

Conférence retour d'expérience Maths et Industrie

La modélisation de processus au service de l'industrie

Performances d'un logiciel de calcul des coûts

- Le problème de l'industriel :
 - Le CEA avait développé avec AREVA un modèle de calcul des coûts de démantèlement de n'importe quelle installation nucléaire,
 - Ce modèle construit et enrichi au fil du temps comprenait outre des saisies dimensionnelles de l'installation à démanteler (longueur de tube, surface de mur, volume de matière, masse de matière, activité des matières, ...), des paramètres de coûts (nb de personnes par tonne, temps de traitement par m², coût de mise en décharge à la tonne, ...) dont personne ne savait mesurer l'importance relative → > 4000 informations élémentaires (temps de saisie très long),
 - Quels sont les paramètres clé pour 3 types d'installation et leur importance sur 32 natures de coût différentes.

Vous avez 2 mois pour proposer une solution et 2 mois pour l'appliquer

Contraintes :

- **Quoi** : le logiciel ETE-EVAL développé sous Excel depuis + de 20 ans, mais dont nous ne pourrions que disposer des résultats calculés (l'intérieur du logiciel est secret),
- **Qui** : les essais sur le logiciel ETE-EVAL ne pourront être réalisés que par le CEA,
- **Où** : les échanges de données et de résultats devront être anonyme avec le site de Marcoule (30),
- **Quand** : le CEA ne mettra à « disposition » que 60 h d'une personne formée à l'utilisation du logiciel ETE-EVAL,
- **Comment** : le logiciel de conception des tests et d'analyse des résultats sera propriété du CEA,
- **Pourquoi** : la méthode des plans d'expériences est pressentie,
- **Combien** : 25 jours de travail effectif, seulement ...

Premières vérifications + Choix

En réalité 2764 facteurs (\approx 1300 facteurs pas encore utilisés),

Il faudra mesurer les effets sur 32 réponses (natures de coût),

Les facteurs ont non seulement leur effet propre mais des effets commun (pris 2 à 2, 3 à 3) \rightarrow interactions,

\rightarrow La meilleure méthode est celle des Plans d'Expériences

Le logiciel est déterministe (parfaitement répétable à 0,001 €),

« Découverte » de facteurs sans lien avec le résultat :

- 278 facteurs ne concernent pas le démantèlement et la surveillance,
- 336 facteurs sont des filières déchet non utilisées,

178 + 502 facteurs non indépendants ($F3 = 100\% - \%F1 - \%F2$),

Les facteurs non concernés par le démantèlement auront une valeur fixe éventuellement = 0,

\rightarrow Pour accueillir les 1470 facteurs : matrice L2048

Premières vérifications + Choix

Choix pour le niveau de chaque facteur :

- 1 = valeur nominale,
- 2 = valeur nominale + 30% (→ devrait augmenter le coût),
- Avec 2 niveaux / facteur on saura statuer sur son importance,

On testera le logiciel sur 3 installations type, issues d'installations réelles auxquelles on aura rajouté toutes les particularités connues sur d'autres installations :

- 1 réacteur = 425 facteurs complétés par 1 045 ratios fixes,
- 1 laboratoire = 402 facteurs complétés par 1 068 ratios fixes,
- 1 station de traitement des déchets = 353 facteurs complétés par 1 117 ratios fixes,

→ On ramène la taille maxi du plan d'expériences à une matrice L512 (maxi 511 facteurs),

Premières vérifications + Choix

Pour corréler ultérieurement la hiérarchie des facteurs avec des grandeurs issues des inventaires (tonnage, longueur, surface, volume, ...) celles-ci seront arrondies au plus proche des chiffres suivants 10 – 22 – 46 – 100 (coef = racine cubique de 10),

→ On vérifiera ainsi tous les cas particuliers

Les manipulations de saisie dans ETE-EVAL, puis de recopie des résultats dans le logiciel d'analyse globale des résultats du plan d'expériences sont sources de multiples erreurs,

→ Automatisation de toutes ces manipulations

Les temps de calcul ont été ramenés de 1,5 mn à 15 s en éliminant des manipulations de validation,

→ Avec automatisation, l'ensemble des tests durera 50 h

Automatisation

Afin de pas avoir à saisir 512 fois 4000 valeurs des 4000 facteurs et recopier 512 fois les 32 résultats obtenus pour chaque installation type, nous avons prévu :

- un logiciel capable de concevoir et d'analyser les résultats d'un plan d'expériences de 512 essais,
- de générer un fichier d'export des valeurs à tester de 512 colonnes de 4000 valeurs,
- de prélever automatiquement et successivement chacune des colonnes pour les importer dans la zone de saisie du logiciel ETE-EVAL (modifiée pour l'occasion),
- de prélever automatiquement et successivement les 32 résultats obtenus par ETE-EVAL pour chacun des 512 essais,
- de constituer un fichier de ces 32 résultats (en colonnes) sur 512 lignes, exploitable par le logiciel « Plan d'expériences ».

Conception d'un logiciel

Après avoir réalisé une étude de marché des 31 logiciels disponibles sur le marché et en avoir extrait 4 capables de répondre au problème posé (traitement d'une matrice L512, traitement des interactions par technique de désaliassage, export des conditions d'essai et import des résultats issus de ETE-EVAL),

→ Le CEA choisit mon logiciel que je dois faire évoluer sous les angles du nombre d'essais (512) et du nombre de caractéristiques (32)

Organisation logiciel

Excel pas assez grand → limité à 256 col.

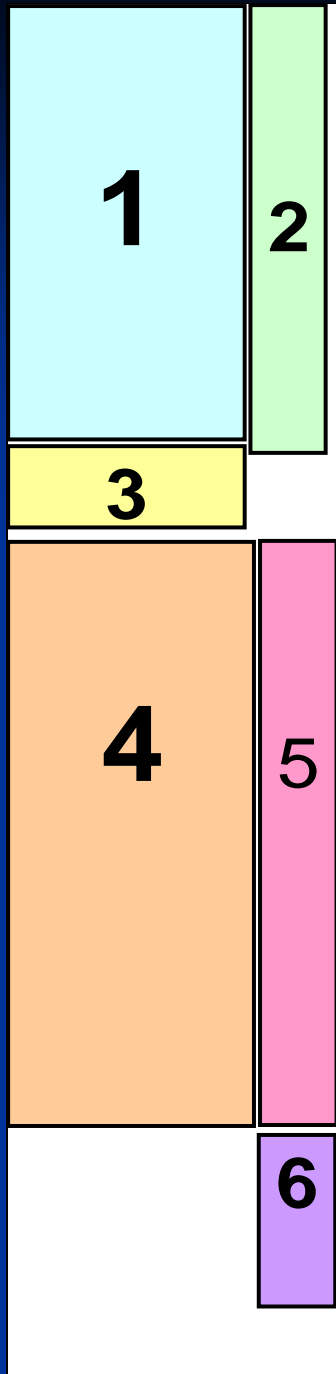
→ Choix Open Office (1024 colonnes)

Zone 1 : Matrice de test avec rappel des niveaux 1 et 2 de chaque facteurs testés + matrice de désaliasse (1015 lignes x 515 colonnes),

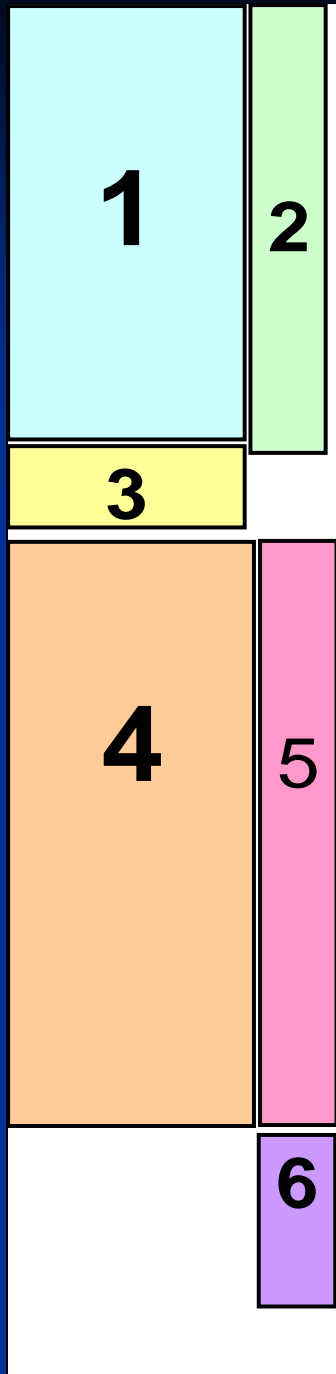
Zone 2 : Résultat des essais déposés par export (512 lignes x 32 colonnes),

Zone 3 : Calcul des effets des facteurs sur les 32 caractéristiques avec et sans désaliasse (290 lignes x 515 colonnes),

→ c'est la partie analyse des résultats



Organisation logiciel



Zone 4 : Matrice des 512 essais avec les valeurs des niveaux 1 et 2 de chaque facteurs testés + des valeurs des facteurs fixes (ordre fixé) pour export (4000 lignes x 515 colonnes),

Zone 5 : Effet de chacun des 4000 facteurs (ordre fixé) pour chacune des 32 caractéristiques (4000 lignes x 32 colonnes),

Zone 6 : Effets des interactions de 22 facteurs sur les 32 caractéristiques (22 lignes x 32 colonnes),

→ c'est la partie exports des données et des résultats pour mise en forme

Soit un total de 2 877 163 cellules

Analyse des résultats

Pour chacune des 3 installations type a été réalisés 3 plans de 512 essais.

1^{ers} plans d'expériences (faire varier 1 ratio à la fois) pour :

- Vérifier si l'effet est croissant → **sinon inversion des niveaux**,
- Vérifier l'importance du « poids » dans le coût global
→ **réduction de l'écart entre les niveaux**,
- Voir si tous les ratios ont un effet → **rendre fixe ceux à effet nul**,
- Constater quels sont les « poids » respectifs des 32 caractéristiques dans le coût global → **toutes les caractéristiques doivent –elles être analysées ?**,
- Evaluer la part de l'effet individuel des ratios par rapport à celle de leur effet collectif (quand tous les ratios passent ensembles du niveau 1 au niveau 2) → **estimation du « poids » total des interactions.**

Premiers résultats d'analyse

Rendre fixes des facteurs à effet nul ou quasi nul (<0,01%) :

- 1 réacteur = 425 facteurs → 231 facteurs,
- 1 laboratoire = 402 facteurs → 193 facteurs,
- 1 station de traitement des déchets = 353 facteurs → 169 facteurs,

La somme des effets individuels des facteurs est comparée à la situation où tous les facteurs sont ensembles sur leur niveau maxi (la différence étant la somme des interactions) :

- les effets individuels = 70% du coût total,
- les interactions = 30% du coût total.

Les 32 caractéristiques n'ont pas toutes le même « poids »

→ On n'analysera que celles qui représentent ensemble 90% du coût total

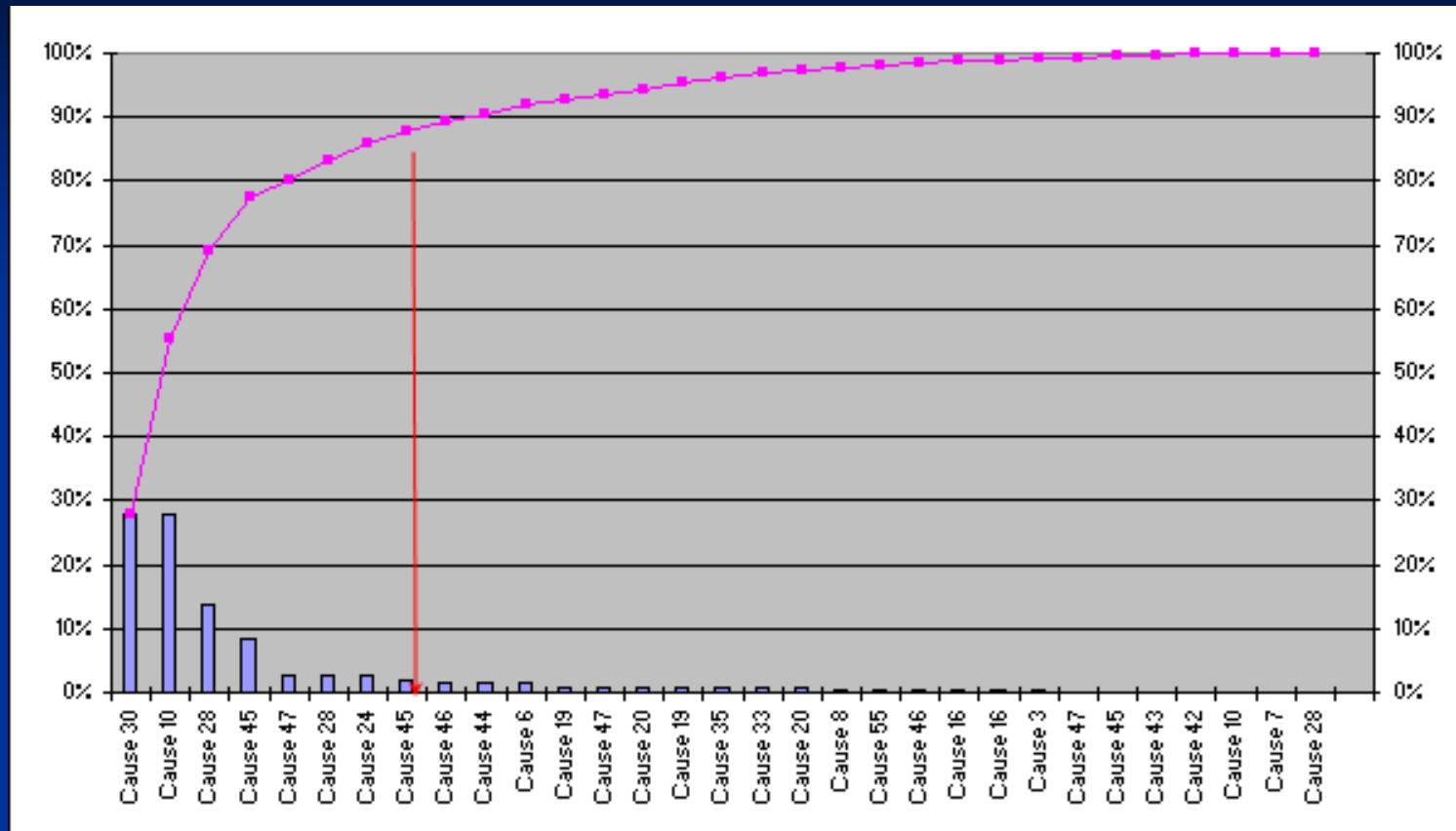
		PLEX 1		PLEX 2		PLEX 3		
		Réponse en M€	Poids	Réponse en M€	Poids	Réponse en M€	Poids	
Poste Projet - DEM	MOA - DEM	3,30	2,65%	5,16	11,55%	4,54	8,63%	
	MOe	6,29	5,01%	2,45	5,24%	2,08	3,94%	
	Etudes	9,21	7,36%	3,41	7,50%	3,93	7,47%	
Poste SENEX - DEM	SENEX - DEM	7,84	6,29%	10,78	24,11%	3,00	5,71%	
Poste Travaux	Sous-total - MO Z1/Z2	Opérateurs Z1/Z2	4,34	3,48%	1,65	3,69%	1,33	2,53%
		Manutention Z1/Z2	1,61	1,29%	0,06	0,13%	0,04	0,08%
		Encadrement Z1/Z2	1,76	1,42%	0,51	1,14%	0,41	0,78%
		Consommables Z1/Z2	3,94	3,16%	1,14	2,54%	0,92	1,74%
		Matériel Z1/Z2	1,69	1,36%	0,49	1,09%	0,39	0,74%
		Sous-total - MO Z1/Z2	13,35	10,71%	3,84	8,59%	3,09	5,87%
	Sous-total - MO Z3/Z4	Opérateurs Z3/Z4	6,24	4,93%	3,90	8,29%	3,00	5,70%
		Manutention Z3/Z4	0,47	0,38%	0,15	0,31%	0,18	0,34%
		Encadrement Z3/Z4	1,92	1,52%	1,18	2,52%	0,91	1,73%
		Consommables Z3/Z4	4,28	3,39%	2,64	5,84%	2,03	3,85%
		Matériel Z3/Z4	1,84	1,45%	1,13	2,42%	0,87	1,65%
		Sous-total - MO Z3/Z4	14,75	11,67%	9,00	19,18%	6,99	13,27%
	Sous-total - MO		28,10	22,38%	12,84	27,77%	10,08	19,14%
	Linges	Linges Z1/Z2	1,97	1,58%	0,23	0,51%	0,46	0,87%
		Linges Z3/Z4	2,14	1,70%	0,54	1,15%	1,02	1,93%
Personnel CRP	Personnel CRP Z1/Z2	2,08	1,67%	0,60	1,34%	0,48	0,92%	
	Personnel CRP Z3/Z4	2,26	1,78%	1,39	2,97%	1,07	2,03%	
Sous-total - Personnel hors zone		12,82	10,34%	0,00	0,00%	---	---	
Poste Déchets	Sous-total - Effluents	28,19	22,62%	0,20	0,45%	---	---	
	Déchets DI*	---	---	0,23	0,52%	---	---	
	Déchets Z1/Z2	6,00	4,81%	0,89	2,00%	1,52	2,88%	
	Déchets Z3/Z4	13,54	10,75%	6,01	13,06%	23,87	45,33%	
	Sous-total - Déchets	19,54	15,56%	7,13	15,58%	25,39	48,21%	
Sous-total - DEM		123,75	98,95%	44,74	98,17%	52,06	98,84%	
Poste Projet - SURV	MOA - SURV	0,20	0,16%	0,21	0,46%	0,21	0,39%	
Poste SENEX - SURV	SENEX - SURV	1,11	0,89%	0,61	1,37%	0,41	0,77%	
Sous-total - SURV		1,31	1,05%	0,82	1,83%	0,61	1,16%	
Total		125,06	100,00%	45,56	100,00%	52,67	100,00%	

* : Décontamination Interne

Tableau des poids relatifs réponses en M€ et en % pour chaque étude

Présentation des résultats

On a utilisé la loi de Pareto et la représentation ABC, pour chacune des caractéristiques :



- 20% des causes (ici les facteurs) représentent $\approx 80\%$ de l'effet (ici la somme des effets individuels des facteurs),
- 30% des causes suivantes représentent $\approx 15\%$ de l'effet,
- 50% des causes restantes représentent $\approx 5\%$ de l'effet.

Le nombre de facteurs qui expliquent chaque caractéristique est très variable

→ Y a-t-il des facteurs communs à toutes ces caractéristiques ?

		PLEX 1								
		100%		95%		90%		80%		
Poste Projet - DEM	MOA - DEM	18	231	17	231	16	231	14	231	
	MOe	120	230	38	63	24	44	13	26	
	Etudes	222	231	48	119	29	83	14	41	
Poste SENEX - DEM	SENEX - DEM	39	39	18	18	12	12	8	8	
Poste Travaux	Sous-total - MO Z1/Z2	Opérateurs Z1/Z2	38	75	17	26	12	19	8	12
		Manutention Z1/Z2	45	118	4	4	3	3	2	2
		Encadrement Z1/Z2	49	124	16	32	11	12	7	8
		Consommables Z1/Z2	50	127	16	37	12	25	7	13
		Matériel Z1/Z2	50	126	16	41	12	27	7	14
		Sous-total - MO Z1/Z2								
	Sous-total - MO Z3/Z4	Opérateurs Z3/Z4	61	108	28	33	21	24	13	15
		Manutention Z3/Z4	66	198	8	40	5	17	4	7
		Encadrement Z3/Z4	73	201	29	44	21	30	12	16
		Consommables Z3/Z4	75	215	30	48	22	32	12	18
		Matériel Z3/Z4	74	211	30	51	22	34	12	18
		Sous-total - MO Z3/Z4								
	Sous-total - MO		123	231	49	73	37	51	24	30
	Linges	Linges Z1/Z2	52	130	17	41	12	28	8	15
		Linges Z3/Z4	76	221	30	51	22	34	12	18
	Personnel CRP	Personnel CRP Z1/Z2	50	125	17	34	12	23	7	13
		Personnel CRP Z3/Z4	74	210	30	46	22	31	12	16
Sous-total - Personnel hors zone		0	231	0	150	0	121	0	86	
Poste Déchets	Sous-total - Effluents	3	3	3	3	2	3	1	2	
	Déchets DI*									
	Déchets Z1/Z2	64	123	23	39	17	27	10	15	
	Déchets Z3/Z4	98	212	36	50	25	36	14	19	
	Sous-total - Déchets									
Sous-total - DEM		223	231	46	121	38	88	24	52	
Poste Projet - SURV	MOA - SURV	18	231	17	231	16	182	14	93	
Poste SENEX - SURV	SENEX - SURV	28	28	10	10	7	7	6	6	
Sous-total - SURV		46	231	24	18	22	10	19	7	
Total		231	231	63	123	39	90	24	53	

* : Décontamination Interne

Tableau du nombre de ratios expliquant 80, 90, 95 et 100 % pour chaque réponse, pour

Recherche des communs

Les ratios doivent non seulement avoir du « poids » mais « expliquer » au moins 90% de chacune des 32 caractéristiques

N° et libellé des 33 ratios communs aux 3 études	Poids cumulé	Ordre hiérarchique dans étude		
Poids cumulé des 33 ratios	49,74%	1	2	3
1889 - Echelle des ratios d'heures : Tenue Masque (T.M.)	26,101%	3	1	4
1715 - Déchets en litres/kg (Démontage et extract. des trap	14,129%	42	5	3
1868 - Exploitation - (DEM TD) - % du coût annuel retenu p	11,199%	22	2	9
3526 - Exploitation - (MAD DEM SURV.) - Charges d'exploir	9,400%	21	4	7
3545 - Exploitation - (DEM TD) - % du coût annuel retenu p	7,646%	33	3	21
1849 - M.O et environnement-(MAD,DEM et SURV.)- Coeffi	5,884%	23	10	8
2560 - Déchets - Filière D2 - Postes regroupés : coût	5,687%	29	14	6
1922 - Z1 / Z2 - Rendements horaires (Contrôle radiologique	5,204%	9	20	18
194 - Heures h/ml (Extraction des chemins de câble non cc	4,974%	7	31	24
1846 - Maitrise d'œuvre (Gestion et suivi des contrats)- Tau	4,665%	30	9	12
3533 - Exploitation - (MAD DEM SURV.) - Charges d'exploir	4,639%	35	6	28
866 - M.O. et environnement - (MAD e t DEM Z3 / Z4) -Tau	4,425%	27	11	13
1845 - Maitrise d'Ouvrage déléguée -Taux annuel moyen /ag	4,079%	25	16	14
2695 - Déchets - Filière D4 - Postes regroupés : coût	3,965%	24	25	10
1208 - M.O. - (MAD et DEM Z3 / Z4) % de Contrôle Radi	3,664%	20	34	37
186 - Heures h/kg (Extr . des équipts autres que manut.nor	3,581%	16	43	34
3813 - Déchets - Heures de Manutention des déchets Caté	3,344%	17	41	51
942 - M.O. et environnement - (DEM Z1 / Z2) - % de Contr	3,279%	15	49	46
936 - M.O. et environnement - (DEM Z1 / Z2) - Taux horair	2,957%	26	24	23
871 - M.O. et environnement (MAD et DEM Z3 / Z4) Déche	2,863%	28	29	15
869 - M.O. et environnement - (MAD e t DEM TD Z3 / Z4)	2,294%	36	23	27
1724 - Heures h/m3 (Relevé radiologique après assainisse	2,201%	57	17	30
2912 - Déchets - Filière D3 - Postes regroupés : coût	2,178%	31	26	36

Synthèse

	Etude 1	Etude 2	Etude 3
Initialement nombre de ratios	425	402	353
Nb de ratios à effet nul	194	209	184
Nb de ratios transformés en ratios fixes	0	3	0
Nb de ratios avec effet = MAX	231	190	169
Nb de ratios expliquant 90% du coût total = MIN	39	50	33
Nb de ratios dont le poids total est $\geq 0,01\%$	157	146	128
Nb de ratios dont le poids total est $\geq 0,1\%$	72	87	71
Nb de ratios proposés	60	61	60
% d'effet expliqué sur le coût global	93,79%	89,74%	95,26%

Avec seulement 60 facteurs on explique $\approx 90\%$ des coûts de démantèlement.

Il y a donc sur 88 ratios au total (les 60 à 61 ratios par étude ne sont pas les mêmes d'une étude à l'autre)

→ On apportera un soin extrême à la détermination de la valeur de ces 88 ratios