(t) = 0$$

Fonction objectif finale avec contraintes : agrégation

$$\text{Minimiser } f(t) = c_{tot}(t) + \alpha \times e_{tot}(t) + \beta \times |P_{imb}(t)| \quad (7)$$

## Algorithme 2 : Algorithme hybride (MPSOM)

Initialiser et évaluer un essaim de taille  $swarm\_size$

critère d'arrêt  $\leftarrow$  nombre maximum d'évaluations de la fonction objectif

Initialiser  $w \leftarrow w_0$ ,  $T \leftarrow T_0$  et  $AucuneAmélioration \leftarrow 0$

**Tant que** critère d'arrêt n'est pas vérifié **faire**

    Trier l'essaim

**Si**  $AucuneAmélioration < k$  **Alors**

**Pour toute** particule  $i \leftarrow 1$  à  $swarm\_size$  **Faire**

**Si**  $f(X) \leq f(pbest)$  ou  $rand \times (1 + e^{\frac{f(X) - f(pbest)}{T}}) < 2.0$  **Alors**

                Mettre à jour  $pbest$

**Fin**

            Mise à jour de la vitesse en utilisant l'équation :

$$v_i = \omega \cdot v_i + c_1 \cdot r_1 \cdot (pbest_i - x_i) + \min(V_{max}, \sum_{k=1}^{|N_i|} \frac{pbest_k - x_i}{k})$$

            Mise à jour de la position de la particule en utilisant l'équation :  $x_i = x_i + v_i$

**Fin**

**Sinon** //opérateur de mutation

$AucuneAmélioration \leftarrow 0$

**Pour toute** particule  $i \leftarrow 1$  à  $swarm\_size$  **Faire**

            Initialiser sa vitesse à la vitesse maximale autorisée

**Fin**

**Fin**

    Evaluer (essaim)

**Si** aucune amélioration de la solution globale **Alors**

$AucuneAmélioration \leftarrow AucuneAmélioration + 1$

**Sinon**

        Mettre à jour de la solution globale et  $AucuneAmélioration \leftarrow 0$

**Fin**

    Mettre à jour la température et le critère d'arrêt

    Mettre à jour du facteur d'inertie  $w$  en utilisant l'équation :  $w = w_0 \times \left(1 - \frac{T_0 - T}{T_0}\right)$

**Fin**



L. Idoumghar, M. Idrissi Aouad, M. Melkemi and R. Schott, "Metropolis Particle Swarm Optimization Algorithm with Mutation Operator For Global Optimization Problems". 22th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2010), pp. 35-42, 2010, Arras, France.

# Tests préliminaires

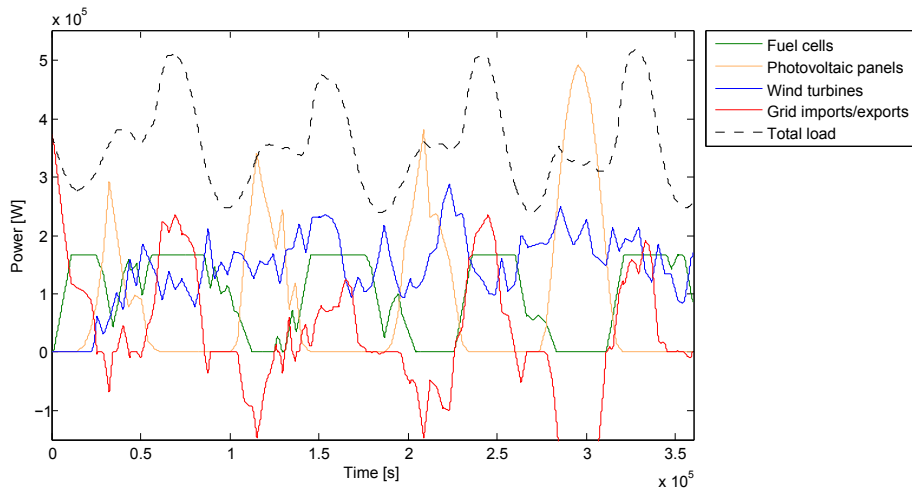
## Applications

Développement d'un simulateur en Java basé sur un système multi-agents

## Micro-réseau

- ▶ Forte proportion de sources renouvelables
- ▶ Inclut deux piles à combustible de 83 kW
- ▶ Inclut une connexion au réseau de distribution : achat et revente d'énergie

# Micro-réseau



Profil de charge extrait de : <http://www.sce.com/AboutSCE/Regulatory/loadprofiles>

Profil d'ensoleillement et du vent sont extraits de :

<http://www.unige.ch/cuepe/html/meteo/donnees-csv.php>

Algorithme	Unité	MPSOM	DE	ICA
Coût total	€	1075	1155	1088
Déséquilibre moyen	W	-0.0175	0.1344	0.1314
Temps moyen	ms	8.126	4.075	257.0



**L. Idoumghar**, M. Idrissi Aouad, M. Melkemi and R. Schott, "Metropolis Particle Swarm Optimization Algorithm with Mutation Operator For Global Optimization Problems". 22th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2010), pp. 35-42, 2010, Arras, France. ([MPSOM](#))



R. Roche, **L. Idoumghar**, B. Blunier, and A. Miraoui. "Imperialist Competitive Algorithm for Dynamic Optimization of Economic Dispatch in Power Systems". Proceedings of International Conference on Artificial Evolution, pp. 1-12, Angers, France, October 24-26 2011. ([ICA](#))



E. Atashpaz-Gargari and C. Lucas. "Imperialist competitive algorithm : An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition". Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 4661-4667, Singapore, September 25-28 2007. ([ICA](#))



Kenneth V. Price. "An introduction to differential evolution". Chapter in New ideas in optimization, pp. 79-108, 1999, McGraw-Hill publisher, D. Corne and M. Dorigo and F. Glover and D. Dasgupta and P. Moscato and R. Poli and K. V. Price editors. ([DE](#))

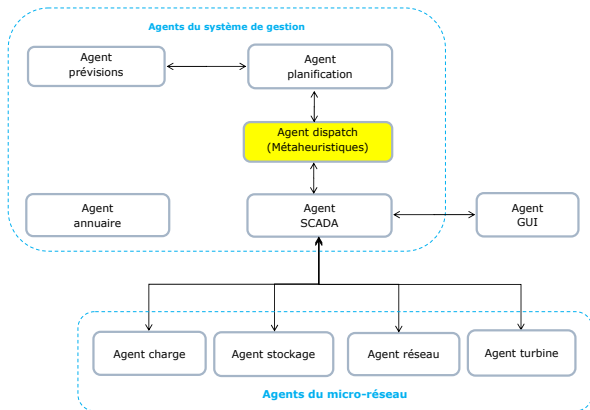
# Conclusions et perspectives dans le domaine des smart grids

## Conclusions

- ▶ Proposition d'une architecture de contrôle basée sur un système multi-agents
- ▶ Modélisation du problème de *dispatching* sous forme d'un problème d'optimisation mono-objectif et multiobjectif
- ▶ Résolution du problème d'optimisation à l'aide de métaheuristiques
- ▶ Travaux mêlant informatique et génie électrique

## Travaux en cours et perspectives

- ▶ Améliorer la qualité des solutions obtenues par les algorithmes multiobjectifs
- ▶ Tests plus complets en multiobjectif sur des réseaux de grande taille
- ▶ Résolution à grande échelle du problème de *dispatching*
- ▶ Conception de nouvelles approches pour le problème de *planification*



## Métaheuristiques pour la gestion intelligente de l'énergie mémoire *Scratch-Pad*

Thèse de M. Idrissi-Aouad, co-encadré (33%) avec le Prof. R. Schott et O. Zendra

Conception d'algorithmes hybrides pour l'optimisation de l'énergie mémoire dans les systèmes embarqués et de Fonctions Multimodales

### Projet INRIA Nancy

Thèse de Mme Idrissi s'inscrit dans le cadre du Projet ANR MORE (*Multicriteria Optimization for Real-time Embedded systems*) du programme "Architectures du Futur"

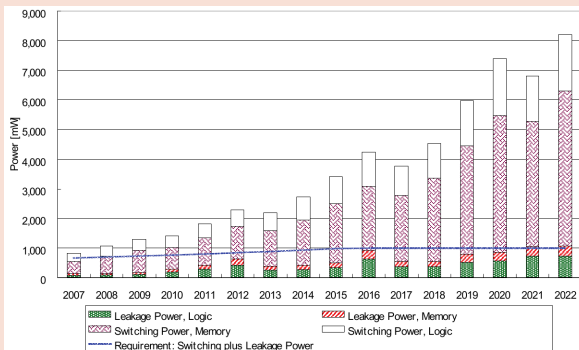
### Plusieurs publications

- ▶ 1 Revue en 2011 (Journal of Applied Computational Intelligence and Soft Computing)
- ▶ 4 Conférences internationales avec actes et comité de lecture (CiSE, ICTAI, AC, META)

# Présentation du problème

## Contexte

- ▶ Avec l'évolution de la technologie, les systèmes embarqués intègrent de plus en plus de fonctionnalités complexes (Internet, vidéophonie, vidéo, etc.)
  - ▶ Ces systèmes nécessitent une mémoire de plus en plus grande et donc une batterie plus grande.
- ⇒ La mémoire deviendra l'élément le plus consommateur d'énergie dans un système embarqué.



# Présentation du problème

## Objectif

- ▶ Développement de nouvelles approches pour économiser l'énergie et augmenter l'autonomie  
⇒ Allocation des données dans la mémoire SPM (mémoire de petite taille gérée au niveau logiciel)

## Description mathématique

Le but est de maximiser la somme des nombres d'accès aux données allouées en SPM sans dépasser la capacité maximale  $C$  de la SPM.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximiser} \quad \sum_{i=1}^N \text{acces}[i] \frac{\text{solution}[i]}{\text{size}[i]} \\ \text{Tel que :} \quad \sum_{i=1}^N \text{solution}[i] * \text{size}[i] \leq C \end{array} \right. \quad (8)$$

avec :

- ▶  $C$  : la capacité maximale de la SPM
- ▶  $N$  : nombre de données possibles à placer en mémoire
- ▶ Chaque donnée  $i$  est caractérisée par sa taille  $\text{size}[i]$  et par le nombre de fois que l'on y accède : son nombre d'accès  $\text{acces}[i]$

### Algorithme 3 : Algorithme hybride (GA-SA)

Initialiser  $p_m, p_c, p_i \in ]0,1]$ ,  $i \leftarrow 1$  et  $maxGen \leftarrow 10000$

Générer et évaluer la population  $P_0$

Soit  $\pi^*$  le meilleur individu

$\pi_{Elite} \leftarrow \pi^*$

**Tant que** critère d'arrêt n'est pas vérifié **faire**

$P_i \leftarrow \emptyset$

**Pour**  $j \leftarrow 1$  à  $PopSize/2$  **Faire**

        Sélectionner deux parents  $l_1$  et  $l_2$  de  $P_{i-1}$

        Enfants  $\leftarrow (p_1, p_2)$

        Avec la probabilité  $p_c$ , exécuter Enfants := croisement ( $l_1, l_2$ )

        Avec la probabilité  $p_m$ , muter les Enfants

        Avec la probabilité  $p_i$ , améliorer les Enfants en appliquant SA

        Evaluer les Enfants et les ajouter à  $P_i$

**Fin**

    Ajouter  $P_{i-1}$  à  $P_i$

    Trier  $P_i$

    Garder  $PopSize$  meilleurs individus dans  $P_i$

    Trouver le meilleur individu  $\pi^*$  dans  $P_i$

**Si**  $\pi^*$  est meilleur que  $\pi_{Elite}$  **Alors**

        |  $\pi_{Elite} \leftarrow \pi^*$

**Fin**

**Si**  $fitness(\pi_{Elite}) = 0$  ou  $i = maxGen$  **Alors**

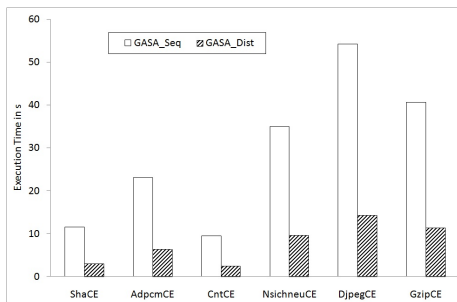
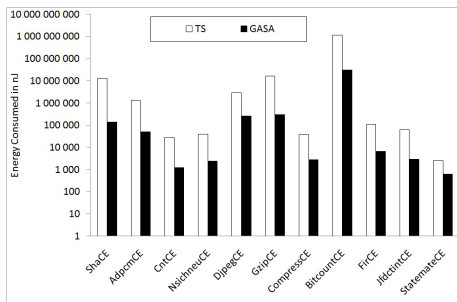
        | critère d'arrêt est vérifié

**Fin**

    Mettre à jour  $i$

**Fin**





La solution obtenue par *GA-SA* consomme de 76.23% (StatemateCE) jusqu'à 98.92% (ShaCE) moins d'énergie que la solution obtenue par *TS*.



M. Idrissi Aouad, R. Schott, and O. Zendra. "Tabu Search Heuristic for Scratch-Pad Memory Management". Proceedings of International Conference on Software Engineering and Technology, pp. 386-390, WASET Publisher, Rome, Italy, April 28 - 30 2010.

# Conclusions et perspectives dans ce domaine

## Conclusions

- ▶ Proposition de plusieurs métaheuristiques hybrides séquentielles et distribuées
- ▶ Validation des algorithmes proposés sur des *benchmarks* donnés dans le cadre du projet MORE
- ▶ Les solutions obtenues consomment moins d'énergie

## Perspectives

- ▶ Prise en compte de l'aspect temps-réel
- ▶ Développement de nouvelles approches hybrides

# Métaheuristiques pour l'optimisation de moteurs électriques

Depuis 2009 : Collaboration avec D. Fodorean (UTCN) et Prof. A. Miraoui (UTBM)

Métaheuristiques pour la modélisation et l'optimisation des moteurs électriques

## Plusieurs publications

- ▶ 2 Revues (Trans. on Vehicul. Tech. IF 1,921, IET Electr. Pow. Appl. IF 1,173)
- ▶ 2 Conférences internationales avec actes et comité de lecture (CEFC, MIC)

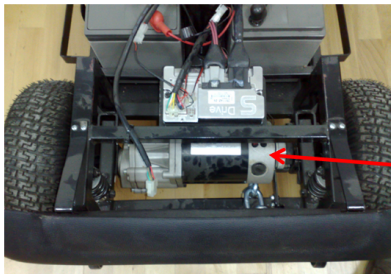
## Projets

- ▶ 07/2010 - 06/2013 : Projet de recherche intitulé "Intelligent Hybrid Vehicle for Individual Transportation of People with Reduced Mobility" (UTCN)
- ▶ 06/2010 - 04/2013 : Projet de recherche intitulé "Optimal Energy Management for Light Electric Vehicles" (Projet européen UTCN)
- ▶ Juin 2012 : dépôt d'un projet PHC BRANCUSI 2013 (LMIA-UHA et UTCN)

# Métaheuristiques pour l'optimisation de moteurs électriques

## Contexte

- ▶ La propulsion du scooter, pour les personnes à mobilité réduite, est assurée par un moteur à courant continu
- ▶ L'objectif est de proposer un moteur avec de bonnes performances énergétiques (rendement) et offrant une très grande autonomie
- ▶ Le choix est porté sur les MSAP vu qu'ils ont un meilleur couple massique
  - ⇒ En réduisant la masse du moteur de traction on peut améliorer l'autonomie
  - ⇒ Cependant, les aimants coûtent cher et il y a le risque de désaimantation irréversible des aimants



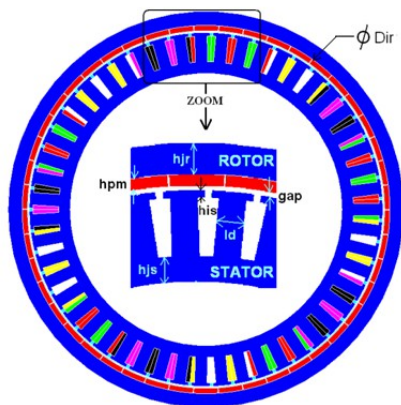
Scooter électrique  
équipé d'un  
moteur à courant  
continu

# Description du problème

## Objectif

Déterminer les dimensions des moteurs qui minimisent la masse, maximisent le rendement et le facteur de puissance

Symbole	Description	Intervalle
Dir	Diamètre interne du rotor	[185 ;210]mm
h <sub>jr</sub>	Hauteur de la culasse du rotor	[5 ;10]mm
h <sub>is</sub>	Hauteur de l'isthme de la dent	[1 ;3]mm
h <sub>js</sub>	Hauteur de la culasse du stator	[5 ;10]mm
l <sub>d</sub>	Largeur de la dent	[4 ;10]mm
gap	Longueur de l'entrefer	[0,5 ;1,5]mm
h <sub>pm</sub>	Hauteur de l'aimant	[2,5 ;7]mm
L <sub>m</sub>	Longueur de la machine	[30 ;80]mm
Contraintes à respecter (C)		
$T_m$	Couple moteur	[21,8 ;22,2]Nm
$P_{out}$	Puissance de sortie	[1490 ;1510]W
I <sub>s</sub>	Source de courant	[15 ;25]A



## Description mathématique

Solution : vecteur contenant les dimensions de moteur

$$X = [Dir, hjr, his, hjs, ld, gap, hmp, Lm] \quad (9)$$

Optimisation mono-objectif avec contraintes : agrégation

$$\text{Minimiser } f(X) = -RPM + \text{pénalité} \quad (10)$$

avec :

$$\begin{aligned} RPM &= \frac{P_{out}}{m_{tot}} \\ m_{tot} &= m_{cuivre} + m_{stat} + m_{rot} + m_{PM} \\ \eta &= \frac{P_{out}}{P_a} \\ FP &= \frac{P_a}{m_{mtot} \times U_{ph} \times I_s} \\ T_m &= \frac{P_{out}}{\Omega} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{pénalité} = \begin{cases} 0 & \text{Si toutes les contraintes } C \text{ sont satisfaites} \\ 10^6 \times \sum_{i=1}^3 |C_i - Limit_i| & \text{Sinon} \end{cases}$$

et,

$$Limit_i = \begin{cases} \text{Borne inférieure (i)} & \text{Si } C_i < \text{Borne inférieure(i)} \\ \text{Borne supérieure (i)} & \text{Si } C_i > \text{Borne supérieure (i)} \end{cases}$$

# Description mathématique

## Optimisation multiobjectif avec contraintes

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximiser } F(X) = \{RPM(X), \eta(X)\} \\ \text{avec :} \\ 21,8 \text{ Nm} \leq T_m(X) \leq 22,2 \text{ Nm} \\ 1490 \text{ W} \leq P_{out}(X) \leq 1510 \text{ W} \\ 15 \text{ A} \leq I_s(X) \leq 25 \text{ A} \end{array} \right. \quad (12)$$

# Algorithmes de résolution



**L. Idoumghar**, D. Fodorean, A. N'diaye, D. Bouquain and A. Miraoui, "Simulated Annealing Algorithm for the Optimization of an Electrical Machine" (**SA**). Journal of IET Electric Power Applications, vol.6, n.9, pp. 735-742, November 2012.



S. Giurgea, D. Fodorean, G. Cirrincione, A. Miraoui, and M. Cirrincione. "Multimodel Optimization Based on the Response Surface of the Reduced FEM Simulation Model With Application to a PMSM". IEEE Transactions on Magnetic, Vol. 44, No. 2, pp. 2153-2157, 2008 (**Solution de référence**)



D. Sharma and P. Collet. "An archived-based stochastic ranking evolutionary algorithm for multiobjective optimization" (**ASREA**). Proceedings of the 12th annual conference on Genetic and evolutionary computation, pp. 479-486, Portland, Oregon, USA, July 7-11 2010



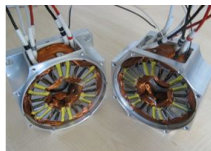
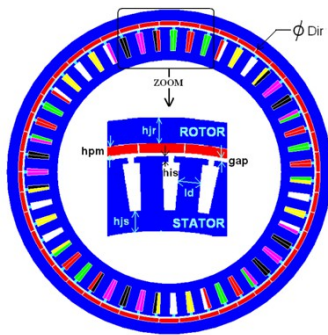
S. Tiwari, G. Fadel, P. Koch, and K. Deb. "Performance assessment of the hybrid Archive-based Micro Genetic Algorithm on the CEC09 test problems" (**AMGA**). Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 1935-1942, IEEE, Trondheim, Norway, May 18-21 2009



K. Deb and S. Tiwari. "Omni-Optimizer : A Generic Evolutionary Algorithm for Single and Multiobjective Optimization" (**OMNIOPT**). European Journal of Operational Research, Vol. 185, No. 3, pp. 1062-1087, 2008

## Résultats obtenus

Symbole	Sol. de référence	SA	ASREA	AMGA	OMNIOPT
$m_{tot}$ (kg)	7,1207	3,7697 + 47,0599 (%)	5,8946 + 17,218 (%)	4,2863 + 39,805 (%)	3,8652 + 45,718 (%)
RPM ( W/kg)	210,67	397,93 + 88,8878 (%)	255,087 + 21,08 (%)	347,904 + 65,14 (%)	389,47 + 84,87 (%)
$\eta$	0,9120	0,9014	0,908	0,903	0,9
FP	0,8739	0,8230	0,796	0,794	0,807



Moteur synchrone à aimant permanent réalisé

# Conclusions et perspectives dans le domaine des moteurs électriques

## Conclusions

- ▶ Détermination des paramètres à optimiser
- ▶ Modélisation du problème sous forme d'un problème d'optimisation mono-objectif et multiobjectif
- ▶ Résolution du problèmes d'optimisation du moteur électrique à l'aide de métaheuristiques
- ▶ Travaux mêlant informatique et génie électrique

## Travaux en cours et perspectives

- ▶ Améliorer la qualité des solutions obtenues par les algorithmes multiobjectifs
- ▶ Tests plus complets en multiobjectif
- ▶ Développer de nouveaux algorithmes pour les nouvelles topologies des moteurs en cours d'étude

Métaheuristiques pour l'optimisation des *benchmarks* mathématiques

Nom	Description	Domaine	Nature
Sphere ( $f_{sph}$ )	$\sum_{i=1}^n x_i^2$	[-100;100]	Unimodal
Rastrigin ( $f_{ras}$ )	$\sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10)$	[-5,12;5,12]	Multimodal
Ackley ( $f_{ack}$ )	$20 + e - 20 e^{-0.2 (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2)^{\frac{1}{2}}} - e \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)$	[-30.0; 30.0]	Multimodal
Griewank ( $f_{gri}$ )	$\frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos(\frac{x_i}{\sqrt{i}}) + 1$	[-600; 600]	Multimodal
Quartic ( $f_{qrt}$ )	$(\sum_{i=1}^n i x_i^4) + rand[0, 1]$	[-1, 28; 1, 28]	Noisy
Step ( $f_{ste}$ )	$\sum_{i=1}^n (\lfloor x_i + 0.5 \rfloor)^2$	[-100;100]	Unimodal et discontinue
Schwefel 2.26 ( $f_{s26}$ )	$418.983 n - \sum_{i=1}^n (x_i \sin(\sqrt{ x_i }))$	[-500;500]	Multimodal
Rosenbrock ( $f_{ros}$ )	$\sum_{i=1}^{n-1} (100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2)$	[-2,048;2,048]	Unimodal



P. N. Suganthan, N. Hansen, J. J. Liang, K. Deb, Y.-P. Chen, A. Auger, and S. Tiwari. "Problem definitions and evaluation criteria for the CEC 2005 special session on real-parameter optimization". Technical Report 2005005, Nanyang Technological University, Singapore and IIT Kanpur, India, May 2005.

Métaheuristiques pour l'optimisation des *benchmarks* mathématiques

Nom	Description	Domaine	Nature
Quadric ( $f_{qdr}$ )	$\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^i x_j)^2$	[-100;100]	Unimodal
Elliptic ( $f_{ell}$ )	$\sum_{i=1}^n 10^{\frac{6(i-1)}{n-1}} x_i^2$	[-100;100]	Unimodal
Schwefel 2.21 ( $f_{s21}$ )	$\max_{i=1}^n \{ x_i , 1 \leq i \leq n\}$	[-100;100]	Unimodal
Schwefel 2.22 ( $f_{s22}$ )	$\sum_{i=1}^n  x_i  + \prod_{i=1}^n  x_i $	[-10;10]	Unimodal
Generalized Penalized Function 1 ( $f_{pn1}$ )	$\frac{\pi}{n} \{10 \sin^2(\pi y_1) \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4),$ $y_i = 1 + 0, 25(x_i + 1)$ $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m & x_i > a \\ 0 & -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m & x_i < -a \end{cases}$	[-50;50]	Multimodal
Generalized Penalized Function 2 ( $f_{pn2}$ )	$\frac{1}{10} \{ \sin^2(3\pi x_1) \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(x_{i+1})] + (x_n - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] \} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 5, 100, 4)$	[-50;50]	Multimodal
Weierstrass ( $f_{wrs}$ )	$\sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^{k_{max}} (a^k \cos(2\pi b^k (x_i + 0, 5)))$ $-D \sum_{k=0}^{k_{max}} (a^k \cos(2\pi b^k 0, 5)), a=0.5, b=3 \text{ et } k_{max}=20$	[-0,5;0,5]	Multimodal



P. N. Suganthan, N. Hansen, J. J. Liang, K. Deb, Y.-P. Chen, A. Auger, and S. Tiwari. "Problem definitions and evaluation criteria for the CEC 2005 special session on real-parameter optimization". Technical Report 2005005, Nanyang Technological University, Singapore and IIT Kanpur, India, May 2005.



# Métaheuristiques comparées



**L. Idoumghar**, M. Idrissi Aouad, M. Melkemi and R. Schott, "Metropolis Particle Swarm Optimization Algorithm with Mutation Operator For Global Optimization Problems". 22th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2010), pp. 35-42, 2010, Arras, France. (**MPSOM**)



J. J. Liang, A. K. Qin, P. N. Suganthan, and S. Baskar. "Comprehensive Learning Particle Swarm Optimizer for Global Optimization of Multimodal Functions". IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 10, No. 3, pp. 281-295, 2006. (**CLPSO**)



R. A. Krohling. "Gaussian Particle Swarm with Jumps". Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 1226-1231, Dortmund, Germany, September 2-5 2005. (**GPSO-J**)



W. Yu-Xuan, X. Qiao-Liang, and Z. Zhen-Dong. "Particle Swarm Optimizer with Adaptive Tabu and Mutation : A Unified Framework for Efficient Mutation Operators". ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, vol. 5, pp. 1-27, February 2010. (**ATM-PSO**)



A. Ratnaweera, S. Halgamuge, H. Andwatson. "Self-organizing hierarchical particle swarm optimizer with time-varying acceleration coefficients". Transactions on Evolutionary Computation, vol. 8, No. 3, pp. 240-255, 2004. (**MPSO-TVAC**)

## Tests statistiques

### Tests statistiques

Les tests statistiques permettent de trancher entre deux hypothèses dont une seule est vraie.

### Test de Friedman

Les deux hypothèses statistiques de test de Friedman sont :

- ▶  $H_0$  : *il n'y aucune différence entre les métaheuristiques étudiées.*
- ▶  $H_1$  : *au moins une métaheuristique est différente des autres.*

## Tests statistiques : test de Friedman

f (b)	CLPSO			GPSO-J			ATM-PSO		
	$X_{b1}$	$R(X_{b1})$	$R(X_{b1})^2$	$X_{b2}$	$R(X_{b2})$	$R(X_{b2})^2$	$X_{b3}$	$R(X_{b3})$	$R(X_{b3})^2$
$f_{sph}$	8,990E-14	4	16	3,85E-07	5	25	8,90E-104	2	4
$f_{ras}$	1,340E-06	4	16	1,59E+01	5	25	0	2	4
$f_{ack}$	8,450E-08	3	9	1,43E-03	5	25	2,59E-14	1,5	2,25
$f_{gri}$	1,950E-09	4	16	4,02E-02	5	25	2,22E-02	1	1
$f_{qrt}$	8,180E-03	2	4	4,45E-03	5	25	9,77E-03	4	16
$f_{ste}$	0	4	16	0	2	4	0	5	25
$f_{s26}$	1,760E-12	3	9	1,34E+03	3	9	2,36E-12	3	9
$f_{ros}$	2,088E+01	1	1	2,71E+01	3	9	1,51E+01	2	4
$f_{qdr}$	1,657E+03	5	25	6,15E+00	4	16	3,36E-10	2	4
$f_{ell}$	3,680E-11	4	16	5,47E+02	5	25	1,33E-95	2	4
$f_{s21}$	6,740E+00	5	25	6,04E-01	4	16	4,52E-04	2	4
$f_{s22}$	3,170E-09	4	16	5,16E-03	5	25	2,02E-54	2	4
$f_{pn1}$	4,830E-15	4	16	4,47E-09	5	25	1,57E-32	2	4
$f_{pn2}$	6,520E-14	4	16	1,26E-08	5	25	1,35E-32	2	4
$f_{wrs}$	1,540E-07	3	9	9,65E-01	5	25	0	1,5	2,25
Moy.		3.6			4.4			2.266	
Som.		54	210		66	304		34	91.5

## Tests statistiques : test de Friedman

f (b)	MPSO-TVAC			MPSOM		
	$X_{b4}$	$R(X_{b4})$	$R(X_{b4})^2$	$X_{b5}$	$R(X_{b5})$	$R(X_{b5})^2$
$f_{shp}$	2,870E-41	3	9	9.40E-113	1	1
$f_{ras}$	1,154E+01	3	9	0	1	1
$f_{ack}$	4,210E-14	4	16	2,60E-10	1,5	2,25
$f_{gri}$	1,210E-02	2	4	0	3	9
$f_{qrt}$	4,990E-03	3	9	4.07E-06	1	1
$f_{ste}$	0	3	9	0	1	1
$f_{s26}$	2,017E+03	3	9	5,02E+02	3	9
$f_{ros}$	1,936E+01	4	16	1,44E-02	5	25
$f_{qdr}$	4,050E-05	3	9	2,67E-10	1	1
$f_{ell}$	5,390E-27	3	9	0	1	1
$f_{s21}$	4,280E-02	3	9	0	1	1
$f_{s22}$	5,770E-14	3	9	0	1	1
$f_{pn1}$	9,940E-31	3	9	0	1	1
$f_{pn2}$	3,750E-32	3	9	0	1	1
$f_{wrs}$	5,000E-02	4	16	0	1,5	2,25
Moy.		3.33			1.6	
Som.		47	151		24	57,5

## Tests statistiques : test de Friedman

- ▶ On calcule le test statistique  $T_2 = \frac{(b-1)[B_2 - bk(k+1)^2/4]}{A_2 - B_2} = 19,902$

avec :

- ▶  $b$  est le nombre de *benchmarks* mathématiques étudiés et  $k$  le nombre de métaheuristiques à comparer.
- ▶  $A_2 = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k [R(X_{ij})]^2 = 814$
- ▶  $B_2 = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^k R_j^2 = 756.6$
- ▶ la table de la distribution  $F$ , avec le  $\alpha = 5\%$ , donne :  
 $F_{1-\alpha, k-1, (b-1)(k-1)} = F_{5\%} = 3,674$
- ▶  $T_2 > F_{5\%}$   
 $\Rightarrow H_0$  est rejetée, donc il y a au-moins un algorithme dont la performance est différente d'au-moins un des autres algorithmes

## Tests statistiques : test bilatéral

$$C_{5\%} = t_{1-\frac{\alpha}{2}} \left[ \frac{2b(A_2 - B_2)}{(b-1)(k-1)} \right]^{\frac{1}{2}} = 11,108$$

	GPSO-J	ATM-PSO	MPSO-TVAC	MPSOM
CLPSO	12	20	7	<b>30</b>
GPSO-J	-	32	19	<b>42</b>
ATM-PSO	-	-	13	<b>10</b>
MPSO-TVAC	-	-	-	<b>23</b>

$$C_{1\%} = 14,786$$

## Conclusions & perspectives dans l'optimisation des *benchmarks* mathématiques

### Conclusions

- ▶ Utilisation des métaheuristiques pour l'optimisation de *benchmarks* mathématiques
- ▶ Validation et comparaison de nos résultats avec d'autres algorithmes de la littérature

### Perspectives

- ▶ Etendre les tests à d'autres *benchmarks* mathématiques (CEC 2009)
- ▶ Intégration de nouveaux algorithmes dans notre logiciel *MetaheuristicDemo*

# Plan

Curriculum Vitæ

Activités pédagogiques et responsabilités administratives

Activités de recherche et synthèse scientifique

Conclusions & Perspectives

## Conclusions & Perspectives

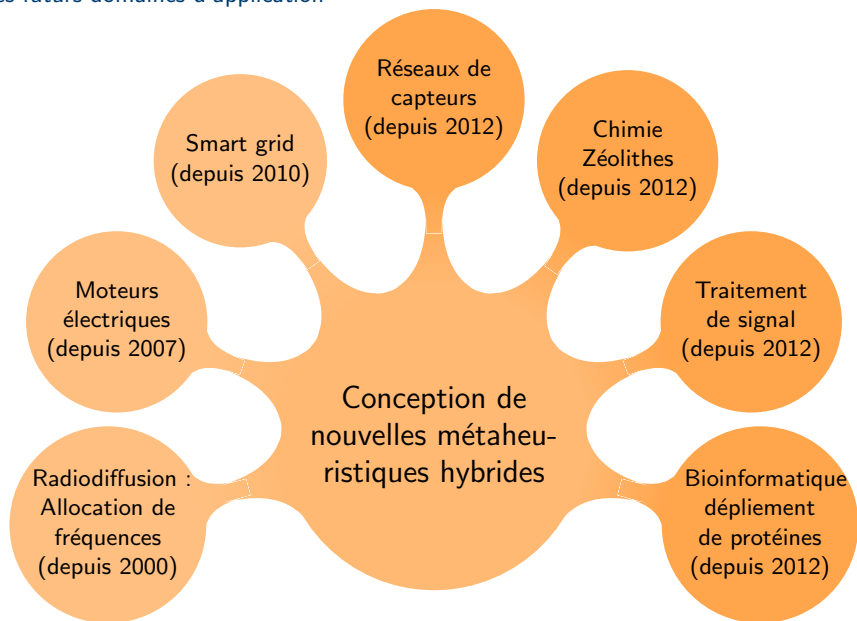
### Conclusions

- ▶ Résumé de mes principales activités d'enseignement
- ▶ Quelques unes de mes activités de recherche
- ▶ Développement de métaheuristiques hybrides
- ▶ Validation des algorithmes proposés sur des problèmes réels

### Perspectives

- ▶ Chacune des problématiques exposées offre encore un champ d'application à de nouvelles méthodes
- ▶ Développement de nouvelles métaheuristiques massivement parallèles  
*Projet BQR 2012 : Mise en place d'un premier cluster GPU à l'UHA*
- ▶ Intégrer la notion d'apprentissage dans nos futures méthodes
- ▶ Application dans d'autres domaines

## Mes futurs domaines d'application



## Collaborations

- ▶ Université de Cluj-Napoca Roumanie
- ▶ IRTES, Université de Technologie Belfort-Montbéliard
- ▶ Loria-INRIA-Grand Est, Université de Lorraine
- ▶ BFO-LSiiT, Université de Strasbourg
- ▶ LMIA, IS2M et MIPS, Université de Haute Alsace Mulhouse
- ▶ Ecole d'ingénieurs EPMI-Cergy Pontoise
- ▶ Ecole Mohammadia d'Ingénieurs-Rabat, Maroc
- ▶ Télédiffusion de France, Metz

# Mes publications

<b>Catégories</b>	<b>Nombre</b>
Revue internationale avec comité de lecture	10
Conférences internationales avec comité de lecture et actes	21
Conférences nationales avec comité de lecture et actes	3
Brevets	2
Articles soumis	5
Articles de vulgarisation	5
Logiciels réalisés	2

# Encadrements

## Thèses de doctorat jusqu'en 2012

- ▶ Maha Idrissi-Aouad (33%), 2008-2011, soutenance 4/7/2011
- ▶ Thomas Iwaszko (50%), 2008-2012, soutenance 22/11/2012
- ▶ Robin Roche (33%), 2009-2012, soutenance 7/12/2012

## Master 2 Recherche

- ▶ Nicolas Cherin (100%), 2010-2011
- ▶ Imene Ben-Yahia (50%), 2011-2012
- ▶ Renaud Vanhoutreve (33%), 2011-2013

## Initiation à la recherche

- ▶ Plusieurs stages de M1 et L3

**Merci à vous.**

# Conception de métaheuristiques hybrides et leurs applications

**Lhassane IDOUMGHAR**

Équipe MAGE, Laboratoire LMIA, Université de Haute Alsace  
Équipe TRIO-INRIA-Grand Est, Laboratoire LORIA, Université de Lorraine

Habilitation à Diriger des Recherches

21 novembre 2012