

# OPTIMISATION, SURETE DE FONCTIONNEMENT ET BIG DATA



**Journée du groupe  
SdF Midi-Pyrénées**

André Cabarbaye

**Toulouse  
1er Juillet 2016**



# Plan



- Introduction
- Qu'est-ce que l'optimisation ?
- Un outil générique
- Exemples d'applications :
  - Ajustement des modèles probabilistes
  - Planification optimale des plans d'expériences et essais (D-optimalité et méthode Caboum)
  - Optimisation d'architecture et de soutien logistique
  - Optimisation système
  - Ordonnancement robuste aux aléas
  - Conception optimale
- Vers une plateforme d'optimisation générique
  - Projet Gencab Indra
- Conclusion

# Introduction

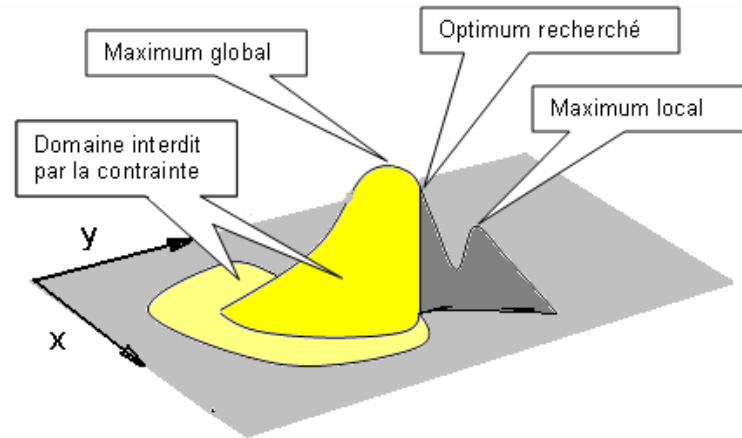


- L'optimisation est inhérente à la Sûreté de Fonctionnement et la maîtrise des risques
- Elle permet :
  - d'exploiter les données de retour d'expérience en maximisant la vraisemblance de leur réalisation,
  - de planifier au mieux les conditions d'essais de fiabilité ou de dégradation afin d'en réduire le coût,
  - de dimensionner les ressources au juste besoin (redondances, stocks de rechanges, etc.)
  - de réaliser des ordonnancements (PERT) robustes aux aléas,
  - d'optimiser les systèmes, leur architecture, leur exploitation et leur maintenance, sous contraintes de performances techniques et d'objectifs de Sûreté de Fonctionnement.
- Elle reste cependant très mal connue des fiabilistes, ingénieurs et analystes

# Qu'est-ce que l'optimisation ?

- Recherche du maximum ou minimum d'une fonction dont les entrées peuvent être soumises à des contraintes

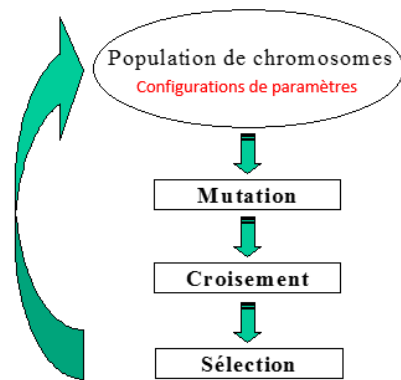
$$\begin{aligned} X &\in \mathbb{R}^n \\ X_e / f(X_e) &= \min/\max f(X) \\ C_i(X) &\geq 0 \end{aligned}$$



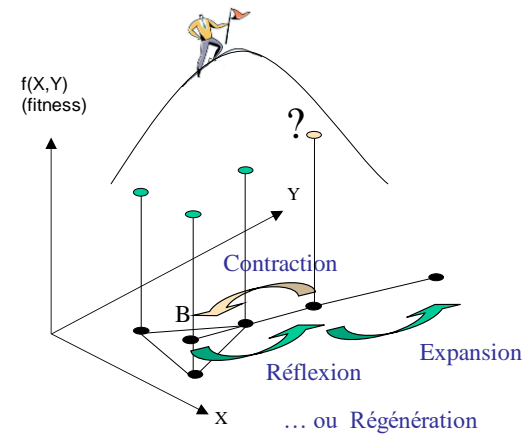
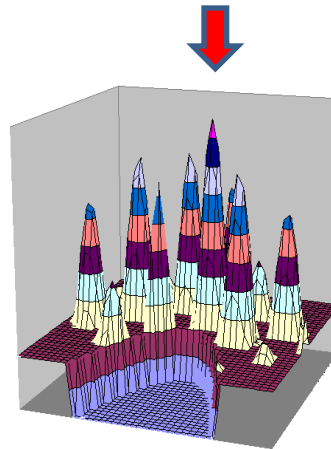
- Pas de méthodologie universelle mais un foisonnement de méthodes, chacune efficace sur certains problèmes
  - Optimisation linéaire, combinatoire (voyageur de commerce, sac à dos...), locale (gradient...), globale...
- Fondées sur une recherche aléatoire, les méthodes évolutionnaires (algorithmes génétiques, recuit simulé, etc.) sont bien adaptées aux problématiques industrielles de type boîte noire (seul le résultat de la fonction est accessible)

# Un outil générique

- Développé par la société Cab Innovation (année 2000), Gencab hybride une méthode globale (Algorithmes Génétiques) et locale (Simplexe ou algorithme de Nelder-Mead) afin de rendre la recherche beaucoup plus efficace



Algorithmes génétiques

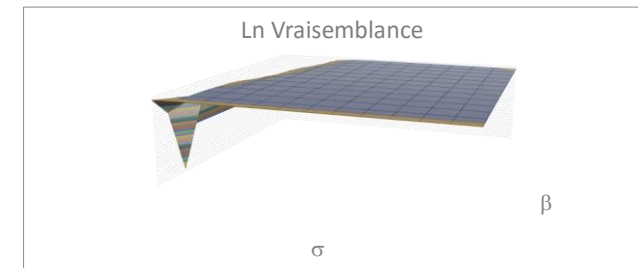
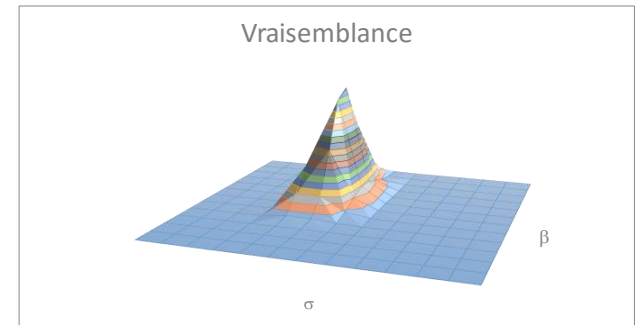
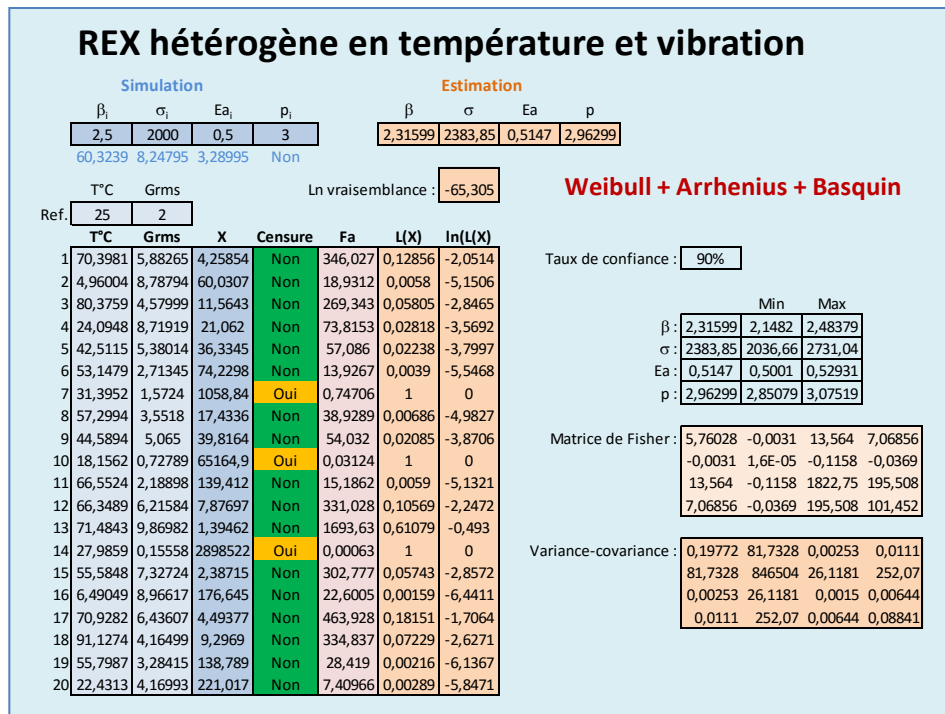


Simplexe :  $N+1$  points dans  $R^n$

- Outil utilisé notamment dans le domaine spatial en dépit de limitations en termes de performance et de flexibilité (environnement Excel)

# Ajustement des modèles probabilistes

- Fiabilité ou dégradation (maximum de vraisemblance)



- Meilleur par optimisation globale (plateaux ou optima multiples)

# Planification optimale des essais

- D-optimality : minimise la variance des estimateurs

**Essais tronqués - Weibull accélérée en température et en fatigue**

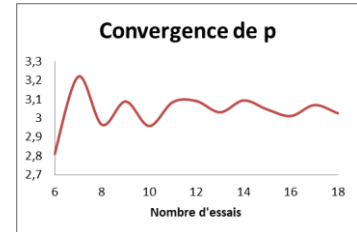
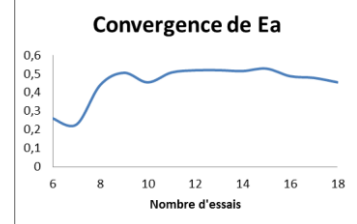
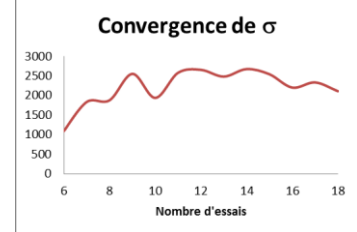
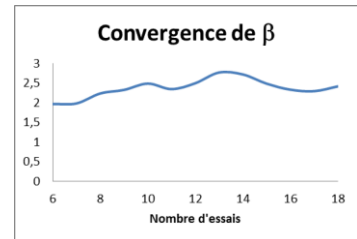
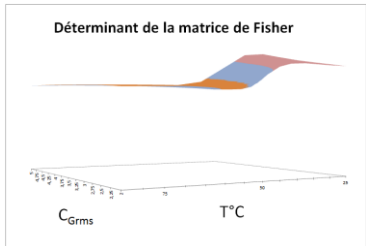
$\beta_i$	$\sigma_i$	$Ea_i$	$p_i$
2,5	2000	0,5	3
25	10	2,74681	Simulation
$\beta$	$\sigma$	$Ea$	$p$
2,41712	2111,43	0,45489	3,02489

Estimation

T°C	C	Fa	P(X<T)	E(X X<T)	I00	I01	I11	I02	I12	I22	I03	I13	I23	I33
25	10	130,11	1	3,808646015	0,2344	0,0005	-5E-07	0	0	0	-1,731	-1E-04	0	0,4554

Réf T°C : 25    Réf. C : 2    T<sub>essai</sub> : 500    Ln vraisemblance : -63,59    Déterminant de la matrice de Fisher : 0,1293

T°C	C Grms	X	Fa	L(X)	ln(L(X))	Last Fa	I00	I01	I11	I02	I12	I03	I13	I23	I33	last $\beta$	last $\sigma$	Last Ea	Last p		
1	9,45476	7,98632	9,88776	24,86	0,0013436	-6,612	24,86	0,1967	0,0005	-5E-07	2,192994289	3E-05	0,1483	-1,417	-2E-05	-0,096	0,0619				
2	34,486	9,32865	12,9886	182,12	0,0656831	-2,723	182,12	0,3849	0,0002	1,4E-06	3,006925021	-0,004	11,246	-0,373	-0,006	14,129	18,296				
3	57,5187	9,94985	1,84334	732,211	0,316747	-1,15	732,21	0,6239	0,0007	1,5E-06	-0,930539542	-0,008	40,326	-2,022	-0,007	26,307	23,395				
4	40,0251	8,89978	14,3838	214,027	0,0347348	-3,36	214,03	1,1488	-0,001	5,5E-06	6,089590368	-0,021	91,115	3,5845	-0,017	66,87	55,791				
5	33,6824	5,39656	69,8248	33,2506	0,0123775	-4,392	33,251	1,3313	-0,001	7,3E-06	6,692245377	-0,025	100,05	4,127	-0,021	74,913	63,032				
6	55,9552	4,57498	25,2089	64,7123	0,0300706	-3,504	64,712	1,5382	-0,001	7,8E-06	3,767134551	-0,03	142,11	3,4666	-0,022	84,409	65,176	1,9678	1095,5	0,2605	2,8101
7	45,9937	2	611,697	3,20865	0,5975941	-0,515	3,2087	1,577	-0,001	8,7E-06	4,210630188	-0,034	161,86	3,4666	-0,022	84,409	65,176	1,9821	1837,1	0,2276	3,2193
8	72,5459	2	125,301	11,4442	0,0051135	-5,276	11,444	1,8069	-6E-04	8,9E-06	-1,011539478	-0,04	227,71	3,4666	-0,022	84,409	65,176	2,235	1880,3	0,4402	2,9646
9	25	2,89203	506,922	3,05146	0,6338267	-0,456	3,0515	1,8551	-7E-04	9,7E-06	-1,011539478	-0,04	227,71	3,5027	-0,023	84,409	65,539	2,3263	2554,9	0,5059	3,0879
10	25	3,13212	384,952	3,88394	0,0017661	-6,339	3,8839	2,078	-2E-04	1E-05	-1,011539478	-0,04	227,71	3,0864	-0,023	84,409	66,049	2,4876	1941,4	0,4544	2,958
11	25	2,97648	704,639	3,32902	0,569627	-0,563	3,329	2,1098	-3E-04	1,1E-05	-1,011539478	-0,04	227,71	3,1815	-0,024	84,409	66,569	2,3471	2581	0,5075	3,0844
12	25	3,14373	600,404	3,92767	0,4320043	-0,839	3,9277	2,1142	-7E-04	1,3E-05	-1,011539478	-0,04	227,71	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,4973	2657,5	0,5192	3,0901
13	50,1925	2	487,55	3,97826	0,0017883	-6,326	3,9783	2,2912	-5E-04	1,4E-05	-2,081895882	-0,046	271,56	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,7703	2484,5	0,5199	3,0305
14	48,4074	2	628,6	3,63325	0,4989547	-0,695	3,6333	2,3069	-7E-04	1,5E-05	-0,826849693	-0,052	304,23	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,7207	2676,1	0,5153	3,0934
15	50,0637	2	172,587	3,95244	0,0008549	-7,065	3,9524	2,5613	-2E-04	1,4E-05	-4,188811811	-0,052	307,7	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,4855	2545	0,5286	3,0455
16	25	3,22221	200,678	4,23182	0,001193	-6,731	4,2318	2,8242	0,0003	1,4E-05	-4,188811811	-0,052	307,7	2,9543	-0,025	84,409	67,719	2,3326	2203,5	0,4877	3,0108
17	48,5167	2	705,784	3,65359	0,4942661	-0,705	3,6536	2,839	0,0001	1,5E-05	-2,884145676	-0,058	341,11	2,9543	-0,025	84,409	67,719	2,2943	2336,4	0,4787	3,069
18	25	3,11779	402,49	3,83046	0,0017593	-6,343	3,8305	3,0564	0,0005	1,6E-05	-2,884145676	-0,058	341,11	2,5601	-0,025	84,409	68,257	2,4171	2111,4	0,4549	3,0249



➤ Plus de précision ou moins d'essais (coût)

# Méthode Caboum

- D-optimalité avec traitement bayésien
  - Transformation d'un connaissance a priori en données virtuelles par 2 boucles d'optimisation imbriquées afin d'optimiser les conditions des premiers essais
    - Boucle principale : Résultat conforme à l'a priori
    - Boucle secondaire : Estimation par la méthode du maximum de vraisemblance

**Essais tronqués - Weibull accélérée en température et en fatigue**

A priori				Simulation																			
$\beta_a$	$\sigma_a$	$Ea_a$	$p_a$	$\beta$	$\sigma$	$Ea$	$p$	T°C	C	Fa	P(X<T)	E(X/X<T)	I00	I01	I11	I02	I12	I22	I03	I13	I23	I33	
2	1000	0,3	1,3	2,5	2000	0,5	3	73,0175	8,61522	0,88064													
				2,06116	1486,78	0,3316	1,4283	73,017	8,6152	48,323	1	10,00047372	0,36	0,0008	-7E-07	-6,106	-0,002	12,237	-1,65	-4E-04	3,3069	0,8936	
				Estimation																			
Réf T°C    Réf. C    T <sub>essai</sub>			Ln vraisemblance : -27,5				Déterminant de la matrice de Fisher : 0,0077																
							last $\beta$ last $\sigma$ Last Ea   Last p																
							2,0612   1486,8   0,3316   1,4283																
							$\beta$ $\sigma$ Ea   p																
T°C	C	Grms	X	Fa	L(X)	ln(L(X))	Last Fa	I00	I01	I11	I02	I12	I22	I03	I13	I23	I33						
1	100	2	105,743	13,4175	0,0071385	-4,942	13,418	0,2374	0,0001	1,7E-06	-1,405866766	-0,02	236,53	0	0	0	0						
2	25	15	46,3589	17,7766	0,0097966	-4,626	17,777	0,5759	0,0008	1,6E-06	-1,405866766	-0,02	236,53	-2,144	-0,002	0	5,1113						
3	50	10	89,9678	27,0655	0,0039905	-5,524	27,066	1,4842	-0,002	8,5E-06	12,38578536	-0,044	343,23	5,2202	-0,014	56,974	35,533						
4	30	4	177,136	3,33048	0,001492	-6,508	3,3305	1,8467	-0,001	8E-06	11,65661138	-0,044	343,49	4,4337	-0,015	57,256	35,837						
5	80	12	18,5556	96,6598	0,0375191	-3,283	96,66	2,1339	-0,002	1,1E-05	17,97472013	-0,07	573,74	6,2994	-0,022	125,25	55,915						
6	100	15	2,19918	238,518	0,0973936	-2,329	238,52	2,496	-0,001	1,1E-05	9,095109551	-0,073	604,16	4,0145	-0,023	133,07	57,929	1,9991	999,64	0,2902	1,2935		
7	25	2,82822	685,111	1,64035	0,7456945	-0,293	1,6403	2,5999	-0,001	1,2E-05	9,095109551	-0,073	604,16	3,9915	-0,023	133,07	58,079	2,0612	1486,8	0,3316	1,4283		

Voir TP 64

## ➤ Réduction du nombre d'essais

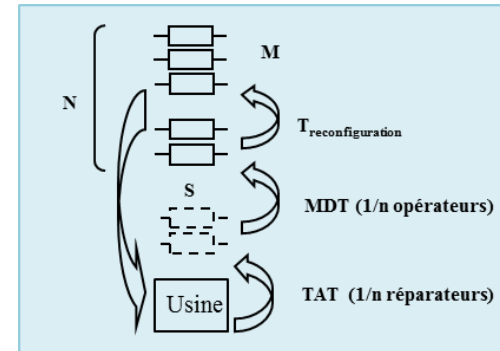
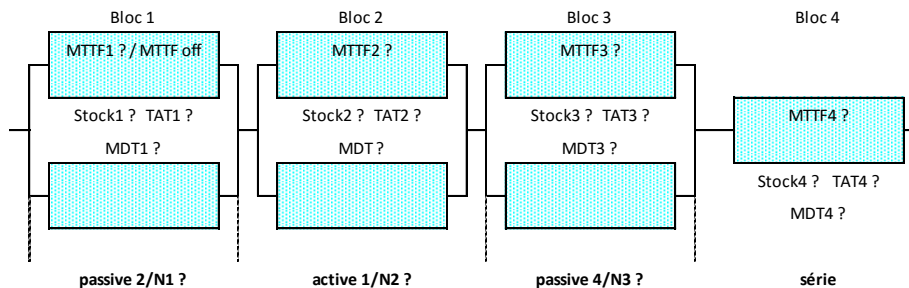
- -10 % de systèmes mono-coup (pyrotechnie) à détruire / Méthode Neyer



# Optimisation d'architecture et de soutien logistique

- Optimisation / évaluation par calcul (markovien)

*Gencab / Supercab*



ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation r (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Disponibilité à t infini	Coût (€)
Bloc 1	3836		passive 2/3	115079		50	102		2	502		0,9683	113160
Bloc 2	2936		active 1/3				408		3	525		0,9863	100664
Bloc 3	4479		passive 4/6				162		3	510		0,9883	150689
Bloc 4	6709		série				101		1	671		0,9755	83687
\$ ENSEMBLE												0,9207	448200
Objectif :												≥	0,92

➤ Trade off multi paramètres sous contrainte de SdF

# Optimisation système

## Optimisation / simulation de Monte-Carlo

Gencab / Simcab

- Constellation : satellites (fiabilité, durée de vie), lanceurs (déploiement & renouvellement)
  - Gain =  $f(t, N_{\text{Sat}} \text{ ok})$     Coût =  $N_{\text{Sat}} * C_{\text{Sat}} + N_{\text{Lanceur}} * C_{\text{Lanceur}}$

### SIMULATEUR DE CONSTELLATIONS DE SATELLITES

Initialisation    Pas à pas    Simulation

TO: 0    TI: 4,7025    TTF: 4,7075    TJ: 4,7075    deltaT: 0,005

Lanceur			
Nb lanceurs	1	1	
Nb satellites	15	15	
Déploiement	VRAI	FAUX	FAUX

MISSION & STRATEGIE			
Delay pendant déploiement :	0,25		
CU redondée :	VRAI		
Nb sat mission (besoin) :	6		
Nb sat min (critère lancement) :	7		
Durée renouvellement (ans) :	25		
Nombre lanceurs max :	1000		
Anticipation :	VRAI		

PARAMETRES LANCEUR	
Choix du lanceur :	Véga
Taux réussite :	0,98
Delay réservation :	0,25
Capacité :	8

TABLE D'AFFECTATION			
Sat	Etat	Affectation	Durées
1	1	FAUX	1,38369
2	0	FAUX	
3	1	FAUX	0,56308
4	1	FAUX	1,17708
5	1	FAUX	0,53529
6	1	FAUX	0,71368
7	0		
8	1	FAUX	0,12089
9	1	FAUX	0,62242
10	1	FAUX	0,2082
11	1	FAUX	0,0837
12	0		
13	1	FAUX	0,79932
14	1	FAUX	0,00605
15	1	FAUX	0,52031
16	0		
17	0		
18	0		
19	0		
20	0		
21	0		
22	0		
23	0		
24	0		
25	0		
26	0		
27	0		
28	0		
29	0		

DECISION LANCEMENT			
Nombre satellites ok :	12		
Fin renouvellement :	FAUX		
Décision lancement :	FAUX		
Pendant déploiement :			
Sans anticipation :			
Anticipation :			
Prochain lancement :			

Liste			
Soyouz			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			
Véga			

**Nombre de satellites opérationnels**

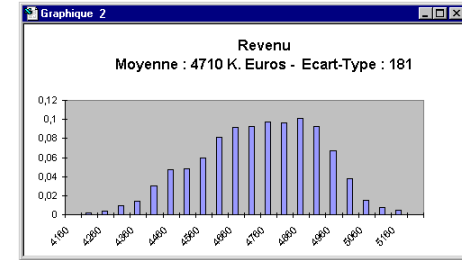
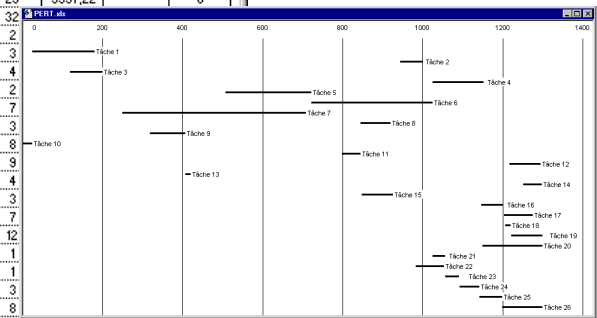
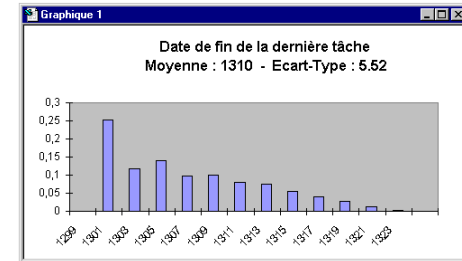
60% confiance			
Nb satellites consommés	51,56	4,66	56
Nb lanceurs consommés	6,45	0,58	7
90%			
Nb satellites ok (1 à 20 ans)	8,45	0,39	7,97597
Disponibilité nominale (1 à 20 ans)	0,98	0,01	0,97

➤ Temps de calcul non rédhibitoire avec couplage optimisé (1 jour environ)

# Ordonnancement robuste aux aléas

## Optimisation / simulation d'un diagramme PERT Cabplan

Tâches		Antériorité		Ressources communes				Achèvement au plus tard		Durée		Début à date fixe	Au plus tôt	Au plus tard	Début	Fin	Coût en début de tâche	Coût / durée	Coût total à T0	Gain en fin de tâche	Gain total à T0
N°	Nom	N° Tache	+	C	N° Tache	+	Nb max	C	Date(jr)	C	(jr)	marge	Date(jr)		Date(jr)	Date(jr)	Date(jr)	(K Euro)	(K Euro)	(K Euro)	
1	Tâche 1	10		0	2	5	20	12	15	9	3	0	0	150	5	0	150	1	150,268	0	
2	Tâche 2	1	3	0										50	6	Non	812	868	20	2	117,344
3	Tâche 3			0					200	0	80			Non	Non	113	193	45	3	282,856	
4	Tâche 4	3	6	0							125	2		Oui	Non	1041	1168	12	4	505,665	
5	Tâche 5			0	8	9	11	20	6	24	2	0		Non	Non	523	738	50	25	5337,22	
6	Tâche 6	5		0							302	1		Oui	Non	738	1041	4	32		
7	Tâche 7			0							459		250	Non	Non	250	709	5	2		
8	Tâche 8	7		0							75			Non	Non	1327	1403	78	3		
9	Tâche 9			0							89		318	Non	Non	318	407	45	4		
10	Tâche 10			0							25		0	Non	Non	0	25	13	2		
11	Tâche 11			0							46			Non	Non	2073	2119	2	7		
12	Tâche 12			0	3	5	8	4			78			Non	Non	774	852	6	3		
13	Tâche 13	9		0	10						13	1		Oui	Non	407	421	3	8		
14	Tâche 14			0							46			Non	Non	1633	1679	7	9		
15	Tâche 15	13		0	11	10	14				78			Non	Non	501	579	89	4		
16	Tâche 16	2	5	0							54	2		Non	Non	1277	1333	2	3		
17	Tâche 17	2	1	0							69	3		Non	Non	1639	1711	4	7		
18	Tâche 18	16		0							12	1		Non	Non	1859	1872	6	12		
19	Tâche 19	18	15	0	8	9					78			Non	Non	2317	2395	78	1		
20	Tâche 20			0							150			Non	Non	1942	2092	2	1		
21	Tâche 21	3	6	0	5	6	7	9	11	2	0	0		Oui	Non	1041	1073	3	3		
22	Tâche 22	3		-21							69	1		Non	Non	172	242	5	8		
23	Tâche 23	22	21	0							31	3		Oui	Non	1073	1107	7	9	284,286	
24	Tâche 24	23		0	12	14					49	1		Non	Non	1463	1513	6	50	2445,87	
25	Tâche 25	24		0							53	4		Non	Non	1823	1880	45	7	403,894	
26	Tâche 26	25		122							100			Non	Non	1758	1858	25	9	912,74	
+	Fin			189							1300	905	0	0	0	2205	2205			-6895,32	
				332				0													12860



Optimisation    Sortie    Dessin  
Format    Nouvelle feuille    Aide

17 paramètres continus

Revenu global à T0 : -11896  
Taux d'intérêt : 5,50%

# Conception optimale



- Drone martien

### Pale de rotor d'hélicoptère (drone)

Forme définie par une courbe de Bézier (7 points)

Position	Corde	Incidence
A	0	0,11422497
B	0,00083642	0,071353902
C	0,01226286	0,098887236
D	0,0642245	0,10290483
E	0,54048605	0,139728643
F	0,96501613	0,33996034
G	1	0,208617134

RPM: 361,230466  
r: 0,1  
ρ: 1,293

**Profil aérodynamique**

Pente:	5,987621166
alpha_0:	-0,017739686
alpha_max:	0,9945
a:	0,148352986
b:	5,642728464
c:	1,641403175
d:	-0,120321137
d:	0,022

t	Position	Corde	Incidence	Cz	Cx	Vitesse	Portance/m	Trainée/m	Portance	Trainée	Couple
0	0	0,11422497	-0,00189042	0,09489942	0,021778447	3,782796595	0,1002811	0,02301349			
0,1	0,00059857	0,10338186	-0,00199267	0,09428716	0,021766802	7,56559319	0,36070438	0,08327094	0,00013797	3,18094E-05	3,19998E-06
0,2	0,00201222	0,0961995	-0,00120088	0,09902808	0,021857885	11,34838979	0,79317348	0,17507251	0,00081559	0,000182603	1,86277E-05

#### Corde

#### Incidence

0,7	0,87249804	0,25066533	0,11052721	0,76801359	0,03637035	30,26237276	113,982364	5,39804315	8,05125353	0,387267595	0,376601485
0,8	0,93496665	0,25159393	0,09158662	0,65460449	0,029083423	34,04516936	123,412363	5,48308794	7,41960746	0,340082202	0,351973737
0,9	0,97815627	0,23856783	0,05905671	0,4598277	0,021781186	37,82796595	101,484922	4,80715257	4,85661382	0,22215774	0,239583329
1	1	0,20861713	0,01106456	0,17246891	0,020877291	41,61076255	40,2754746	4,87532979	1,54828817	0,105750782	0,116325861

Corde min : 0,09056291 ≥ 0,01  
Corde max : 0,25159393 ≤ 0,4

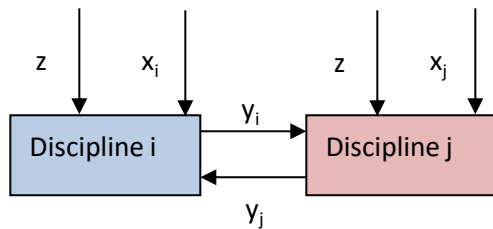
Poids (kg) : 4

Puissance : 4,00006055 > 72,6196168 Watt

➤ 30% de charge utile ou d'autonomie en plus mais manque d'une capacité de couplage à XFOIL (profils à faible Reynolds)

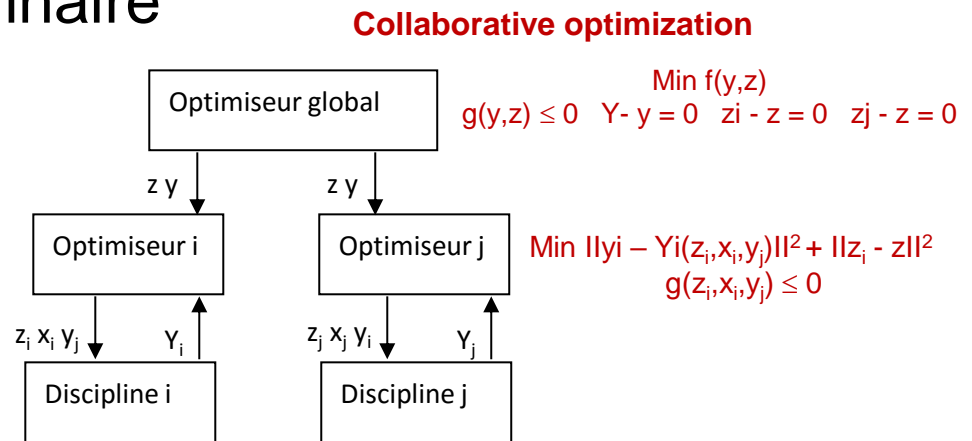
# Vers une plateforme d'optimisation générique

- Ensemble d'algorithmes d'optimisation locale et globale
- Possibilité d'imbrication des algorithmes
- Large palette de formats de variables de décision
- Recherche multi-objectifs
- Calculs parallèles massivement distribués
- Optimisation multidisciplinaire



**Système multidisciplinaire**

$z$  : variables globales,  
 $x$  : variables locales  
 $y$  : variables de partage



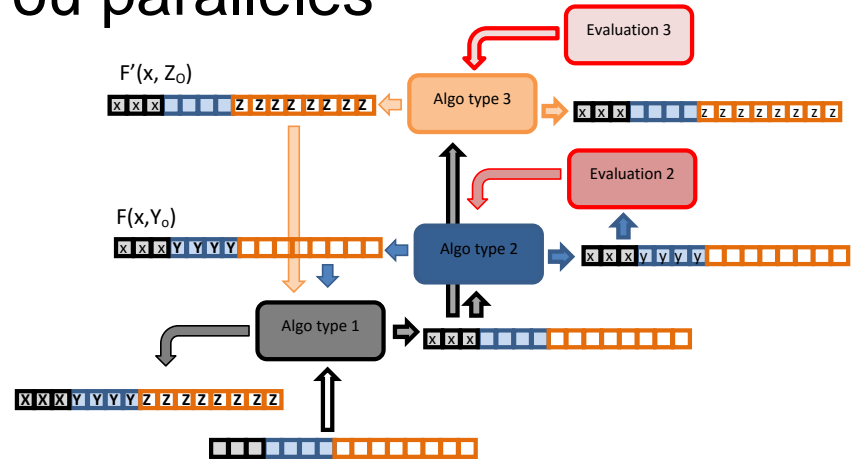
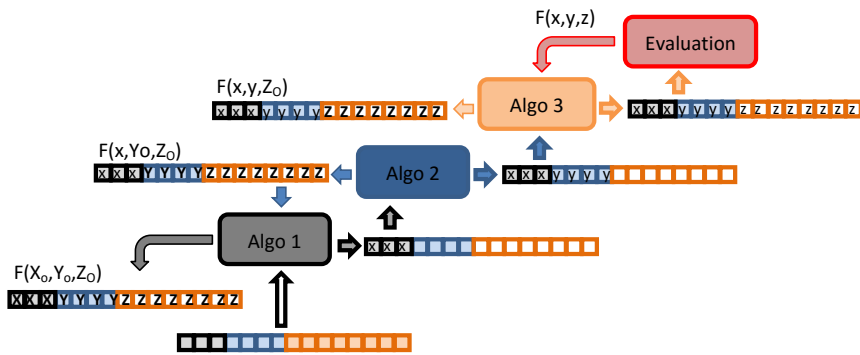
# Gencab Indra



- Plateforme open source d'optimisation générique en développement
- Déploiement des algorithmes sur des fermes de calcul
  - Apache Spark RDDs (Resilient Distributed Datasets)
- Appel à des ressources externes via des services Web RESTful pour l'évaluation des solutions par exemple
  - Philosophie des microservices
- Recherche à répondre à la diversité des problématiques d'optimisation dans l'industrie et faciliter leur formalisation par des ingénieurs non informaticiens
- S'inscrit dans un projet collaboratif ayant pour ambition de fédérer une communauté de chercheurs, développeurs, industriels et donneurs d'ordres

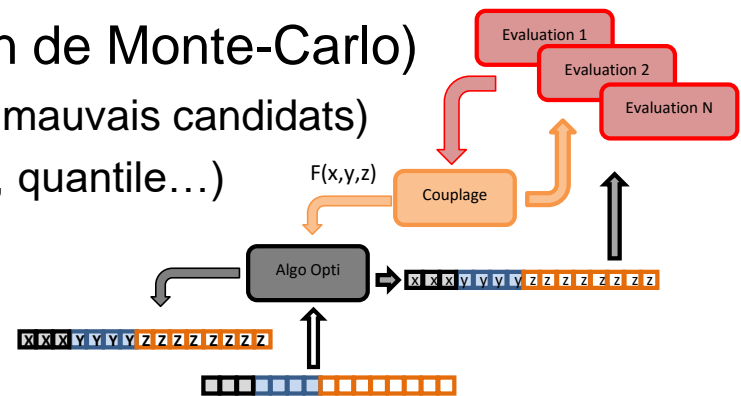
# Imbrication des algorithmes

- Optimisations successives ou parallèles



- Evaluation stochastique (simulation de Monte-Carlo)

- Couplage optimisé (évaluation grossière des mauvais candidats)
- Obtention de résultats statistiques (moyenne, quantile...)



# Conclusion



- Permettant de choisir entre des solutions multiples faisant chacune l'objet d'un dimensionnement optimal, l'optimisation va révolutionner tous les domaines d'ingénierie dans l'univers fécond du Big data
- Son emploi ne nécessite aucun acquis mathématique particulier, autre qu'un vernis basique et la connaissance propre à l'analyste
- Pour en savoir plus sur Gencab Indra :

<http://cabinnovation.drupalgardens.com/content/gencab-indra>

Article : A. Cabarbaye and all, *Une plateforme open source d'optimisation générique hautement distribuée*, Roadef 2016, Compiègne, 10 -12 février 2016