
MULTIGEN

Procédures d'Optimisation Multicritères

A. Gomez

Directeurs de thèse (CNRS LGC): C. Azzaro-Pantel, Serge Domenech
Encadrement CEA: P. Dumaz (DER/SESI/LCSI),
D. Haubensack (DER/SESI/LCSI)
C. Latgé (DTN/DIR)
DER/SESI (Cadarache) – CNRS/LGC (Toulouse)

Sommaire

- **Description de MULTIGEN**
- **Exemples d'application**
 - BE EcoEnergie: optimisation turbine à gaz
 - Applications CEA: optimisation technico-économique
 - Production électrique
 - Cogénération électricité / H2
 - Autre applications (CEA+COOP)
- **Conclusion Générale**

Description de MULTIGEN

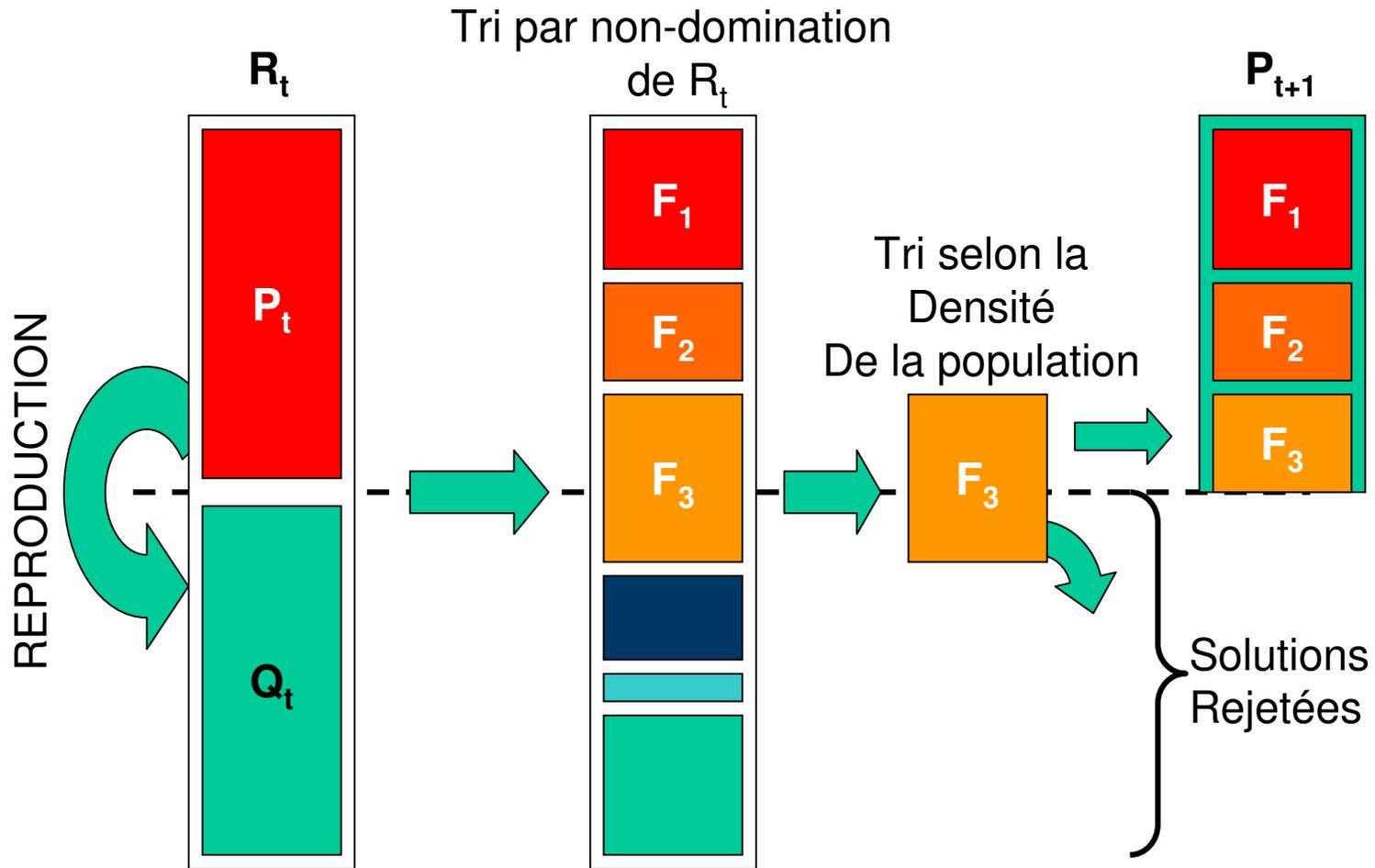
Principe de fonctionnement des AG (1/7)



- Algorithme mono/multicritère : Algorithmes Génétiques
 - Utilisation:
 - Traitement de problèmes complexes à fort caractère combinatoire
 - Traitement à partir de modèles « boîte noire »
 - il suffit de pouvoir évaluer la/les fonctions objectifs
 - Avantages:
 - Résolution de problèmes multicritères possibles
 - Capacité d'extraction des optimums locaux
 - Inconvénients:
 - grand nombre d'appel à fonction → temps calcul important
 - Convergence lente

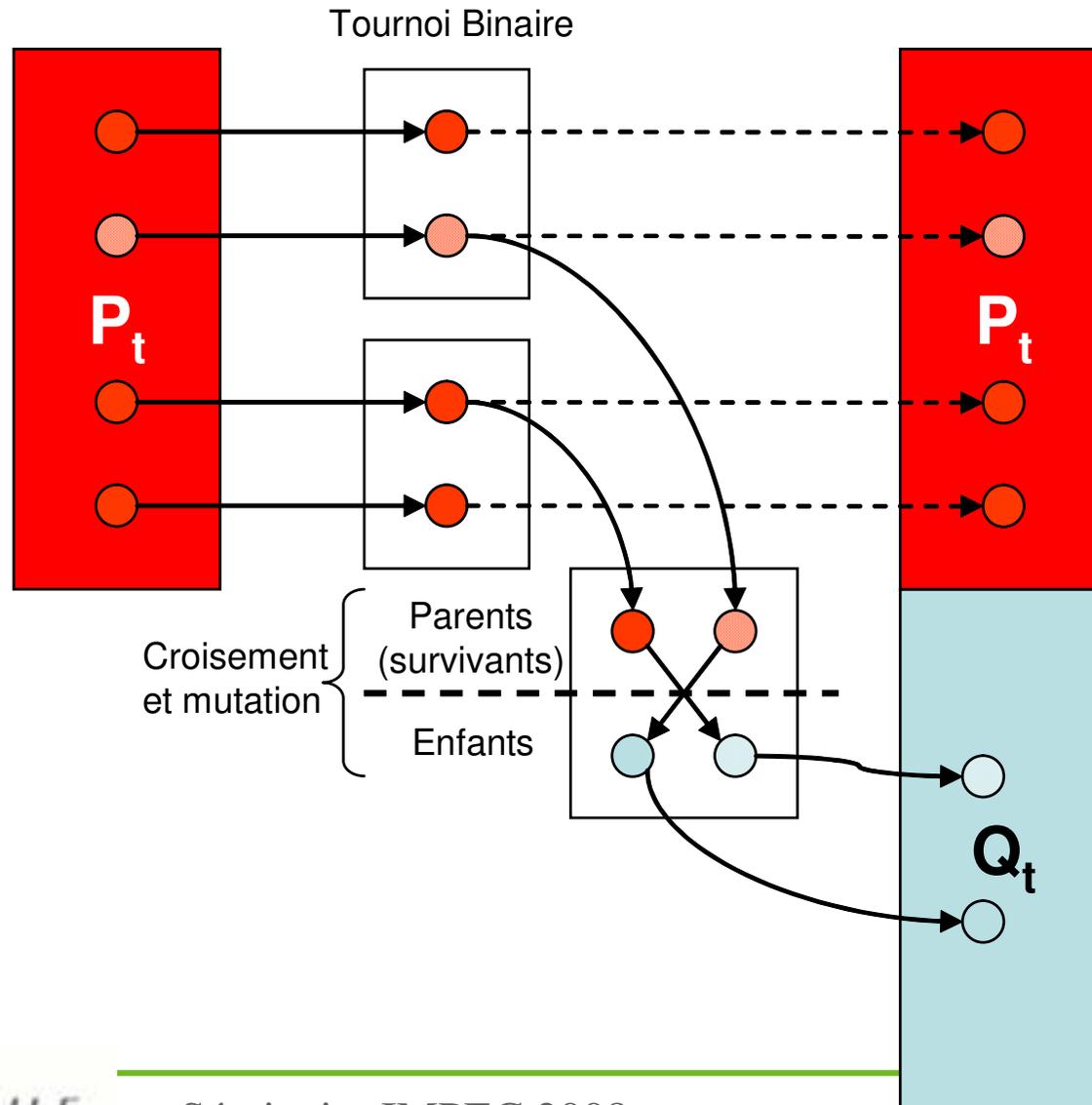
Principe de fonctionnement des AG (2/7)

- Algorithme de base: NSGA II



Principe de fonctionnement des AG (3/7)

- Reproduction des populations

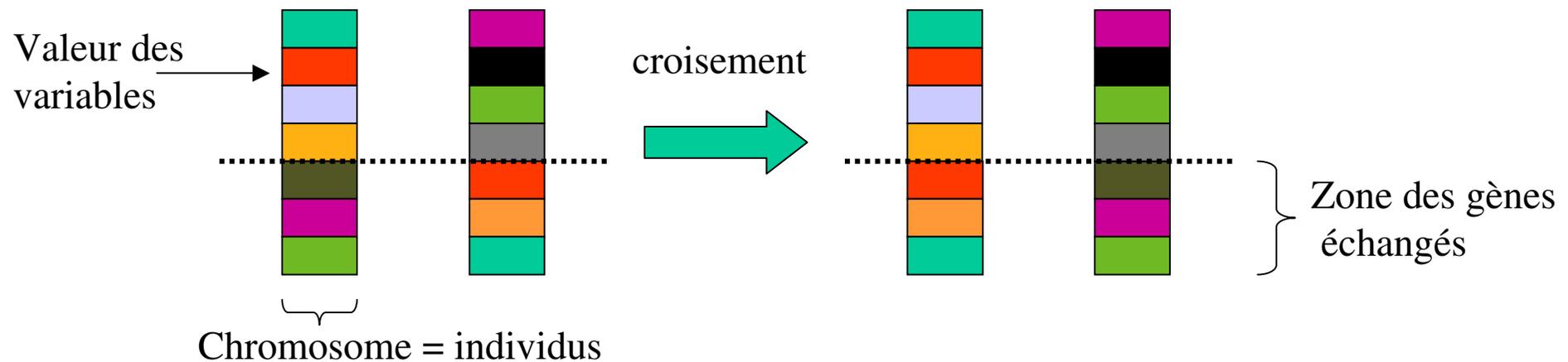


Principe de fonctionnement des AG (4/7)

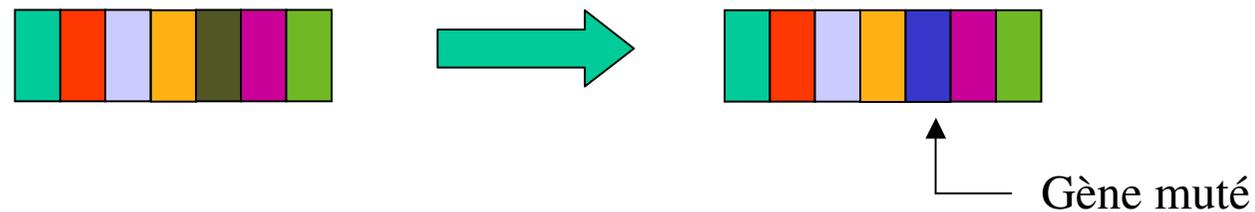
- Algorithmes génétiques: principes



- Exploration de l'espace de recherche: croisement des chromosomes

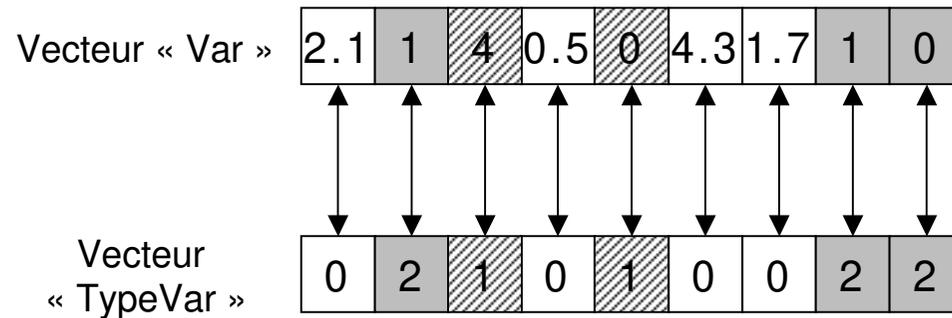


- Extraction des optimum locaux: mutation des gènes



Principe de fonctionnement des AG (5/7)

- Codage de l'information



Légende

0	Variable continue
1	Variable entière
2	Variable binaire

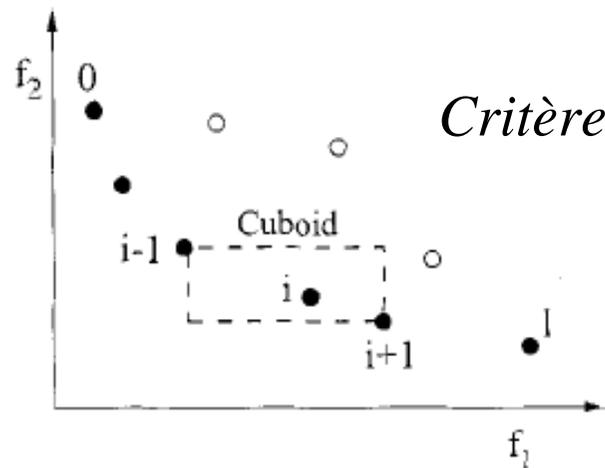
Principe de fonctionnement des AG (6/7)

- Règles de domination multicritère sous contraintes: A domine B ssi
 - A satisfait les contraintes et B non
 - La violation globale de contraintes de A est – forte que B
 - Somme des violation des critères
 - A et B satisfont les contraintes et A domine B (Pareto)

$$\forall j \in [1, n], f_j(A) \leq f_j(B)$$

$$\exists j_0 \in [1, n], f_{j_0}(A) < f_{j_0}(B)$$

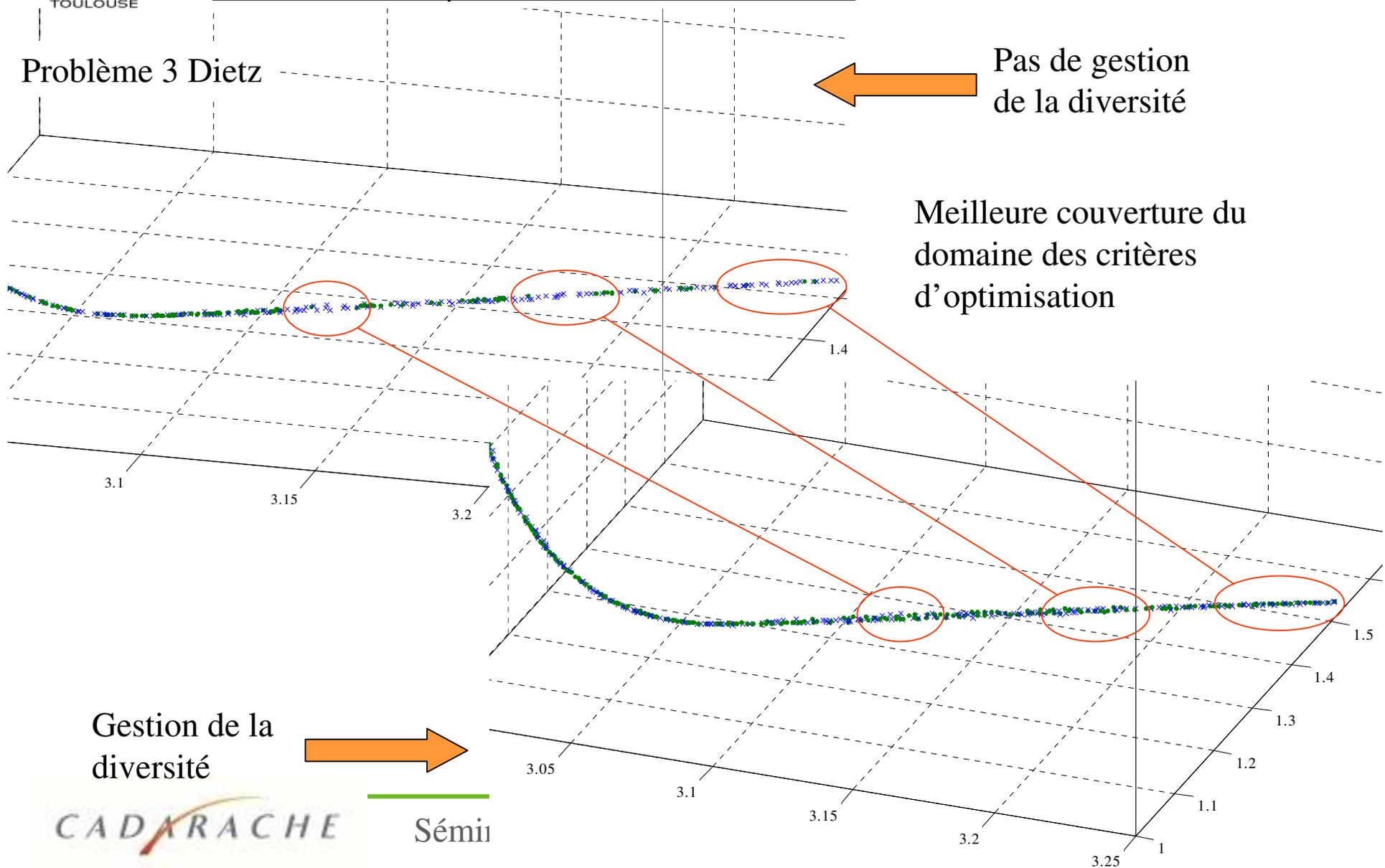
- Gestion de la diversité: réduction des amas d'individus par calcul des distances inter-individus



$$\text{Critère / individu} = \begin{cases} \infty, \text{ si } I[i].m = f_m^{Max} \text{ ou } I[i].m = f_m^{Min} \\ \sum_{i=2}^{l-1} (I[i+1].m - I[i-1].m) / (f_m^{Max} - f_m^{Min}) \end{cases}$$

Principe de fonctionnement des AG (7/7)

- Mécanisme de préservation de la diversité



Description MULTIGEN (1/6)

• Propriétés Générales de MULTIGEN

- Bibliothèque d'Algorithmes Génétiques
- Bibliothèque de procédures élémentaires réutilisables (croisements, mutations, ...)
- Structure Orienté Objet (populations, individus)
- **Langage**: VBA
- **Application**: Problèmes d'Optimisation mono-multicritères sur Microsoft Excel®
- Problèmes mathématiques traités:
 - Variables: continues, entières et binaires
 - Contraintes (linéaires, non linéaires): $g(x) \geq 0$ $r(x) > 0$ $h(x) = 0$
 - Codage de Structures
- Modélisation sous Excel®:
 - Codage des Critères & Contraintes écrites sur les cellules du tableur
 - Calcul multi-feuille → flexibilité accrue

Description MULTIGEN (2/6)

- Une interface utilisateur accessible et simple: **BARRE OUTILS MULTIGEN**



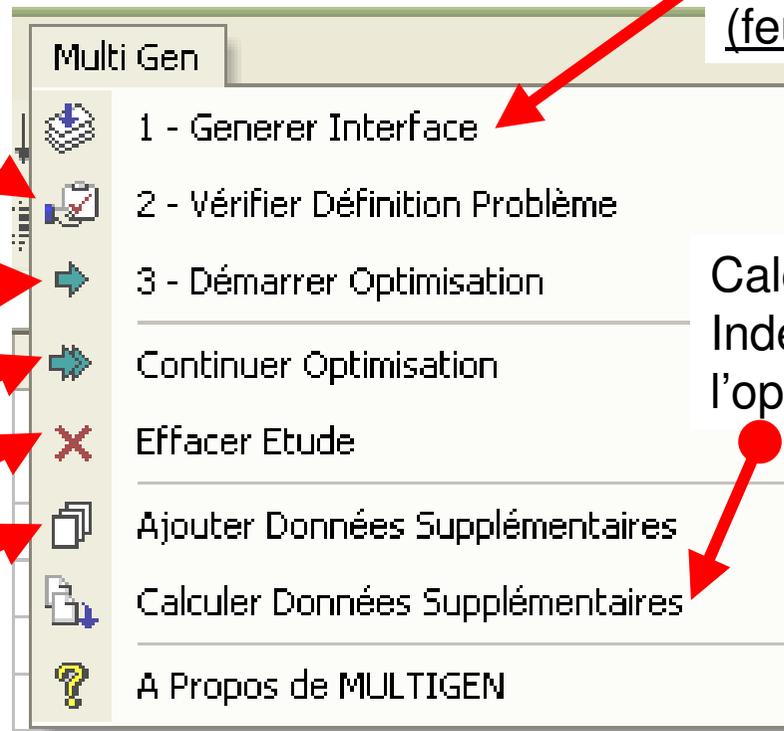
Vérification de la définition du problème

Lancement de l'optimisation

Poursuite Calcul

Effacer résultat

Demande de Calculs Indépendants de l'optimisation



Génération automatique interface utilisateur (feuille Excel)

Calculs de données Indépendantes de l'optimisation

Description MULTIGEN (3/6)

• Une interface utilisateur accessible et simple: CODAGE DES PROBLEMES (1/2)

Mots Clés		Définition des Problèmes Mathématiques			
1	MULTIGEN				
2	NPOPULATION			} ← Paramètres de l'évolution	
3	NGENERATION				
4	PRINTGENFREQ				
5	PRINTGENPERIOD				
6	Paramètres de l'algorithme:				
7	ALGORITHM			} ← Paramètres Algorithme	
8	PCROSS				
9	PMUT				
10	ETAC				
11	ETAM				
12	Paramètres supplémentaires de l'algorithme:			} ← Options	
13	PREC	1E-14			
14	STAGTHRESHOLD	50			
15	INFINITE VALUE	1E+14			
16					
17	Critères à optimiser:			} ← Définition Critères	
18		c1	c2		...
19	OBJECTIVE				
20	MINMAX				
21	Variables			} ← Définition Variables	
22	LABELS	v1	v2		...
23	CELLS				
24	TYPE				
25	MIN				
26	MAX				
27	STEP				

Description MULTIGEN (4/6)

- Une interface utilisateur accessible et simple: **CODAGE DES PROBLEMES (2/2)**

	Mots Clés	Définition des Problèmes Mathématiques			
28	Paramètres supplémentaires des variables:				
29	LBC				← Codage Structures
30	LBE				
31	LBC				
32					
33					
34	Contraintes:				
35		g1	g2	...	← Définition Contraintes
36	CONSTR>=0				
37		r1	r2	...	
38	CONSTR>0				
39		h1	h2	...	
40	CONSTR=0				
41					
42	Données:				
43		data 1	data 2	...	
44	DATA				
45					

Description MULTIGEN (5/6)

- **Un outils sécurisé pour les utilisateurs**

- **Procédure de Lecture – Debogage du problème mathématique**

- Objectif : éviter qu'une mauvaise formulation du problème au niveau de l'interface provoque un arrêt de MULTIGEN

→ Raisons: oublis de variables, critères ou contraintes, de paramètres, incohérences sur les domaines...

→ MULTIGEN localise et signale ces erreurs sur l'interface

→ Impossible de démarrer MULTIGEN avant suppression des erreurs

- **Gestion automatique des erreurs modèles:**

- Pour les erreurs standard d'Excel: #DIV/0! ...

- Ajout de messages d'erreur personnalisés: ERR, NC, </>, ...

→ Objectif: éviter un blocage de MULTIGEN en cas de non évaluation des critères/contraintes

→ MULTIGEN signale à l'utilisateur les erreurs de calcul.

Description MULTIGEN (6/6)

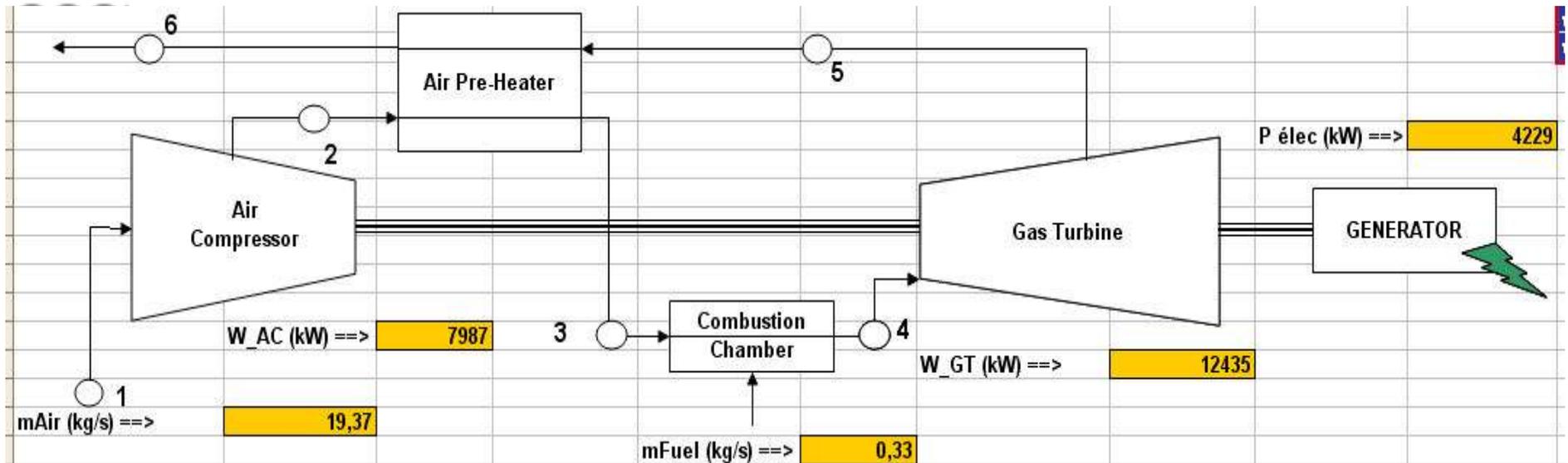
• Algorithmes inclus dans MULTIGEN

- 
- NSGA II (original)
 - NSGA II (SBX classique)
 - NSGA III
 - NSGA II Mixte Continu-Entier
 - NSGA II Mixte Continu-Entier-Booléen
 - NSGA II Mixte Continu-Entier-Booléen LBCE: intégration des mécanismes d'élimination des variables continues et entières liées à l'existence de variables binaires.
 - MOGA Mixte Continu-Entier-Booléen LBCE: nouvel algorithme d'optimisation de problèmes structurels.
- Problèmes
Structurels &
design des
composants
- Problèmes en
Variables continues

Exemples d'application

Exemple: BE EcoEnergie (1/2)

- BE Option EcoEnergie: Optimisation Technico-économique d'une turbine à gaz



Variables d'optimisation	
Pr (P4/P5)	9,7
mG (kg/s)	19,7
T5 (K)	873,15
η_{REG}	0,81

} Variables d'optimisation

Modèle Turbine à Gaz sous Excel

Point	T (K)	P (Mpa)	m (kg/s)	h (kJ/kg)	δ	Cp_G (kJ/kg)
1	298,15	0,10	19,37			1,00
2	697,74	1,35	19,37	428,84	1,401	1,07
3	839,82	1,32	19,37	599,72		1,11
4	1383,46	1,27	19,7	1392,95	1,321	1,28
5	873,15	0,13	19,7			1,18
6	730,55	0,10	19,7			1,14

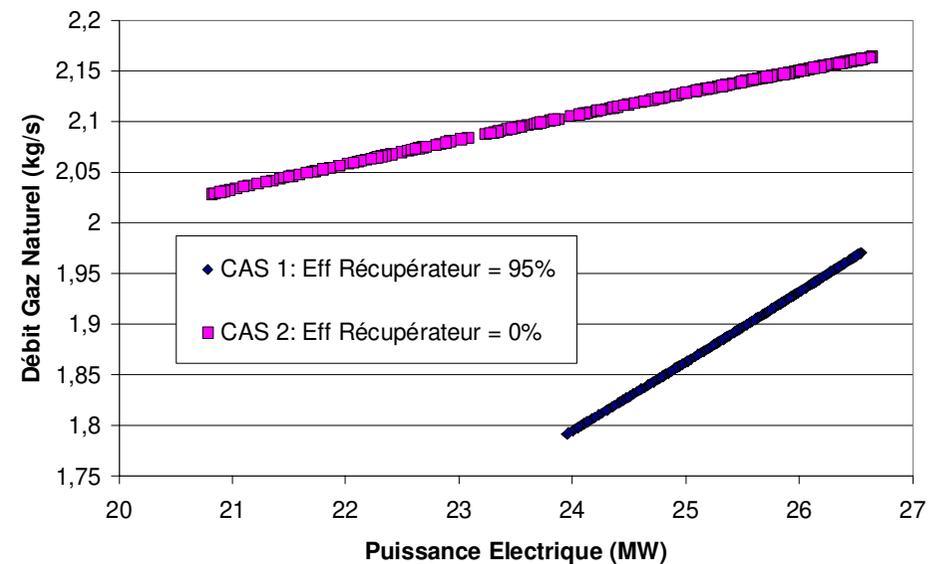
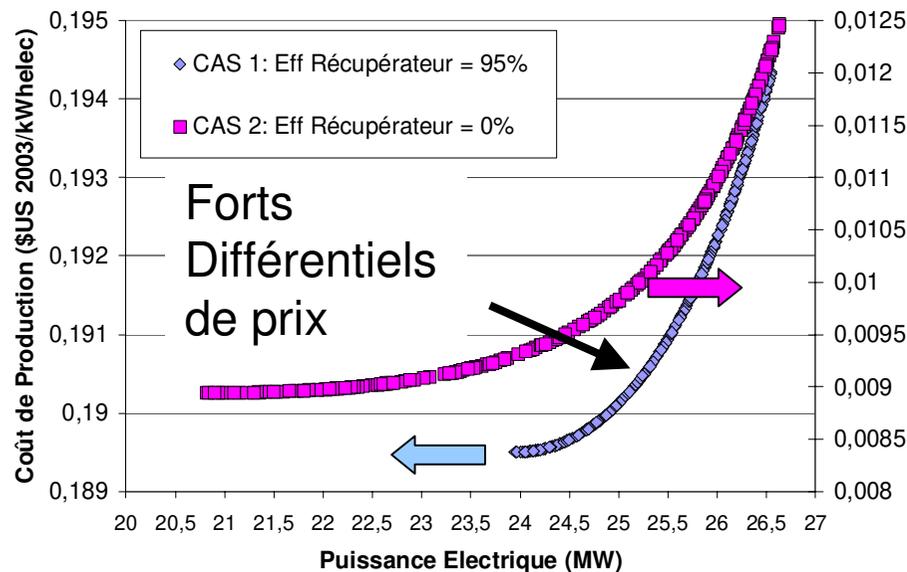
Exemple: BE EcoEnergie (2/2)

- BE Option EcoEnergie: Optimisation Technico-économique d'une turbine à gaz

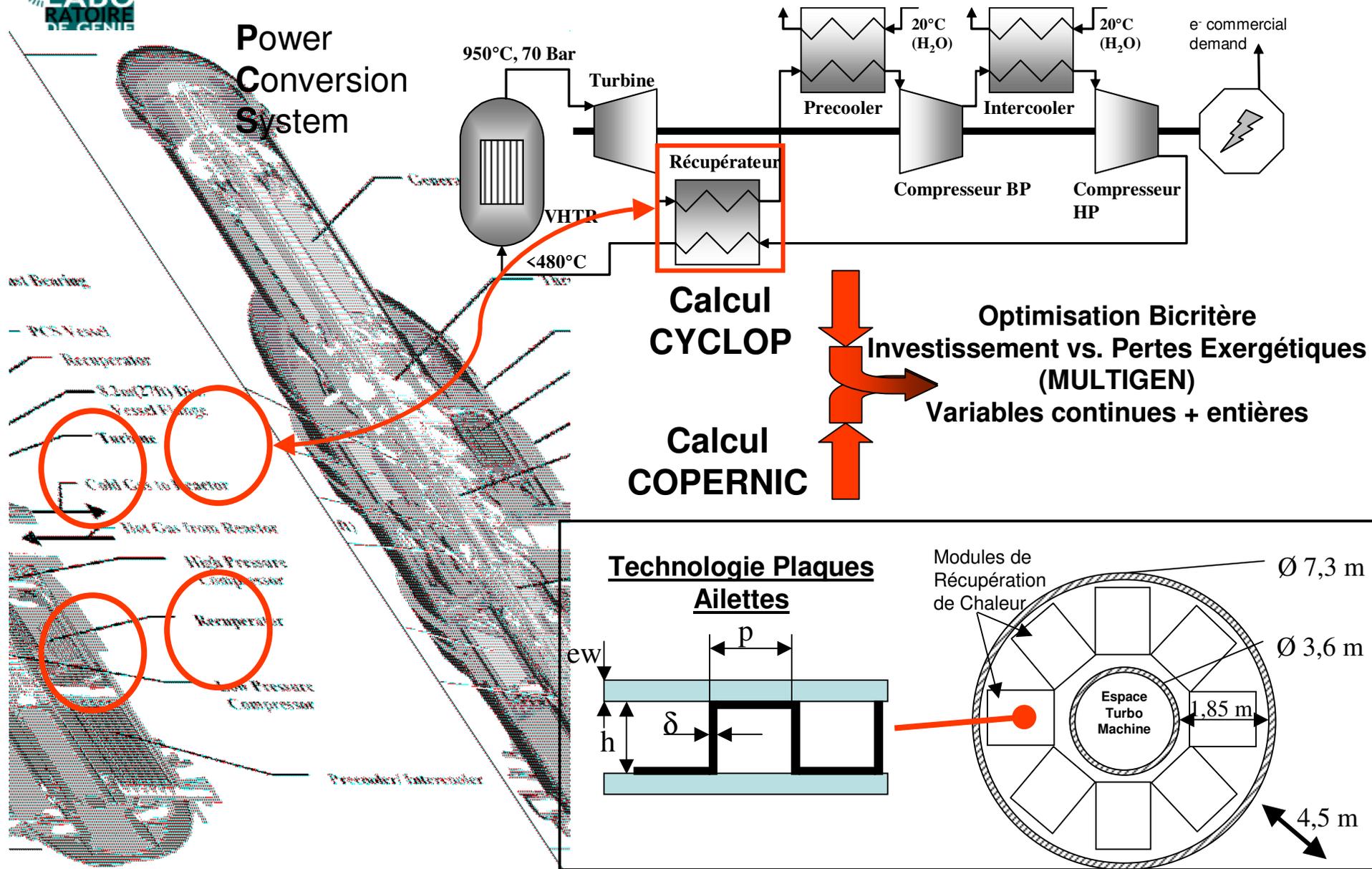
Objectifs:

- Optimisation monocritère: coût de production seul
- Optimisation bicritère: coût de production vs production e-

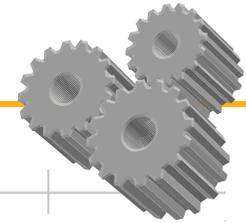
On accède aux coûts de production pour une gamme de puissance → récupération de chaleur non rentable



Exemple: Optimisation PCS & Design Récupérateur (1/4)



Couplage CYCLOP – MULTIGEN (Excel)



Feuille MULTIGEN



Feuille CYCLOP



1	Algorithme Génétique:		
2	NIPOPULATION	100	
3	NIGENERATION	200	
4	PRITGENIFREQ	1	
5	PRITGENPERIOD	200	
6	Paramètre de l'algorithme:		
7	ALGORITHM	3	
8	PCROSS	0,9	
9	PMUT	0,5	
10	ETAC	1	
11	ETAM	0	
12	Paramètres supplémentaires de l'algorithme		
13			
14			
15	Critères à optimiser:		
16	CRITERIA	Rend elec	c2
17	MINMAX	0,47488299	Max
18			
19			
20			
21	CELLES	rP Turb	rP Comp-BP
22	TYPE	0	0
23	MIN	1	1
24	MAX	10	10
25	STEP	0	0
26	Paramètres supplémentaires des variables:		
27			
28			
29	Variables continues:		
30	CONSTR>=0	g1	g2
31		-3,7820023	
32	CONSTR>0	r1	r2
33			
34	CONSTR=0	h1	h2
35			

Paramètres Algorithmes

- Numéro de l'algorithme d'optimisation utilisé
- 1: NSGA II
 - 2: NSGA II SBX Classique
 - 3: NSGA III
 - 4: NSGA II Mixte Continu-Entier
 - 5: NSGA II Mixte Continu-Entier-Booléen
 - 6: NSGA II Mixte Continu-Entier-Booléen LBCE
 - 7: MIB MOGA Continu-Entier-Booléen
 - 8: MB MOGA

Critères

Variables

- Continues
- Binaires
- Entières

Contraintes

- $g(x) \geq 0$
- $r(x) > 0$
- $h(x) = 0$

Description Composant : ΔP , ΔT , efficacité, courants entrée/sortie

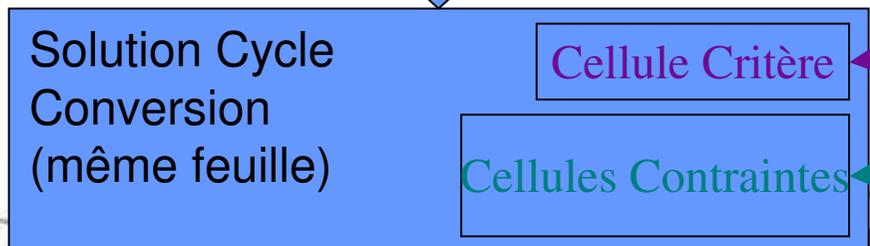
C	nom	commentaire	options	coût ?	T aff			
2	S(ga)							
3	S	GTMER	autres/outlog			20,00 C		

C	nom	type	boucle	entree(c)	sortie(c)	ΔP	ΔT	
1	Cond	CONDENSEUR	BoucleHe	eCond	sCond	180 bar		
2	Tube	TUBES	BoucleHe	eTub	sTub		1,75	
3	ProcC	ECHANGEUR	BoucleHe	eProcC	sProcC	0,40 bar		
4	ProcC	ECHANGEUR	BoucleHe	eProcC	sProcC	0,40 bar		
5	CompBp	COMPRESSEUR	BoucleHe	eCompBp	sCompBp		1,30	
6	ProcC	ECHANGEUR	BoucleHe	eProcC	sProcC	0,40 bar		
7	CompBp	COMPRESSEUR	BoucleHe	eCompBp	sCompBp			
8	ProcF	ECHANGEUR	BoucleCO	eProcF	sProcF			

Definition des Courants: P, T, débit

C	nom	mode	P	T	H	S	g max
1	eCond						
2	sCond			18,90 bar			95,00 C
3	eTub						
4	sTub						
5	eProcC						20,00 C
6	sProcC						
7	eCompBp						
8	sCompBp						20,00 C
9	eProcC						180 bar
10	sProcC						20,00 C
11	eProcF						180 bar
12	sProcF						20,00 C

Calcul



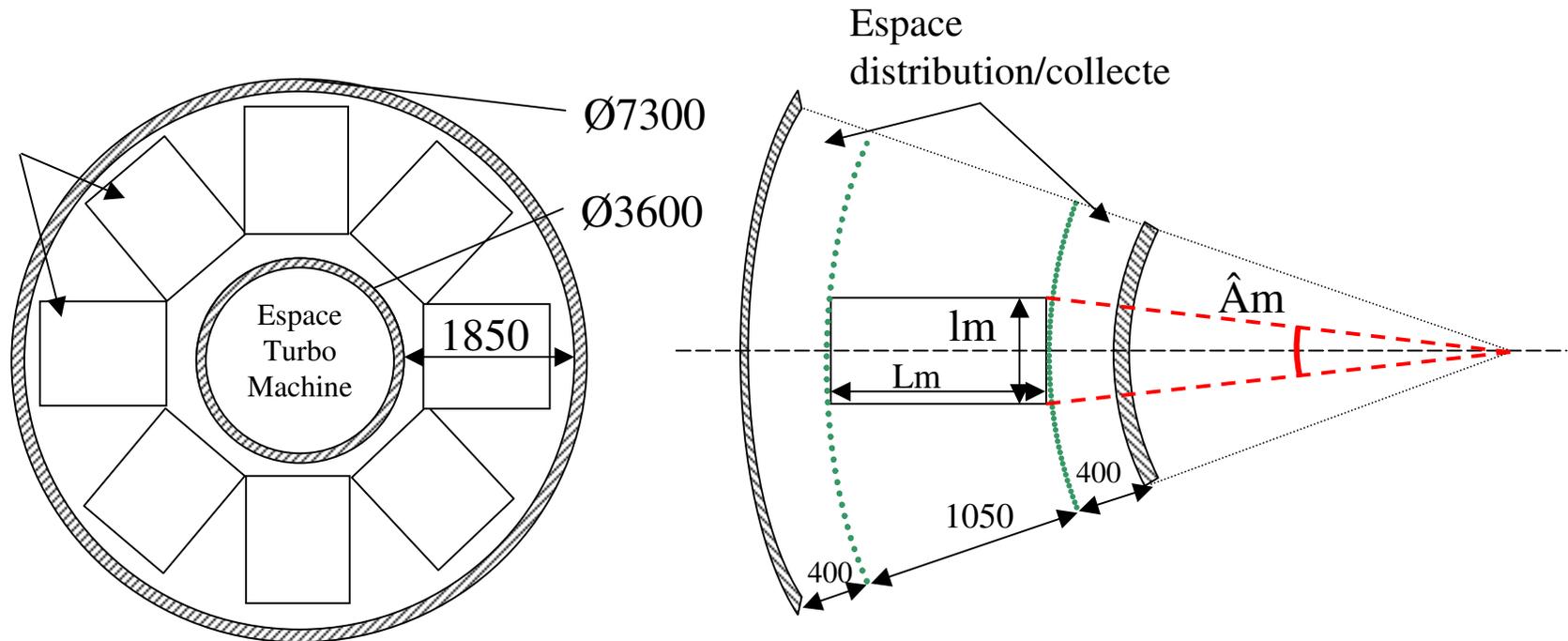
Liens -> Contraintes



Exemple: Optimisation PCS & Design Récupérateur (2/4)

- Contraintes d'occupation de l'espace annulaire disponible

Modules de
Récupération
de Chaleur
(N_{modules}
/anneau)



$$\hat{A}_m = 2 \times \arctan\left(\frac{l_m / 2}{R_{TM} + e_{\text{Distribution}}}\right)$$

$$N_{\text{Nappes}} = 1 + E\left(\frac{N_{\text{Modules}}}{N_{\text{Modules/Anneau}}}\right)$$

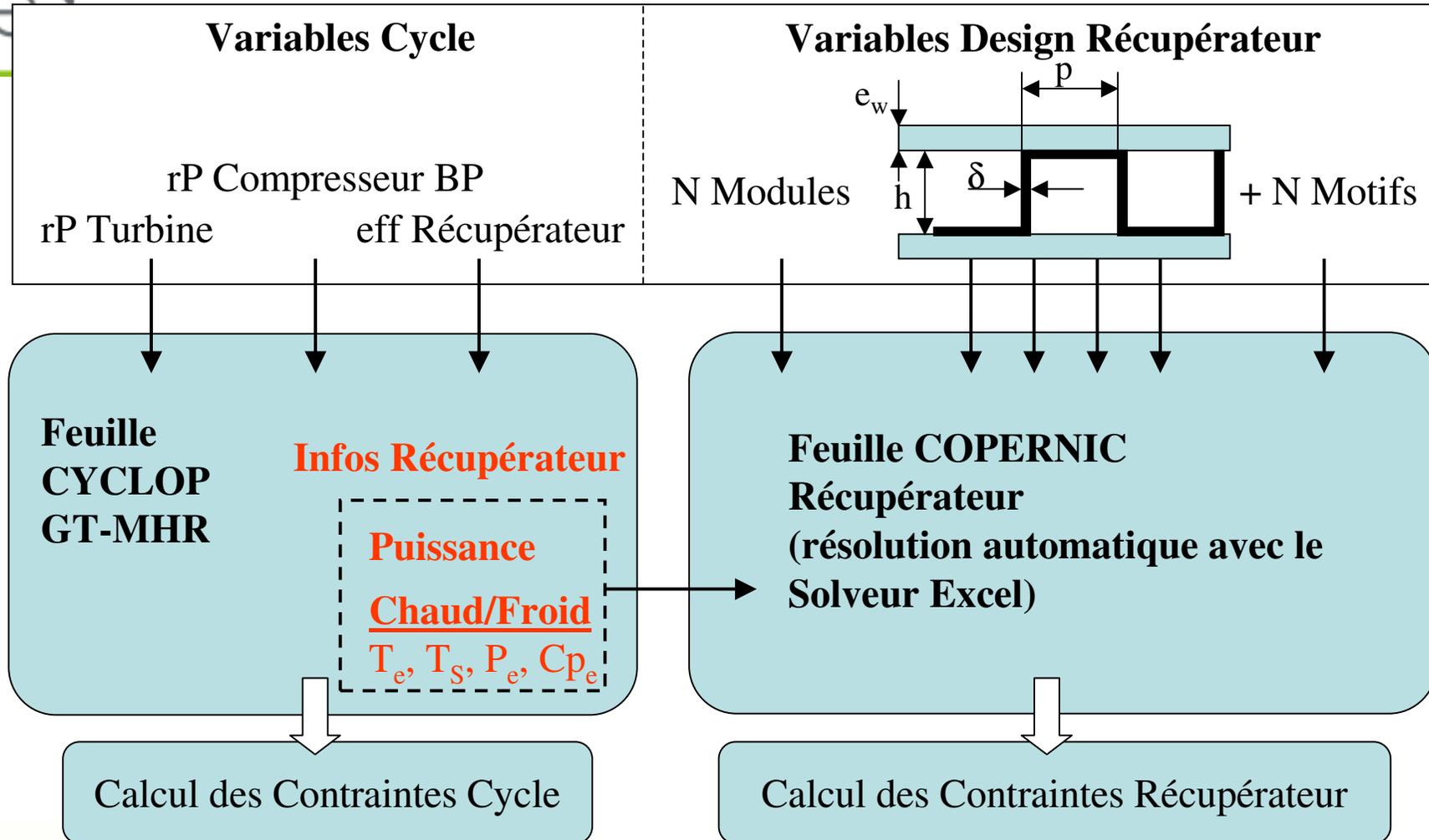
$$N_{\text{Modules/Anneau}} = E\left(\frac{2\pi}{\hat{A}_m}\right)$$

$$H_{\text{Récupérateur}} = N_{\text{Nappes}} \times h_m \leq 4,5 \text{ m}$$

Exemple: Optimisation PCS & Design Récupérateur (3/4)

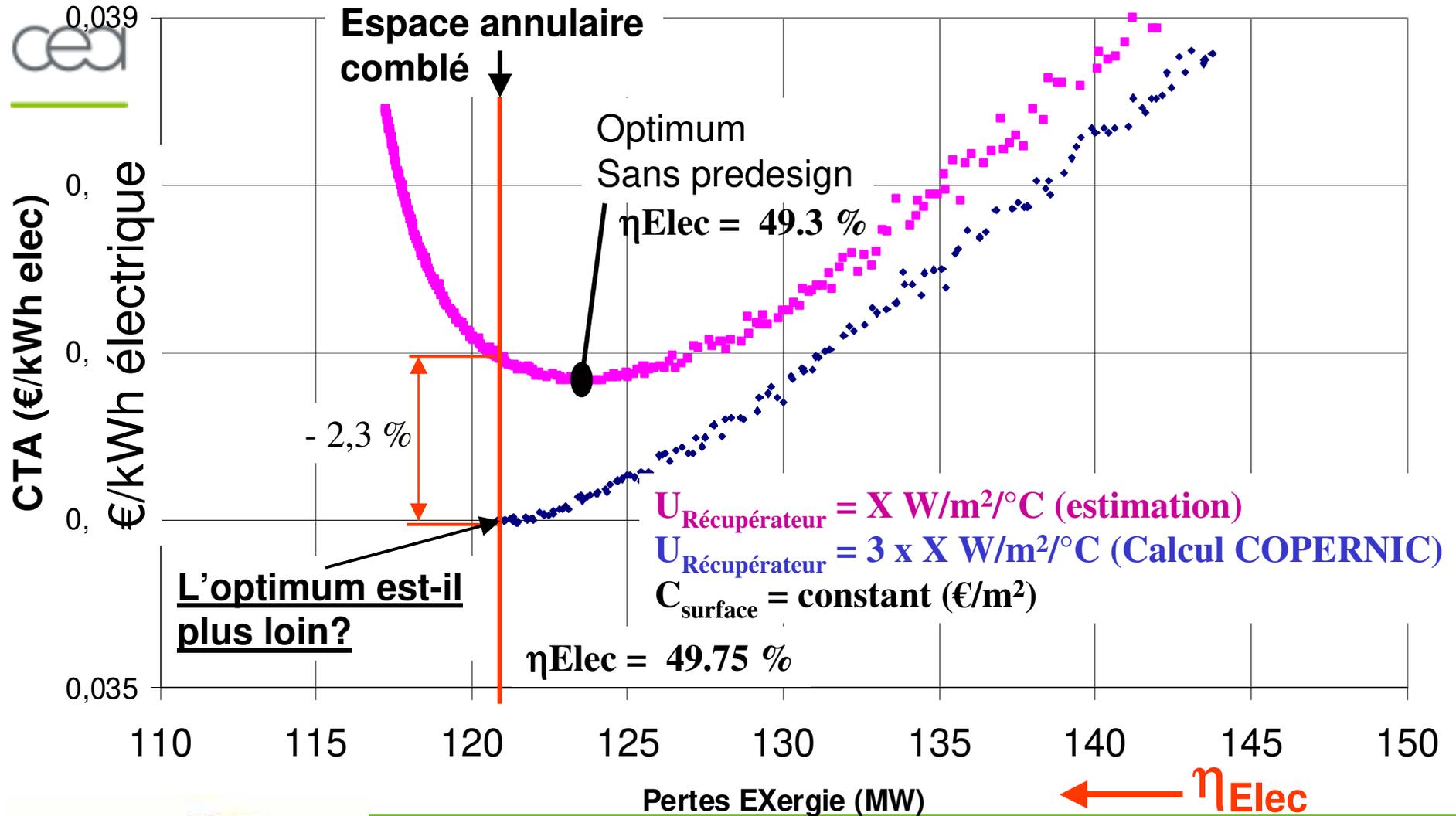
- Variables et Couplage CYCLOP-COPERNIC-MULTIGEN (NSGAI Mixte Continu-Entier)

Variables d'optimisation



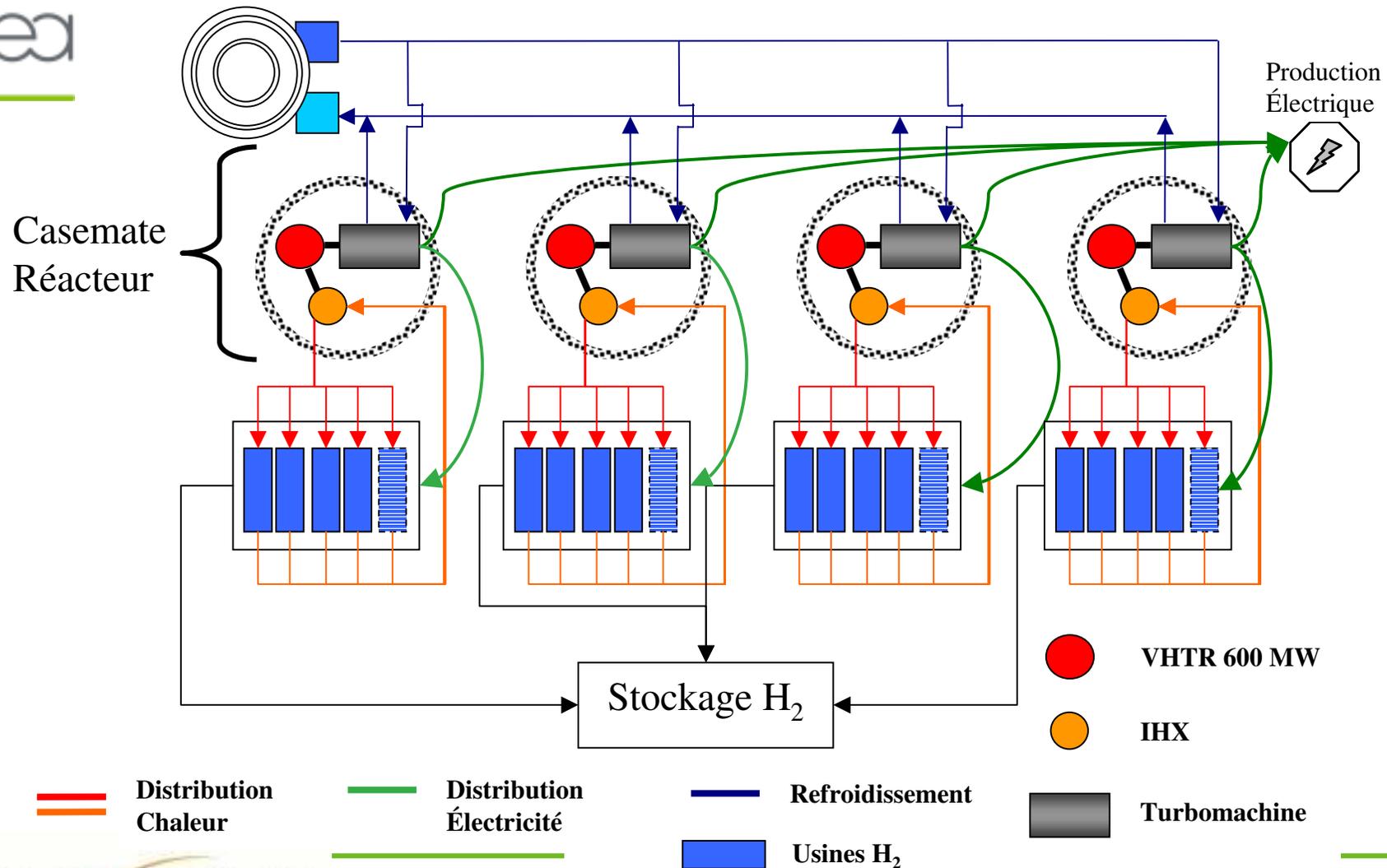
Exemple: Optimisation PCS & Design Récupérateur (4/4)

- Résultat de l'optimisation bicritère

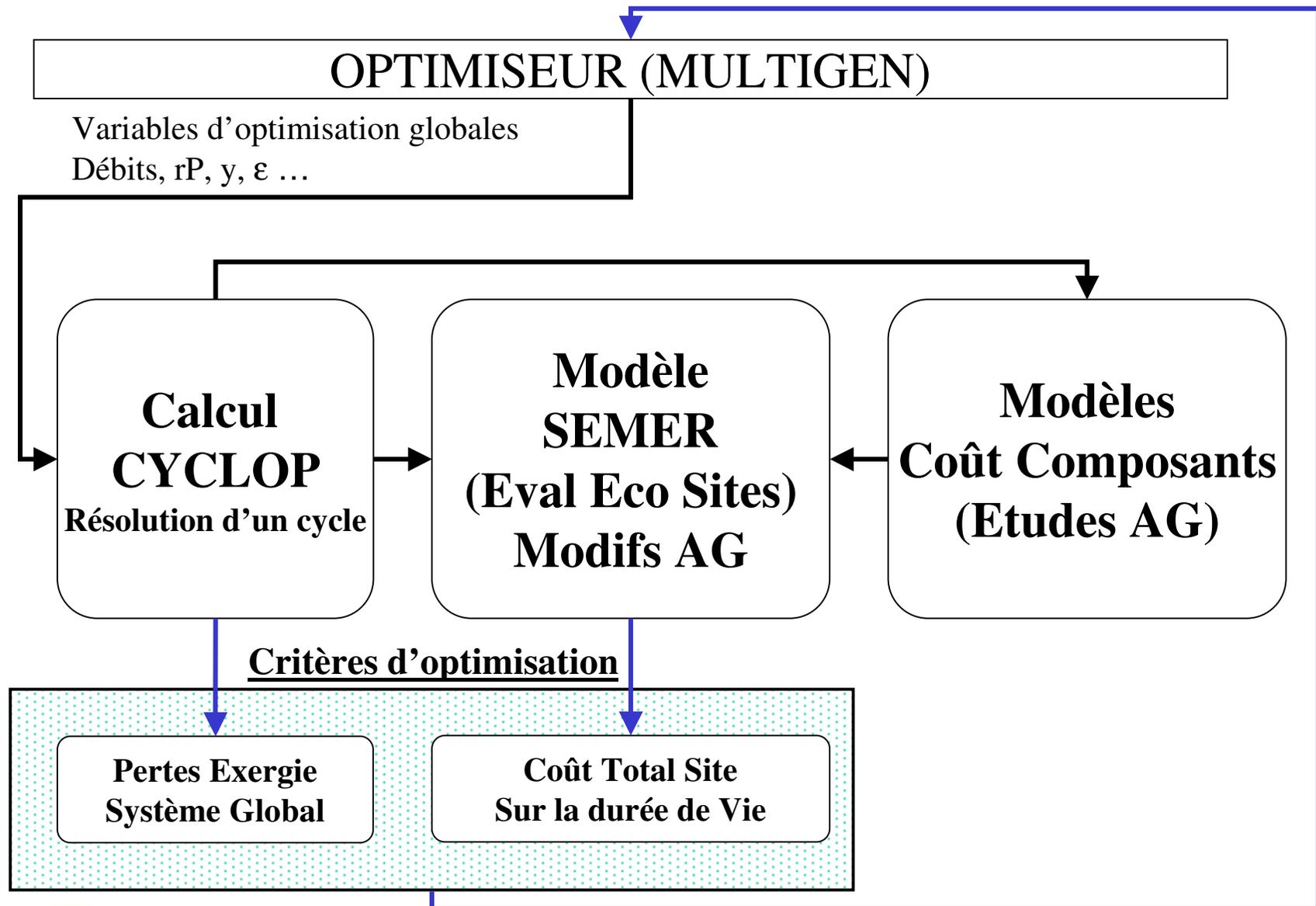


Exemple: Cogénération électricité / H₂ (1/4)

- Optimisation Technico-économique d'un site de 4 VHTR + Usines H₂ variables (20 réacteurs de série durée de vie 60 ans)



Exemple: Cogénération électricité / H₂ (2/4)

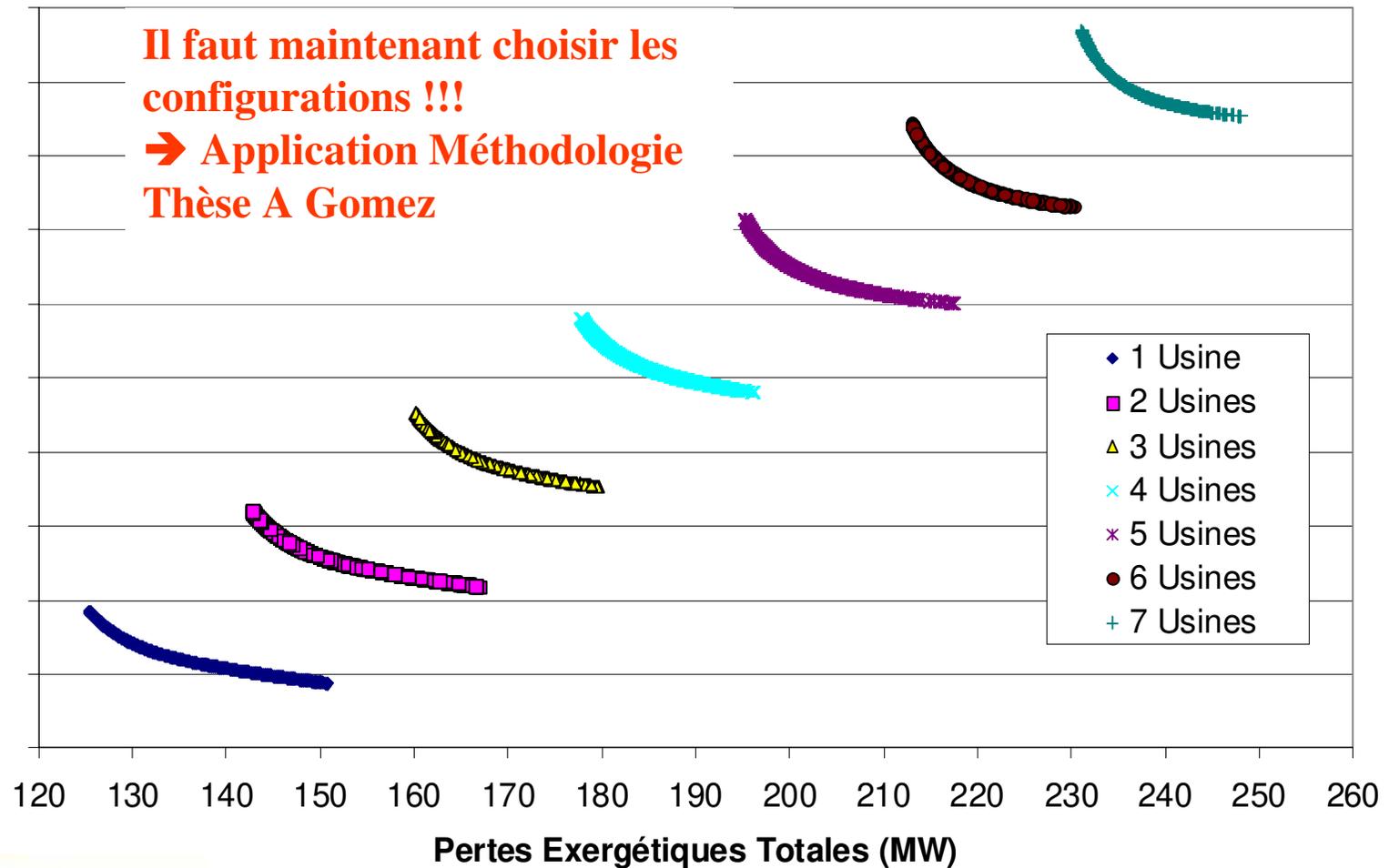


Exemple: Cogénération électricité / H₂ (3/4)

- Front de Pareto
Coût Total Site de 4 Réacteurs VHTR (Série de 20 réacteurs)



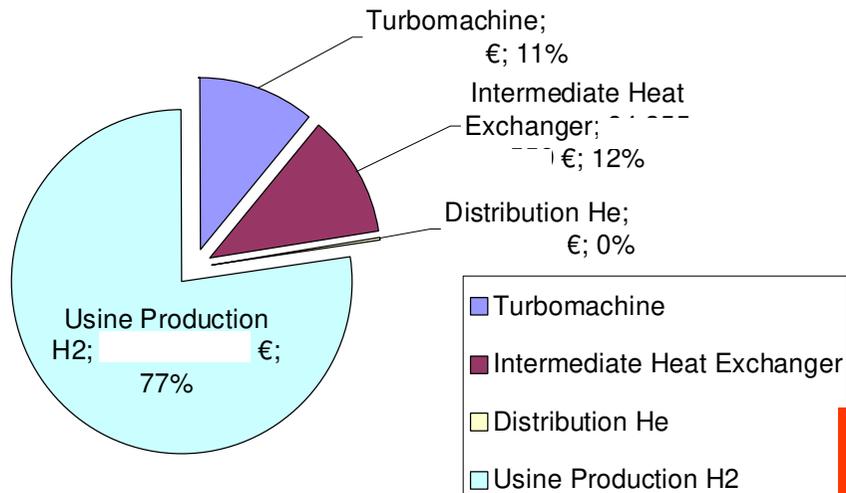
Coût Total Site (M€ 2007)



Exemple: Cogénération électricité / H₂ (4/4)

- Répartition des coûts sur un site

Répartition de l'investissement Par Réacteur
Site 4 Réacteurs VHTR; Série 20 Réacteurs; Durée de Vie 60 ans



Production H₂: 20160 kg/h

Prod Électricité: 59,6 MW

Rendement élec: 54,8%

Eff Recup: 97,5%

Eff Precooler: 94,3%

Eff Intercooler: 94,1%

Eff IHX: 94,4%

P_{Réacteur}: 72,7 Bar

Invest Conversion E: XXXX M€ (2007)

Solution techniquement faisable pour les échangeurs

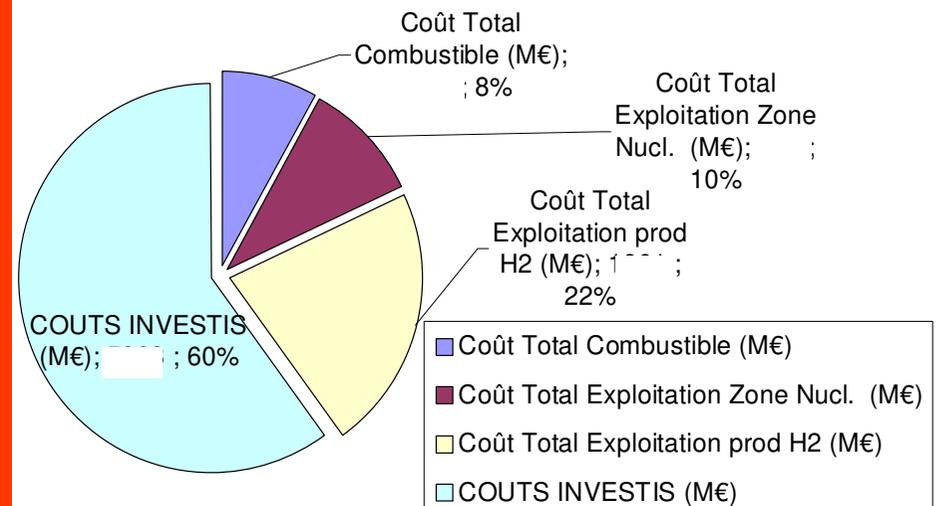
Coût Total / Site (60 ans): XXXX M€ (2007)

Coût de Prod H₂: X,XX €/kg

Coût de Production E: XX,XX c€/kWh

- Investissement: X,XX c€/kWh
- Exploitation: 0,XX c€/kWh
- exploitation prod H₂: X,XX c€/kWh
- Combustible: 0,XX c€/kWh

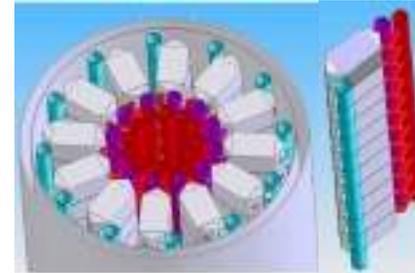
Répartition du coût par Site
Site 4 Réacteurs VHTR; Série 20 Réacteurs; Durée de Vie 60 ans



Autres exemples d'application

- **Design technico-économique:**

- Echangeurs-Récupérateurs
- Coolers
- Échangeurs IHX primaire He/He



- **Études faisabilité pre-design**

turbines & compresseurs axiaux
pour les hautes températures

- **Corrélation de fonctions de coût**

- **Couplage avec modèles Matlab®: toolbox Builder for Excel®**

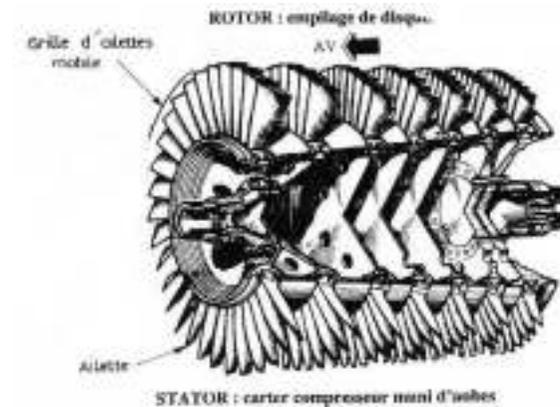
→ accélération du temps calcul

- *Optimisation multiobjectif de réseau de gaz:*

Guillermo Hernandez-Rodriguez

- *Ecoconception de procédés:*

Adama Ouattara



Conclusion Générale

Les capacités de MULTIGEN v1.01:



- **Bibliothèque d'algorithmes génétiques** sous Excel
→ Extension possible
- Une **interface** utilisateur **simple** et **sûre**
- Traitement de **problèmes en variables mixtes**: continues, entières & binaires
- Taille maximale des problèmes traités: **256 critères, variables et contraintes**
(code source prévu pour 32767 variables, 32767 critères et 32767 x 3 contraintes)

Merci Pour votre attention...