
Analyse des incertitudes générées par les méthodes basées sur les séparations d'hydrogramme (HS et HSM)

Dans ce chapitre, deux méthodes basées sur la séparation d'hydrogramme sont testées : i) la méthode basée sur une régression linéaire multiple à partir des deux composantes, débit de base et ruissellement, (méthode de séparation d'hydrogramme HS) ; ii) la méthode précédente modifiée par l'ajout d'un module quadratique dépendant uniquement du ruissellement, (méthode de séparation d'hydrogramme modifié HSM).

L'analyse des erreurs interannuelles à un intervalle d'échantillonnage mensuel est présentée en fonction des types de matériaux (SDT, nutriments dissous et totaux, MES) (§ 5.1). L'apport du module quadratique (HSM) est ensuite évalué par type de matériaux (§5.2). La distribution des erreurs est finalement reliée à divers descripteurs de la variabilité hydrologique ($M_{2\%}$, $W_{2\%}$), hydrochimique (b_{50sup}) et hydrosédimentaire (types de relation C-Q). L'influence de l'intervalle d'échantillonnage est testée pour des intervalles de 3 à 30 jours (§5.4). L'ensemble de ces investigations permet ainsi de conclure sur les conditions d'utilisation optimales des méthodes de séparation d'hydrogramme (HS et HSM) (§ 5.5).

5.1 Distribution des incertitudes pour un intervalle d'échantillonnage mensuel de surveillance par type de matériaux (Méthode HS)

La méthode de séparation d'hydrogramme (HS) simule une concentration constante dans chaque composante de l'écoulement. La figure 5-1 présente la distribution des biais interannuels sur l'estimation des flux annuels pour un intervalle d'échantillonnage mensuel de quatre matériaux fluviaux : SDT, Nutriments dissous et totaux et MES.

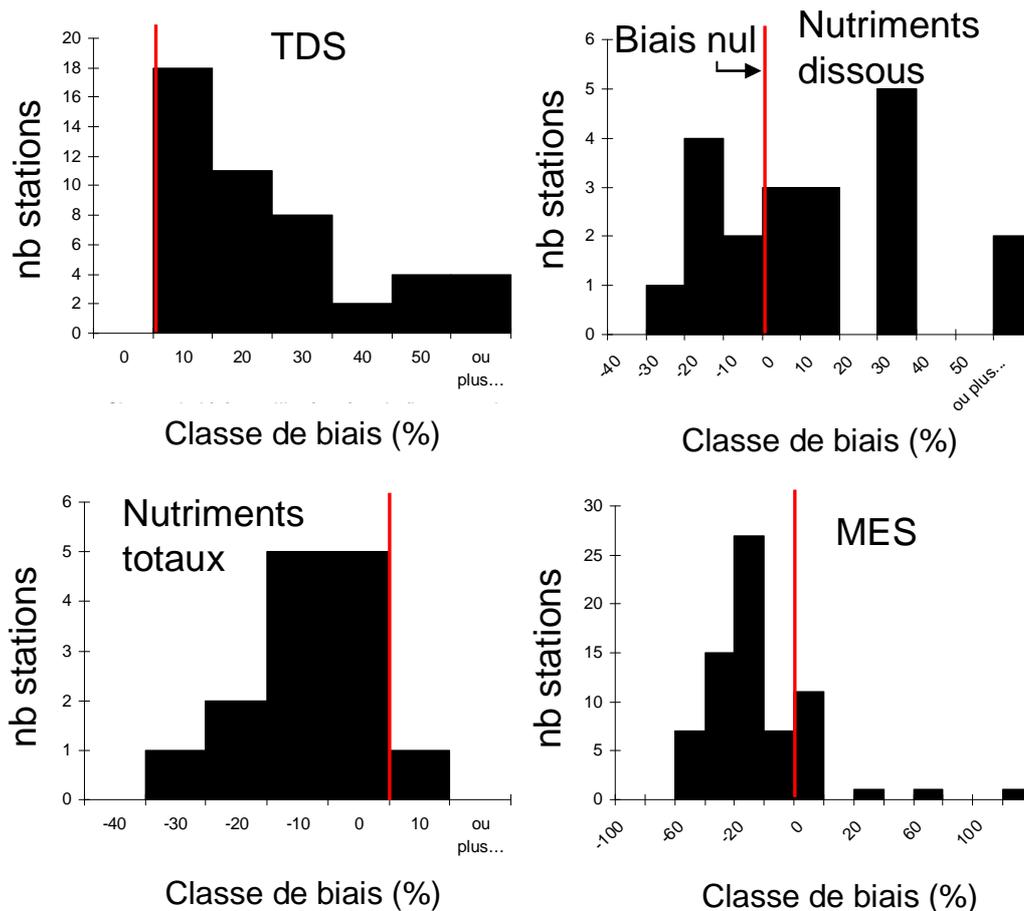


Figure 5-1: Distribution des biais interannuels de la méthode HS sur l'estimation du flux de SDT, nutriments dissous, nutriments totaux et MES à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour l'ensemble des stations.

On observe une surestimation générale du flux de SDT. La nature des biais obtenus sur l'estimation du flux de nutriments dissous est variable selon les stations. Les flux annuels de nutriments totaux et MES sont quant à eux fortement sous-estimés.

5.1.1 Incertitudes interannuelles sur les flux annuels de MES

Les caractéristiques des incertitudes interannuelles sont détaillées dans le tableau 5-1. Les stations sont classées par $M_{2\%}$ croissant. Sont présentés également les BFI (Base Flow index) calculés pour chaque séparation d'hydrogramme à partir des débits en continu et le coefficient de détermination moyen (r^2) calculé à partir des régressions C-Q établies pour chacune des simulations ($n=50$).

Tableau 5-1: Incertitudes interannuelles sur les flux de MES générées par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel.

Site	Min	Max	e10	e90	e50	Imprécisions	M _{2%}	W _{2%}	b _{50sup}	Typologie	BFI	r ²
Missouri à Culbertson, MT	-45	89	-36	51	-12	87	16	6	1.36	c-C	0.75	0.10
Rhin à Maxau, Germany	-32	51	-23	26	-9	49	16	5	1.13	c-C	0.75	0.29
Seine à Poses, France	-41	14	-34	-4	-25	29	16	7	1.06	c-C	0.75	0.15
Oise à Mery, France	-52	12	-37	-3	-21	34	17	8	0.67	c-C	0.75	0.19
charente, France	-28	142	-18	61	-3	79	18	11	-0.15	c-D	0.675	0.03
Tennessee à Paducah, KY	-70	228	-61	125	-31	186	21	10	0.69	c-C	0.725	0.15
Marne à Neuilly, France	-51	33	-40	5	-26	46	22	8	1.07	c-C	0.65	0.25
Sacramento à Freeport, CA	-58	80	-47	45	-20	92	23	7	0.91	c-C	0.725	0.27
Des Moines à Saylorville, IA	-66	20	-55	-2	-31	52	23	12	0.54	c-C	0.425	0.15
Mississippi R à St Louis, MO	-69	183	-35	29	-3	64	23	9	1.20	c-C	0.725	0.14
Mississippi à Anoka, MN	-57	72	-48	41	-19	90	23	9	1.20	s-C	0.7	0.15
Isle, France	-51	16	-42	-6	-28	36	24	12	0.66	c-C	0.625	0.08
Seine à Choisy, France	-58	2	-44	-11	-28	33	25	7	1.45	s-C	0.7	0.25
Green R à Green , UT	-67	126	-49	49	-19	98	25	11	0.67	c-C	0.65	0.08
Iowa à Wappelo, IA	-59	161	-44	60	-10	104	26	9	0.55	c-C	0.525	0.07
Rio Grande à Otowi Bridge, NM	-65	215	-44	121	-6	165	26	12	0.33	c-C	0.675	0.11
Minnesota R à Mankato, OH	-62	1447	-49	13	-25	62	27	15	0.35	c-C	0.35	0.12
Tennessee à Savannah, TN	-72	101	-55	68	-24	123	28	10	0.91	c-C	0.7	0.11
Scioto à Chillicothe, OH	-70	19	-54	-10	-33	44	28	12	0.90	c-C	0.45	0.12
Columbia à Vancouver, WA	-69	459	-64	87	-5	151	30	6	1.70	c-C	0.725	0.12
Iowa à Wappelo, IA	-64	129	-46	33	-19	79	32	8	0.32	c-C	0.65	0.16
Green R nr Jensen , UT	-80	226	-51	83	-8	134	34	11	1.12	c-C	0.625	0.13
Dordogne, France	-76	134	-65	39	-37	104	35	8	1.46	c-C	0.725	0.10
Garonne, France	-67	68	-54	6	-31	60	35	8	1.83	c-C	0.7	0.16
Tradewater à Olney, KY	-66	10	-54	-16	-39	38	35	18	0.68	c-C	0.2	0.14
Green à Mudfordville, KY	-56	32	-41	-1	-23	40	36	14	0.84	c-C	0.3	0.18
Brazos à Richmond, TX	-70	51	-59	1	-42	60	36	15	0.97	c-C	0.5	0.24
Arkansas à Las Animas, CO	-75	167	-47	50	-6	97	37	14	0.61	c-C	0.6	0.13
Little Black à Success, MO	-62	363	-43	81	-8	124	38	20	-0.10	s-S	0.375	0.01
East Fork White R à Seymour, IN	-63	26	-46	1	-24	47	39	16	0.58	c-C	0.425	0.15
Tennessee Chattanooga, TN	-56	129	-39	72	-19	111	39	11	1.21	c-C	0.7	0.19
Cuyahoga Independence, OH	-60	64	-45	10	-22	55	41	10	0.97	c-C	0.5	0.18
Cuyahoga Old Portage, OH	-71	50	-51	11	-22	63	41	10	0.97	c-C	0.575	0.23
Sandusky nr Fremont, OH	-77	51	-63	-3	-46	60	42	19	0.81	c-C	0.3	0.13
San Juan R à Shiprock, NM	-78	212	-54	127	-2	180	43	11	0.35	c-C	0.65	0.12
Garonne94, France	-74	53	-66	9	-37	75	44	10	1.83	c-C	0.7	0.11
Maumee à Waterville, OH	14	133	20	90	49	70	44	19	0.84	s-C	0.375	0.03
Dan à Paces, VA	-58	30	-48	-1	-29	47	47	15	1.16	c-C	0.625	0.28
Arkansas R à Arkansas city, KS	-64	62	-50	-8	-35	42	47	24	0.91	c-C	0.45	0.24
River Raisin à Monroe, MI	-76	50	-63	-12	-44	51	49	15	0.92	s-C	0.5	0.14
Grand à Painesville, OH	-78	46	-63	-14	-43	49	49	17	0.99	s-C	0.25	0.17
Grand à Painesville, OH	-83	40	-72	-7	-45	65	49	17	0.99	s-C	0.25	0.09
Gave, France	-77	165	-62	42	-25	104	49	9	2.07	c-C	0.7	0.42
Isere, France	-86	209	-71	83	-8	154	51	6	2.81	c-C	0.75	0.09
Delaware à Trenton, NJ	-74	176	-56	27	-24	83	55	10	1.38	c-C	0.65	0.25
Conococheague C à Fairview, MD	-73	67	-53	3	-28	56	55	16	1.11	c-C	0.525	0.24
Fisher à Libby, MT	-90	337	-81	76	-45	157	56	13	1.30	c-C	0.4	0.16
Juniata R à Newport, PA	-78	26	-62	-8	-38	53	57	15	1.24	c-C	0.575	0.22
Muddy C nr Vaughn, MT	-99	60	-72	13	-28	85	59	11	1.35	s-C	0.7	0.27
Mad à Arcata, CA	-88	-27	-81	-47	-67	35	59	22	1.36	c-C	0.35	0.15
Coal à Alum Creek, AZ	-85	61	-73	-9	-49	63	61	20	1.29	c-C	0.375	0.28
Trinity à Hoopa, CA	-87	151	-78	33	-53	111	62	21	1.47	c-C	0.5	0.18
Siuslaw à Mapleton, OR	-90	52	-80	-17	-48	63	62	17	1.13	c-C	0.45	0.22
Feåher à Gridley, CA	-91	185	-78	84	13	162	63	18	0.85	c-C	0.7	0.04
Pembina R à Walhalla, ND	-80	113	-71	-6	-51	65	64	32	0.93	s-C	0.2	0.16
Eel à Fort seward, CA	-88	-15	-80	-43	-68	37	65	28	1.44	c-C	0.15	0.17
Rappahannock R à Remington, VA	-79	60	-68	-8	-43	60	66	19	1.35	c-C	0.45	0.19
Brandywine creek à Chadds ford, PA	-73	107	-56	-5	-39	51	69	14	1.66	s-C	0.65	0.20
Redwood à Burkburnett, TX	-91	131	-80	26	-53	106	69	22	1.19	c-C	0.3	0.17
Pecos à Santa rosa, Nm	-95	4821	-87	139	-74	226	70	33	1.42	c-C	0.35	0.03
Klamath R à Orleans, CA	-89	610	-82	160	-51	241	71	16	1.82	c-C	0.475	0.14
Gila R nr Solomon, AZ	-90	67	-79	13	-40	91	71	26	1.00	c-C	0.425	0.18
Upper Iowa à Dorchester, IA	-95	209	-80	53	-44	132	75	18	1.57	s-C	0.6	0.21
Eel à Scotia, CA	-97	69	-83	-23	-63	60	76	30	1.52	c-C	0.15	0.13
Creek river, Ca	-94	174	-86	12	-51	98	81	23	0.89	s-C	0.45	0.25
San pedro à Charleston, Ar	-93	19	-89	-43	-80	46	82	48	1.37	s-C	0.325	0.07
Arkansas à Kinsley, KS	-91	235	-71	78	-13	149	83	27	0.87	c-C	0.55	0.10
Paria à Leesferry, Ar	-96	18	-87	-53	-75	33	83	34	2.10	c-C	0.375	0.02
Sanluisrey à Oceanside, CA	-99	4619	-96	779	134	875	96	44	0.55	s-C	0.525	0.03
Santa Clara R à Los Angeles-Ventura Co Line, CA	-100	1033	-96	125	-60	220	98	61	0.88	c-C	0.575	0.02

Les flux annuels de MES sont généralement sous-estimés. Les sous-estimations les plus importantes sont observées pour les stations dont la variabilité des flux de matières (M_{2%}) est maximale. Cette méthode implique que les deux composantes d'écoulement sont de composition constante ; elle ne prend donc pas en compte une augmentation de la concentration en MES lorsque les débits augmentent. Ceci entraîne donc une sous estimation importante des concentrations et donc des flux

pour les débits les plus forts. Les r^2 sont très faibles, la régression multiple n'est peu ou pas représentative ce qui peut expliquer ces fortes incertitudes. Il n'y a cependant pas de corrélation apparente entre le r^2 et les incertitudes.

Une tendance apparaît en revanche avec une diminution des biais pour des BFI croissants (Figure 5-2). Cette tendance n'est pas observée pour les imprécisions. L'influence du BFI peut s'expliquer sur le flux de MES car plus le BFI est fort, plus le débit du cours d'eau est alimenté par la nappe. Or les MES sont transportés majoritairement par le ruissellement. Donc plus la composante ruissellement est élevée (BFI faible), plus les concentrations en MES s'écartent du bruit de fond du cours d'eau (e.g. érosion de berges) affecté aux nappes, d'où une plus grande incertitude sur l'estimation du flux.

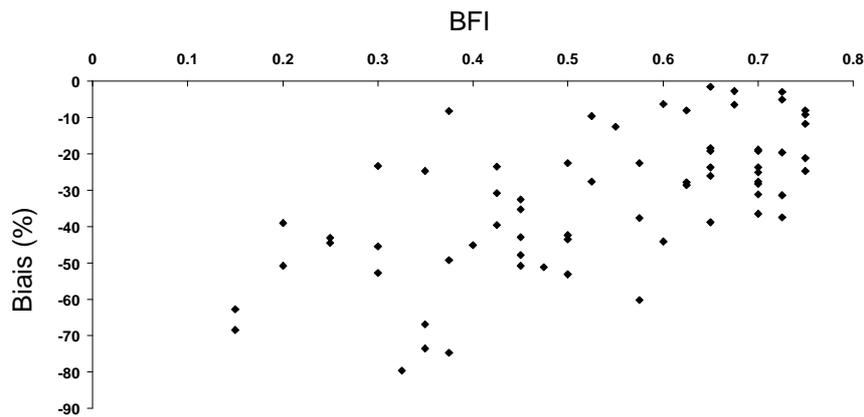


Figure 5-2 : Biais interannuels sur les flux annuels de MES générés par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel en fonction du BFI.

5.1.2 Erreurs annuelles sur les flux annuels de MES pour deux rivières contrastées

La distribution des erreurs annuelles est ensuite analysée pour deux stations aux caractéristiques hydrologiques et hydrochimiques contrastées (Figure 5-3) : la rivière Oise à Méry ($M_{2\%} = 17\%$ et $BFI=0.75$) et la rivière Redwood à Burkburnett, TX ($M_{2\%} = 69\%$ et $BFI=0.3$)

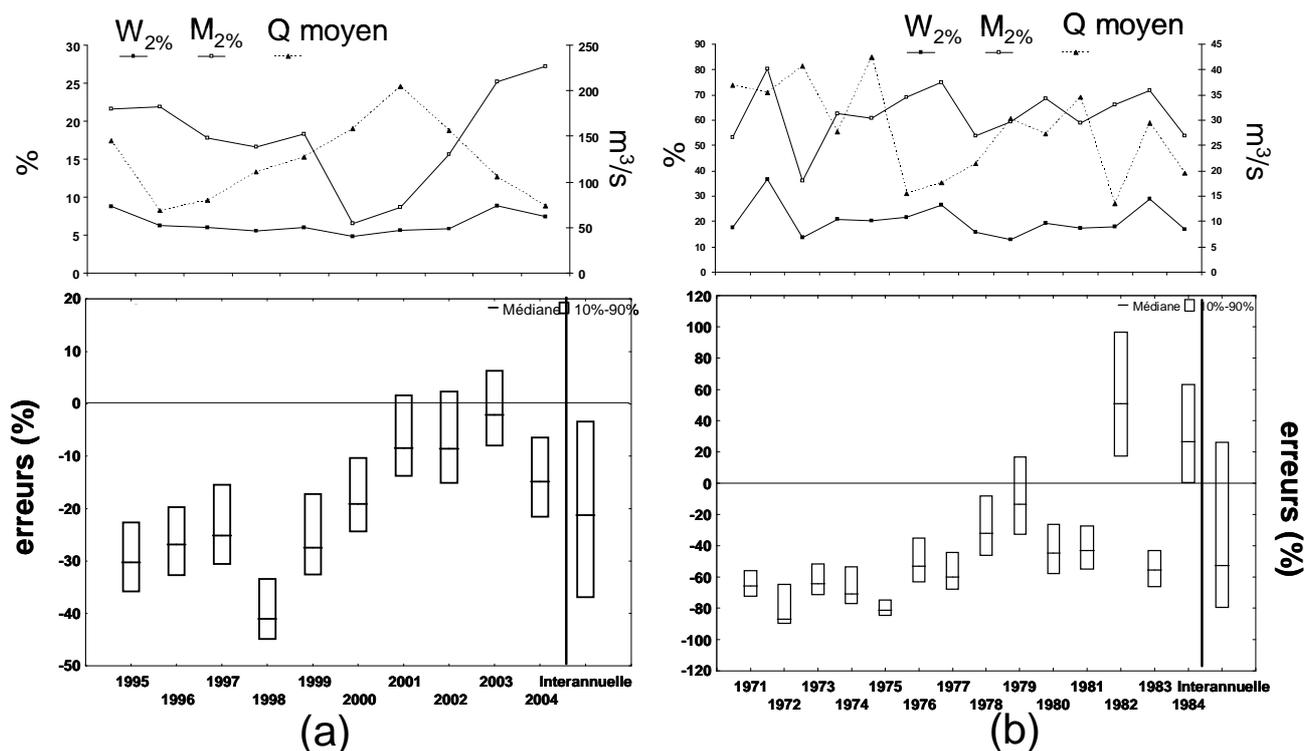


Figure 5-3: Distribution des erreurs annuelles sur le flux de MES par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées : a) Oise à Méry (échelle de -60% à 20%) ; b) Redwood à Burkburnett, TX (échelle de -120% à 120%)

Dans le cas de l'Oise, les erreurs annuelles varient de -45% à 10% selon les années. La dispersion entre simulations des erreurs annuelles est faible pour une année donnée mais forte entre les années. Cette dispersion interannuelle est liée à la variabilité hydrologique et à la variabilité des concentrations intrinsèque à chaque année. Pour la rivière Redwood à Burkburnett, la dispersion des erreurs annuelles varient de -90% pour l'année 1972 à +100% pour l'année 1982. Cette dispersion s'explique par la variabilité hydrologique importante de la rivière avec pour l'année 1982 un module annuel de débit très faible qui conduit à une surestimation du flux. La dispersion annuelle moyenne entre simulations ($n=50$) est en revanche aux alentours de 20% ce qui est dans des gammes comparables à celle de l'Oise.

La variabilité hydrologique ainsi que le BFI influencent les incertitudes (annuelles ou interannuelles) sur les flux de MES simulés par HS.

5.1.3 Incertitudes interannuelles sur les flux annuels de Nutriments

En ce qui concerne l'évaluation des flux de nutriments dissous, l'estimation varie selon l'espèce considérée (ammonium, nitrate ou orthophosphate). Les flux d'ammonium sont surestimés pour les trois stations (Tableau 5- 2) avec une imprécision très forte. L'ammonium peut provenir des stations d'épuration mais également de la minéralisation de la matière organique par une ammonification dans l'horizon A des sols. Les rejets ponctuels générés par une station d'épuration, par exemple, sont donc dilués avec l'augmentation des débits (Figure 5-4) car le calage du modèle s'opère sur les

concentrations, essentiellement mesurées hors crue, et affecte des caractéristiques spécifiques (e.g. forte concentration dans la nappe) qui ne sont plus valables en crue; ceci n'est pas pris en compte par la méthode HS qui surestime donc les flux. On peut également supposer que le prélèvement algal lors des blooms génère ponctuellement de faibles concentrations de NH_4 pour les bas débits.

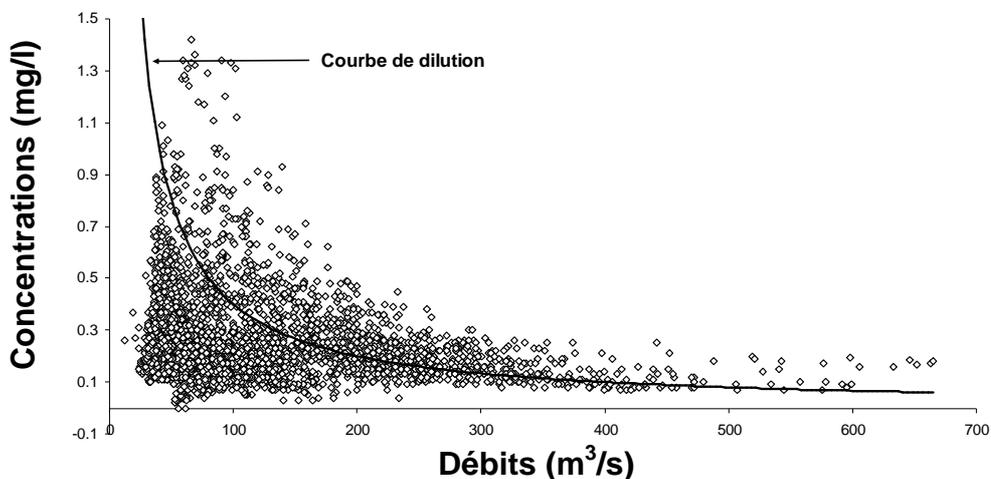


Figure 5-4: Courbe de dilution de l'ammonium pour la station Oise

Les flux de nitrates sont sous estimés jusqu'à -28% avec une imprécision faible (maximum 56%). Une seule station surestime le flux (29% pour la station Cuyahoga à Independence). Ceci pourrait s'expliquer par le comportement des relations C-Q. Cette station est la seule de la base de données dont le comportement est intégralement une dilution, il y a donc comme pour l'ammonium une surestimation du flux. Ce type de comportement peut s'expliquer par un bassin versant composé pour moitié de forêts (Tableau 2-4) qui prélèvent les nitrates et diminuent par conséquent les apports au cours d'eau par le ruissellement comme observé par exemple sur le fleuve Amazone (Bustillo et al., 2010). Pour les autres stations, la concentration augmente avec les débits puis devient stable (occupation du sol majoritairement agricole), d'où une tendance à sous estimer le flux.

Les flux de phosphore dissous sont quant à eux surestimés jusqu'à 87% excepté pour deux stations, Maumee à Waterville et Sandusky à Fremont, OH. Ces différences d'estimation semblent liées au comportement des relations C-Q, comme pour l'ammonium ou les nitrates, et à la variabilité du flux de matière ($M_{2\%} > 50\%$).

Tableau 5-2: Incertitudes interannuelles sur les flux de nutriments générées par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel

Site	Param	Min	Max	e10	e90	e50	Imprecision	M _{2%}	W _{2%}	b _{50sup}	Typologie	BFI	r ²
Oise à Mery, France	NH4	-36	97	-26	73	30	99	7	8	-0.37	d-D	0.75	0.01
Seine à Choisy, France	NH4	-45	110	-38	81	20	120	14	7	-0.04	d-S	0.7	0.01
Marne à Neuilly, France	NH4	-28	27	-23	19	10	42	24	8	-0.31	d-D	0.65	0.00
Oise à Mery, France	NO3	-7	6	-5	3	0	9	6	8	-0.16	c-D	0.75	0.07
Seine à Choisy, France	NO3	-12	2	-10	0	-6	9	7	7	-0.03	c-S	0.7	0.03
Marne à Neuilly, France	NO3	-20	4	-15	-1	-6	14	8	8	0.06	c-S	0.675	0.00
Cuyahoga à Independence, OH	NO3	-9	87	8	56	29	47	8	12	-0.42	d-D	0.5	0.06
Muskingum à McConnellsville, OH	NO3	-28	9	-20	-1	-11	20	11	9	0.16	c-S	0.55	0.03
Scioto à Chillicothe	NO3	-31	1	-25	-4	-11	20	14	12	0.06	s-S	0.45	0.01
Great Miami below Miamisburg	NO3	-31	20	-23	5	-9	28	17	14	0.06	s-S	0.45	0.02
Maumee à Waterville, OH	NO3	-50	18	-42	4	-25	47	17	16	0.08	c-S	0.375	0.00
Raisan à Monroe, MI	NO3	-49	51	-36	-6	-22	30	18	14	0.32	c-S	0.45	0.14
Sandusky nr Fremont, OH	NO3	-56	23	-48	8	-28	56	21	19	0.03	c-S	0.3	0.00
Scioto à Chillicothe	PO4	-15	53	-7	44	25	51	13	12	-0.02	d-S	0.45	0.00
Great Miami below Miamisburg	PO4	-12	75	-3	50	29	53	18	14	0.02	d-S	0.45	0.00
Maumee à Waterville, OH	PO4	-51	122	-41	18	-22	59	22	16	0.17	c-C	0.375	0.00
Raisan à Monroe, MI	PO4	-46	141	-39	48	2	87	30	14	0.51	s-C	0.45	0.08
Sandusky nr Fremont, OH	PO4	-66	69	-56	15	-37	72	31	19	0.24	c-C	0.3	0.02
Muskingum à McConnellsville, OH	PO4	-35	193	-24	141	53	165	54	9	-0.16	d-D	0.55	0.01
Grand à Painesville, OH	PO4	-44	1013	-33	691	87	724	76	17	0.01	d-S	0.25	0.01
Scioto à Chillicothe	Ptot	-21	25	-15	11	-1	27	17	12	0.24	d-C	0.45	0.11
Muskingum à McConnellsville, OH	Ptot	-32	16	-26	3	-13	29	20	9	0.53	s-C	0.55	0.29
Great Miami below Miamisburg	Ptot	-25	44	-18	22	-4	40	24	14	0.37	d-C	0.45	0.11
Raisan à Monroe, MI	Ptot	-47	28	-36	8	-18	43	30	14	0.67	d-C	0.45	0.12
Maumee à Waterville, OH	Ptot	-61	18	-47	-11	-30	36	31	16	0.49	s-C	0.375	0.11
Sandusky nr Fremont, OH	Ptot	-59	13	-50	-14	-37	35	33	19	0.52	c-C	0.3	0.13
Grand à Painesville, OH	Ptot	-52	48	-33	31	3	63	36	17	0.50	d-C	0.25	0.11
Muskingum à McConnellsville, OH	TKN	-23	14	-17	3	-6	20	17	9	0.38	s-C	0.55	0.06
Scioto à Chillicothe	TKN	-27	11	-21	-2	-12	19	18	12	0.31	s-C	0.45	0.08
Raisan à Monroe, MI	TKN	-40	27	-28	8	-12	36	22	14	0.33	d-C	0.45	0.06
Great Miami below Miamisburg	TKN	-33	21	-26	7	-6	32	22	14	0.42	d-C	0.45	0.11
Cuyahoga à Independence, OH	TKN	-26	37	-20	19	-3	39	22	12	0.23	c-C	0.5	0.09
Maumee à Waterville, OH	TKN	-45	1	-29	-6	-13	23	26	16	0.31	s-C	0.375	0.10
Sandusky nr Fremont, OH	TKN	-47	0	-41	-13	-29	28	29	19	0.36	c-C	0.3	0.11

Les valeurs de r² sont également très faibles et ne sont pas corrélées aux incertitudes. Idem pour le BFI qui ne semble pas influencer les incertitudes générées sur ce type de matériaux.

5.1.4 Erreurs annuelles sur les flux annuels de nutriments pour deux rivières contrastées.

- Nutriments dissous

L'analyse des erreurs annuelles pour deux stations contrastées (Figure 5-5): Scioto à Chillicothe et Grand à Painesville pour le phosphore dissous, M_{2%}= 13% et 76 % respectivement, montre une dispersion des erreurs entre les années fortes et une dispersion des erreurs annuelles moyennes faibles pour Scioto (environ 15%) et forte pour Grand (environ 50%). Pour les stations avec une forte variabilité du flux de matière, les erreurs sont plus fortes avec des surestimations pouvant atteindre 250% pour l'année 1995.

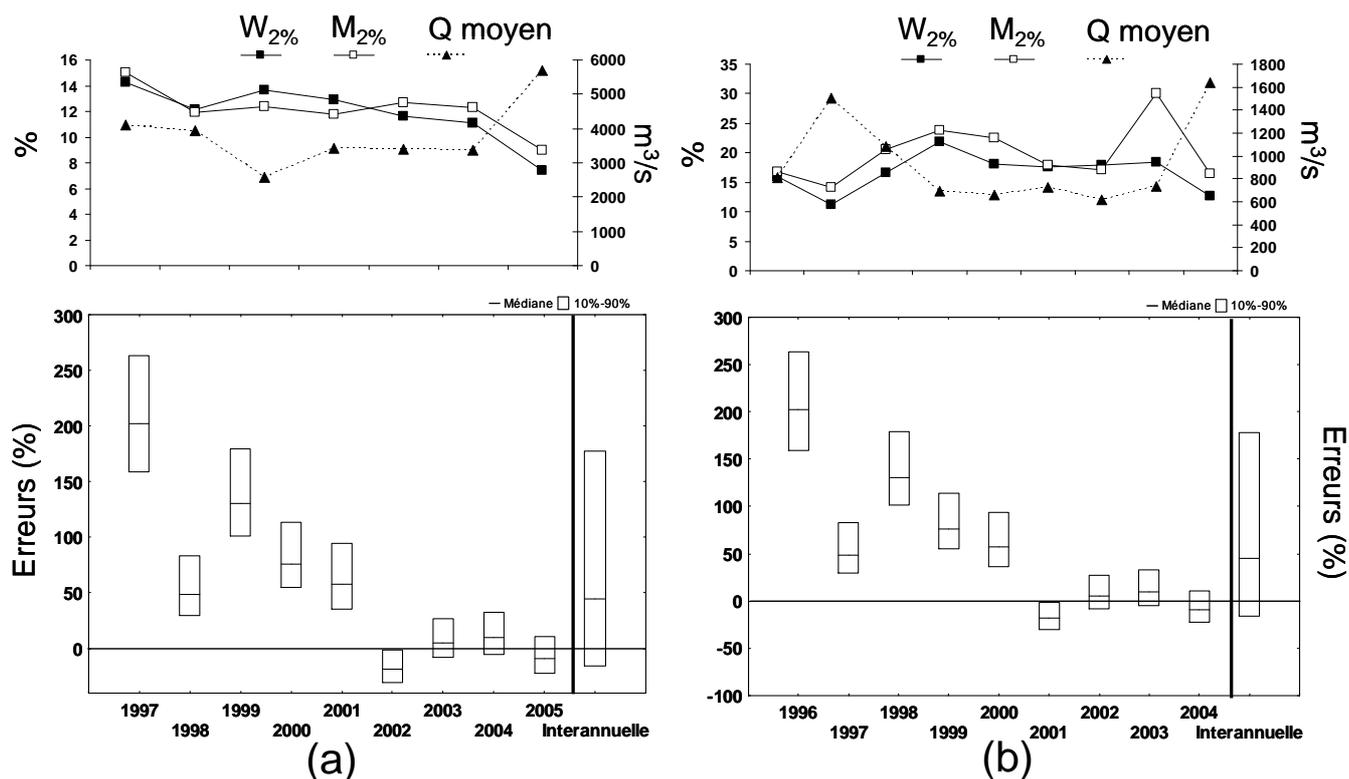


Figure 5-5: Distribution des erreurs annuelles sur le flux de phosphore dissous générées par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées, a) Scioto à Chilicothe (échelle de -20% à 60%), b) Grand à Painesville (échelle de -50% à 300%).

L'analyse est ensuite réalisée pour les mêmes stations mais sur l'estimation du flux annuel de phosphore total

- Nutriments totaux

Le flux de phosphore total est généralement sous estimé (Figure 5-6). Pour les débits les plus forts, on observe une tendance à la concentration du matériau, qui peut être associée aux MES et qui entraîne une sous estimation du flux. L'analyse des erreurs annuelles pour les stations Scioto et Grand sur le phosphore total montre une disparité entre les stations et entre les années. Pour une station où la variabilité du flux de matière est faible comme Scioto, les erreurs varient d'une année sur l'autre de -20 à 50%. La dispersion entre simulation de ces erreurs est d'environ 15%. Pour une station comme Grand avec une variabilité plus importante, les erreurs varient de -30% à 260% selon les années. La dispersion entre simulations varie selon les années de 30% à 100%.

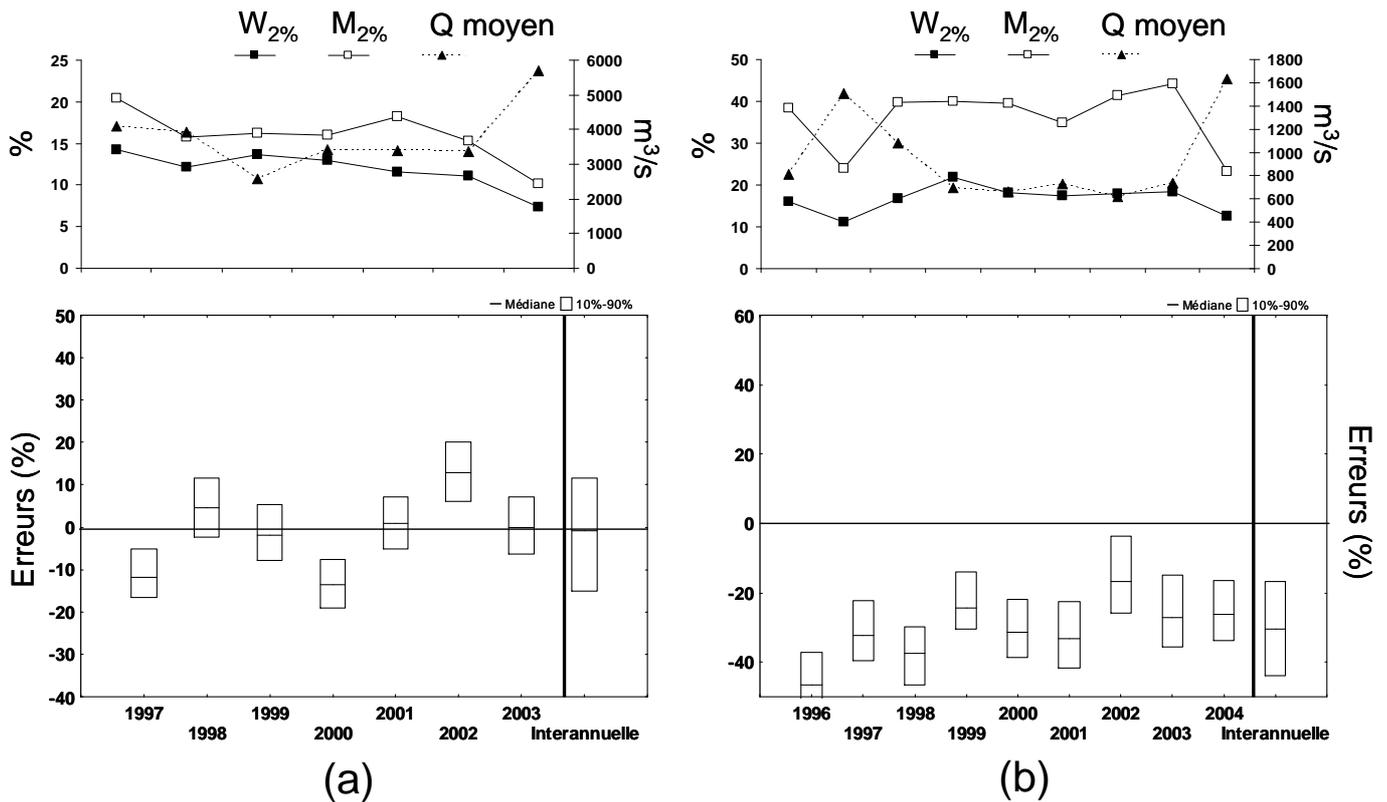


Figure 5-6: Distribution des erreurs annuelles sur le flux de phosphore total générées par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées : a) Scioto à Chilicothe (échelle de -20% à 30%) ; b) Grand à Painesville (échelle de -60% à 0%).

5.1.5 Incertitudes interannuelles sur les flux annuels de sels dissous totaux

Le flux annuel de SDT est surestimé sur l'ensemble des stations (Tableau 5-3). La surestimation la plus forte (122%) est observée pour la station Dolores qui possède le b_{50sup} le plus élevé. Ceci s'explique par une dilution de SDT qui n'est pas prise en compte par le modèle (Figure 5-7) lors des crues. Il y a donc surestimation du flux annuel de SDT.

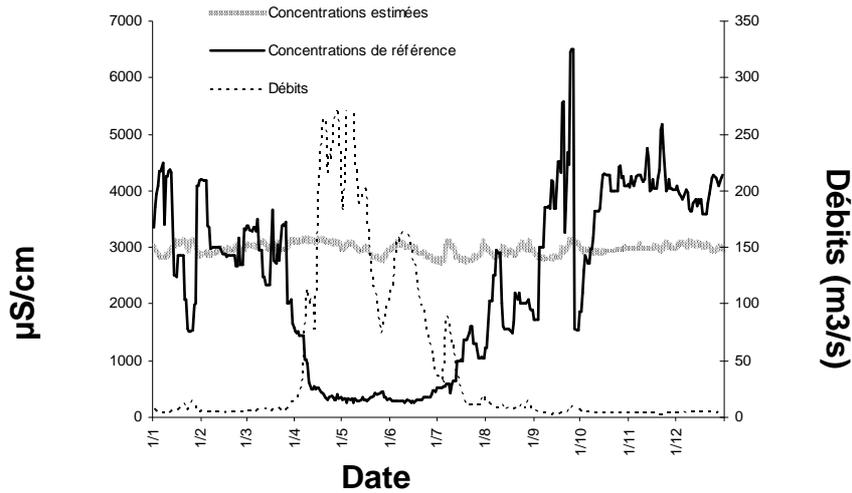


Figure 5-7: Débits, concentrations simulées et de référence pour les SDT sur la rivière Dolores à Cisco pour l'année 1952 à un intervalle d'échantillonnage mensuel.

Tableau 5-3: Incertitudes interannuelles sur les flux de SDT générées par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel

Site	Min	max	e10	e90	e50	Imprécision	M _{2%}	W _{2%}	b _{50sup}	Typologie	BFI	r ²
Ocmulgee à Ocmulgee, GA	-18	21	-16	16	8	33	3	3	-0.69	d-D	0.375	0.54
Colorado à Lee Ferry, AZ	-16	12	-11	9	2	21	4	4	-0.07	d-D	0.8	0.00
Missouri à Garrison, ND	-12	11	-9	9	3	18	4	3	0.03	s-S	0.8	0.00
Columbia nr Quincy, OR	-7	12	-5	10	1	16	4	4	-0.21	s-D	0.775	0.00
Pecos à Pecos, TX	-5	16	-1	9	3	11	5	10	-0.41	s-D	0.775	0.01
Missouri à Nebraska City, NE	-9	18	-5	13	2	18	5	7	-0.24	d-D	0.775	0.02
Gunnison nr Gd Junction, CO	-11	51	-7	47	8	54	6	10	-0.52	s-D	0.725	0.06
Colorado nr Cisco, UT	-22	71	-11	65	20	75	6	12	-0.53	d-D	0.7	0.04
Snake à Snake, ID	8	23	10	21	13	10	6	7	-0.14	d-D	0.725	0.00
Oise à Mery, France	-3	16	-2	13	4	15	7	7	-0.19	s-D	0.75	0.05
Green à Green, UT	1	36	4	31	21	28	7	11	-0.40	d-D	0.55	0.00
Marne à Neuilly, France	-6	4	-3	3	0	6	7	8	-0.05	d-D	0.65	0.21
Delaware à Trenton, NJ	1	36	5	22	11	18	7	11	-0.30	d-D	0.7	0.05
Clackamas à Estacada, OR	0	25	4	21	16	17	8	10	-0.18	d-D	0.725	0.01
N Santiam à Mehama, OR	-6	17	-3	13	9	16	8	9	-0.20	d-D	0.7	0.12
Peace à Zolfo Springs, FL	7	49	11	39	23	27	9	14	-0.35	d-D	0.65	0.04
Arkansas nr Avondale, CO	-21	42	4	39	15	35	9	11	-0.26	d-D	0.725	0.01
Arkansas à Granite, CO	5	37	12	33	24	22	9	12	-0.21	d-D	0.7	0.04
Dolores nr Cisco, UT	27	403	42	357	122	315	9	22	-0.64	d-D	0.525	0.00
Sun nr Vaughn, MT	-16	62	-14	47	16	61	10	15	-0.30	d-D	0.725	0.04
Duchesne à Duchesne, UT	-5	95	3	71	45	68	10	18	-0.41	d-D	0.525	0.05
San Joaquin à San Joaquin, CA	-25	180	-23	155	17	178	10	20	-0.52	d-D	0.65	0.15
Arkansas à Ralston, OK	-21	118	-15	99	30	113	10	24	-0.41	c-D	0.325	0.07
NF Ninnescah, KS	-8	28	-4	25	17	29	10	21	-0.34	c-D	0.45	0.02
San Juan nr Bluff, UT	-25	68	-19	40	20	59	11	8	-0.24	d-D	0.65	0.00
Brandywine à Chadds Ford, PA	-25	43	-22	31	3	53	11	15	-0.19	d-D	0.65	0.04
Seine à Choisy, France	-4	4	-4	3	0	7	11	16	-0.21	c-D	0.7	0.22
Potomac nr. Wash, DC, MA	0	44	3	34	22	31	11	16	-0.21	d-D	0.5	0.02
North Canadian à Britton, OK	-10	80	-3	64	5	68	12	18	0.03	c-D	0.3	0.01
North Canadian nr Yukon, OK	-21	43	-12	31	3	44	13	19	-0.10	s-D	0.275	0.04
Jackson à Falling Spring, VA	-8	46	-2	37	23	39	14	18	-0.16	d-D	0.7	0.00
S F Shenandoah à Front Royal, VA	-3	30	4	23	11	19	14	17	-0.17	d-D	0.575	0.05
Virgin à Littlefield, AZ	-17	81	-11	73	11	84	14	20	-0.39	d-D	0.575	0.03
Arkansas à Las Animas, CO	-11	130	-7	118	48	125	16	25	-0.33	d-D	0.375	0.19
Wichita nr Charlie, TX	19	69	25	50	35	24	16	21	-0.31	d-D	0.45	0.01
Jacksongath	-7	19	-5	14	3	19	17	18	-0.04	d-S	0.45	0.01
North wichita à Truscott, TX	-11	130	-7	118	48	125	17	48	-0.48	d-D	0.3	0.03
North wichita à paducah, TX	-14	378	-8	189	30	198	18	48	-0.45	d-D	0.7	0.04
Wichita à Wichita Falls, TX	32	129	39	93	55	54	18	28	-0.37	d-D	0.375	0.01
Rappahannock à Remington, VA	-15	25	-11	20	7	31	18	20	-0.04	d-D	0.45	0.01
Canadian à amarillo, TX	9	155	16	135	71	118	19	35	-0.41	c-D	0.05	0.00
Medina à San Antonio, TX	-11	66	-7	55	6	62	19	32	-0.24	d-D	0.675	0.04
Bird C nr Catoosa, OK	-2	44	5	35	21	30	19	24	-0.12	d-D	0.325	0.01
Shyenne à Lisbon, ND	-10	56	-7	47	18	53	22	27	-0.12	d-D	0.525	0.02
Meherrin à Emporia, VA	-20	147	-11	94	2	105	23	22	-0.15	s-S	0.375	0.01
Knife à Hazen, ND	3	177	15	139	77	124	24	48	-0.25	d-D	0.375	0.03
Redwood nr Burkburnett, TX	-7	115	8	91	45	83	27	37	-0.30	d-D	0.25	0.02

Comme pour les autres matériaux, le r^2 est très faible et n'est pas corrélé aux incertitudes générées par la méthode HS.

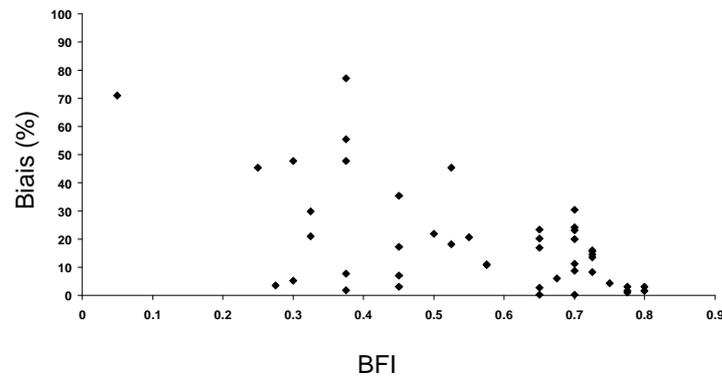


Figure 5-8: Biais interannuels sur les flux annuels de SDT générés par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel en fonction du BFI

Le BFI semble influencer les incertitudes sur le flux de SDT (Figure 5-8). A l'inverse des MES, plus le BFI est fort plus le flux de SDT est difficile à estimer. Les SDT sont apportés majoritairement par les nappes. Pour des BFI faibles, la contribution importante du ruissellement entraîne une dilution des teneurs en SDT dans cet écoulement et ainsi une plus grande difficulté à estimer le flux. Cet effet de dilution a été documenté sur les grands cours d'eau d'Amérique du Sud (e.g. Stallard et Edmond, 1987) et se justifie par une limitation cinétique d'ordre géochimique (« weathering limited erosion », sur sols épais altérés) ou hydrodynamique (« transport limited erosion », sur secteur de pente avec temps de résidence court).

5.1.6 Erreurs annuelles sur les flux annuels de SDT pour deux rivières contrastées

A l'échelle annuelle (Figure 5-9), la distribution est également très hétérogène selon les années de -10% à 50% pour une station comme le Gunisson à Grand Junction où la variabilité est faible ($M_{2\%} = 6\%$ et $BFI = 0.7$). Mais la précision de l'estimation par année est très faible (<5%). La tendance des erreurs annuelles suit celle du module des débits.

Pour une station à plus forte variabilité comme Redwood à Burkburnett, TX ($M_{2\%} = 27\%$ et $BFI=0.3$), les valeurs sont également très dispersées selon les années (de 0 à 110%) et la dispersion des erreurs entre simulations est également plus grande (environ 20%). Ces incertitudes plus fortes semblent liées à une variabilité hydrologique plus importante et un BFI faible. La même tendance par rapport au module annuel des débits s'observe également. Plus le débit est fort plus le flux de SDT tend à être surestimé.

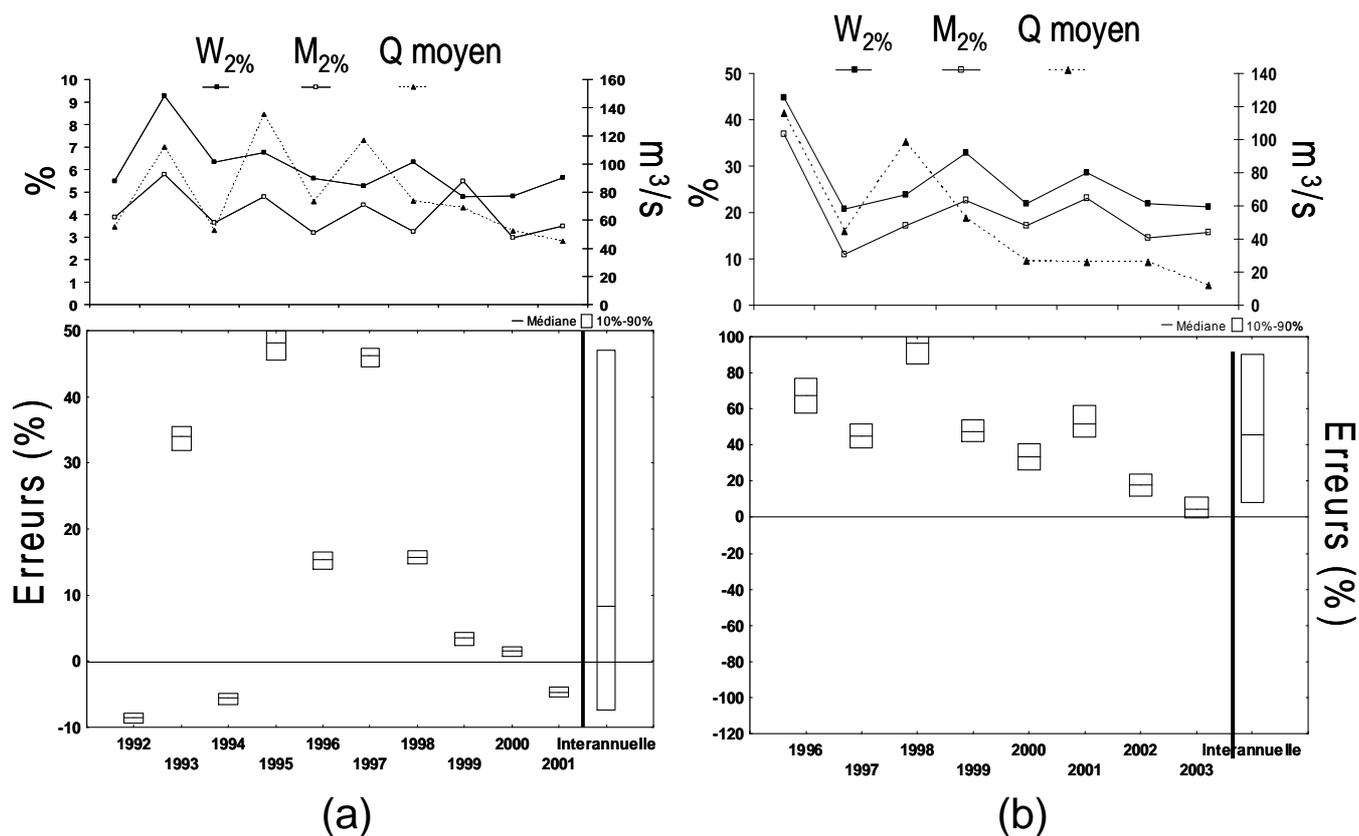


Figure 5-9: Distributions des erreurs annuelles sur le flux de SDT générées par la méthode HS à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées : a) Gunisson à Grand Junction, CO (échelle de -10% à 50%) ; b) Redwood à Burkburnett (échelle de -120% à 100%)

La méthode HS apparaît ici comme peu efficace pour estimer les flux en sous ou surestimant fortement les flux de matériaux.

D'après les travaux de Bustillo (2005) sur la Garonne, une nouvelle méthode basée sur la séparation d'hydrogramme (HSM) a été testée. Sur la base de la méthode précédente, un module quadratique dépendant uniquement du ruissellement est rajouté au modèle. Ce module a initialement été rajouté pour estimer les flux de MES. Mais cette méthode a également été testée sur les autres matériaux. L'apport de ce module est évalué dans le paragraphe suivant.

5.2 Apport du module quadratique dépendant du ruissellement

La figure 5-10 présente la distribution des biais interannuels sur les flux de SDT, nutriments dissous et totaux et MES à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour toutes les stations. La distribution est ici moins étendue que dans la section 5.1. Les flux sont globalement moins surestimés qu'avec la méthode de séparation d'hydrogramme (HS). Les flux de nutriments totaux et de MES sont d'ailleurs mieux estimés : de -5% à 5% pour les nutriments totaux et de -10 à 30% pour les MES.

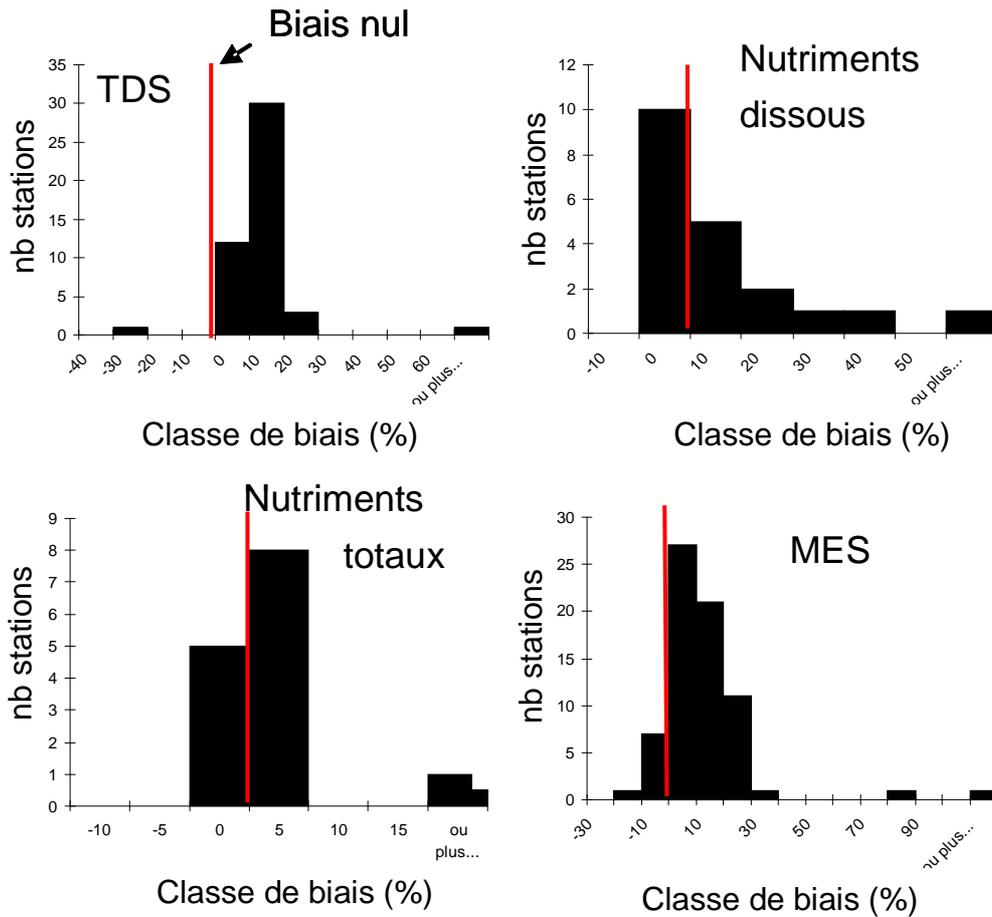


Figure 5-10: Distribution des biais interannuels sur l'estimation du flux de SDT, nutriments dissous, nutriments totaux et MES par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour l'ensemble des stations.

5.2.1 Incertitudes interannuelles sur les flux annuels de MES générées par HSM

Dans le tableau 5-4, les biais sur les flux de MES sont généralement compris entre -25 et 25% à l'exception de deux stations californienne : (San Luis Rey et Santa Clara) qui affichent des M2% de 96% et 98% respectivement. Cependant si l'estimation est peu ou moins biaisée par cette méthode, l'imprécision du flux annuel de MES est élevée à une échelle interannuelle.

Tableau 5-4: Incertitudes interannuelles sur le flux de MES générées par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel.

Site	Min	Max	e10	e90	e50	Imprécisions	M _{2%}	W _{2%}	b _{50sup}	Typologie	BFI	r ²
Missouri à Culbertson, MT	-31	58	-23	33	-5	56	16	6	1.36	c-C	0.75	0.30
Rhin à Maxau, Germany	-30	59	-20	29	-7	49	16	5	1.13	c-C	0.75	0.45
Seine à Poses, France	-30	76	-19	31	-4	51	16	7	1.06	c-C	0.75	0.65
Oise à Mery, France	-49	105	-34	37	-9	71	17	8	0.67	c-C	0.75	0.42
charente, France	-50	567	-24	55	-3	79	18	11	-0.15	c-D	0.675	0.05
Tennessee à Paducah, KY	-52	206	-34	81	2	115	21	10	0.69	c-C	0.725	0.49
Marne à Neuilly, France	-38	110	-25	26	-8	51	22	8	1.07	c-C	0.65	0.52
Sacramento à Freeport, CA	-43	65	-29	25	-5	54	23	7	0.91	c-C	0.725	0.52
Des Moines à Saylorville, IA	-63	217	-48	53	-18	100	23	12	0.54	c-C	0.425	0.30
Mississippi R à St Louis, MO	-67	148	-37	43	3	80	23	9	1.20	c-C	0.725	0.27
Mississippi à Anoka, MN	-47	29	-22	15	-3	37	23	9	1.20	s-C	0.7	0.52
Isle, France	-45	259	-31	42	-7	73	24	12	0.66	c-C	0.625	0.27
Seine à Choisy, France	-32	38	-21	18	-6	39	25	7	1.45	s-C	0.7	0.75
Green R à Green , UT	-51	131	-34	59	1	93	25	11	0.67	c-C	0.65	0.14
Iowa à Wappelo, IA	-61	132	-41	63	1	104	26	9	0.55	c-C	0.525	0.13
Rio Grande à Otowi Bridge, NM	-65	416	-42	139	-5	181	26	12	0.33	c-C	0.675	0.13
Minnesota R à Mankato, OH	-59	2565	-41	30	-18	71	27	15	0.35	c-C	0.35	0.21
Tennessee à Savannah, TN	-45	80	-33	42	-1	74	28	10	0.91	c-C	0.7	0.36
Scioto à Chillicothe, OH	-49	88	-24	35	-2	59	28	12	0.90	c-C	0.45	0.38
Columbia à Vancouver, WA	-59	433	-46	84	17	130	30	6	1.70	c-C	0.725	0.44
Iowa à Wappelo, IA	-59	290	-44	60	-3	104	32	8	0.32	c-C	0.65	0.24
Green R nr Jensen , UT	-70	276	-34	124	20	158	34	11	1.12	c-C	0.625	0.21
Dordogne, France	-68	168	-49	58	-2	107	35	8	1.46	c-C	0.725	0.36
Garonne, France	-51	101	-30	31	0	61	35	8	1.83	c-C	0.7	0.43
Tradewater à Olney, KY	-54	197	-25	75	1	100	35	18	0.68	c-C	0.2	0.32
Green à Mudfordville, KY	-44	162	-25	38	3	63	36	14	0.84	c-C	0.3	0.28
Brazos à Richmond, TX	-56	60	-33	14	-8	47	36	15	0.97	c-C	0.5	0.68
Arkansas à Las Animas, CO	-74	326	-37	85	10	122	37	14	0.61	c-C	0.6	0.14
Little Black à Success, MO	-87	662	-54	75	-15	129	38	20	-0.10	s-S	0.375	0.03
East Fork White R à Seymour, IN	-48	163	-31	33	-7	64	39	16	0.58	c-C	0.425	0.27
Tennessee Chattanooga, TN	-37	115	-23	47	2	70	39	11	1.21	c-C	0.7	0.31
Cuyahoga Independence, OH	-48	108	-29	44	1	73	41	10	0.97	c-C	0.5	0.38
Cuyahoga Old Portage, OH	-60	143	-28	59	8	88	41	10	0.97	c-C	0.575	0.37
Sandusky nr Fremont, OH	-54	216	-36	70	0	106	42	19	0.81	c-C	0.3	0.37
San Juan R à Shiprock, NM	-79	448	-52	155	14	207	43	11	0.35	c-C	0.65	0.16
Garonne94, France	-56	125	-27	41	2	68	44	10	1.83	c-C	0.7	0.54
Maumee à Waterville, OH	-100	83	-21	35	10	56	44	19	0.84	s-C	0.375	0.27
Dan à Paces, VA	-44	156	-30	38	-2	68	47	15	1.16	c-C	0.625	0.56
Arkansas R à Arkansas city, KS	-56	140	-38	36	-12	74	47	24	0.91	c-C	0.45	0.41
River Raisin à Monroe, MI	-74	301	-48	60	-12	109	49	15	0.92	s-C	0.5	0.44
Grand à Painesville, OH	-51	163	-29	40	-1	69	49	17	0.99	s-C	0.25	0.50
Grand à Painesville, OH	-73	326	-53	94	-3	147	49	17	0.99	s-C	0.25	0.31
Gave, France	-65	211	-34	86	2	121	49	9	2.07	c-C	0.7	0.71
Iserre, France	-78	210	-52	56	-4	108	51	6	2.81	c-C	0.75	0.39
Delaware à Trenton, NJ	-62	277	-39	78	11	117	55	10	1.38	c-C	0.65	0.53
Conococheague C à Fairview, MD	-62	249	-38	64	-3	102	55	16	1.11	c-C	0.525	0.37
Fisher à Libby, MT	-99	236	-43	72	14	115	56	13	1.30	c-C	0.4	0.72
Juniaa R à Newport, PA	-65	198	-30	51	4	81	57	15	1.24	c-C	0.575	0.57
Muddy C nr Vaughn, MT	-55	101	-22	46	6	68	59	11	1.35	s-C	0.7	0.72
Mad à Arcata, CA	-51	125	-33	54	1	67	59	22	1.36	c-C	0.35	0.84
Coal à Alum Creek, AZ	-42	152	-21	40	4	81	61	20	1.29	c-C	0.375	0.77
Trinity à Hoopa, CA	-42	137	-19	67	3	86	62	21	1.47	c-C	0.5	0.76
Siuslaw à Mapleton, OR	-64	180	-42	53	-3	95	62	17	1.13	c-C	0.45	0.74
Feàher à Gridley, CA	-89	783	-63	137	25	201	63	18	0.85	c-C	0.7	0.18
Pembina R à Walhalla, ND	-81	180	-61	41	-25	102	64	32	0.93	s-C	0.2	0.56
Eel à Fort seward, CA	-58	140	-34	73	15	107	65	28	1.44	c-C	0.15	0.82
Rappahannock R à Remington, VA	-72	979	-47	101	-6	148	66	19	1.35	c-C	0.45	0.49
Brandywine creek à Chadds ford, PA	-59	347	-35	72	-4	107	69	14	1.66	s-C	0.65	0.31
Redwood à Burkburnett, TX	-43	197	-29	88	4	117	69	22	1.19	c-C	0.3	0.78
Pecos à Santa rosa, Nm	-78	18062	-60	754	-19	814	70	33	1.42	c-C	0.35	0.25
Klamath R à Orleans, CA	-55	230	-30	134	10	164	71	16	1.82	c-C	0.475	0.84
Gila R nr Solomon, AZ	-66	371	-46	94	-16	139	71	26	1.00	c-C	0.425	0.26
Upper Iowa à Dorchester, IA	-85	949	-63	221	13	283	75	18	1.57	s-C	0.6	0.48
Eel à Scotia, CA	-74	295	-37	75	12	112	76	30	1.52	c-C	0.15	0.72
Creek river, Ca	-76	261	-40	91	6	130	81	23	0.89	s-C	0.45	0.53
San pedro à Charleston, Ar	-78	498	-51	150	1	201	82	48	1.37	s-C	0.325	0.58
Arkansas à Kinsley, KS	-66	1210	-47	128	17	175	83	27	0.87	c-C	0.55	0.21
Paria à Leesferry, Ar	-84	746	-52	156	2	208	83	34	2.10	c-C	0.375	0.35
Sanluisrey à Oceanside, CA	-99	1776	-56	625	106	681	96	44	0.55	s-C	0.525	0.42
Santa Clara R à Los Angeles-Ventura Co Line, CA	-85	2391	-42	526	75	568	98	61	0.88	c-C	0.575	0.35

Les valeurs de r² sont très supérieures (jusqu'à 0.84) à celles de HS et ne sont pas corrélées aux incertitudes. Contrairement à la méthode HS, il n'y a plus d'influence du BFI sur les incertitudes générées par HSM, sans doute parce que le modèle est mieux ajusté aux simulations. L'apport du module quadratique, qui rend compte d'un ruissellement à composition variable, est donc bénéfique pour l'estimation du flux de MES dans la mesure où elle réduit les incertitudes interannuelles. Cet aménagement méthodologique doit cependant être testé et vérifié également à une échelle annuelle.

5.2.2 Erreurs annuelles sur les flux annuels de MES par HSM pour deux rivières contrastées

L'analyse des erreurs annuelles (Figure 5-11) pour deux stations contrastées que sont l'Oise à Méry et la rivière Redwood à Burkburnett montre une dispersion importante aussi bien entre les stations

(surestimation allant jusqu'à 140% pour la rivière Redwood contre 70% pour l'Oise), qu'entre les années. En effet pour l'Oise à Méry l'estimation du flux pour l'année 1996 est biaisée (-30%) avec une imprécision d'environ 10% alors que pour l'année 2001, le biais est de 40% et l'imprécision est de 60%. On retrouve donc ici le même cas de figure que dans le chapitre 4 avec les méthodes de régression (cf § 4.1.2), c'est-à-dire que le flux sédimentaire en année sèche (1996) est sous estimé et au contraire surestimé en année humide (2001).

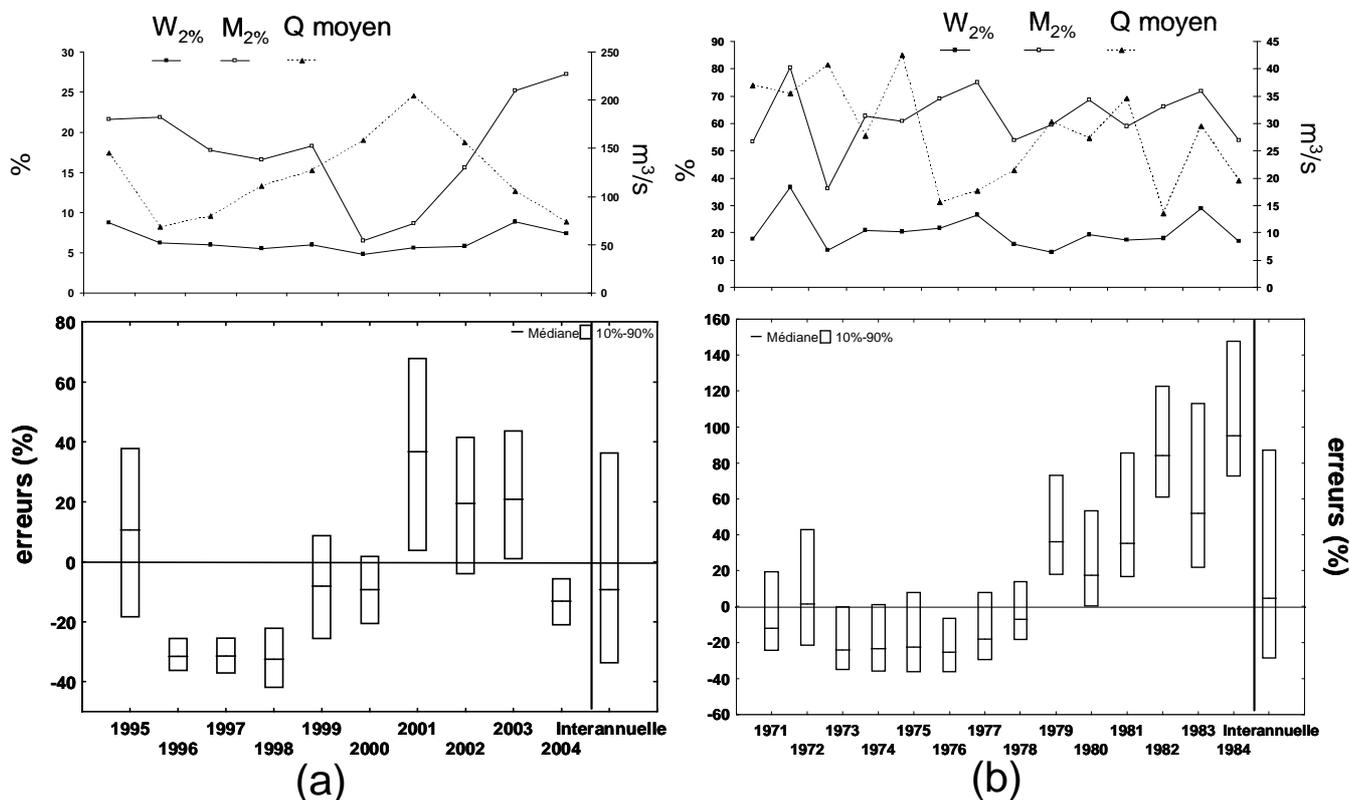


Figure 5-11: Distribution des erreurs annuelles sur les flux de MES par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées : a) Oise à Méry (échelle de -50% à 80%) ; b) Redwood à Burkburnett (échelle de -60% à 160%).

5.2.3 Incertitudes interannuelles sur les flux annuels de nutriments générées par HSM

Pour les flux de nutriments, les erreurs sont variables en fonction des matériaux (Tableau 5-5). Les flux annuels d'ammonium et d'orthophosphate sont généralement moins surestimés qu'avec HS, l'imprécision restant toutefois très élevée. Les flux de nitrates sont peu ou pas biaisés (-9% à 1% à l'échelle interannuelle) et peuvent être très imprécis, jusqu'à 92% pour la rivière Sandusky à Fremont, OH. L'estimation du flux de nutriments totaux est non biaisée aussi bien pour le Ptot que le TKN et reste relativement précise (entre 20% et 60% dans la plupart des cas).

Tableau 5-5: Incertitudes interannuelles des flux de nutriments générées par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel.

Site	Param	Min	Max	e10	e90	e50	Imprecision	M _{2%}	W _{2%}	D _{95SUP}	Typologie	BFI	r ²
Oise à Mery, France	NH4	-36	78	-28	45	21	73	7	8	-0.37	d-D	0.75	0.06
Seine à Choisy, France	NH4	-44	85	-37	54	10	91	14	7	-0.04	d-S	0.7	0.03
Marne à Neuilly, France	NH4	-28	27	-23	17	5	40	24	8	-0.31	d-D	0.65	0.09
Oise à Mery, France	NO3	-8	6	-6	3	0	8	6	8	-0.16	c-D	0.75	0.08
Seine à Choisy, France	NO3	-10	12	-8	5	-3	14	7	7	-0.03	c-S	0.7	0.15
Marne à Neuilly, France	NO3	-20	16	-15	9	-3	24	8	8	0.06	c-S	0.675	0.13
Cuyahoga à Independence, OH	NO3	-21	58	-4	35	14	39	8	12	-0.42	d-D	0.5	0.14
Muskingum à McConnellsville, OH	NO3	-25	30	-15	7	-6	22	11	9	0.16	c-S	0.55	0.10
Scioto à Chillicothe	NO3	-26	30	-17	11	-4	29	14	12	0.06	s-S	0.45	0.09
Great Miami below Miamisburg	NO3	-32	76	-22	26	-4	48	17	14	0.06	s-S	0.45	0.04
Maumee à Waterville, OH	NO3	-45	137	-37	38	-6	74	17	16	0.08	c-S	0.375	0.07
Raisan à Monroe, MI	NO3	-47	154	-27	25	-9	52	18	14	0.32	c-S	0.45	0.24
Sandusky nr Fremont, OH	NO3	-52	120	-37	55	1	92	21	19	0.03	c-S	0.3	0.10
Scioto à Chillicothe	PO4	-40	47	-21	29	5	50	13	12	-0.02	d-S	0.45	0.06
Great Miami below Miamisburg	PO4	-99	67	-26	37	7	63	18	14	0.02	d-S	0.45	0.08
Maumee à Waterville, OH	PO4	-47	241	-27	40	-9	67	22	16	0.17	c-C	0.375	0.05
Raisan à Monroe, MI	PO4	-44	296	-31	70	10	101	30	14	0.51	s-C	0.45	0.10
Sandusky nr Fremont, OH	PO4	-57	192	-37	71	0	108	31	19	0.24	c-C	0.3	0.12
Muskingum à McConnellsville, OH	PO4	-42	140	-32	85	32	118	54	9	-0.16	d-D	0.55	0.10
Grand à Painesville, OH	PO4	-75	879	-43	433	50	476	76	17	0.01	d-S	0.25	0.02
Scioto à Chillicothe	Plot	-20	36	-14	17	1	30	17	12	0.24	d-C	0.45	0.13
Muskingum à McConnellsville, OH	Plot	-24	46	-15	22	-2	37	20	9	0.53	s-C	0.55	0.59
Great Miami below Miamisburg	Plot	-41	90	-19	27	-3	46	24	14	0.37	d-C	0.45	0.11
Raisan à Monroe, MI	Plot	-33	88	-17	23	3	39	30	14	0.67	d-C	0.45	0.25
Maumee à Waterville, OH	Plot	-42	88	-18	25	-1	43	31	16	0.49	s-C	0.375	0.56
Sandusky nr Fremont, OH	Plot	-41	96	-25	36	-1	62	33	19	0.52	c-C	0.3	0.37
Grand à Painesville, OH	Plot	-47	114	-26	51	15	77	36	17	0.50	d-C	0.25	0.28
Muskingum à McConnellsville, OH	TKN	-13	33	-8	13	3	21	17	9	0.38	s-C	0.55	0.23
Scioto à Chillicothe	TKN	-20	40	-9	16	1	26	18	12	0.31	s-C	0.45	0.27
Raisan à Monroe, MI	TKN	-32	63	-20	20	4	40	22	14	0.33	d-C	0.45	0.17
Great Miami below Miamisburg	TKN	-31	52	-14	29	4	43	22	14	0.42	d-C	0.45	0.20
Cuyahoga à Independence, OH	TKN	-24	53	-16	28	2	44	22	12	0.23	c-C	0.5	0.16
Maumee à Waterville, OH	TKN	-38	57	-16	21	-1	37	26	16	0.31	s-C	0.375	0.35
Sandusky nr Fremont, OH	TKN	-35	95	-20	30	2	50	29	19	0.36	c-C	0.3	0.41

Les r² pour les nutriments dissous restent très faibles, l'apport de ce module ne permet donc pas un meilleur ajustement pour ce type de matériaux. A l'inverse, pour les nutriments totaux, le r², même s'il reste faible, est amélioré par rapport à la méthode HS ce qui se traduit par une meilleure estimation du flux par HSM. Le BFI n'influence pas les incertitudes générées par HSM. **L'apport du module quadratique permet donc une meilleure estimation des flux de nutriments totaux et de s'affranchir de l'influence du BFI.**

5.2.4 Erreurs annuelles sur les flux annuels de nutriments par HSM pour deux rivières contrastées

L'analyse des erreurs annuelles sur le phosphore dissous (Figure 5-12) et le phosphore total (Figure 5-13) est ensuite réalisée pour les stations Scioto à Chillicothe et Grand à Painesville.

Le flux annuel d'orthophosphate est sous ou surestimé selon les années, les valeurs étant plus grandes pour la rivière Grand où la variabilité est la plus élevée, la dispersion par année est d'ailleurs très variable avec des années où l'imprécision est inférieure à 20% (2000, 2001) et d'autres où elle est supérieure à 70% (1995, 1997). Pour le flux de phosphore total, l'estimation est moins biaisée et variable selon les années (de -20% à 20% pour Scioto et de -40% à 40% pour Grand). La dispersion des erreurs annuelles reste également stable d'une année à l'autre pour les deux stations et ne semble pas influencée par les caractéristiques d'une année particulière.

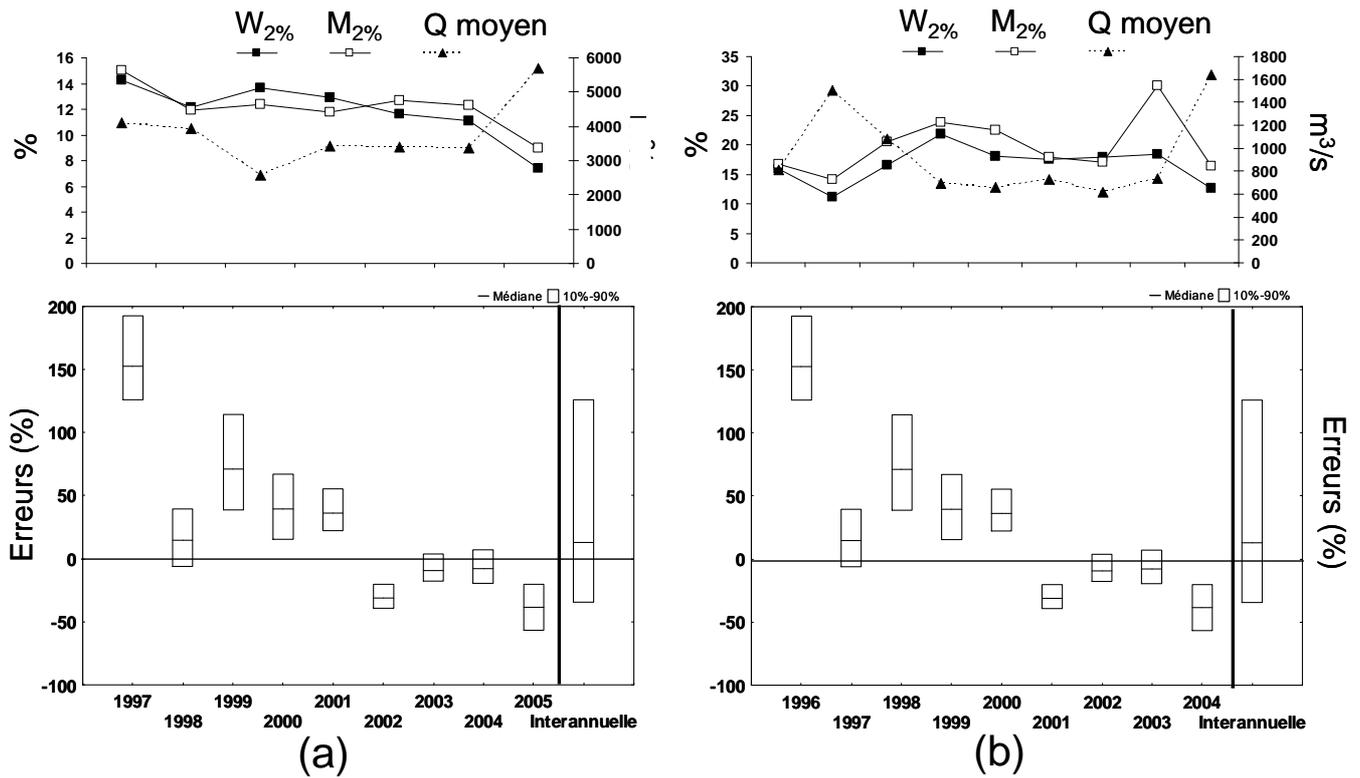


Figure 5-12: Distribution des erreurs annuelles sur le flux de phosphore dissous par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées : a) Scioto à Chilicothe (échelle de -40% à 40%) ; b) Grand à Painesville (échelle de -100% à 200%).

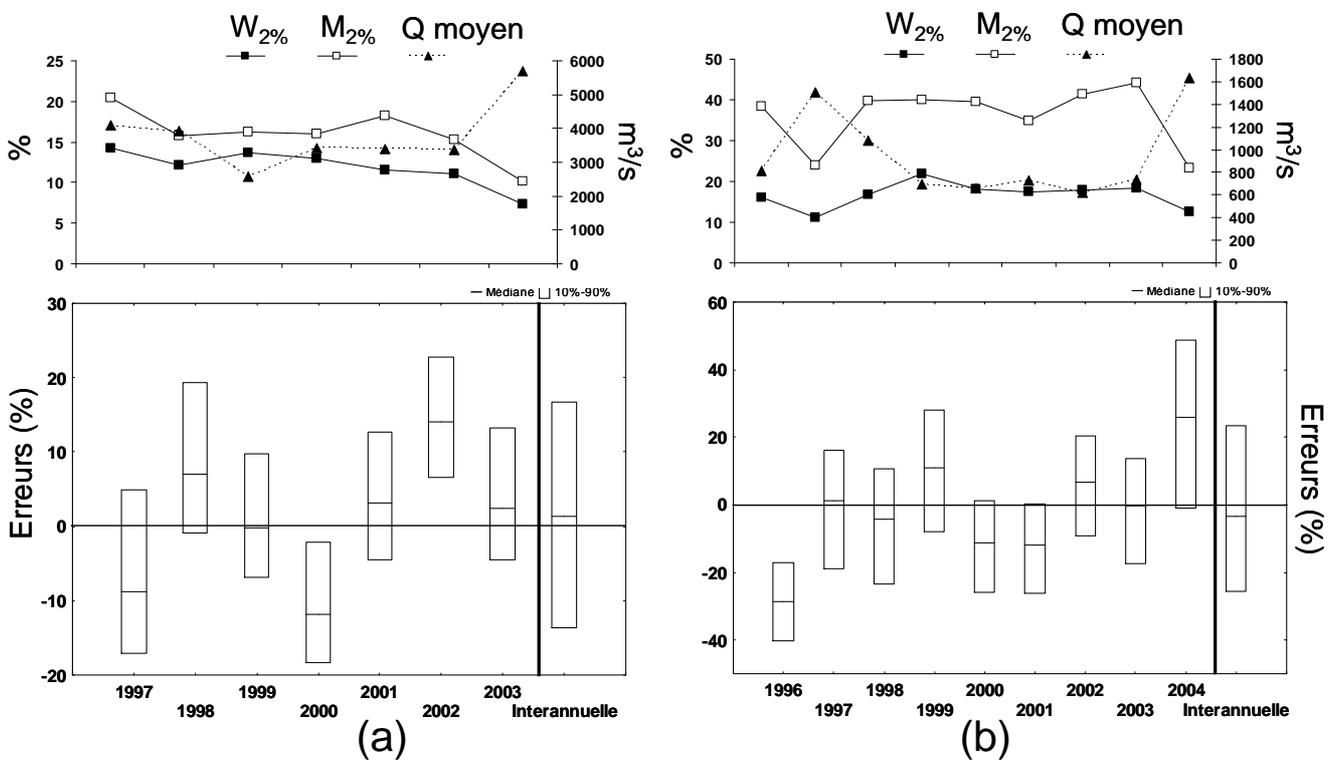


Figure 5-13: Distribution des erreurs annuelles sur le flux de phosphore total par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées : a) Scioto à Chilicothe (échelle de -20% à 30%) ; b) Grand à Painesville (échelle de -50% à 60%).

5.2.5 Incertitudes interannuelles sur les flux annuels de SDT générées par HSM

Les caractéristiques des incertitudes sur l'estimation du flux annuel de SDT générées par la méthode HSM, à un intervalle d'échantillonnage mensuel sont présentées dans le tableau 5-6. Les estimations ne sont peu ou pas biaisées excepté pour deux stations (Dolores à Cisco qui présente la variabilité hydrochimique la plus importante, $b_{50sup}=-0.64$ et Canadian a Amarillo qui cumule des variabilités hydrologique et hydrochimique élevées ainsi qu'une typologie en « chevron » et un BFI très faible). L'imprécision sur l'estimation reste très forte atteignant des valeurs élevées pour certaines stations (ex : Dolores à Cisco).

Tableau 5-6: Incertitudes interannuelles sur les flux de SDT générées par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel

Site	Min	max	e10	e90	e50	Imprécision	M _{2%}	W _{2%}	b _{50sup}	Typologie	BFI	R ²
Ocmulgee à Ocmulgee, GA	-15	18	-13	10	4	23	3	3	-0.69	d-D	0.375	0.60
Colorado à Lee Ferry, AZ	-16	12	-12	8	1	20	4	4	-0.07	d-D	0.8	0.03
Missouri à Garrison, ND	-12	11	-9	9	4	18	4	3	0.03	s-S	0.8	0.01
Columbia nr Quincy, OR	-7	10	-5	8	0	13	4	4	-0.21	s-D	0.775	0.18
Pecos à Pecos, TX	-99	1259	-76	622	1	835	5	10	-0.41	s-D	0.775	0.09
Missouri à Nebraska City, NE	-23	14	-5	7	1	12	5	7	-0.24	d-D	0.775	0.15
Gunnison nr Gd Junction, CO	-61	43	-8	25	4	33	6	10	-0.52	s-D	0.725	0.30
Colorado nr Cisco, UT	-45	49	-14	30	9	44	6	12	-0.53	d-D	0.7	0.33
Snake à Snake, ID	-1	17	3	13	8	9	6	7	-0.14	d-D	0.725	0.24
Oise à Mery, France	-11	10	-6	8	4	13	7	7	-0.19	s-D	0.75	0.30
Green à Green, UT	-13	19	-4	14	7	18	7	11	-0.40	d-D	0.55	0.50
Marne à Neuilly, France	-6	5	-4	3	0	7	7	8	-0.05	d-D	0.65	0.22
Delaware à Trenton, NJ	-61	26	-7	15	7	21	7	11	-0.30	d-D	0.7	0.18
Clackamas à Estacada, OR	-99	20	-31	14	1	45	8	10	-0.18	d-D	0.725	0.24
N Santiam à Mehama, OR	-36	11	-6	8	3	14	8	9	-0.20	d-D	0.7	0.34
Peace à Zolfo Springs, FL	-99	33	-34	18	7	52	9	14	-0.35	d-D	0.65	0.32
Arkansas nr Avondale, CO	-53	38	-11	24	10	35	9	11	-0.26	d-D	0.725	0.18
Arkansas à Granite, CO	-42	26	-1	22	11	24	9	12	-0.21	d-D	0.7	0.17
Dolores nr Cisco, UT	-99	251	-80	128	66	292	9	22	-0.64	d-D	0.525	0.20
Sun nr Vaughn, MT	-19	38	-11	22	5	33	10	15	-0.30	d-D	0.725	0.24
Duchesne à Duchesne, UT	-59	62	-12	35	12	46	10	18	-0.41	d-D	0.525	0.22
San Joaquin à San Joaquin, CA	-99	146	-20	85	8	105	10	20	-0.52	d-D	0.65	0.26
Arkansas à Ralston, OK	-99	61	-50	38	3	89	10	24	-0.41	c-D	0.325	0.23
NF Ninnescah, KS	-100	18	-45	8	-3	53	10	21	-0.34	c-D	0.45	0.40
San Juan nr Bluff, UT	-99	58	-36	33	0	69	11	8	-0.24	d-D	0.65	0.09
Brandywine à Chadds Ford, PA	-77	51	-21	17	-1	38	11	15	-0.19	d-D	0.65	0.09
Seine à Choisy, France	-5	5	-4	3	0	7	11	16	-0.21	c-D	0.7	0.23
Potomac nr. Wash, DC, MA	-65	36	-10	25	9	35	11	16	-0.21	d-D	0.5	0.21
North Canadian à Britton, OK	-35	79	-23	47	-1	70	12	18	0.03	c-D	0.3	0.08
North Canadian nr Yukon, OK	-24	93	-14	23	-3	37	13	19	-0.10	s-D	0.275	0.09
Jackson à Falling Spring, VA	-99	29	-37	17	-1	53	14	18	-0.16	d-D	0.7	0.08
S F Shenandoah à Front Royal, VA	75	27	-45	12	3	57	14	17	-0.17	d-D	0.575	0.12
Virgin à Littlefield, AZ	-97	75	-64	56	-6	120	14	20	-0.39	d-D	0.575	0.21
Arkansas à Las Animas, CO	-95	117	-90	52	9	142	16	25	-0.33	d-D	0.375	0.35
Wichita nr Charlie, TX	-99	33	-43	20	-1	64	16	21	-0.31	d-D	0.45	0.28
Jacksongath	-16	16	-5	9	1	14	17	18	-0.04	d-S	0.45	0.21
North wichita à Truscott, TX	-99	117	-91	52	9	143	17	48	-0.48	d-D	0.3	0.20
North wichita à paducah, TX	-100	125	-80	32	-8	122	18	48	-0.45	d-D	0.7	0.23
Wichita à Wichita Falls, TX	-100	43	-89	26	-4	115	18	28	-0.37	d-D	0.375	0.30
Rappahannock à Remington, VA	-26	31	-13	13	1	26	18	20	-0.04	d-D	0.45	0.04
Canadian à amarillo, TX	-100	89	-89	36	-36	125	19	35	-0.41	c-D	0.05	0.25
Medina à San Antonio, TX	-96	48	-86	11	-3	97	19	32	-0.24	d-D	0.675	0.24
Bird C nr Catoosa, OK	-73	27	-28	15	-1	43	19	24	-0.12	d-D	0.325	0.15
Sheyenne à Lisbon, ND	75	33	-17	17	8	34	22	27	-0.12	d-D	0.525	0.22
Meherrin à Emporia, VA	-391	142	-42	69	-3	111	23	22	-0.15	s-S	0.375	0.06
Knife à Hazen, ND	-100	90	-99	49	8	148	24	48	-0.25	d-D	0.375	0.29
Redwood nr Burkburnett, TX	-99	82	-90	35	6	125	27	37	-0.30	d-D	0.25	0.18

Même s'ils restent relativement faibles, les r^2 sont améliorés par rapport à la méthode HS, mais ne sont pas corrélés avec les incertitudes générées par HSM. L'influence du BFI est nulle sur les biais et les imprécisions. L'apport du module quadratique permet donc, comme dans le cas des MES, de s'affranchir de l'influence de celui-ci.

5.2.6 Erreurs annuelles sur les flux annuels de SDT par HSM pour deux rivières contrastées

A l'échelle annuelle, pour deux stations contrastées (Figure 5-14) : la rivière Gunisson à Grand Junction ($M_{2\%} = 6\%$ et $BFI=0.7$) et la rivière Redwood à Burkburnett ($M_{2\%} = 27\%$ et $BFI=0.3$), la dispersion des erreurs varie de -40% à 60% selon les années. Les flux sont également sous ou surestimés sans relation évidente avec les caractéristiques hydrologiques d'une année particulière. Dans le cas de la station Redwood, les tendances sont similaires mais peuvent atteindre des valeurs entre -100% et 80% dues à la forte variabilité hydrologique et hydrochimique entre années.

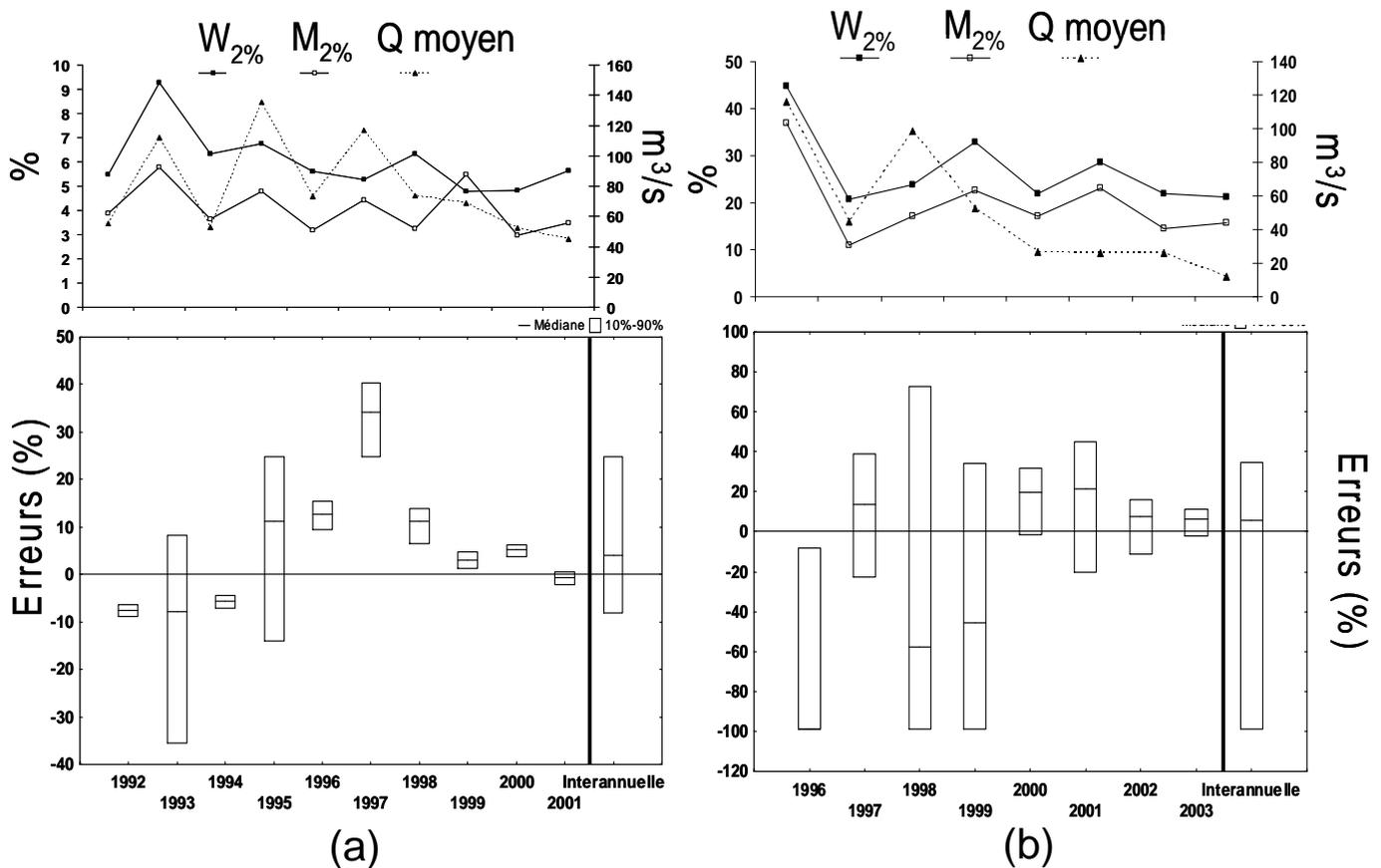


Figure 5-14: Distribution des erreurs annuelles sur le flux annuel de SDT par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour deux stations contrastées, a) Gunisson à Grand Junction, CO (échelle de -40% à 40%) ; b) Redwood à Burkburnett, TX (échelle de -120% à 100%).

Par rapport à HS, on peut donc ainsi estimer que HSM permet un meilleur ajustement sur les forts débits pour les éléments qui se concentrent lors d'une augmentation du ruissellement (Nutriments totaux et MES). Dans le cas où le paramètre se dilue et où la source résulte surtout du débit de base

donc d'un approvisionnement par les nappes, les flux peuvent être non biaisés mais avec des niveaux d'imprécisions supérieures aux autres méthodes.

Rappelons que, dans ce travail, cette méthode a initialement été développée pour estimer les flux de MES d'où la dépendance au ruissellement. Il serait intéressant par la suite de tester une méthode intégrant également une dépendance des concentrations par rapport au débit de base, notamment pour les SDT.

Des deux méthodes de séparation d'hydrogramme testées, HSM apparaît comme la plus performante et sera donc la seule à être traitée par la suite afin de déterminer l'impact de différents descripteurs de la variabilité et de l'intervalle d'échantillonnage.

5.3 Relation avec les indicateurs de variabilité

A l'instar des chapitres 3 et 4, les descripteurs testés sont ici le $M_{2\%}$ (Figure 5-15), $W_{2\%}$ (Figure 5-16) et b_{50sup} (Figure 5-17) ainsi que les types des relations C-Q (Figure 5-18) définis à la section 1-3. Leurs relations avec le biais et l'imprécision générés par la méthode de séparation d'hydrogramme modifiée (HSM) sont analysées pour les quatre types de matériaux à un intervalle d'échantillonnage mensuel.

5.3.1 Indicateur de durée des flux de matière ($M_{2\%}$)

Les incertitudes engendrées par HSM (biais et imprécisions) pour les quatre types de matériaux sont reliées à l'indicateur de durée des flux de matière $M_{2\%}$.

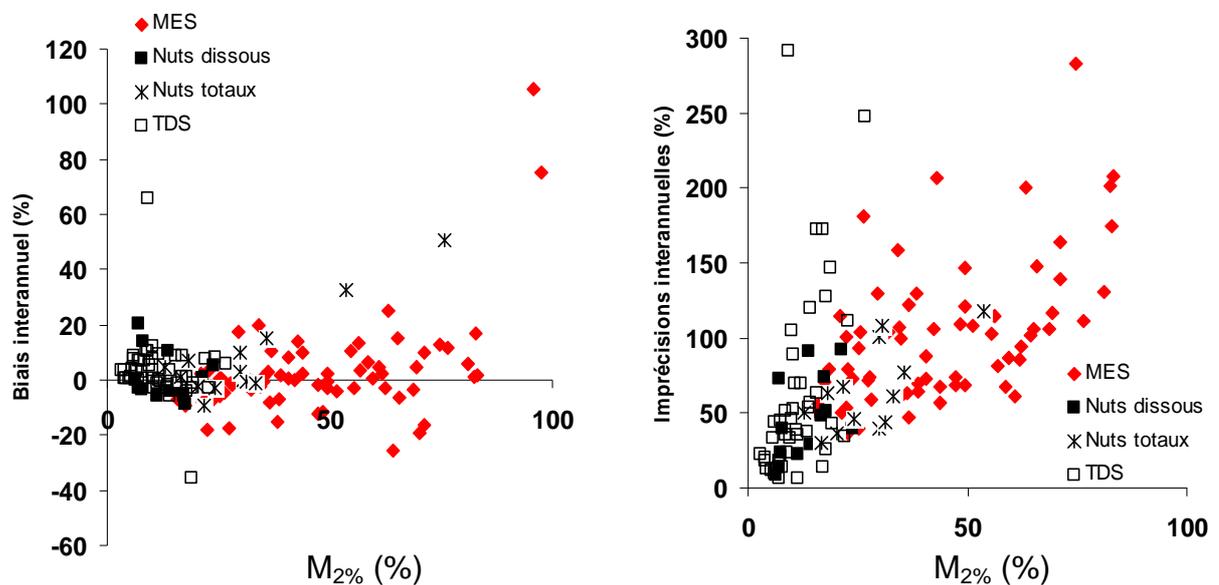


Figure 5-15 : Biais et imprécisions interannuels pour tous les types de matériaux, générés par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel en fonction du $M_{2\%}$

Les biais générés par HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel ne sont pas influencés par le $M_{2\%}$ (Figure 5-15). Ils sont généralement compris entre -20% et 20% quel que soit le type de matériaux. Un nombre limité de stations génère des incertitudes très fortes car elles sont caractérisées par des conditions vraiment «extrêmes» de variabilité du flux de matière $M_{2\%}>95\%$ du flux ou des concentrations ($b_{50sup} < -0.6$).

Les imprécisions générées par HSM augmentent avec le $M_{2\%}$. Cette tendance est surtout marquée pour les flux de MES et de nutriments totaux et est moins évidente pour les SDT et les nutriments dissous.

L'indicateur $M_{2\%}$ ne semble pas être le plus performant pour expliquer les biais générés par HSM. Ceci est un avantage pour cette méthode car elle est utilisable quelle que soit la variabilité de la station. Par contre cet indicateur semble performant pour comprendre la dispersion des erreurs générées par cette méthode. Comme dans les chapitres précédents, des indicateurs disponibles à partir d'un suivi discret des concentrations (b_{50sup}) et des débits en continu ($W_{2\%}$) sont ensuite testés.

5.3.2 Indicateur de durée des flux d'eau ($W_{2\%}$)

Les résultats sont ici similaires à ceux observés pour $M_{2\%}$. Les biais ne sont pas reliés au $W_{2\%}$ (Figure 5-16) qui n'apparaît donc pas comme un facteur explicatif pour ce type de méthode. En revanche les imprécisions augmentent avec des valeurs de $W_{2\%}$ croissantes. A l'inverse de $M_{2\%}$, cette tendance se remarque quel que soit le type de matériaux.

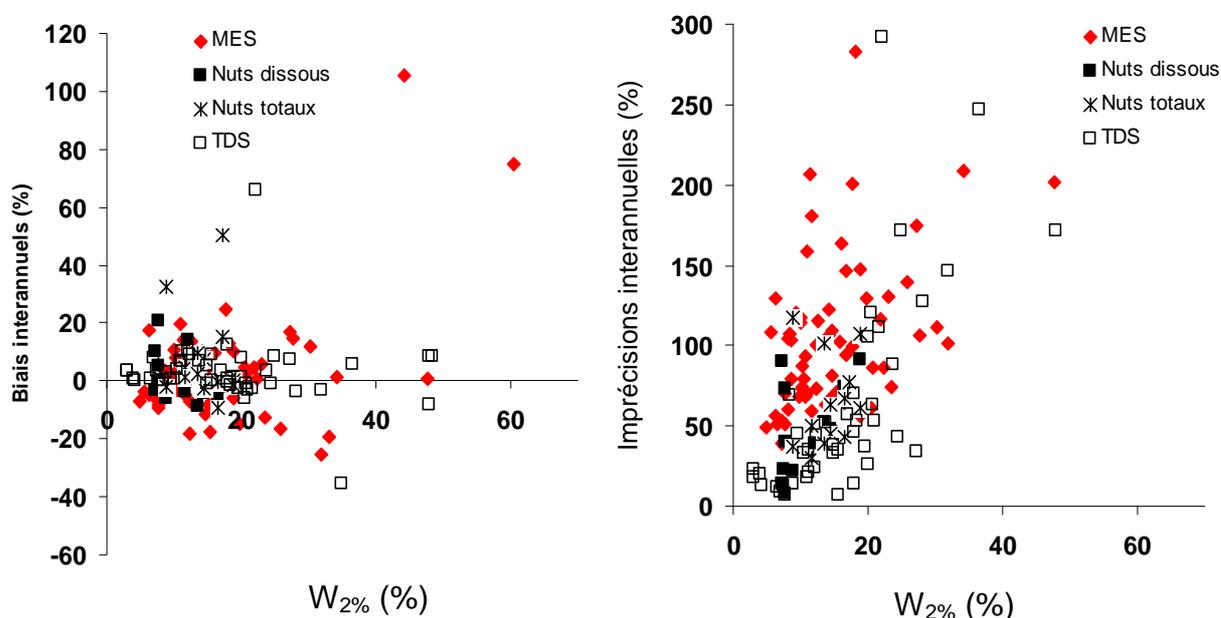


Figure 5-16 : Biais et imprécisions interannuels pour tous les types de matériaux générés par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel en fonction du $W_{2\%}$

L'indicateur $W_{2\%}$ n'apparaît donc pas comme discriminant dans la compréhension des biais générés par HSM. La variabilité du flux d'eau n'a donc pas ou peu d'influence sur les biais. Par contre une

variabilité du flux d'eau élevée explique des valeurs d'imprécisions fortes. Reste à savoir si la variabilité des concentrations peut expliquer les incertitudes générées par cette méthode.

5.3.3 Indicateur de variabilité hydrochimique (b_{50sup})

Les biais générés par HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel ne sont pas corrélés par l'indicateur b_{50sup} (Figure 5-17). Le fait que les matériaux soient dilués, stables ou concentrés pour les débits les plus forts, génère des incertitudes comprises généralement entre -20 et 20%. Les imprécisions sont quant à elles influencées par le b_{50sup} . Comme pour $M_{2\%}$, cette tendance semble plus marquée pour les MES et les nutriments totaux que pour les SDT et les nutriments dissous.

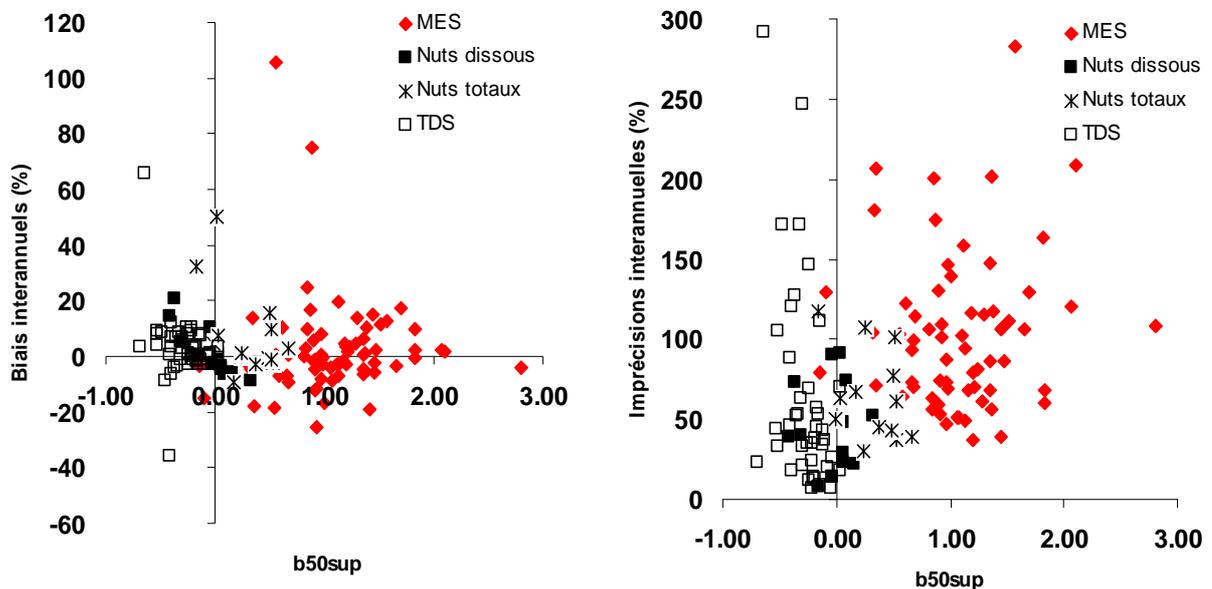


Figure 5-17 : Biais et imprécisions interannuels pour tous les types de matériaux générés par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel en fonction du b_{50sup}

Pour conclure, en ce qui concerne le biais, il ne semble pas y avoir de lien avec les descripteurs de variabilité. Quel que soit l'indicateur et le type de matériaux, les erreurs interannuelles sont faibles. Les biais générés par HSM ne dépendraient donc pas de la variabilité hydrologique et hydrochimique. A l'exception de quelques stations MES et SDT, cette méthode apparaît utilisable quelles que soient les caractéristiques de la station. A l'inverse, les imprécisions semblent corrélées de la même manière avec les trois indicateurs : les imprécisions augmentent lorsque la variabilité est importante. Cette méthode génère donc des biais faibles quelle que soit la variabilité de la station mais la dispersion des erreurs interannuelles en est dépendante. Le type de relation C-Q est donc testé par la suite pour déterminer quel facteur est susceptible de contrôler les biais générés par cette méthode.

5.3.4 Influence des types de relation C-Q

La figure 5-18 représente les biais et les imprécisions interannuelles en fonction des types de relation C-Q pour un intervalle d'échantillonnage mensuel. Quel que soit le type, la médiane des biais est très faible (comprise entre -10% et 10%). Pour deux types, c-D et d-S, les dispersions des biais sont plus importantes : -35% et 60% respectivement. Les médianes des imprécisions sont similaires pour tous les types, mais elles sont élevées, entre 50% et 100%, les dispersions des imprécisions les plus fortes se retrouvant pour les types d-S et s-D. Les dispersions fortes pour ces types, aussi bien sur le biais que l'imprécision, sont le fait d'une station par type: la rivière Canadian à Amarillo pour le biais sur le type c-D ; la rivière Grand à Painesville pour les imprécisions et le biais sur le type d-S (orthophosphate) qui est très mal estimé par le modèle avec un r^2 très faible ($r^2=0.25$) par rapport aux autres stations de même type; la rivière Pecos à Pecos pour les imprécisions sur le type s-D qui présente une variabilité hydrochimique importante ($b_{50sup}=-0.41$). Ce n'est donc pas le type de relation C-Q qui influence les incertitudes générées par la méthode HSM.

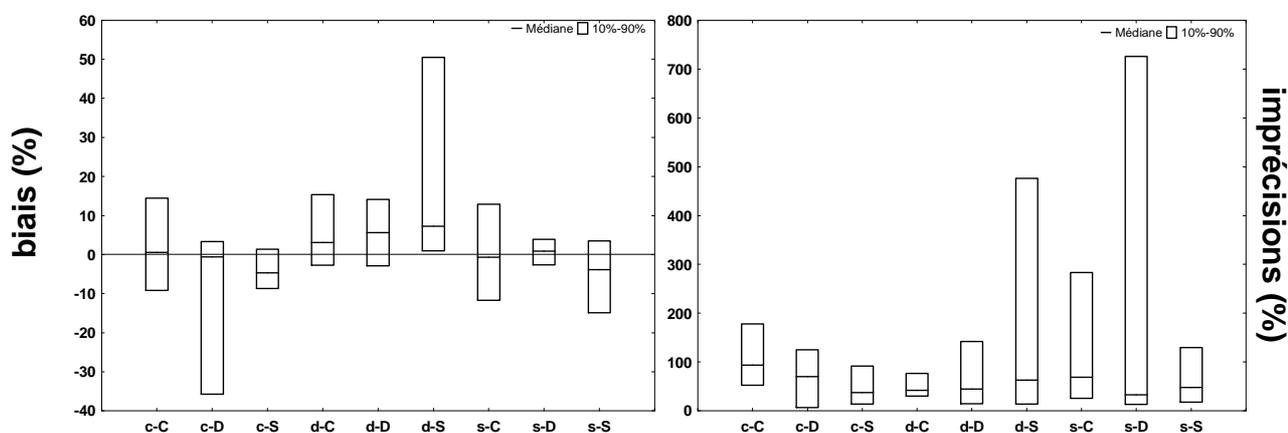


Figure 5-18 : Distribution des biais et des imprécisions interannuels générés par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel pour l'ensemble des stations et des matériaux en fonction des types de relation C-Q.

Cette méthode ne semble pas ou peu influencée par la variabilité hydrologique, la variabilité des concentrations et le type de relation C-Q. Elle pourrait donc être utilisable dans toutes les conditions mais génère des imprécisions interannuelles élevées (Tableau 5-7). La réduction de l'intervalle d'échantillonnage pourrait permettre de réduire cette imprécision.

Tableau 5-7: Récapitulatif de l'influence des types de relation C-Q sur les incertitudes générées par la méthode HSM

		d-D	d-S	d-C	s-S	s-D	s-C	c-S	c-D	c-C
HSM	Biais	+	+/-	+	+	++	++	+	+/-	+
	Imprécisions	-	--	-	-	-	--	-	-	-

5.4 Influence de l'intervalle d'échantillonnage sur l'estimation des flux par les méthodes HS et HSM

Des intervalles d'échantillonnages de 3 à 30 jours ont été testés sur l'estimation du flux de MES. La figure 5-19 présente la médiane des biais et des imprécisions pour toutes les stations MES confondues et pour chaque intervalle. On observe le même comportement qu'avec les méthodes de régression. Les stations étant confondues, l'allure des courbes ont tendance à être lissées, les erreurs interannuelles pouvant se compenser d'une station à une autre. On peut cependant remarquer que l'influence de l'intervalle d'échantillonnage se manifeste en dessous de 5 jours pour les biais et les imprécisions. On peut également remarquer que l'estimation n'est généralement pas biaisée pour les MES par la méthode de séparation d'hydrogramme modifié (HSM) quel que soit l'intervalle. Pour la méthode de séparation d'hydrogramme (HS), l'estimation est fortement biaisée quelle que soit la fréquence et chute ensuite linéairement en deçà d'un intervalle de 5 jours. Pour les imprécisions, elle diminue faiblement entre 30 et 5 jours, puis pour une fréquence de 3 jours diminue linéairement et passe sous les 60%. Ceci est une conclusion générale ne prenant pas en compte la variabilité hydrologique et hydrochimique des stations.

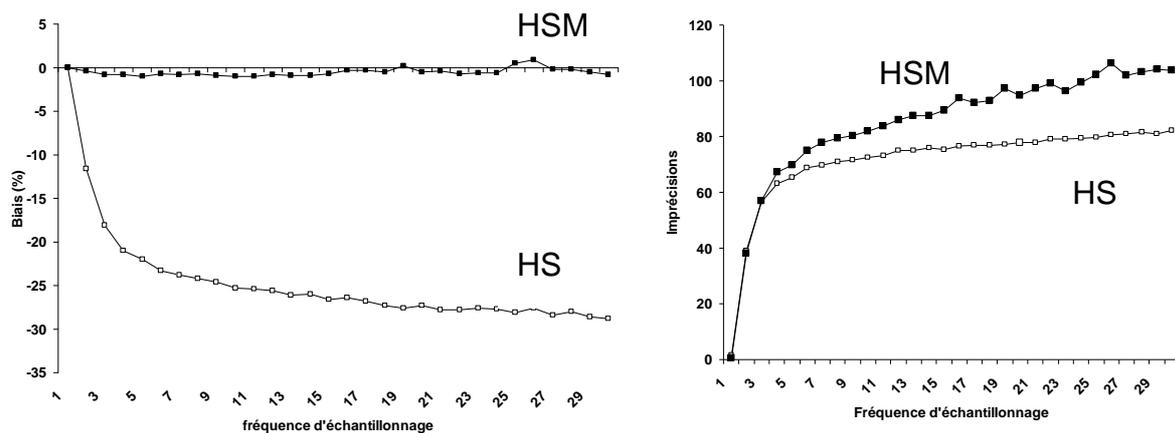


Figure 5-19: Distribution de la médiane des biais et des imprécisions interannuels sur les flux de MES par les méthodes HS et HSM en fonction de l'intervalle d'échantillonnage.

Les biais et imprécisions interannuels de deux stations contrastées ont donc été testés en fonction de l'intervalle d'échantillonnage (Figure 5-20). Même si les courbes sont un peu plus bruitées que sur la figure 5-19, les tendances restent les mêmes. Pour les deux méthodes et quelles que soient les caractéristiques de la station, il faut arriver à des intervalles inférieurs à 5 jours pour diminuer le biais et l'imprécision. La variabilité hydrologique des stations n'a donc pas d'effet sur l'intervalle d'échantillonnage. Seulement, comme les imprécisions sont plus fortes pour une variabilité plus importante, on a le même niveau d'imprécision pour la Marne à un intervalle de 30 jours que pour la rivière Mad à Arcata à un intervalle de 4 jours.

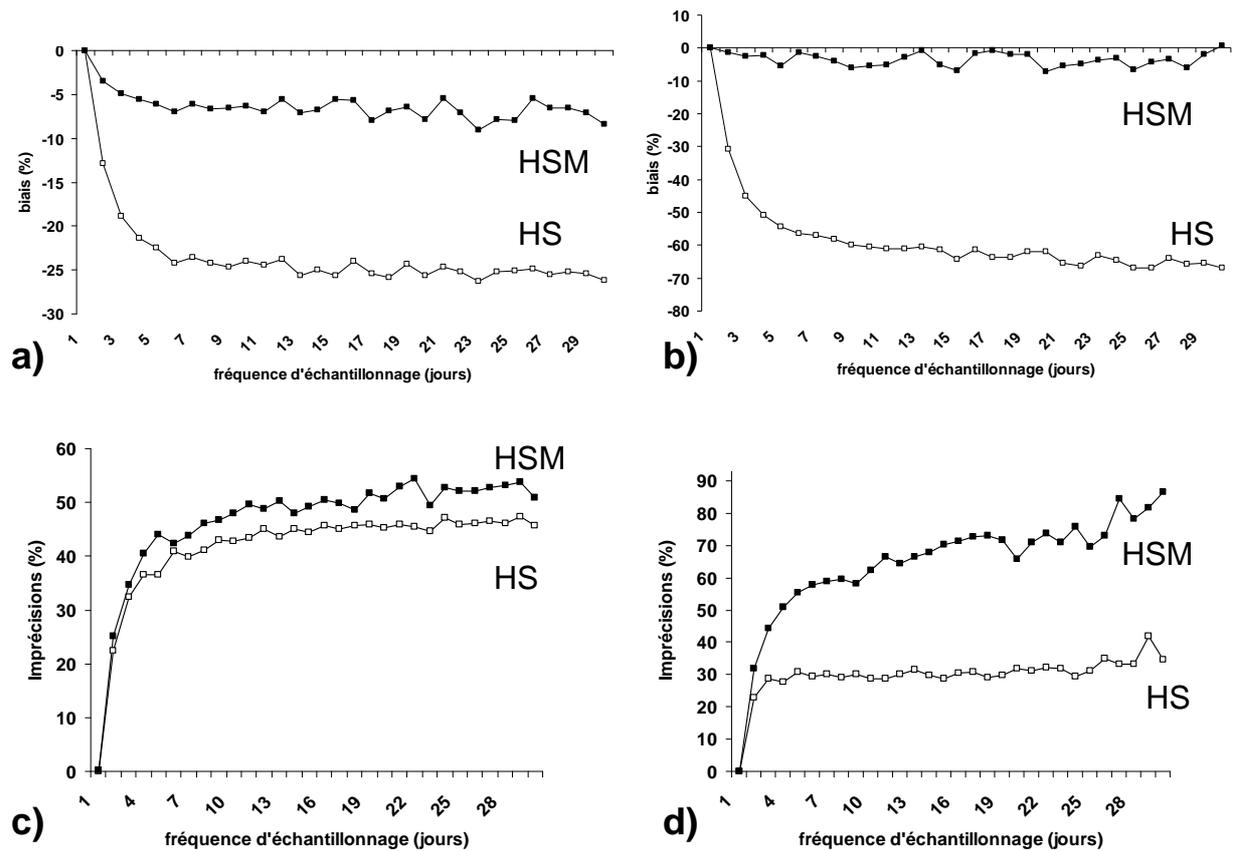


Figure 5-20: Distribution des biais interannuels sur l'estimation du flux annuel de MES pour deux stations contrastées par les méthodes HS et HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel : a et c) rivière Seine à Choisy, b et d) rivière Mad à Arcata.

5.5 Usage optimal des méthodes basées sur la séparation d'hydrogramme (HS, HSM)

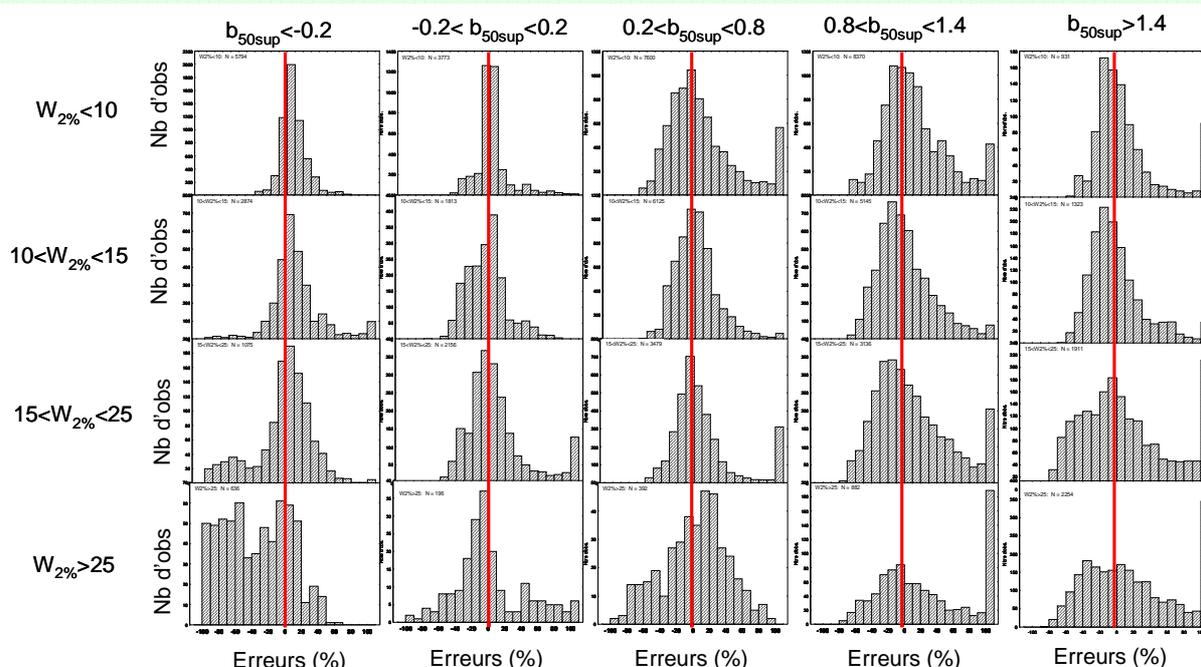
Les conditions d'utilisation optimale de la méthode de séparation d'hydrogramme (HS) et de la méthode de séparation d'hydrogramme modifié (HSM) sont définies dans le tableau 5-8. On s'affranchit ici de la nature chimique du composé pour ne retenir que sa nature statistique. Les conditions d'utilisation sont alors définies en fonction de descripteurs de variabilités hydrologique et de concentrations testés précédemment à savoir le $W_{2\%}$ et le b_{50sup} . Les méthodes sont ici recommandées pour un intervalle d'échantillonnage mensuel noté entre parenthèses. Le tableau 5-8 a donc été défini à partir des incertitudes interannuelles (biais interannuels et moyenne des imprécisions annuelles). Les méthodes sont considérées comme recommandables pour des biais interannuels inférieurs à $\pm 10\%$ et des imprécisions inférieures à $\pm 30\%$.

Tableau 5-8: Condition d'utilisation des méthodes HS et HSM en fonction des indicateurs de variabilité $W_{2\%}$ et b_{50sup} (30, 15, 7, 3 = intervalle d'échantillonnage acceptable en jours)

	$b_{50sup} < -0.2$	$-0.2 < b_{50sup} < 0.2$	$0.2 < b_{50sup} < 0.8$	$0.8 < b_{50sup} < 1.4$	$b_{50sup} > 1.4$
$W_{2\%} < 10$	HS (30) HSM (30)	HS (30) HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)
$10 < W_{2\%} < 15$	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)
$15 < W_{2\%} < 25$	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)	HSM (30)
$W_{2\%} > 25$	HSM (30)	Non documenté	Non documenté	HSM (3)	HSM (3)

Deux conditions du tableau ne sont pas documentées, aucune méthode n'est donc recommandée. Mais l'on peut penser qu'il existe une continuité dans les méthodes proposées. Pour des variabilités hydrologiques et hydrochimiques faibles ($b_{50sup} < 0.2$ et $W_{2\%} < 10$), toutes les méthodes sont applicables. Mais lorsque les conditions de $W_{2\%}$ et b_{50sup} augmentent, seule la méthode modifiée est utilisable. Dans les cas vraiment extrêmes, aucune méthode n'est sélectionnable, à part en réduisant l'intervalle d'échantillonnage à 3 jours.

Cette matrice a été construite sur la base des erreurs interannuelles, mais nous avons vu dans les paragraphes précédents qu'il peut exister des différences entre les erreurs annuelles et les erreurs interannuelles. La distribution des erreurs annuelles est donc représentée en fonction des deux mêmes descripteurs pour la méthode HSM (Figure 5-21).


 Figure 5-21: Distribution des erreurs annuelles générées par la méthode HSM à un intervalle d'échantillonnage mensuel en fonction des classes de $W_{2\%}$ et b_{50sup}

Les résultats confirment ceux obtenus avec les erreurs interannuelles. Dans les conditions extrêmes ($W_{2\%}>25$ et $b_{50\text{sup}}>0.8$) cette méthode n'est pas utilisable à une fréquence mensuelle avec une distribution des erreurs très étalée qui reste cependant la meilleure de toutes celles testées. On peut également remarquer que les erreurs sont souvent comprises entre -20% et 20% et que plus les conditions augmentent (variabilité hydrologique et hydrochimique/sédimentologique), plus la distribution a tendance à être étalée tout en restant centrée sur 0. La dernière classe de chaque condition regroupe toutes les erreurs de la distribution qui sont supérieures à 100%.

6 Synthèse comparative des méthodes de calculs

Les chapitres précédents ont montré les performances de plusieurs méthodes de calcul basées sur les moyennes, les régressions linéaires (intégrales et segmentées) et l'approche de séparation d'hydrogramme suivant les différents constituants étudiés et plusieurs indicateurs de variabilité. Ce chapitre présente dans un premier temps la comparaison de leurs performances afin de choisir leurs domaines d'application optimale. Dans un second temps, nous avons testé l'utilisation de la méthode basée sur la distribution statistique des concentrations (Mailhot et al, 2008, description dans le paragraphe 2.1.4.5.) sur la base d'un échantillon plus réduit de 25 sites sélectionnés.

Nous présentons ici les principaux résultats, pour plus de précisions, le lecteur peut se référer aux deux articles «Optimal methods for annual riverine flux reporting from infrequent sampling » et «Load estimation method using distributions with covariates : a comparison with commonly used estimation methods » présentés dans l'annexe 4

Enfin, compte tenu de ces résultats, nous présenterons les bases d'un système expert permettant de choisir la fréquence d'échantillonnage optimale pour une méthode donnée ou alors la méthode de calcul pour une fréquence d'échantillonnage donnée. Ceci dans le but d'établir un système expert d'aide à la décision.

Afin de comparer les performances des méthodes sur une période avec une variabilité hydrologique contrastée, des suivis de surveillance de 10 ans (± 2 ans) ont été sélectionnés. Les stations avec 20 ans de données journalières ou plus ont été divisées en deux jeux de données de 10 ans. Ainsi la base de données utilisée pour comparer les performances des méthodes de calculs est constituée de i) 21 stations avec huit à neuf ans de données ; ii) 41 stations avec 10 ans de données ; iii) 23 stations dont les données sont divisées en deux à quatre jeux de données. L'ensemble forme une base composée de 120 jeux de données de 8 à 10 ans représentant 1200 années-stations

Les biais et les imprécisions sur les flux sont déterminés pour chaque méthode de calcul à toutes les stations, à partir des simulations de suivis discrets à différentes fréquences (3 à 30 jours). La distribution des erreurs est ensuite analysée pour chaque méthode sur la base de l'exposant tronqué (b_{50sup}) de la régression C-Q et l'indicateur de durée du flux d'eau en 2% du temps ($W_{2\%}$).