

**CALAGE DES MODELES DE FLUX POLLUANTS :
Combien d'événements pluvieux faut-il mesurer ?
Quelles conséquences pratiques ?**

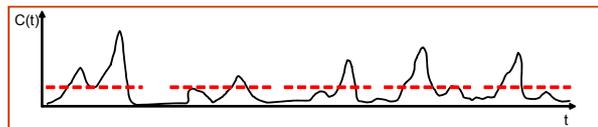
Jean-Luc BERTRAND KRAJEWSKI, INSA LGCIE

UTILISATION DES MCFP

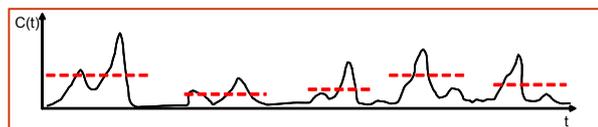
- **MCFP** : Modèles de Calcul des Flux Polluants des rejets urbains de temps de pluie
- Apparus dans les années 1970
- Grande diversité des approches
- Logiciels commerciaux
 - communication sur les capacités des MCFP pour résoudre des questions opérationnelles
 - moins de communication sur les conditions d'application notamment calage, vérification, données nécessaires...

TYPES DE MCFP

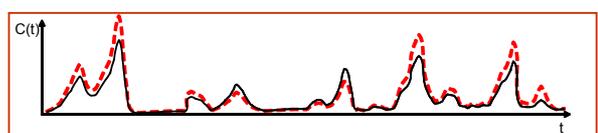
- **SMC**
concentration moyenne du BV



- **EMC - régression**
concentration moyenne événementielle

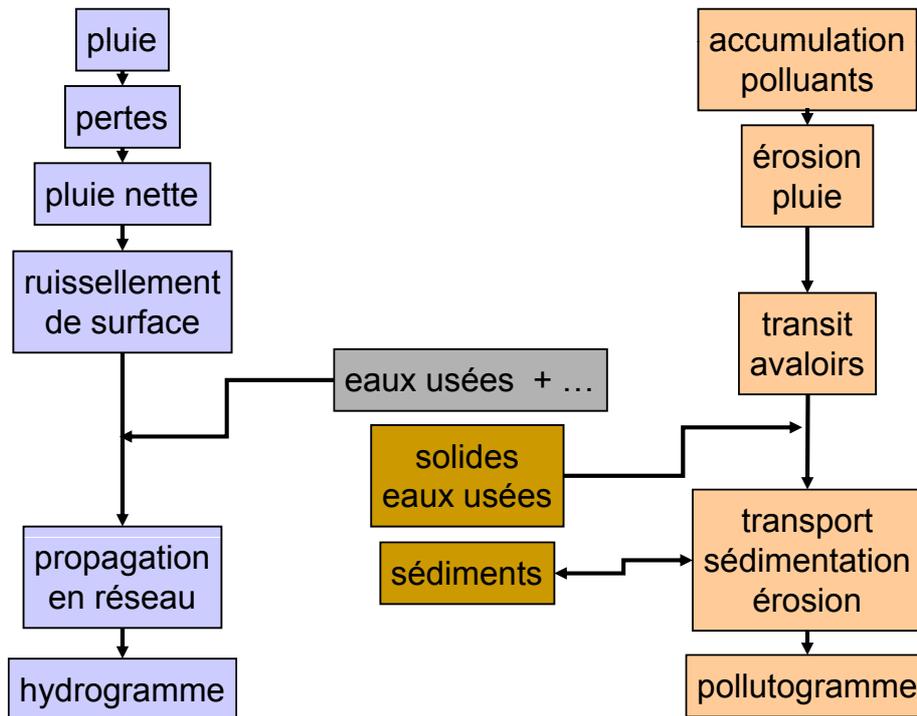


- **BWT - détaillé**
accumulation
+ érosion + transferts

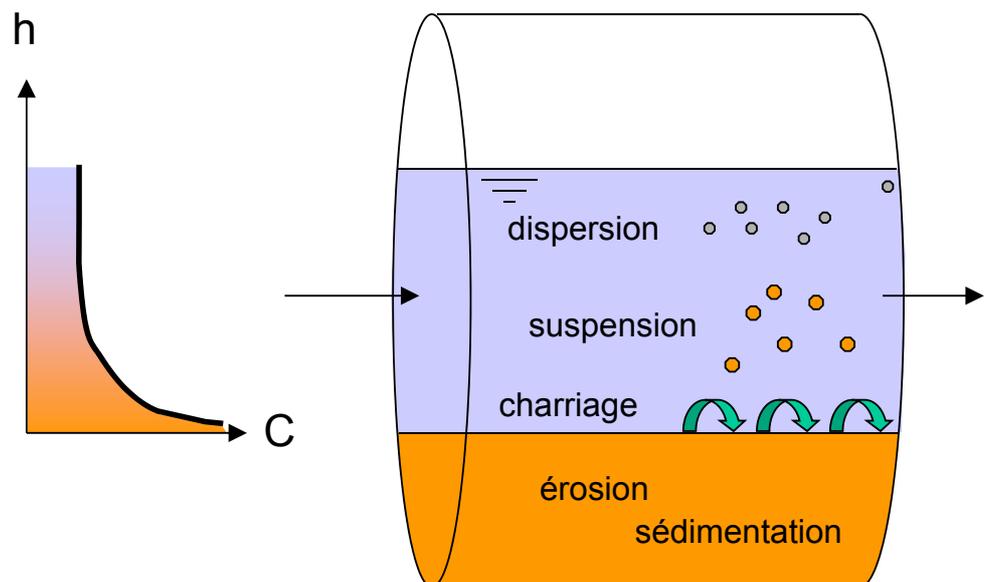


Quels besoins opérationnels ?

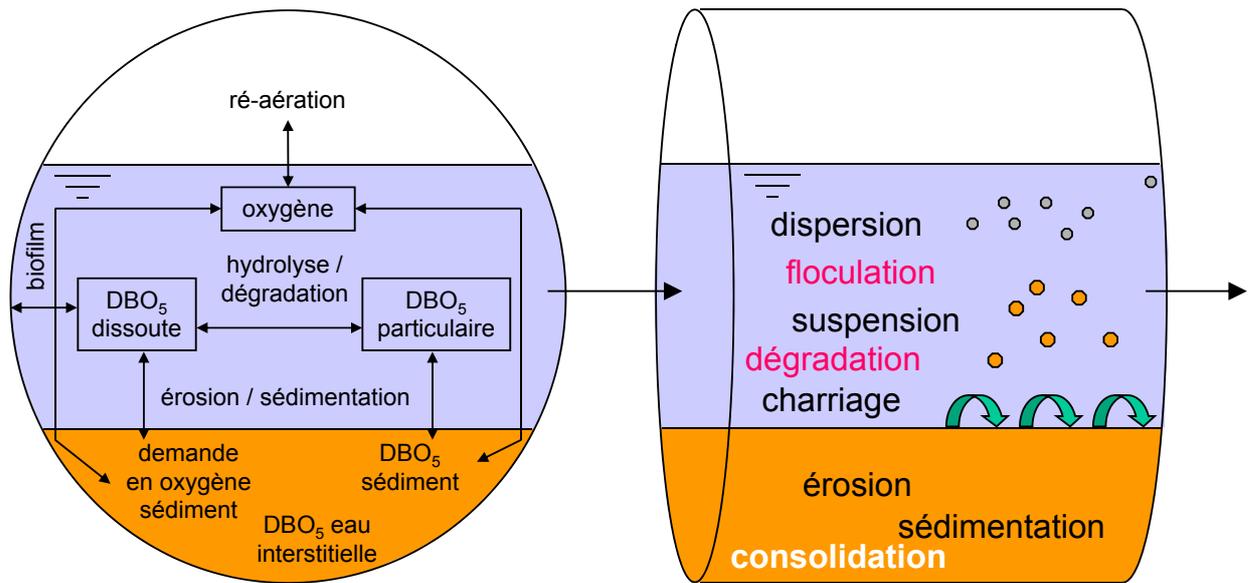
MODELE BWT CONCEPTUEL 'SIMPLE'



MODELE BWT : TRANSPORT SOLIDE



MODELE BWT : RESEAU = REACTEUR



processus relatifs à la DBO₅

adapted from Garsdal *et al.* (1995)

UTILISATION DES MCFP

- Encore assez limitée par les gestionnaires
 - diversité des équations
 - complexité des modèles
 - nécessité de données expérimentales pour le calage et la vérification
 - coûts d'acquisition des données
 - formation des utilisateurs
 - faible demande réglementaire ou institutionnelle
- Usages des MCFP
 - calculs de flux, diagnostic permanent, dimensionnement, études, impacts, scénarios gestion, approche intégrée...

OBJECTIFS

- Calage indispensable pour TOUS les MCFP
- 2 questions opérationnelles :
 - combien d'événements pour caler un MCFP ?
 - conséquences pratiques ? exemple dimensionnement
- Exemples avec des modèles simples
 - modèle EMC : régression
 - modèle BWT : modèle détaillé 'standard'
 - calage sur les concentrations (pas sur les masses)

MODELES EMC : EXEMPLE 1

$$C = a H^b I_{\max 5}^c DTS^d$$

$$M = CV$$

DONNEES EXPERIMENTALES

n°	C (mg MES/L)	H (mm)	<i>l</i> _{max 5} (mm/h)	DTS (h)
1	834	3.2	2.4	141.2
2	602	3.4	3.2	374.2
3	707	4.6	8.8	7.3
4	625	4.0	5.2	11.0
5	288	6.4	3.2	16.4
6	410	6.0	3.2	48.3
7	402	4.8	3.2	44.0
8	914	15.0	6.4	48.0
9	632	3.4	4.8	26.6
10	399	3.0	3.2	0.6
11	743	3.6	4.8	43.5
12	474	2.8	2.4	56.0
13	331	4.6	4.0	0.7
14	625	5.2	10.4	14.8
15	548	10.6	2.4	21.6
16	508	5.6	4.8	86.1
17	1760	14.0	31.2	30.1

CALAGE 1

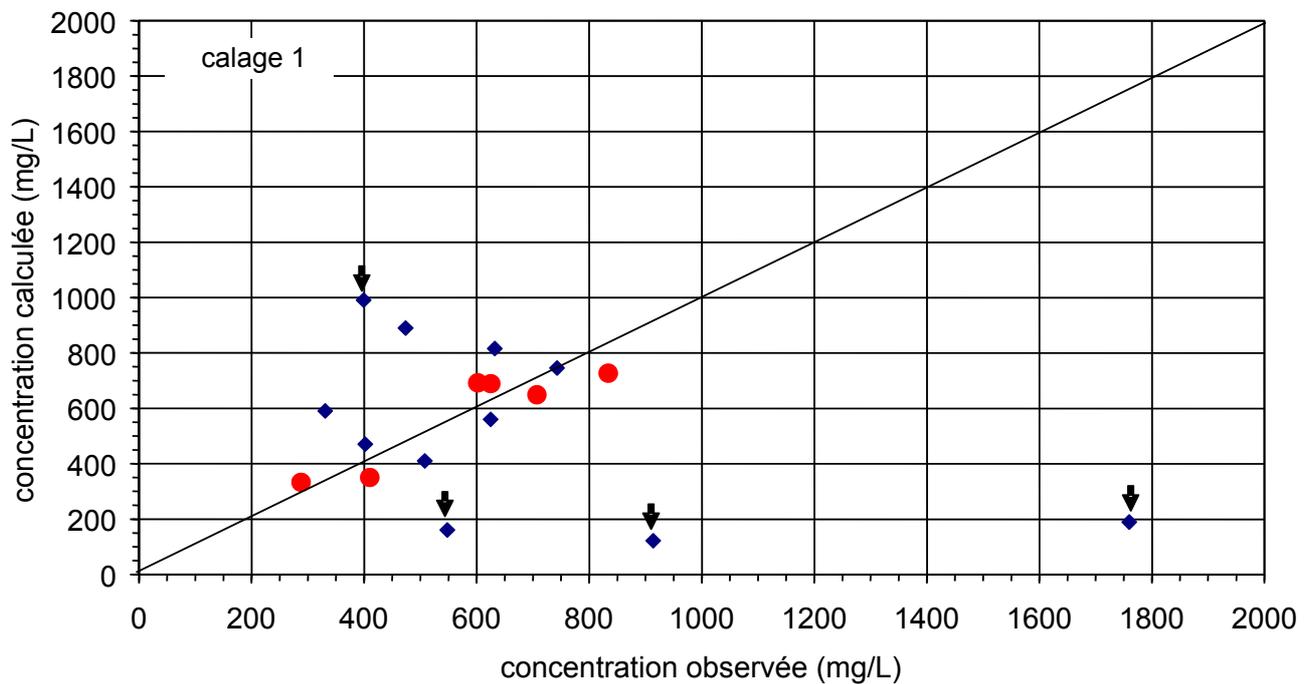
n°	C (mg MES/L)	H (mm)	<i>l</i> _{max 5} (mm/h)	DTS (h)
1	834	3.2	2.4	141.2
2	602	3.4	3.2	374.2
3	707	4.6	8.8	7.3
4	625	4.0	5.2	11.0
5	288	6.4	3.2	16.4
6	410	6.0	3.2	48.3
7	402	4.8	3.2	44.0
8	914	15.0	6.4	48.0
9	632	3.4	4.8	26.6
10	399	3.0	3.2	0.6
11	743	3.6	4.8	43.5
12	474	2.8	2.4	56.0
13	331	4.6	4.0	0.7
14	625	5.2	10.4	14.8
15	548	10.6	2.4	21.6
16	508	5.6	4.8	86.1
17	1760	14.0	31.2	30.1

CALAGE 1

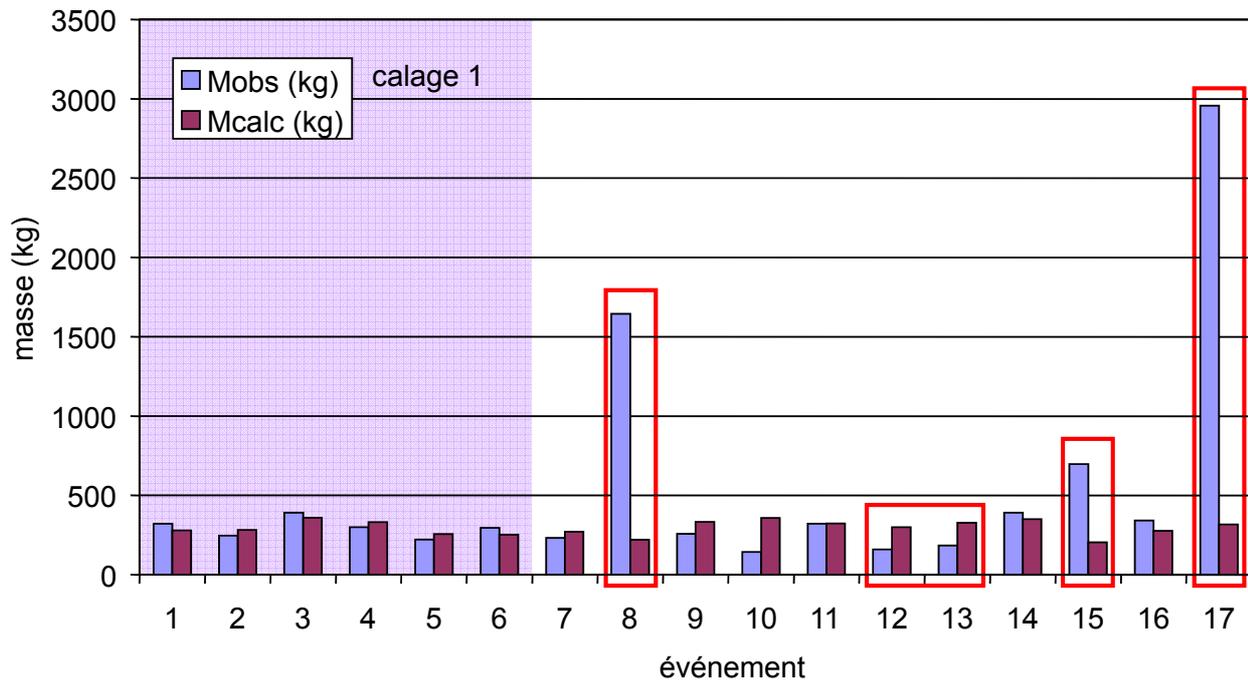
a
3220.160
b
-1.308
c
0.209
d
-0.030

- avec solveur Excel®
- régression multi-linéaire

CALAGE 1



CALAGE 1



CALAGE 2

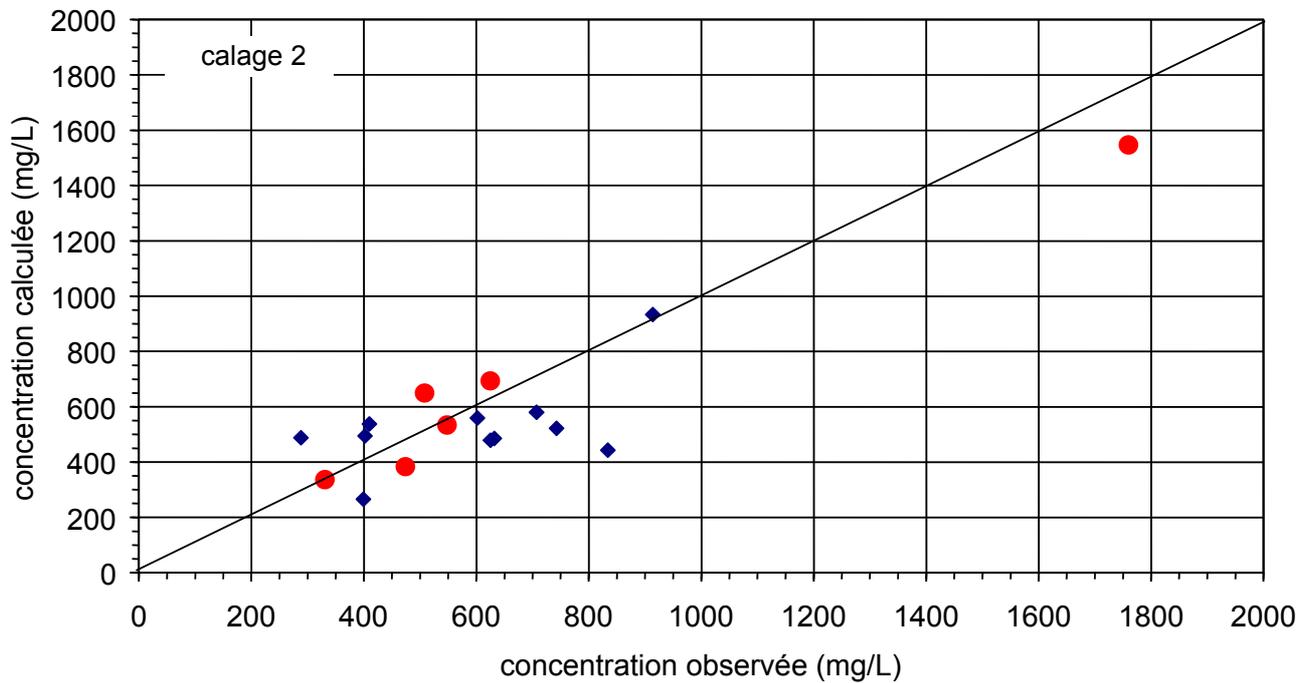
n°	C (mg MES/L)	H (mm)	<i>l</i> _{max 5} (mm/h)	DTS (h)
1	834	3.2	2.4	141.2
2	602	3.4	3.2	374.2
3	707	4.6	8.8	7.3
4	625	4.0	5.2	11.0
5	288	6.4	3.2	16.4
6	410	6.0	3.2	48.3
7	402	4.8	3.2	44.0
8	914	15.0	6.4	48.0
9	632	3.4	4.8	26.6
10	399	3.0	3.2	0.6
11	743	3.6	4.8	43.5
12	474	2.8	2.4	56.0
13	331	4.6	4.0	0.7
14	625	5.2	10.4	14.8
15	548	10.6	2.4	21.6
16	508	5.6	4.8	86.1
17	1760	14.0	31.2	30.1

CALAGES 1 et 2

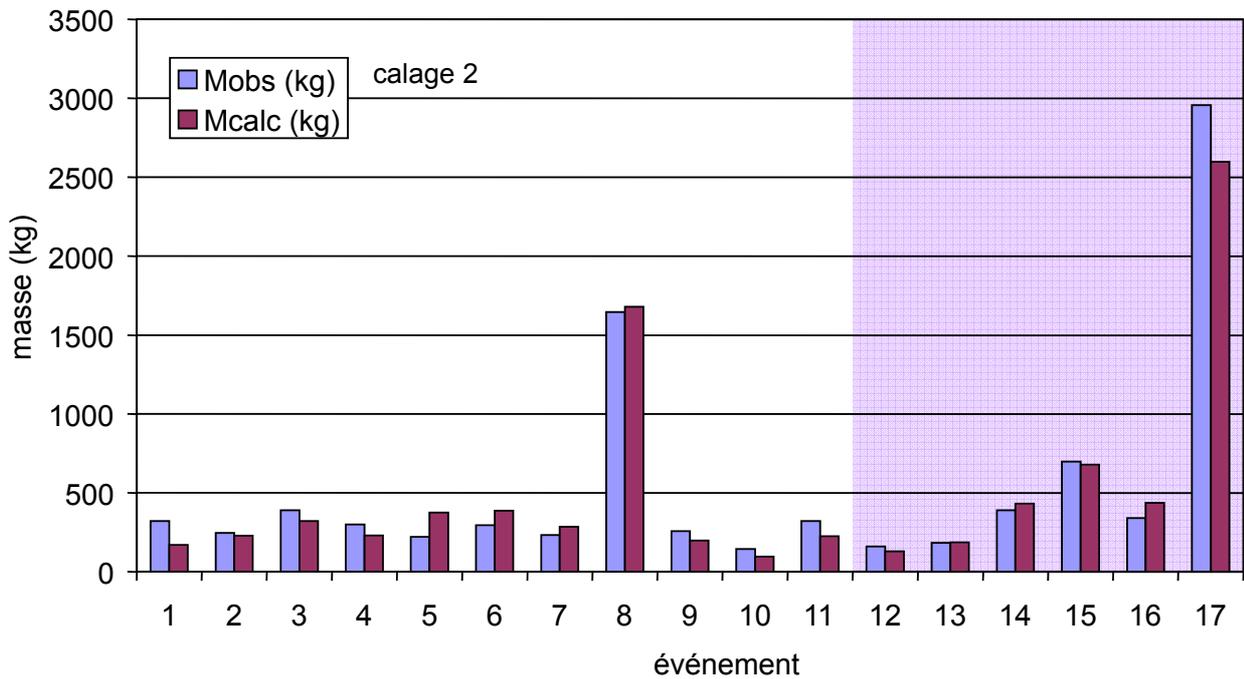
a
3220.160
b
-1.308
c
0.209
d
-0.030

a
128.234
b
0.326
c
0.365
d
0.110

CALAGE 2



CALAGE 2



CALAGE 3

n°	C (mg MES/L)	H (mm)	<i>l</i> _{max 5} (mm/h)	DTS (h)
1	834	3.2	2.4	141.2
2	602	3.4	3.2	374.2
3	707	4.6	8.8	7.3
4	625	4.0	5.2	11.0
5	288	6.4	3.2	16.4
6	410	6.0	3.2	48.3
7	402	4.8	3.2	44.0
8	914	15.0	6.4	48.0
9	632	3.4	4.8	26.6
10	399	3.0	3.2	0.6
11	743	3.6	4.8	43.5
12	474	2.8	2.4	56.0
13	331	4.6	4.0	0.7
14	625	5.2	10.4	14.8
15	548	10.6	2.4	21.6
16	508	5.6	4.8	86.1
17	1760	14.0	31.2	30.1

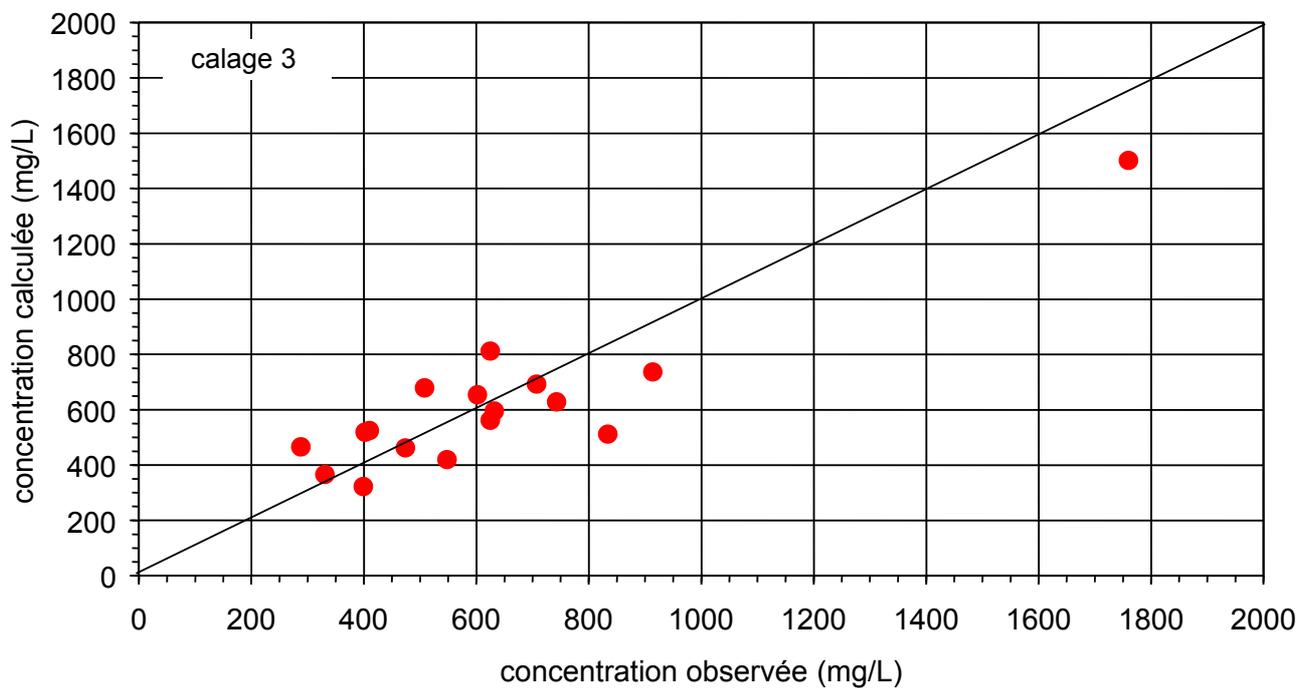
CALAGES 1, 2 et 3

a
3220.160
b
-1.308
c
0.209
d
-0.030

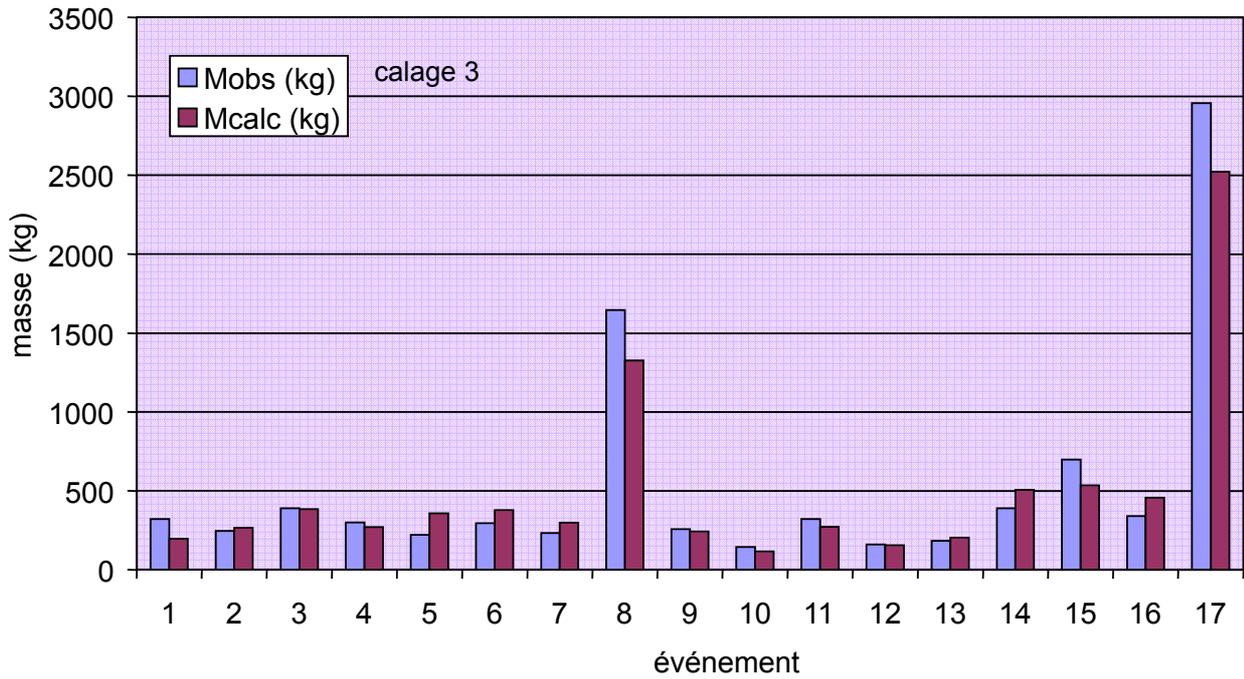
a
128.234
b
0.326
c
0.365
d
0.110

a
193.337
b
0.006
c
0.482
d
0.110

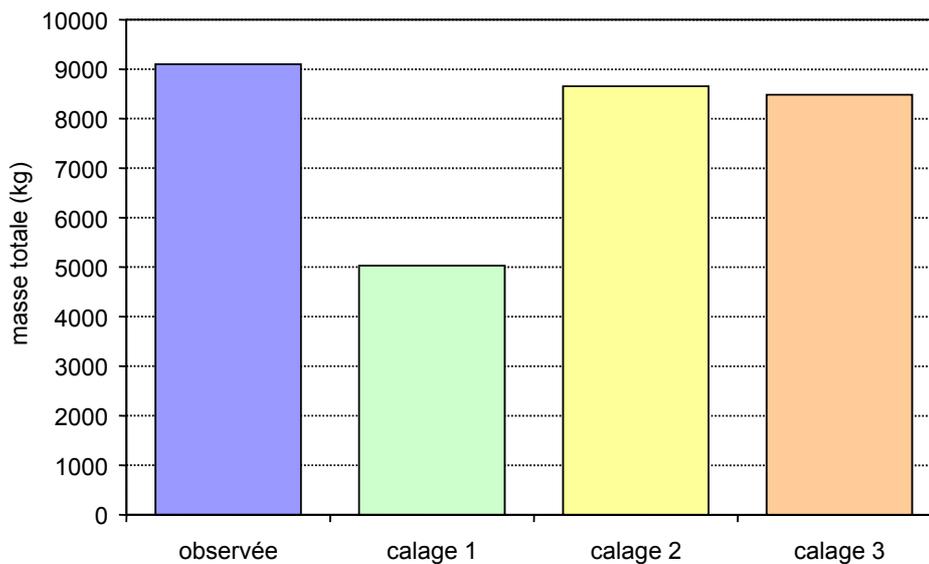
CALAGE 3



CALAGE 3



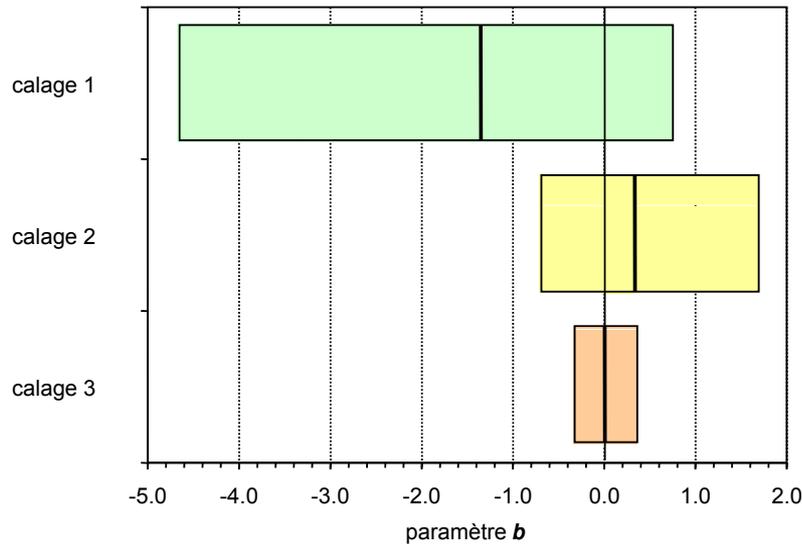
MASSES TOTALES



	masse tot. (kg)
observée	9099
calage 1	5032
calage 2	8656
calage 3	8485

INCERTITUDES

paramètre b	min	moy.	max
calage 1	-3.359	-1.308	0.743
calage 2	-0.703	0.326	1.355
calage 3	-0.332	0.006	0.345



VERIFICATION

- *Stricto sensu* la validation est impossible
 - reproduire n'est pas expliquer
 - « prédire n'est pas expliquer »

R. Thom (1993)



- **Vérification**, au lieu de validation
- Extrapolation ? Prédiction ? **Attention**
« extension abusive du domaine d'application »
(J.-M. Legay, 1997)

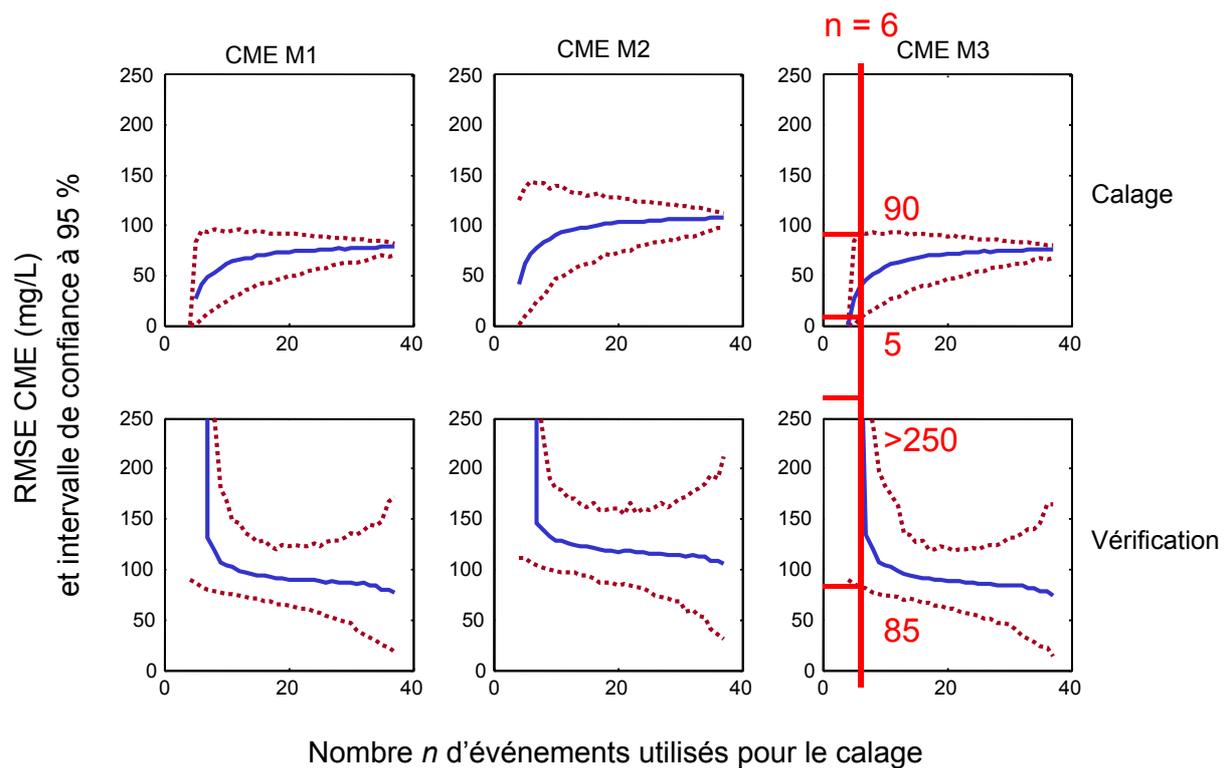
MODELES EMC : EXEMPLE 2

$$M1 \quad C = a DTS^b I_{\max 5}^c V_r^{d-1}$$

$$M2 \quad C = a H^b D^c V_r^{-1}$$

$$M3 \quad C = a H^b I_{\max 5}^c DTS^d$$

RESULTATS



BESOINS OPERATIONNELS

- Objectif : dimensionnement d'un bassin de retenue
- Critère : efficacité d'interception IE
- Etude de cas virtuelle : BV du Marais, Paris
- Comparaison de 3 modèles
 - modèle hydraulique
 - modèle EMC (modèle M3)
 - modèle BWT standard

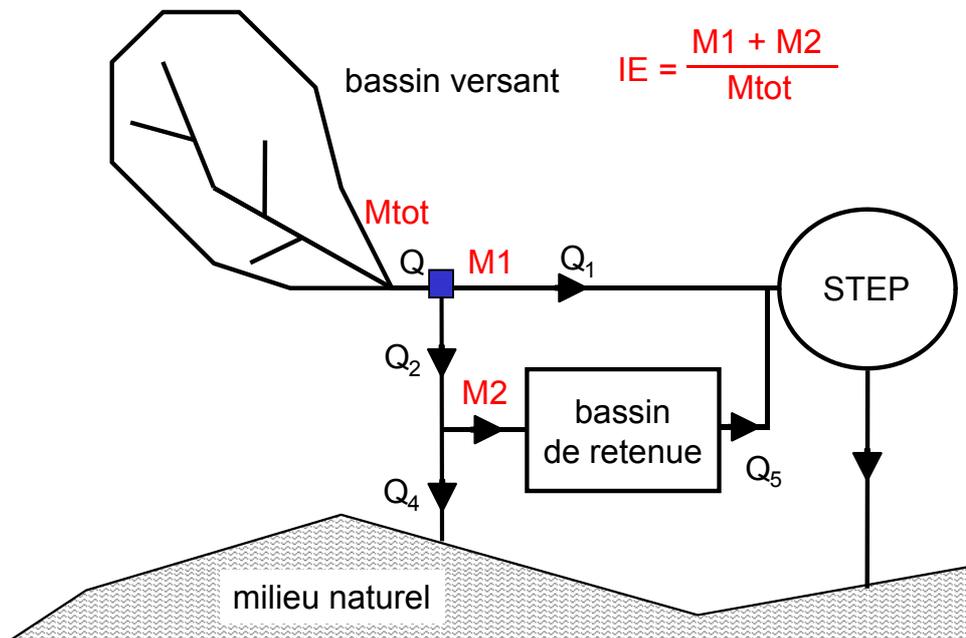
MODELES EMC ET BWT

Accumulation $Ma(t) = \frac{ACCU}{DISP} \cdot C_{imp} \cdot A \cdot \left(1 - e^{-DISP \cdot t}\right) + MR \cdot e^{-DISP \cdot t}$

Erosion surface BV $Me(t, t + \Delta t) = Md(t) \cdot \left(1 - e^{-\alpha_1 \left(\frac{Q}{\alpha_2 \cdot A \cdot C_{imp}}\right)^{\alpha_3} \cdot \Delta t}\right)$

Transport solide $C_v^* = j \cdot \left(\frac{W_e \cdot R}{A}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{d_{50}}{R}\right)^\beta \cdot \lambda_c^\gamma \cdot \left(\frac{|u|}{\sqrt{g \cdot (s-1) \cdot R}} - K \cdot \lambda_c^\delta \cdot \left(\frac{d_{50}}{R}\right)^\varepsilon\right)^m$

DIMENSIONNEMENT BASSIN



RESULTATS

3 ans, 542 événements simulés, IE = 90 %

calage		n = 5 événements			n = 10 événements			n = 35 événements		
		min	moy	max	min	moy	max	min	moy	min
hydraulique	année 1	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	année 2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
	année 3	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
	tout	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
EMC	année 1	0.0	13.8	44.9	0.0	14.5	23.9	12.8	15.1	17.3
	année 2	0.0	22.0	72.6	4.4	22.4	41.6	20.7	22.9	25.1
	année 3	0.0	17.2	116.9	0.0	17.2	43.4	14.4	17.7	20.9
	tout	0.0	19.9	73.2	0.0	20.2	39.4	18.2	20.7	23.1
BWT	année 1	20.8	24.8	41.0	21.3	25.1	40.1	22.2	24.6	33.8
	année 2	22.3	27.3	40.0	22.7	28.0	40.2	23.6	27.0	35.7
	année 3	18.8	22.7	40.2	19.2	22.9	41.1	19.9	22.3	31.0
	tout	21.6	26.2	41.9	22.0	27.1	42.0	22.9	25.6	36.2

67 événements mesurés - EMC : 1000 calages - BWT : 200 calages

RESULTATS

3 ans, 542 événements simulés, IE = 90 %

calage		n = 5 événements			n = 10 événements			n = 35 événements		
		min	moy	max	min	moy	max	min	moy	min
hydraulique	année 1	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	année 2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
	année 3	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
	tout	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
EMC	année 1	0.0	13.8	44.9	0.0	14.5	23.9	12.8	15.1	17.3
	année 2	0.0	22.0	72.6	4.4	22.4	41.6	20.7	22.9	25.1
	année 3	0.0	17.2	116.9	0.0	17.2	43.4	14.4	17.7	20.9
	tout	0.0	19.9	73.2	0.0	20.2	39.4	18.2	20.7	23.1
BWT	année 1	20.8	24.8	41.0	21.3	25.1	40.1	22.2	24.6	33.8
	année 2	22.3	27.3	40.0	22.7	28.0	40.2	23.6	27.0	35.7
	année 3	18.8	22.7	40.2	19.2	22.9	41.1	19.9	22.3	31.0
	tout	21.6	26.2	41.9	22.0	27.1	42.0	22.9	25.6	36.2

RESULTATS

3 ans, 542 événements simulés, IE = 90 %

calage		n = 5 événements			n = 10 événements			n = 35 événements		
		min	moy	max	min	moy	max	min	moy	min
hydraulique	année 1	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	année 2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
	année 3	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
	tout	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
EMC	année 1	0.0	13.8	44.9	0.0	14.5	23.9	12.8	15.1	17.3
	année 2	0.0	22.0	72.6	4.4	22.4	41.6	20.7	22.9	25.1
	année 3	0.0	17.2	116.9	0.0	17.2	43.4	14.4	17.7	20.9
	tout	0.0	19.9	73.2	0.0	20.2	39.4	18.2	20.7	23.1
BWT	année 1	20.8	24.8	41.0	21.3	25.1	40.1	22.2	24.6	33.8
	année 2	22.3	27.3	40.0	22.7	28.0	40.2	23.6	27.0	35.7
	année 3	18.8	22.7	40.2	19.2	22.9	41.1	19.9	22.3	31.0
	tout	21.6	26.2	41.9	22.0	27.1	42.0	22.9	25.6	36.2

RESULTATS

3 ans, 542 événements simulés, IE = 90 %

calage		n = 5 événements			n = 10 événements			n = 35 événements		
		min	moy	max	min	moy	max	min	moy	min
hydraulique	année 1	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	année 2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
	année 3	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
	tout	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
EMC	année 1	0.0	13.8	44.9	0.0	14.5	23.9	12.8	15.1	17.3
	année 2	0.0	22.0	72.6	4.4	22.4	41.6	20.7	22.9	25.1
	année 3	0.0	17.2	116.9	0.0	17.2	43.4	14.4	17.7	20.9
	tout	0.0	19.9	73.2	0.0	20.2	39.4	18.2	20.7	23.1
BWT	année 1	20.8	24.8	41.0	21.3	25.1	40.1	22.2	24.6	33.8
	année 2	22.3	27.3	40.0	22.7	28.0	40.2	23.6	27.0	35.7
	année 3	18.8	22.7	40.2	19.2	22.9	41.1	19.9	22.3	31.0
	tout	21.6	26.2	41.9	22.0	27.1	42.0	22.9	25.6	36.2

RESULTATS

3 ans, 542 événements simulés, IE = 90 %

calage		n = 5 événements			n = 10 événements			n = 35 événements		
		min	moy	max	min	moy	max	min	moy	min
hydraulique	année 1	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	année 2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
	année 3	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
	tout	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
EMC	année 1	0.0	13.8	44.9	0.0	14.5	23.9	12.8	15.1	17.3
	année 2	0.0	22.0	72.6	4.4	22.4	41.6	20.7	22.9	25.1
	année 3	0.0	17.2	116.9	0.0	17.2	43.4	14.4	17.7	20.9
	tout	0.0	19.9	73.2	0.0	20.2	39.4	18.2	20.7	23.1
BWT	année 1	20.8	24.8	41.0	21.3	25.1	40.1	22.2	24.6	33.8
	année 2	22.3	27.3	40.0	22.7	28.0	40.2	23.6	27.0	35.7
	année 3	18.8	22.7	40.2	19.2	22.9	41.1	19.9	22.3	31.0
	tout	21.6	26.2	41.9	22.0	27.1	42.0	22.9	25.6	36.2

CONCLUSIONS

- Calage et vérification **indispensables**
- **Dépendance** aux données (nombre, représentativité)
- Reproduire n'est pas expliquer

- Minimum 15-20 événements pour un calage
- Choix des événements :
 - diversité des événements et des contextes
(durée, hauteur, intensité, concentrations, DTS, saison, etc.)

- Conséquences opérationnelles