

# GÉNIE LOGICIEL

(SOFTWARE ENGINEERING)

## 3ÈME PARTIE – ESTIMATION DES COÛTS DE DÉVELOPPEMENT

(SOFTWARE COST ESTIMATION)

*Faculté des Sciences et Techniques*

<http://labh-curien.univ-st-etienne.fr/~fj/gl>

Francois.Jacquenet@univ-st-etienne.fr

# Plan de cette partie de cours

2

- Le modèle COCOMO
- COCOMO de base
- COCOMO intermédiaire
- COCOMO II

# Le modèle COCOMO

3

- COnstructive Cost MOdel
- Conçu par Barry BOEHM
- Observation de nombreux projets réels
- Recherche à estimer
  - La quantité homme-mois (man-month)
  - Le temps de développement (développement schedule)
- Exemples d'équations
  - $MM = 2.4 KDSI^{1.05}$ 
    - *MM : Man-Month*
    - *KDSI : thousands of delivered line of code*
  - $TDEV = 2.5 MM^{0.38}$ 
    - *TDEV : development schedule*

# Le modèle COCOMO

4

- Cadre du modèle de développement en cascade
  - ▣ Couvre les étapes à partir de la conception générale
  - ▣ Se termine à la fin des tests d'intégration
  - ▣ Couvre les activités de la figure suivante
- **Nécessite l'évaluation du nombre d'instructions source livrées**
  - ▣ Ne comprend pas les commentaires
  - ▣ Instruction = ligne de code
    - 1 ligne de 2 instructions = 1 instructions

# Le modèle COCOMO

5

- Pour COCOMO I
  - ▣ Homme-mois = 152 heures
  - ▣ Conversion possible en
    - H-heure =  $x \cdot 152$
    - H-jour =  $x \cdot 19$
    - H-année =  $x \cdot 12$
- Suppose une bonne coordination entre management et client
- Les spécifications ne doivent pas trop être remises en cause

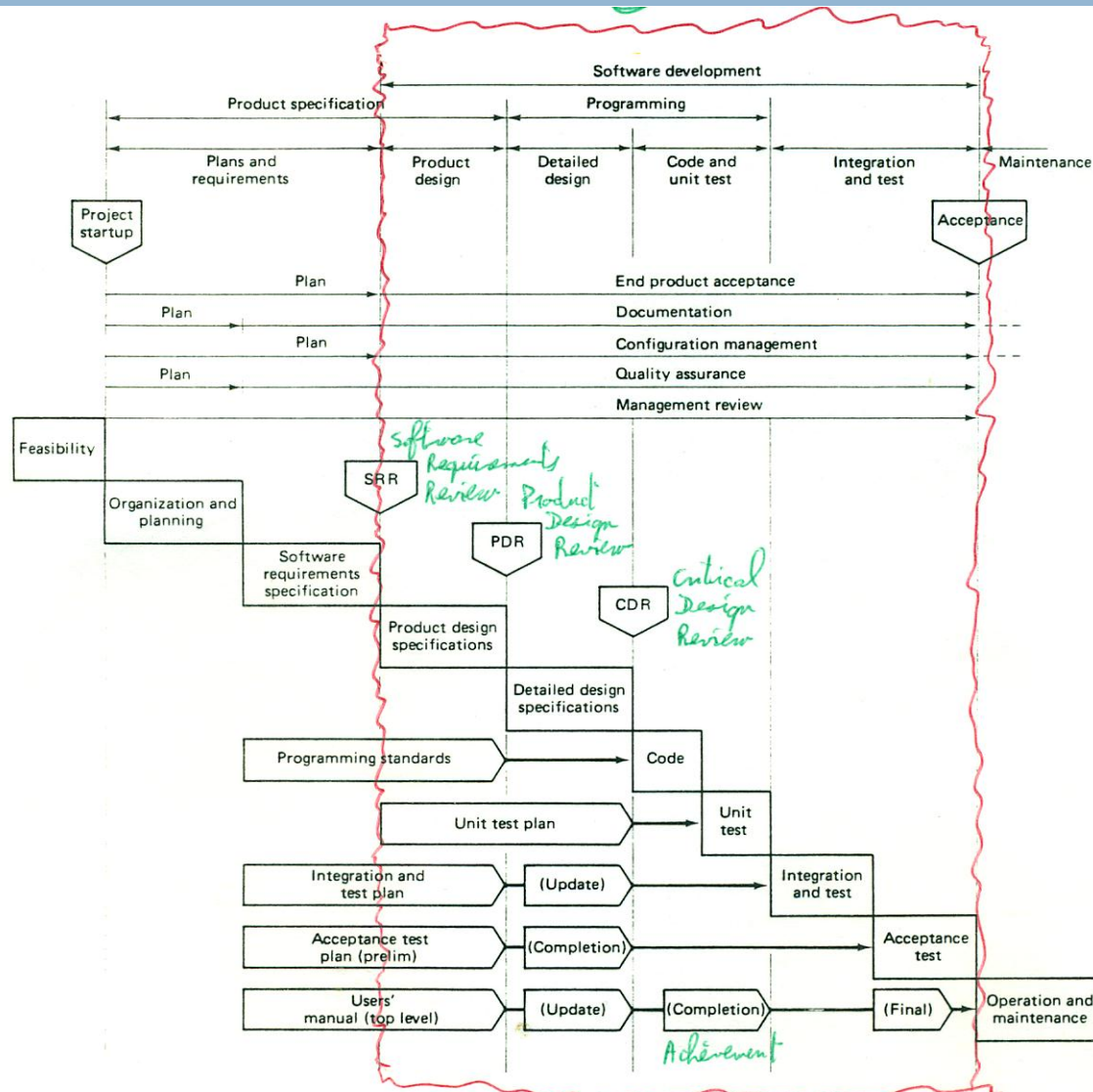
# Activités couvertes par COCOMO

6

- Exclu les activités telles que
  - ▣ Formation
  - ▣ Plans d'installation
  - ▣ Maintenance
- Couvre les charges directement liées au projet
- ➔ ne couvre pas
  - ▣ Les secrétaires
  - ▣ Le haut management
  - ▣ Le concierge

# Activités couvertes par COCOMO

7



# Le modèle COCOMO de base

8

- Estime en homme/mois plutôt qu'en dollars ou euros
  - ▣ Évite de dépendre de la valeur de la monnaie
  - ▣ Ne dépend pas du niveau de rémunération du personnel
- Les deux équations de base
  - ▣  $MM = 2.4 KDSI^{1.05}$ 
    - *MM : Man-Month*
    - *KDSI : thousands of delivered line of code*
  - ▣  $TDEV = 2.5 MM^{0.38}$ 
    - *TDEV : development schedule*



# Le modèle COCOMO de base

9

## □ Exemple

- Une entreprise souhaite gérer les matières premières qu'elle utilise. Elle fait appel à ses informaticiens en interne, qui ont l'habitude de ce genre de projets.
- Étude initiale → environ 32000 instructions
- On a alors
  - $MM = 2.4 \times 32^{1.05} = 91$  homme-mois
  - $TDEV = 2.5 \times 91^{0.38} = 14$  mois
  - Taille équipe =  $91 \text{ h-m} / 14 \text{ mois} = 6.5$  personnes à temps plein
  - Productivité =  $DSI / MM = 352$  lignes/h-mois

# Le modèle COCOMO de base

10

- Boehm propose 5 classes de projets
  - ▣ Petits projets = 2 KDSI
  - ▣ Projets intermédiaires = 8 KDSI
  - ▣ Projets moyens = 32 KDSI
  - ▣ Grands projets = 128 KDSI
  - ▣ Très grands projets = 512 KSI
- pour chaque classe on peut calculer
  - ▣ MM
  - ▣ TDEV
  - ▣ Taille équipe
  - ▣ productivité

# Le modèle COCOMO de base

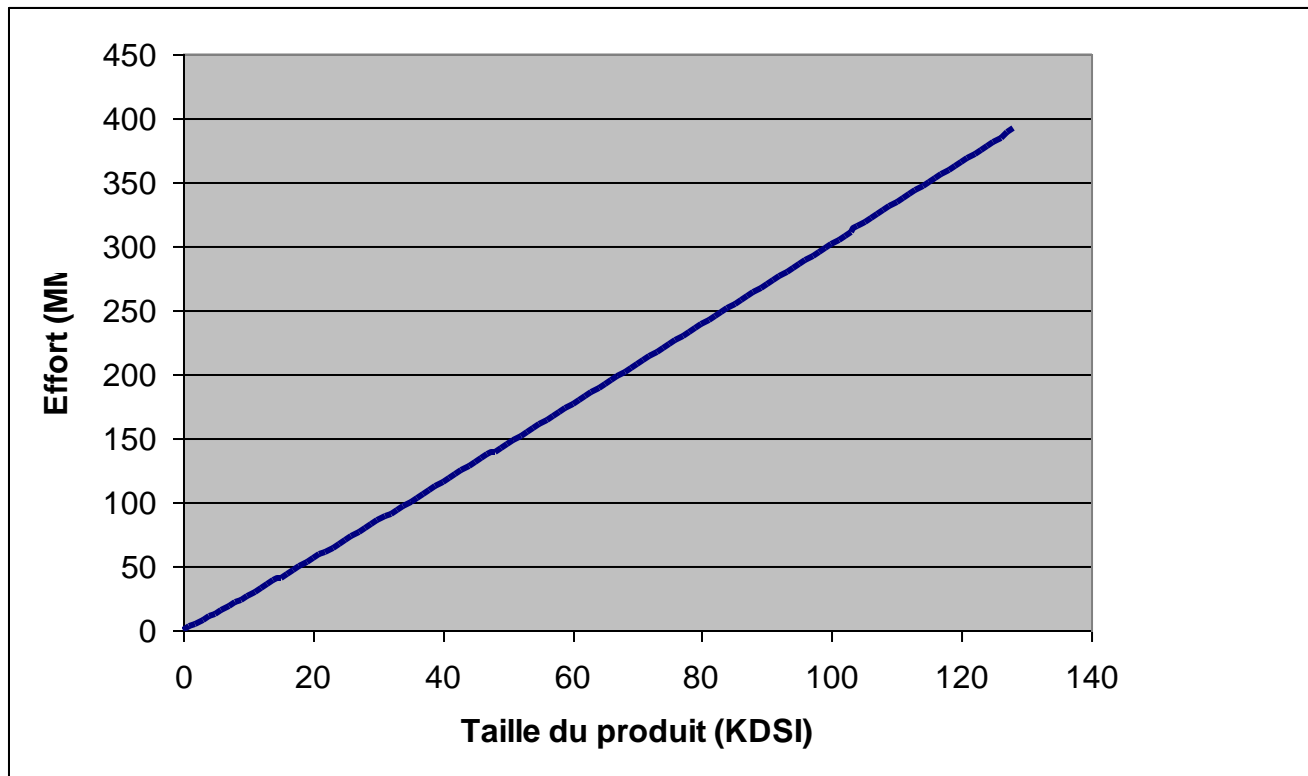
11

	Homme-mois	Temps de développement	Taille équipe	productivité
Petit (2 KDSI)	5	4.6	1.1	400
Intermédiaire (8 KDSI)	21.3	8	2.7	376
Moyen (32 KDSI)	91	14	6.5	352
Grand (128 KDSI)	392	24	16	327

# Le modèle COCOMO de base

12

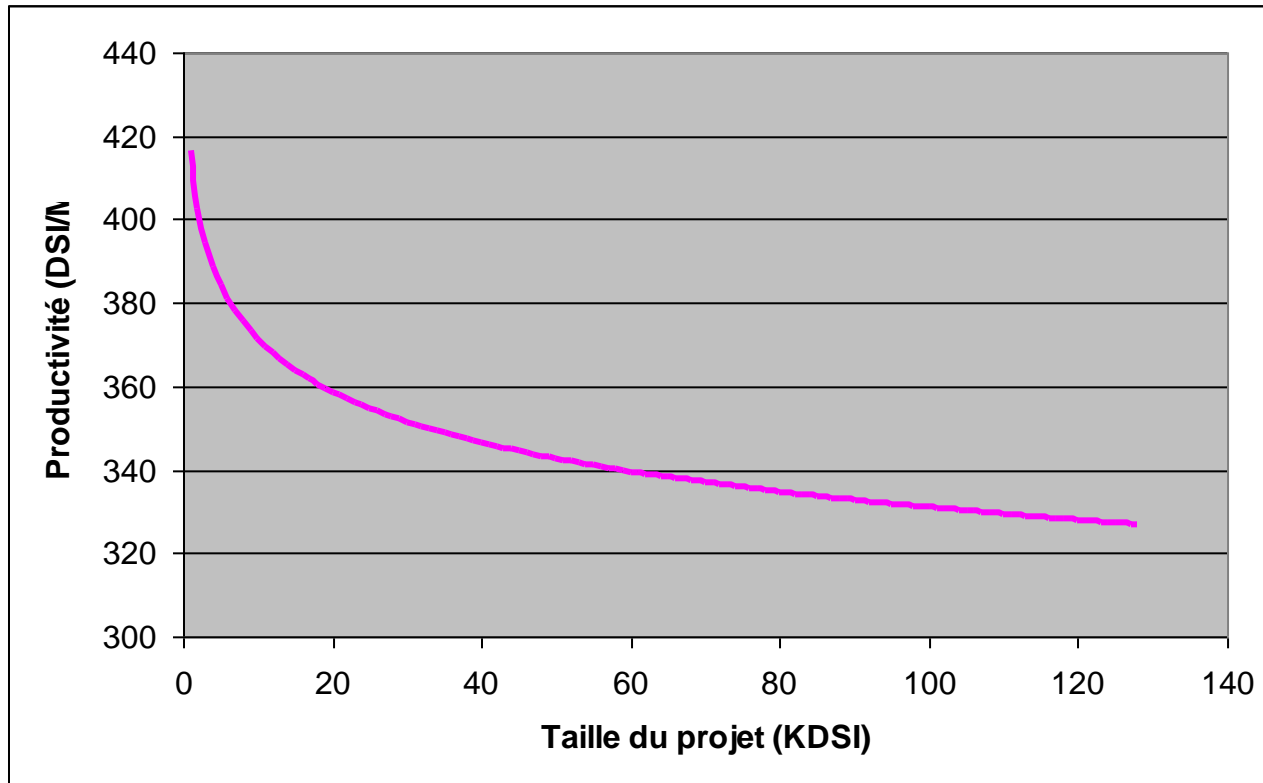
- Sous forme graphique (effort = f (KDSI) )



# Le modèle COCOMO de base

13

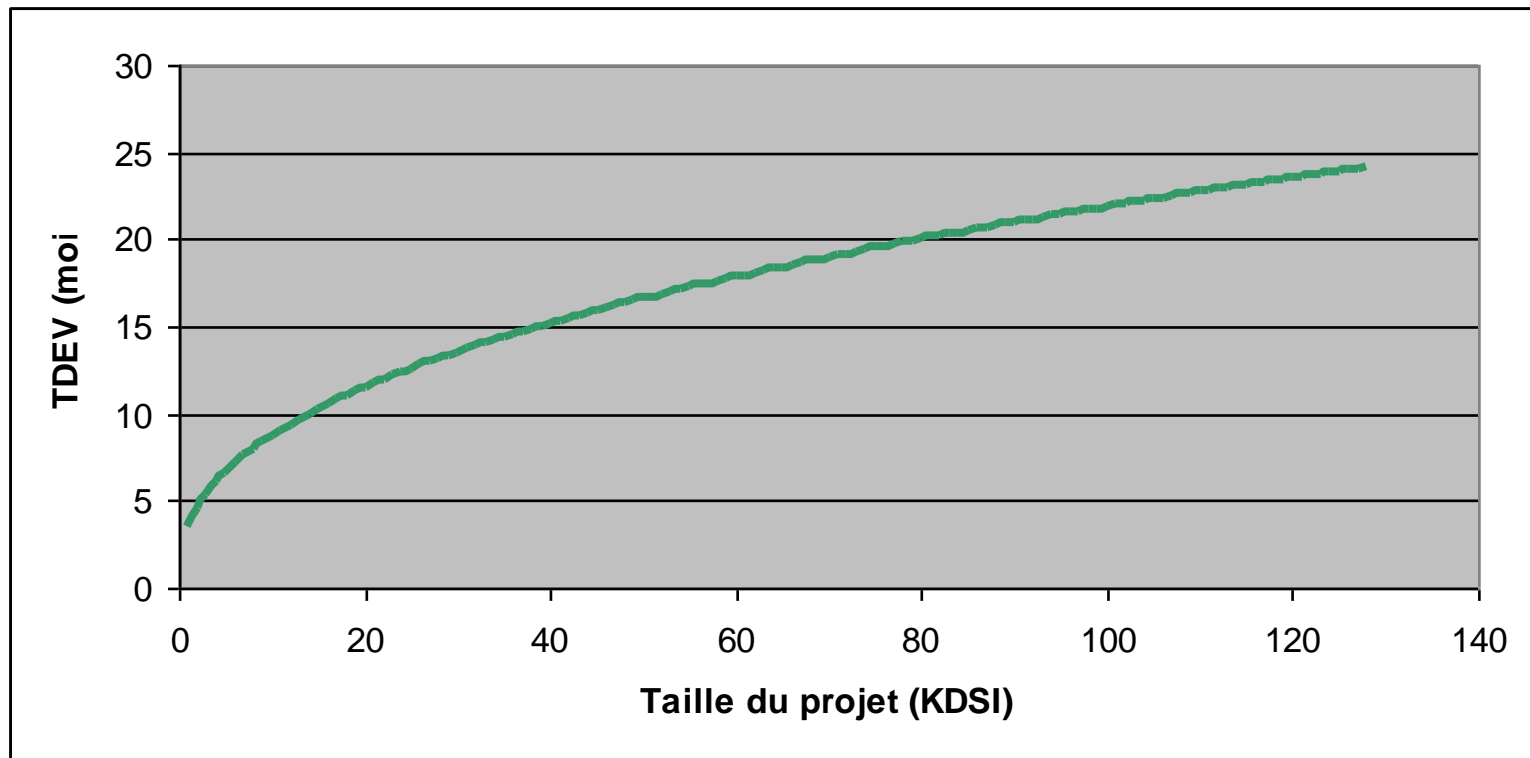
- Sous forme graphique (productivité =  $F(KDSI)$  )



# Le modèle COCOMO de base

14

- Sous forme graphique ( $TDEV = F(KDSI)$  )



# Le modèle COCOMO de base

15

- On peut décomposer en fonction des phases du cycle de vie

**TABLE 5-2** Phase Distribution of Effort and Schedule: Organic Mode

Phase	Product Size			
	Small (2 KDSI)	Intermediate (8 KDSI)	Medium (32 KDSI)	Large (128 KDSI)
<i>Effort</i>				
Plans and requirements	6%	6%	6%	6%
Product design	16	16	16	16
Programming	68	65	62	59
Detailed design	26	25	24	23
Code and unit test	42	40	38	36
Integration and test	16	19	22	25
Total	100%	100%	100%	100%
<i>Schedule</i>				
Plans and requirements	10%	11%	12%	13%
Product design	19	19	19	19
Programming	63	59	55	51
Integration and test	18	22	26	30
Total	100%	100%	100%	100%

# Le modèle COCOMO de base

16

- Exemple
  - ▣ Entreprise gérant ses matières premières
  - ▣  $MM = 91$ ,  $TDEV = 14$
  - ▣  $Programmation = 0.62 \times 91 = 56$  hommes-mois
  - ▣  $Durée : 0.55 \times 14 = 7.7$  mois
  - ▣ Équipe de 7.3 hommes
  
- On peut calculer pour tous les types de projets



# Le modèle COCOMO de base

**TABLE 5-3. Basic Project Profiles: Organic Mode**

Quantity	Product size			
	Small (2 KDSI)	Intermediate (8 KDSI)	Medium (32 KDSI)	Large (128 KDSI)
Total Effort (MM)	5.0	21.3	91	392
Plans and Requirements	0.3	1.3	5	24
Product Design	0.8	3.4	15	63
Programming	3.4	13.8	56	231
Detailed Design	1.3	5.3	22	90
Code and Unit Test	2.1	8.5	34	141
Integration and Test	0.8	4.1	20	98
Total Schedule (months)	4.6	8	14	24
Plans and Requirements	0.5	0.9	1.7	3.1
Product Design	0.9	1.5	2.7	4.6
Programming	2.9	4.7	7.7	12.2
Integration and Test	0.8	1.8	3.6	7.2
Average Personnel (FSP)				
Plans and Requirements	0.6	1.4	2.9	8
Product Design	0.9	2.3	5.6	14
Programming	1.2	2.9	7.3	19
Integration and Test	1.0	2.3	5.6	14
Project Average (FSP)	1.1	2.7	6.5	16
Percent of Project Average				
Plans and Requirements	60%	55%	50%	46%
Product Design	84	84	84	84
Programming	108	110	113	116
Integration and Test	89	87	85	83
Productivity (DSI/MM)	400	376	352	327

# Le modèle COCOMO de base

18

- Classement par la taille mais également par le mode de développement
  - **Organique** (organic)
    - Produit sans interaction avec matériel
    - Le personnel maîtrise tout
    - Exemple : traitement de texte
  - **Semi détaché** (semi detached)
    - Produit avec peu d'interaction avec le matériel
    - Exemple : compilateur
  - **Embarqué** (embedded)
    - Forte interaction avec le matériel
    - Innovation
    - Exemple : guidage de missile

# Le modèle COCOMO de base

**TABLE 6-3** Distinguishing Features of Software Development Modes

Feature	Mode		
	Organic	Semidetached	Embedded
Organizational understanding of product objectives	Thorough	Considerable	General
Experience in working with related software systems	Extensive	Considerable	Moderate
Need for software conformance with pre-established requirements	Basic	Considerable	Full
Need for software conformance with external interface specifications	Basic	Considerable	Full
Concurrent development of associated new hardware and operational procedures	Some	Moderate	Extensive
Need for innovative data processing architectures, algorithms	Minimal	Some	Considerable
Premium on early completion	Low	Medium	High
Product size range	<50 KDSI	<300 KDSI	All sizes
Examples	Batch data reduction Scientific models Business models Familiar OS, compiler Simple inventory, production control	Most transaction processing systems New OS, DBMS Ambitious inventory, production control Simple command-control	Large, complex transaction processing systems Ambitious, very large OS Avionics Ambitious command-control

# Le modèle COCOMO de base

20

- On a des équations différentes pour chaque mode
- Organique :
  - $MM = 2.4 \times KDSI^{1.05}$
  - $TDEV = 2.5 \times MM^{0.38}$
- Semi détaché
  - $MM = 3.0 \times KDSI^{1.12}$
  - $TDEV = 2.5 \times MM^{0.35}$
- Embarqué
  - $MM = 3.6 \times KDSI^{1.20}$
  - $TDEV = 2.5 \times MM^{0.32}$

# Le modèle COCOMO de base

**TABLE 6-2** Basic COCOMO Estimates for Standard-Size Products

Effort (MM)	Small 2 KDSI	Intermediate 8 KDSI	Medium 32 KDSI	Large 128 KDSI	Very Large 512 KDSI
Organic	5.0	21.3	91	392	
Semidetached	6.5	31	146	687	3250
Embedded	8.3	44	230	1216	6420
Productivity (DSI/MM)	Small 2 KDSI	Intermediate 8 KDSI	Medium 32 KDSI	Large 128 KDSI	Very Large 512 KDSI
Organic	400	376	352	327	
Semidetached	308	258	219	186	158
Embedded	241	182	139	105	80
Schedule (months)	Small 2 KDSI	Intermediate 8 KDSI	Medium 32 KDSI	Large 128 KDSI	Very Large 512 KDSI
Organic	4.6	8	14	24	
Semidetached	4.8	8.3	14	24	42
Embedded	4.9	8.4	14	24	41
Average personnel (FSP)	Small 2 KDSI	Intermediate 8 KDSI	Medium 32 KDSI	Large 128 KDSI	Very Large 512 KDSI
Organic	1.1	2.7	6.5	16	
Semidetached	1.4	3.7	10	29	77
Embedded	1.7	5.2	16	51	157

# Le modèle COCOMO de base

22

- Pour ces 3 modes
  - ▣ Comparaison des estimations COCOMO avec 63 projets réels

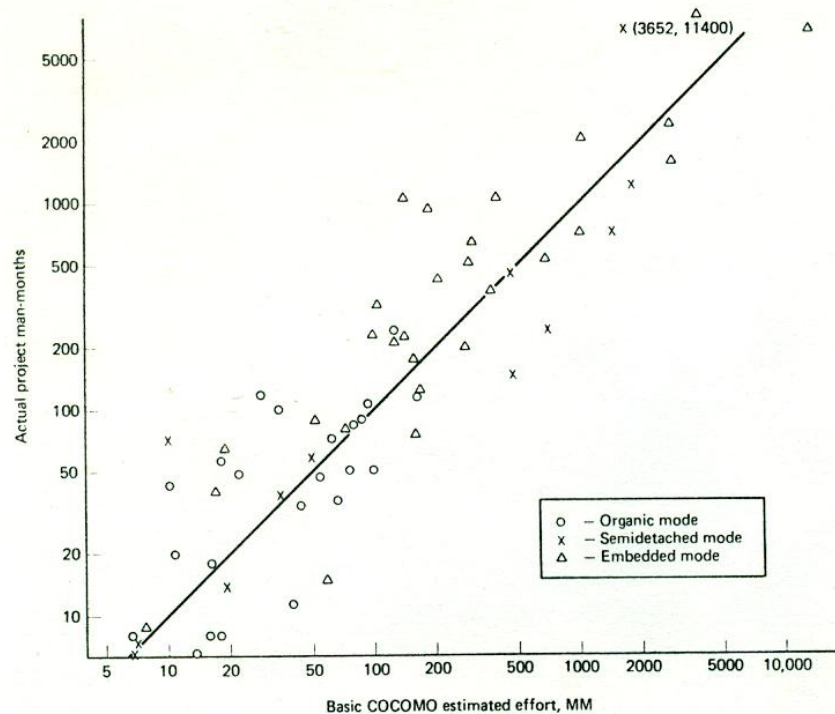


FIGURE 6-4 Basic COCOMO effort estimates vs. actuals



# Le modèle COCOMO de base

23

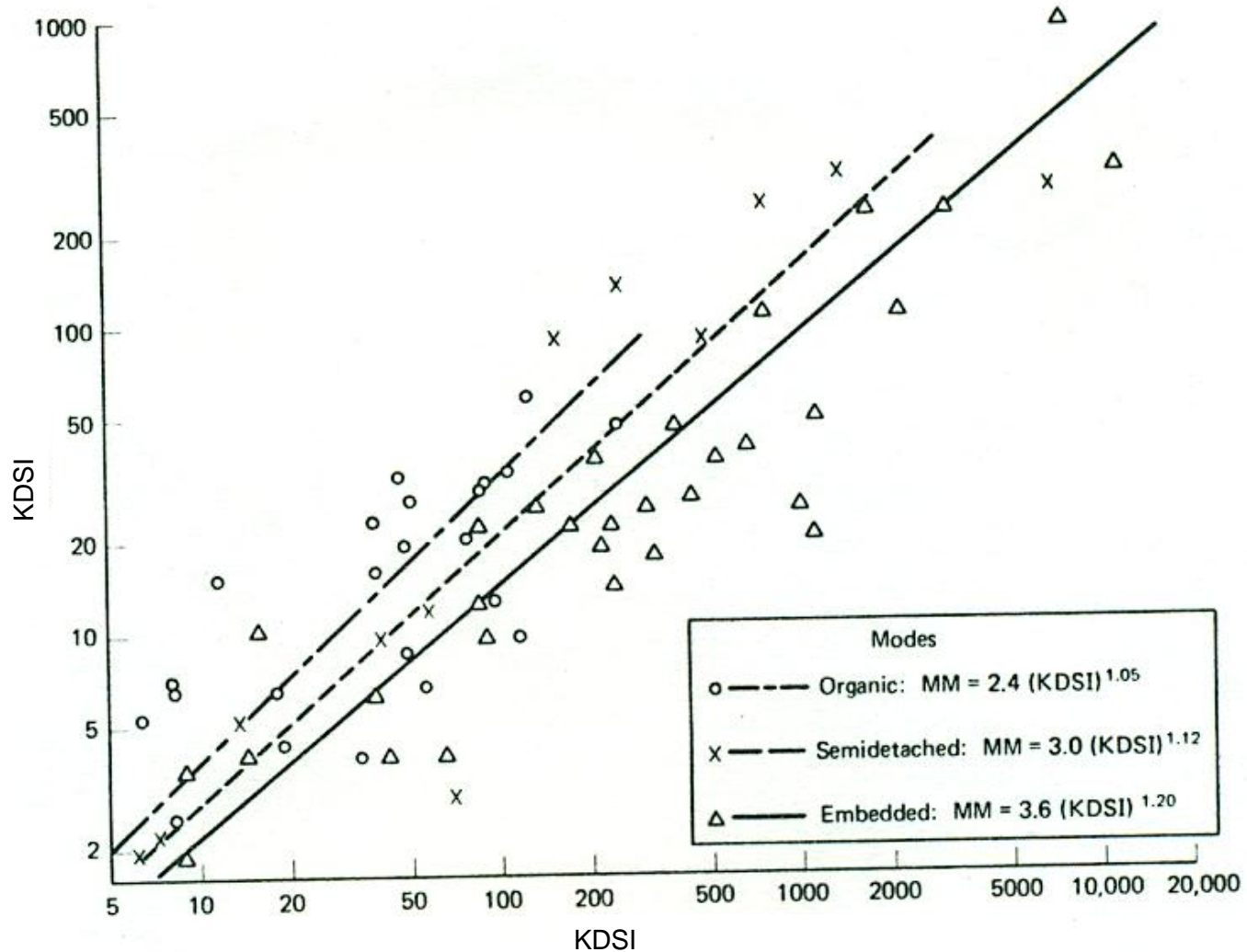


FIGURE 6-5 Basic COCOMO effort equations vs. project data

# Le modèle COCOMO de base

24

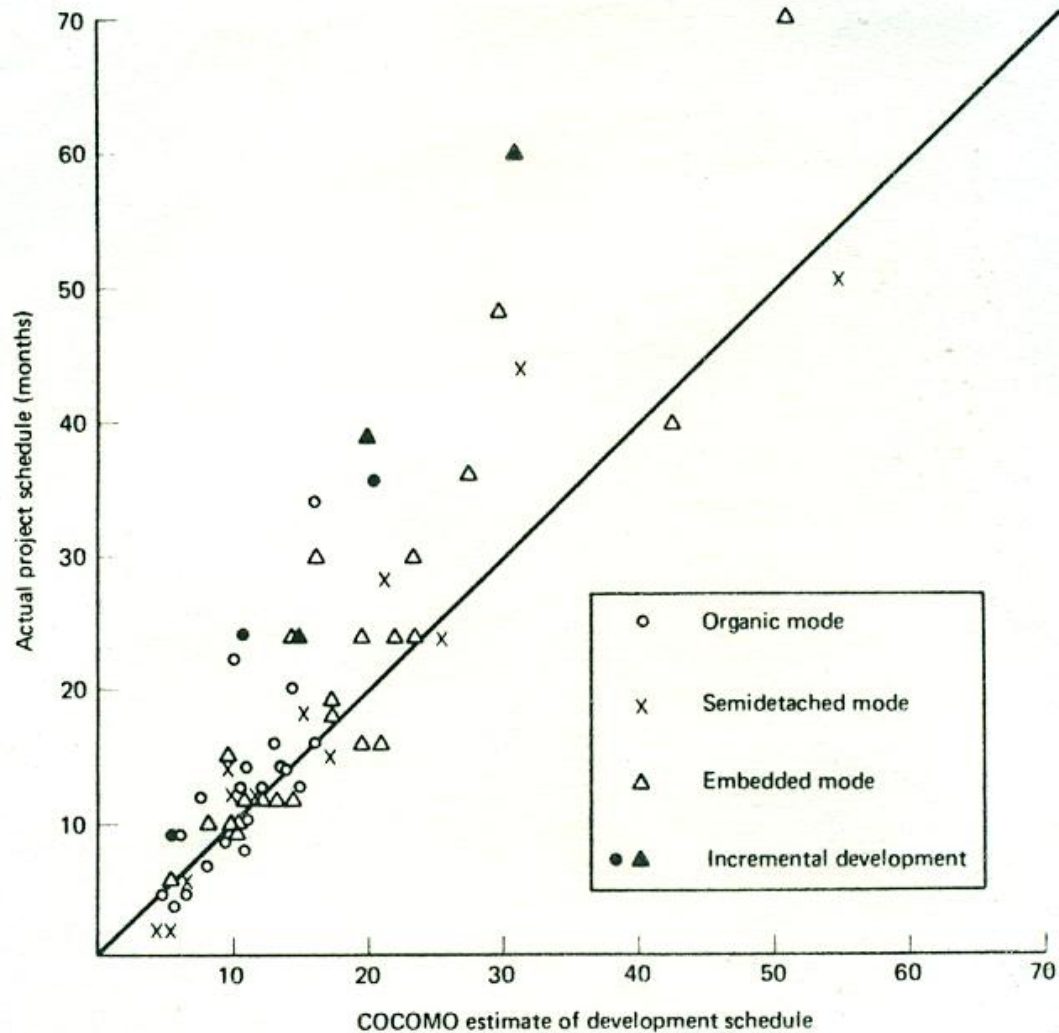
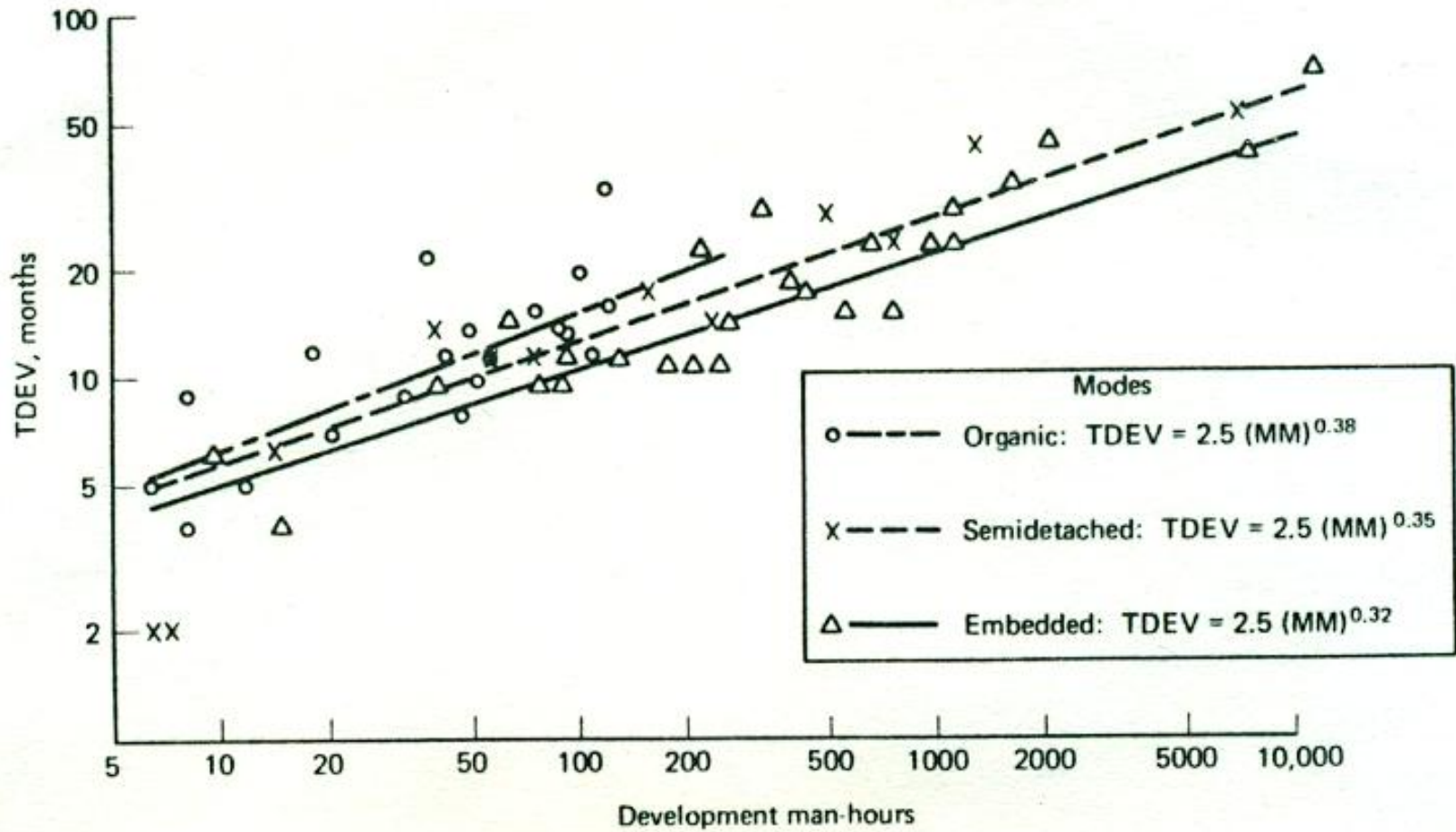


FIGURE 6-6 COCOMO development schedule estimates vs. actuals



# Le modèle COCOMO de base

25



**FIGURE 6-7** COCOMO schedule equations vs. project data (excluding incremental development projects)

# Le modèle COCOMO de base

- On peut affiner la décomposition en phases pour chaque mode

**TABLE 6-8** Phase Distribution of Effort and Schedule: All Modes

Mode	Effort distribution Phase	Size				
		Small	Inter- mediate	Medium	Large	Very Large
		2 KDSI	8 KDSI	32 KDSI	128 KDSI	512 KDSI
Organic	Plans and requirements (%)	6	6	6	6	
	Product design	16	16	16	16	
	Programming	68	65	62	59	
	Detailed design	26	25	24	23	
	Code and unit test	42	40	38	36	
	Integration and test	16	19	22	25	
Semidetached	Plans and requirements (%)	7	7	7	7	7
	Product design	17	17	17	17	17
	Programming	64	61	58	55	52
	Detailed design	27	26	25	24	23
	Code and unit test	37	35	33	31	29
	Integration and test	19	22	25	28	31
Embedded	Plans and requirements (%)	8	8	8	8	8
	Product design	18	18	18	18	18
	Programming	60	57	54	51	48
	Detailed design	28	27	26	25	24
	Code and unit test	32	30	28	26	24
	Integration and test	22	25	28	31	34
Schedule distribution		2 KDSI	8 KDSI	32 KDSI	128 KDSI	512 KDSI
Organic	Plans and requirements (%)	10	11	12	13	
	Product design	19	19	19	19	
	Programming	63	59	55	51	
	Integration and test	18	22	26	30	
Semidetached	Plans and requirements (%)	16	18	20	22	24
	Product design	24	25	26	27	28
	Programming	56	52	48	44	40
	Integration and test	20	23	26	29	32
Embedded	Plans and requirements (%)	24	28	32	36	40
	Product design	30	32	34	36	38
	Programming	48	44	40	36	32
	Integration and test	22	24	26	28	30

# Le modèle COCOMO de base

- Pour un projet moyen (32KDSI)

**TABLE 6-9 Basic Project Profiles: Medium-Size Projects**

Quantity	Mode		
	Organic	Semi-detached	Embedded
Total effort (MM)	91	146	230
Plans and requirements	5	10	18
Product design	15	25	42
Programming	56	85	124
Detailed design	22	37	60
Code and unit test	34	48	64
Integration and test	20	36	64
Total schedule (Months)	14	14	14
Plans and requirements	1.7	2.8	4.5
Product design	2.7	3.6	4.8
Programming	7.7	6.8	5.6
Integration and test	3.6	3.6	3.6
Average personnel (FSP)	6.5	10.4	16.4
Plans and requirements	2.9	3.6	4.0
Product design	5.6	6.9	8.8
Programming	7.3	12.5	22.1
Integration and test	5.6	10.0	17.8
Percent of average personnel			
Plans and requirements	45	35	24
Product design	84	66	54
Programming	113	120	135
Integration and test	85	96	108
Productivity (DSI/MM)	352	219	139
Code and unit test only (DSI/MM)	941	667	500

# Le modèle COCOMO intermédiaire

28

- Modèle de base + attributs
- Attributs du produit
  - ▣ RELY : sûreté du produit
  - ▣ DATA : taille de la base de données
  - ▣ CPLX : complexité du produit
- Attributs de la machine
  - ▣ TIME : contraintes de temps d'exécution
  - ▣ STOR : contraintes de mémoire principale
  - ▣ VIRT : changement dans l'ensemble soft+hard
  - ▣ TURN : temps de retour d'une tâche soumise à l'ordi

# Le modèle COCOMO intermédiaire

29

- Attributs du personnel
  - ▣ ACAP : aptitude de l'analyste
  - ▣ AEXP : expérience de ces applications
  - ▣ PCAP : aptitude du programmeur
  - ▣ VEXP : expérience de l'ensemble soft+hard
  - ▣ LEXP : expérience du langage de programmation
- Attributs du projet
  - ▣ MODP : pratique des techniques modernes de programmation
  - ▣ TOOL : utilisation d'outils
  - ▣ SCED : agenda imposé

# Le modèle COCOMO intermédiaire

30

- Pour chaque attribut
  - ▣ Très faible
  - ▣ Faible
  - ▣ Nominal
  - ▣ Élevé
  - ▣ Très élevé
  - ▣ Extrêmement élevé



# Le modèle COCOMO intermédiaire

TABLE 8-3 Software Cost Driver Ratings

Cost Driver	Ratings					
	Very Low	Low	Nominal	High	Very High	Extra High
<b>Product attributes</b>						
RELY	Effect: slight inconvenience	Low, easily recoverable losses	Moderate, recoverable losses	High financial loss	Risk to human life	
DATA		$\frac{DB \text{ bytes}}{Prog. DSI} < 10$	$10 \leq \frac{D}{P} < 100$	$100 \leq \frac{D}{P} < 1000$	$\frac{D}{P} \geq 1000$	
CPLX	See Table 8-4					
<b>Computer attributes</b>						
TIME			$\leq 50\%$ use of available execution time	70%	85%	95%
STOR			$\leq 50\%$ use of available storage	70%	85%	95%
VIRT		Major change every 12 months Minor: 1 month	Major: 6 months Minor: 2 weeks	Major: 2 months Minor: 1 week	Major: 2 weeks Minor: 2 days	
TURN		Interactive	Average turnaround <4 hours	4-12 hours	>12 hours	
<b>Personnel attributes</b>						
ACAP	15th percentile <sup>a</sup>	35th percentile	55th percentile	75th percentile	90th percentile	
AEXP	$\leq 4$ months experience	1 year	3 years	6 years	12 years	
PCAP	15th percentile <sup>a</sup>	35th percentile	55th percentile	75th percentile	90th percentile	
VEXP	$\leq 1$ month experience	4 months	1 year	3 years		
LEXP	$\leq 1$ month experience	4 months	1 year	3 years		
<b>Project attributes</b>						
MODP	No use	Beginning use	Some use	General use	Routine use	
TOOL	Basic microprocessor tools	Basic mini tools	Basic midi/maxi tools	Strong maxi programming, test tools	Add requirements, design, management, documentation tools	
SCED	75% of nominal	85%	100%	130%	160%	

# Le modèle COCOMO intermédiaire

32

- Pour chaque attribut
  - ▣ On associe un facteur multiplicatif
  - ▣ On multiplie ces 15 facteurs
  - ▣ Puis équations :
    - Organique :  $MM_{\text{nominal}} = 3.2 \times KDSI^{1.05}$
    - Semi détaché :  $MM_{\text{nominal}} = 3.0 \times KDSI^{1.12}$
    - Embarqué :  $MM_{\text{nominal}} = 2.8 \times KDSI^{1.20}$
  - ▣ Finalement :
    - $MM = \text{ProduitFacteurs} \times MM_{\text{nominal}}$



# Le modèle COCOMO intermédiaire

## □ Facteurs multiplicatifs

TABLE 8-2 Software Development Effort Multipliers

Cost Drivers	Ratings					
	Very Low	Low	Nominal	High	Very High	Extra High
<b>Product Attributes</b>						
RELY Required software reliability	.75	.88	1.00	1.15	1.40	
DATA Data base size		.94	1.00	1.08	1.16	
CPLX Product complexity	.70	.85	1.00	1.15	1.30	1.65
<b>Computer Attributes</b>						
TIME Execution time constraint			1.00	1.11	1.30	1.66
STOR Main storage constraint			1.00	1.06	1.21	1.56
VIRT Virtual machine volatility <sup>a</sup>		.87	1.00	1.15	1.30	
TURN Computer turnaround time		.87	1.00	1.07	1.15	
<b>Personnel Attributes</b>						
ACAP Analyst capability	1.46	1.19	1.00	.86	.71	
AEXP Applications experience	1.29	1.13	1.00	.91	.82	
PCAP Programmer capability	1.42	1.17	1.00	.86	.70	
VEXP Virtual machine experience <sup>a</sup>	1.21	1.10	1.00	.90		
LEXP Programming language experience	1.14	1.07	1.00	.95		
<b>Project Attributes</b>						
MODP Use of modern programming practices	1.24	1.10	1.00	.91	.82	
TOOL Use of software tools	1.24	1.10	1.00	.91	.83	
SCED Required development schedule	1.23	1.08	1.00	1.04	1.10	

# Le modèle COCOMO intermédiaire

34

## □ Facteurs multiplicatifs

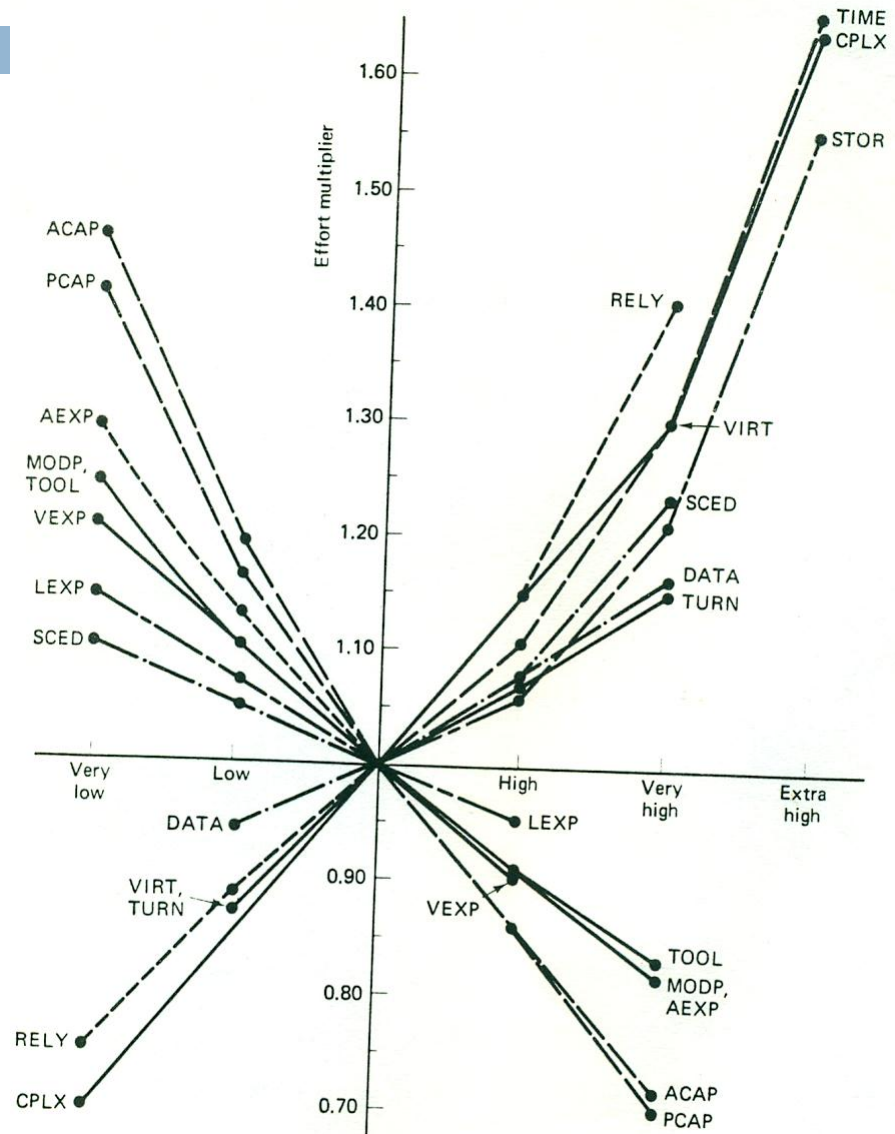


FIGURE 8-2 Intermediate COCOMO effort multipliers

# Le modèle COCOMO intermédiaire

35

## □ Evaluation

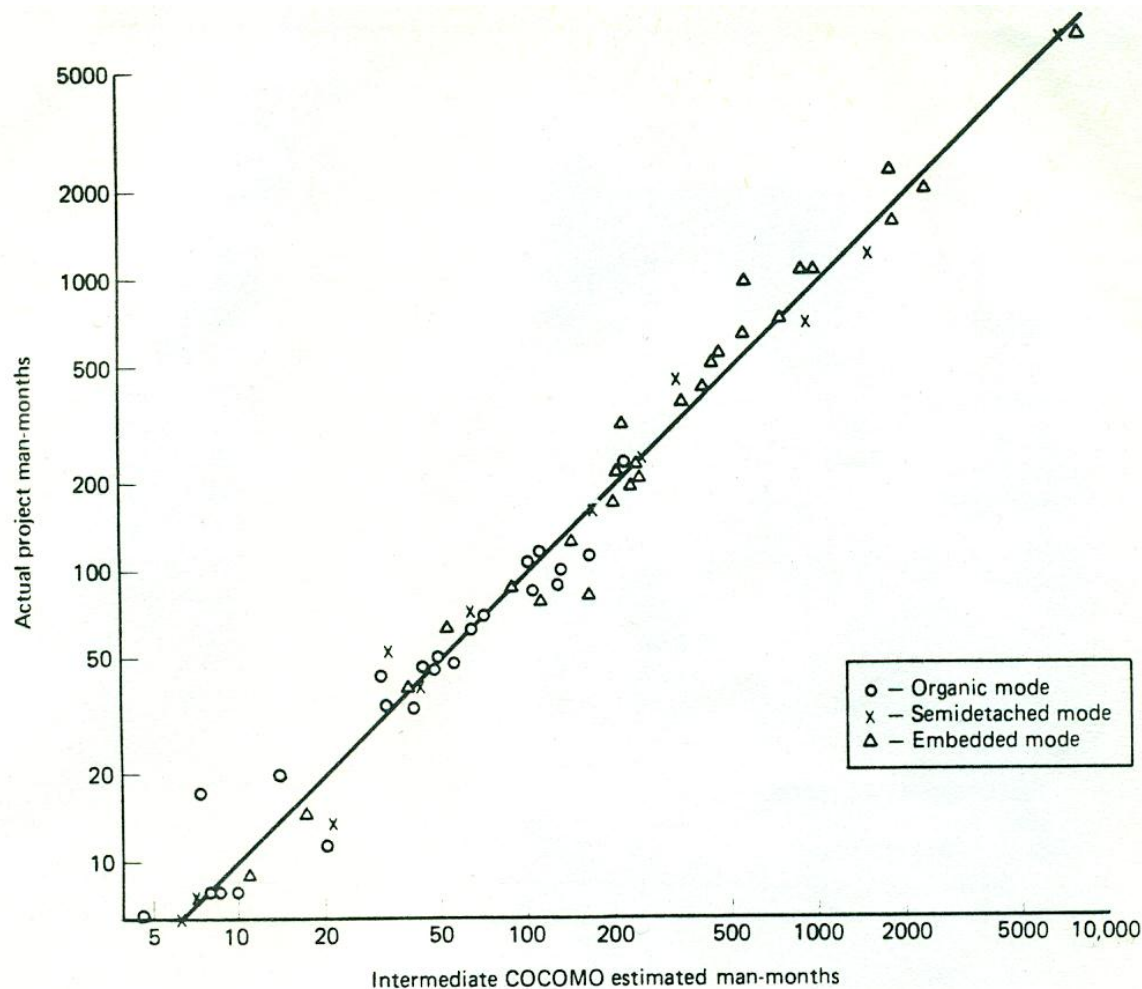


FIGURE 8-3 Intermediate COCOMO estimates vs. project actuals

# Le modèle COCOMO intermédiaire

36

## □ Evaluation

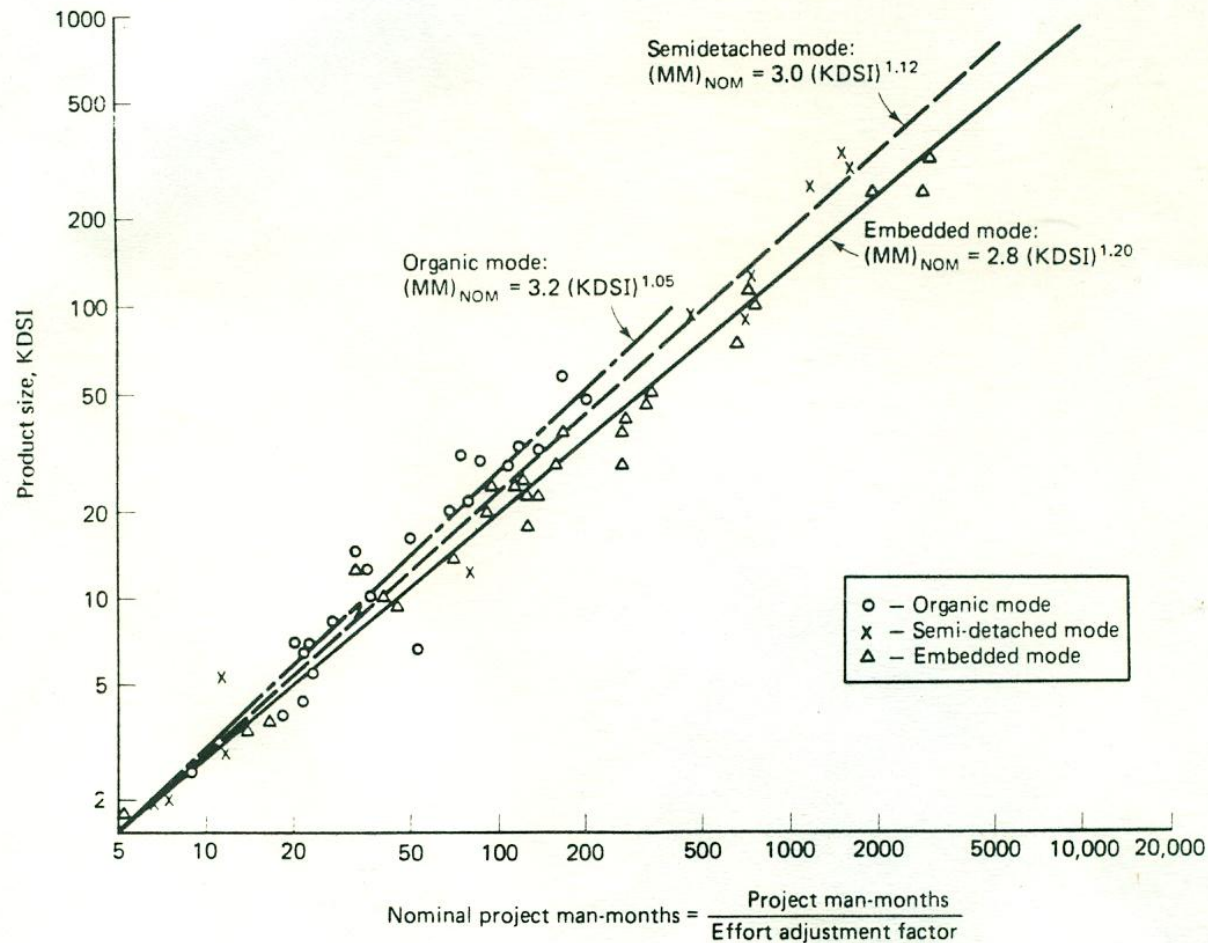


FIGURE 8-4 Intermediate COCOMO nominal effort equations versus project data

# COCOMO II

37

- Conçu pour prendre en compte les techniques modernes de modélisation, de programmation
- Utilise la notion de points de fonction
  - ▣ [http://en.wikipedia.org/wiki/Function\\_point](http://en.wikipedia.org/wiki/Function_point)
  - ▣ <http://www.devdaily.com/FunctionPoints/>
- [http://csse.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo2000.0/CII\\_modelman2000.0.pdf](http://csse.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo2000.0/CII_modelman2000.0.pdf)

FIN DE LA 3<sup>ème</sup> PARTIE