

**Utilisation des prévisions saisonnières de pluie produites
par Météo France (modèle ARPEGE System4) pour la
prévision du volume naturel de crue du fleuve Sénégal.**

Jean-Claude Bader

Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France

Le 14 Août 2013

RESUME

Les index pluviométriques reconstitués en mode prévision par le modèle Arpege System4 sur l'Afrique de l'ouest pour la période 1991-2012 sont utilisés pour mettre au point deux modèles de prévision du débit naturel de crue du fleuve Sénégal à Bakel.

- Le premier modèle utilise les index pluviométriques prévus début août pour les mois de septembre et octobre sur une zone H8a8 de 1200X1200 km comprise entre les longitudes -0.705 et 10.545 et les latitudes -1.40 et 9.81. Il permet de prévoir le débit moyen de septembre-octobre, avec de très bons résultats sur 16 années de calage ainsi que sur 6 années de validation représentatives de la variabilité des débits observés. La zone H8a8 est quasiment confondue avec la zone H5 qui était utilisée pour faire le même type de prévision avec la version précédente d'Arpege (4.5 couplé).
- Le second modèle utilise les index pluviométriques prévus début juillet pour les mois d'août, septembre et octobre sur une zone E8b8 de 1200X1200 km comprise entre les longitudes -9.14 et 2.11 et les latitudes 1.40 et 12.61. Il permet de prévoir le débit moyen de août-septembre-octobre, avec d'assez bons résultats sur 16 années de calage et des résultats acceptables sur 6 années de validation représentatives de la variabilité des débits observés.

L'utilisation de ces modèles en temps réel donne les débits prévus suivants pour l'année 2013 :

- Débit moyen de septembre-octobre: 1464 m³/s (valeur dépassée 13 fois sur 22 sur la période 1991-2012)
- Débit moyen de août-septembre-octobre : 1966 m³/s (valeur dépassée 9 fois sur 22 sur la période 1991-2012)

OBJECTIF

L'étude fait suite aux travaux précédents concernant la prévision saisonnière de crue du fleuve Sénégal, réalisés depuis 2000 grâce à la collaboration entre l'IRD, Météo France et l'OMVS. Elle vise à mettre au point un nouveau modèle de prévision, basé sur l'adaptation statistique des prévisions saisonnières de pluie produites par le modèle le plus récent de Météo France (Arpege System4). Le nouveau modèle est utilisé pour prévoir le débit moyen de la crue de 2013.

DONNEES

Prévisions saisonnières de pluie

Pour les années 1991 à 2013, on dispose d'index pluviométriques centrés réduits (période 1991-2011) sur un maillage de 150X150 km couvrant l'Afrique de l'Ouest entre les latitudes -0.7 et 14.708 et les longitudes -19.688 et 29.531 (centres des mailles). Sur chacune de ces 432 mailles (fig.1), les index sont produits en mode prévision par Arpege System4 aux dates suivantes :

- Début juillet : un index par mois pour la période de juillet à octobre
- Début août : un index par mois pour la période d'août à novembre

Débit naturel du fleuve Sénégal à la station de Bakel

Le débit naturel du fleuve à Bakel est connu au pas de temps journalier depuis l'origine des données à la station (1904) jusqu'à juin 2013. Ces débits, qui correspondent au régime d'écoulement observé jusqu'en 1986 et à un régime reconstitué ensuite (influence du barrage

de Manantali), ont été réévalués récemment par l'IRD à l'occasion d'une étude réalisée pour l'OMVS (actualisation de la monographie hydrologique du fleuve Sénégal, 2013). Leurs valeurs peuvent donc différer légèrement des valeurs précédemment utilisées.

MISE AU POINT DES MODELES

Deux modèles sont mis au point par l'étude :

- Comme les modèles réalisés précédemment, le premier modèle vise à prévoir le débit moyen naturel du fleuve de la période septembre-octobre à partir des index de septembre et d'octobre calculés début août.
- Le second modèle vise quant à lui à prévoir le débit moyen naturel du fleuve de août à octobre à partir des index d'août, septembre et octobre calculés début juillet

Pour l'essentiel, la mise au point de chacun de ces modèles repose sur la même méthode de calcul que les modèles antérieurs, rappelée brièvement ci-dessous.

Méthode

Regroupement des mailles d'Arpege par zones élémentaires.

Exploitant successivement les résultats d'Arpege 3 forcé, Arpege 4.6 forcé et Arpege 4.5 couplé, les études antérieures ont chacune identifié des zones carrées de 1200X1200km parmi les différentes formes testées, où les index pluviométriques s'avéraient les plus prédictifs pour le débit du Sénégal. Seul ce type de zone élémentaire est donc testé ici pour exploiter les résultats d'Arpege System4.

La nomenclature de zone est modifiée pour être adaptée à la nouvelle grille des résultats d'Arpege (fig. 1). Une lettre comprise entre A et O représente désormais la limite ouest de chaque zone, alors qu'une lettre comprise entre a et c représente la limite sud. Ainsi, une zone

G16c8 a son angle sud-ouest situé à la longitude -3.52 et la latitude 4.20. Elle s'étend sur 16 mailles (2400 km) vers l'est et 8 mailles (1200 km) vers le nord.

Les 45 zones élémentaires testées ici sont toutes du type X8y8. Elles s'étendent de la zone A8a8 pour la plus au sud-ouest, jusqu'à O8c8 pour la plus au nord-est.

Séparation des données en échantillons de calage et de validation

Les données disponibles s'étendent sur 22 années, parmi lesquelles 16 sont utilisées pour le calage des modèles et 6 pour leur validation. Deux types de découpage de l'échantillon sont testés :

- découpage chronologique : les périodes 1991 à 2006 et 2007 à 2012 sont utilisées respectivement pour le calage et la validation
- découpage constituant un échantillon de validation représentatif de la variabilité des débits. La série des débits naturels observés, classés par ordre croissant, est découpée en 6 classes successives parmi lesquelles on retient l'individu de milieu de classe pour l'échantillon de calage. Selon ce principe, les années correspondant aux débits de rangs 2, 6, 9, 13, 17 et 20 constituent l'échantillon de validation, les autres années constituant l'échantillon de calage.

Analyse en composantes principales des index sur l'échantillon de calage

Pour chaque zone élémentaire testée, comportant 64 mailles, les index pluviométriques constituent des variables de base dont l'effectif très important (128 pour la prévision SO et 192 pour la prévision ASO) dépasse largement la taille de l'échantillon de calage (16). L'ACP détermine des vecteurs propres (VP) obtenus par combinaisons linéaires de ces variables de base, indépendants entre eux et classés par variance décroissante. On retient les 8 premiers vecteurs propres, qui agrègent la majeure partie de l'information contenue dans les index.

Recherche de relation entre les vecteurs propres d'index et les débits sur l'échantillon de calage

Une première relation est établie par régression multiple, entre les 5 premiers vecteurs propres d'index (V1 à V5) et le débit Q. Cinq autres relations sont ensuite établies par régression multiple descendante entre les n vecteurs propres les plus prédictifs (M1 à Mn, déterminés parmi V1 à V8) et Q, pour n compris entre 5 et 1.

Sélection des meilleures relations établies sur l'échantillon de calage

On sélectionne parmi l'ensemble des régressions établies, celles qui présentent les plus faibles erreurs-types de calage.

Test des régressions sélectionnées sur l'échantillon de validation, et choix du modèle à utiliser pour la prévision en temps réel

Sont écartées toutes les régressions pour lesquelles il existe au moins une autre régression présentant une erreur type inférieure à la fois en calage et en validation. Le choix du modèle à utiliser se fait parmi les quelques régressions conservées.

Résultats obtenus

Prévision début août du débit moyen de septembre-octobre

Découpage chronologique des données.

Les résultats obtenus avec ce découpage (tab. 1 et fig. 2) sont bons en calage, avec des R^2 entre M1 à M5 et Q supérieurs à 0.5 pour 43 zones sur 45. Ils sont par contre mauvais en validation, avec des débits prévus largement sous-estimés pour la plupart par rapport aux débits observés.

Parmi les dix meilleurs modèles en calage, le meilleur modèle en validation (et le seul acceptable) est obtenu sur la zone K8b8 avec la régression entre M1 à M3 et Q (fig.3-a). Etant

donné l'éloignement très important de la zone K8b8 par rapport au bassin versant du Sénégal à Bakel, nous ne retenons pas ce modèle pour la prévision en temps réel.

Découpage des données produisant un échantillon de validation représentatif

L'échantillon de validation représentatif, obtenu en sélectionnant les débits observés de rangs 2, 6, 9, 13, 17 et 20 (voir plus haut), correspond aux années 1991, 1995, 1999, 2000, 2004 et 2009. Les résultats obtenus avec ce découpage des données est à la fois bon en calage pour de très nombreuses zones et, pour certaines parmi ces dernières, également bons en validation (tab. 2 et fig. 4).

La zone H8a8, classée en rang 3 pour le R^2 de calage entre M1 à M5 et Q, donne un modèle à la fois meilleur en calage et en validation que toutes les zones de rangs supérieurs, qui sont donc éliminées. Par rapport aux zones K8b8 et K8a8, classées aux rangs 1 et 2, elle donne une erreur type légèrement supérieure en calage mais nettement inférieure en validation. Par rapport au bassin versant du fleuve, elle est par ailleurs nettement moins éloignée que ces dernières.

C'est donc finalement la régression établie à partir des vecteurs M1 à M5 des index de la zone H8a8 qui est retenue comme modèle pour prévoir le débit moyen de septembre-octobre du fleuve Sénégal (fig. 3-b). Ce modèle présente une erreur type valant respectivement 274, 200 et 212 m^3/s en calage, en validation et sur l'ensemble des données, bien inférieure à l'écart type des débits observés entre 1991 et 2012 (542 m^3/s). Les coefficients multiplicateurs d'index du modèle ne présentent pas d'organisation spatiale évidente (fig.5)

On remarque enfin que la zone H8a8 est quasiment confondue avec la zone H5 qui était jusqu'à présent utilisée pour faire le même type de prévision avec la version précédente d'Arpege (4.5 couplé).

Prévision début juillet du débit moyen d'août-septembre-octobre

Seul le découpage des données produisant un échantillon de validation représentatif est utilisé pour mettre au point ce modèle. Cet échantillon est constitué des années 1991, 1995, 1999, 2002, 2006 et 2010 qui correspondent aux débits naturels observés de rangs 2, 6, 9, 13, 17 et 20.

Les résultats obtenus (tab.3 et fig. 6) montrent que parmi les dix zones où les index sont les plus prédictifs en calage, les zones de rang 4 (E8b8) et 6 (M8a8) donnent les meilleurs résultats (et les seuls acceptables) en validation. La zone M8a8 est cependant écartée du fait de son grand éloignement du bassin versant du Sénégal.

C'est finalement la régression établie à partir des vecteurs M1 à M3 des index de la zone E8b8 qui est retenue comme modèle pour prévoir le débit moyen de août-septembre-octobre du fleuve Sénégal (fig. 3-c). Ce modèle présente une erreur type valant respectivement 346, 487 et 361 m³/s en calage, en validation et sur l'ensemble des données, assez inférieure à l'écart type des débits observés entre 1991 et 2012 (540 m³/s). Les coefficients multiplicateurs d'index du modèle ne présentent pas d'organisation spatiale évidente (fig.7)

PREVISION DES DEBITS DE CRUE POUR L'ANNEE 2013

L'utilisation des modèles retenus donne les prévisions suivantes pour l'année 2013 :

- Débit moyen de septembre-octobre prévu à partir des index calculés début août sur la zone H8a8 : 1464 m³/s (valeur dépassée 13 fois sur 22 par les débits naturels observés de 1991 à 2012)
- Débit moyen de août-septembre-octobre prévu à partir des index calculés début juillet sur la zone E8b8 : 1966 m³/s (valeur dépassée 9 fois sur 22 par les débits naturels observés de 1991 à 2012)

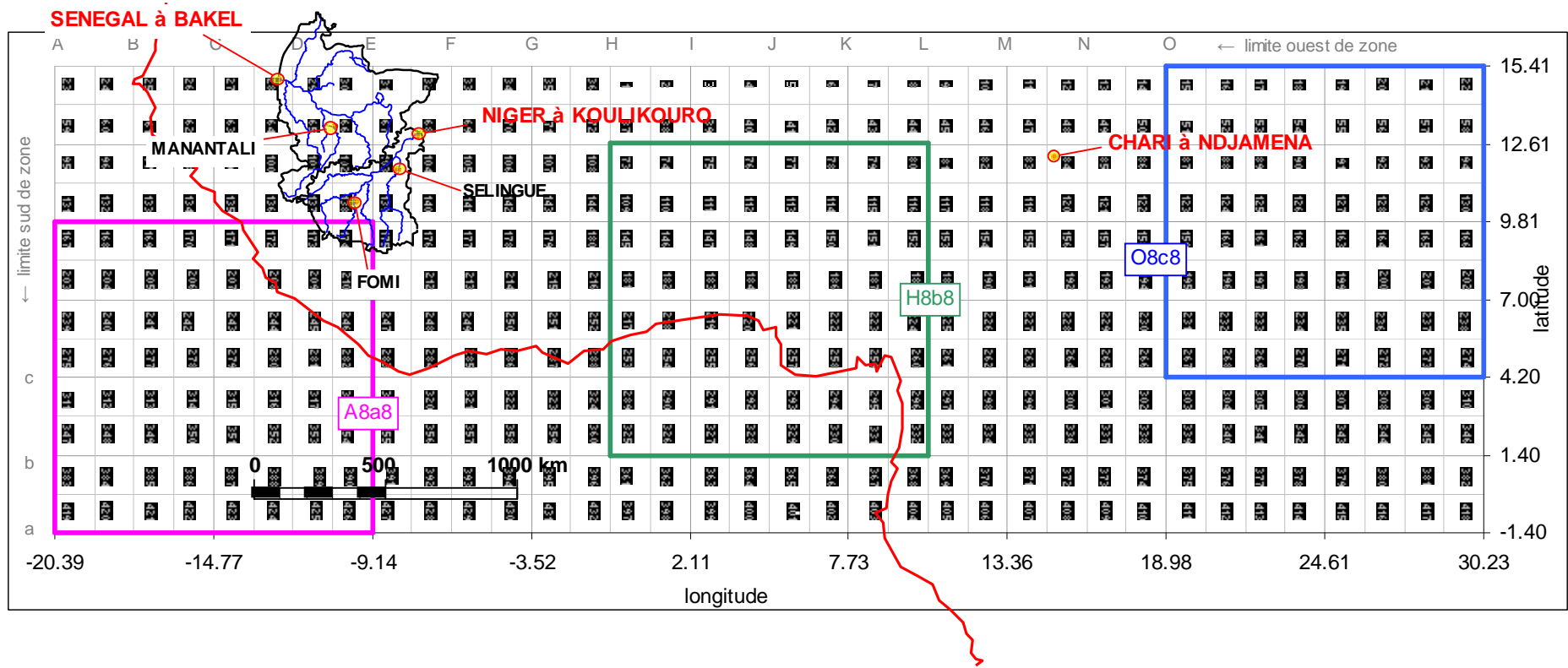


Figure 1 : grille de sortie des résultats d'Arpege System4 sur l'Afrique de l'ouest et nomenclature des zones élémentaires

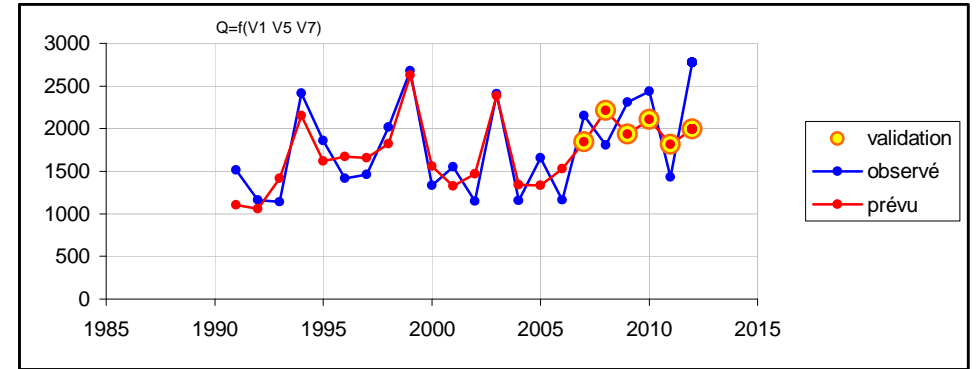
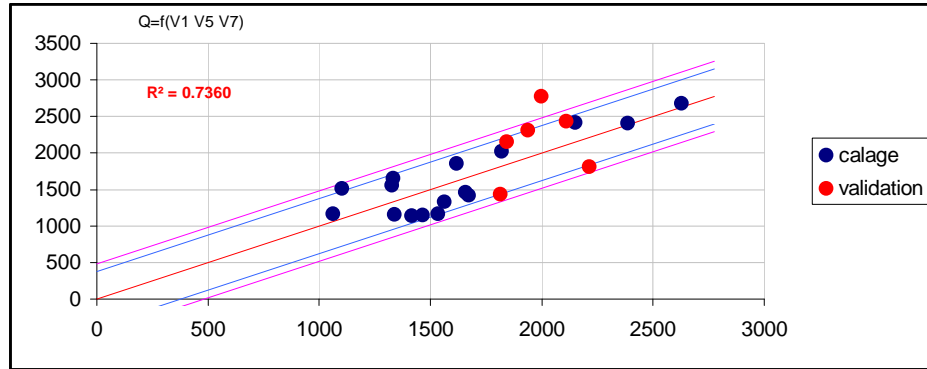


Figure 3-a : résultats obtenus pour la prévision de Q(sept-oct) avec les index de la zone K8b8 (découpage chronologique d'échantillon). Partie gauche : relation moyenne et intervalles de confiance à 80 et 90%. **Modèle non retenu**

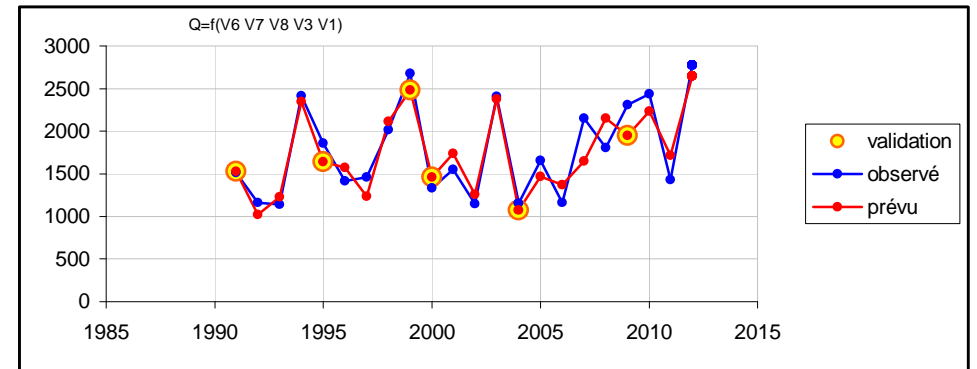
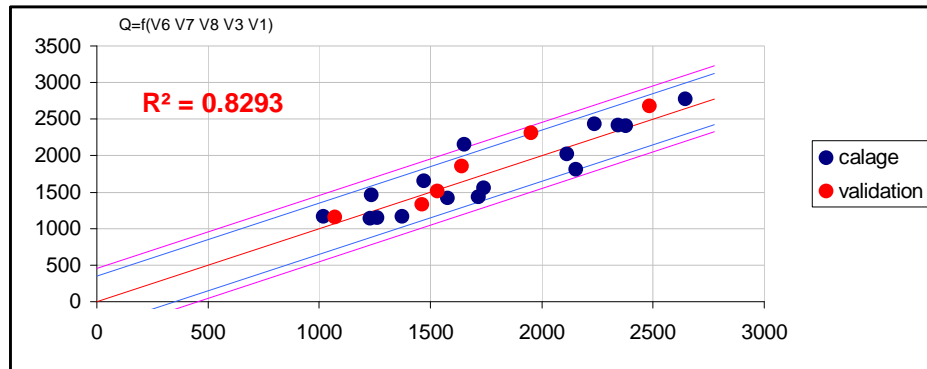


Figure 3-b : résultats obtenus pour la prévision de Q(sept-oct) avec les index de la zone H8a8 (découpage des données produisant un échantillon de validation représentatif). Partie gauche : relation moyenne et intervalles de confiance à 80 et 90%. **Modèle retenu**

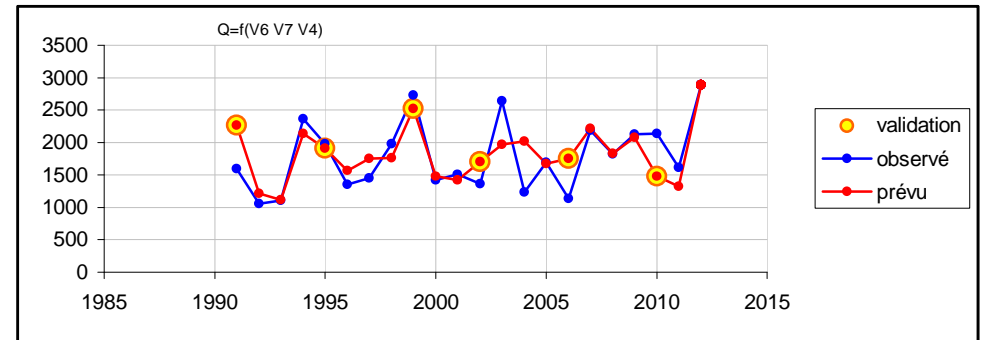
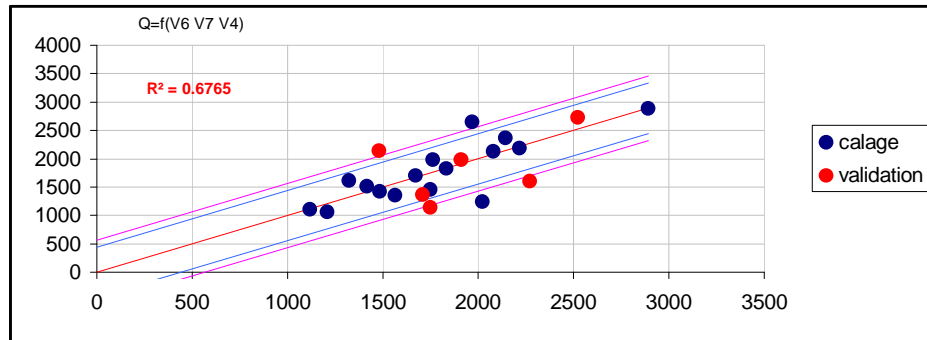


Figure 3-c : résultats obtenus pour la prévision de Q(août-sept-oct) avec les index de la zone E8b8 (découpage des données produisant un échantillon de validation représentatif). Partie gauche : relation moyenne et intervalles de confiance à 80 et 90%. **Modèle retenu**

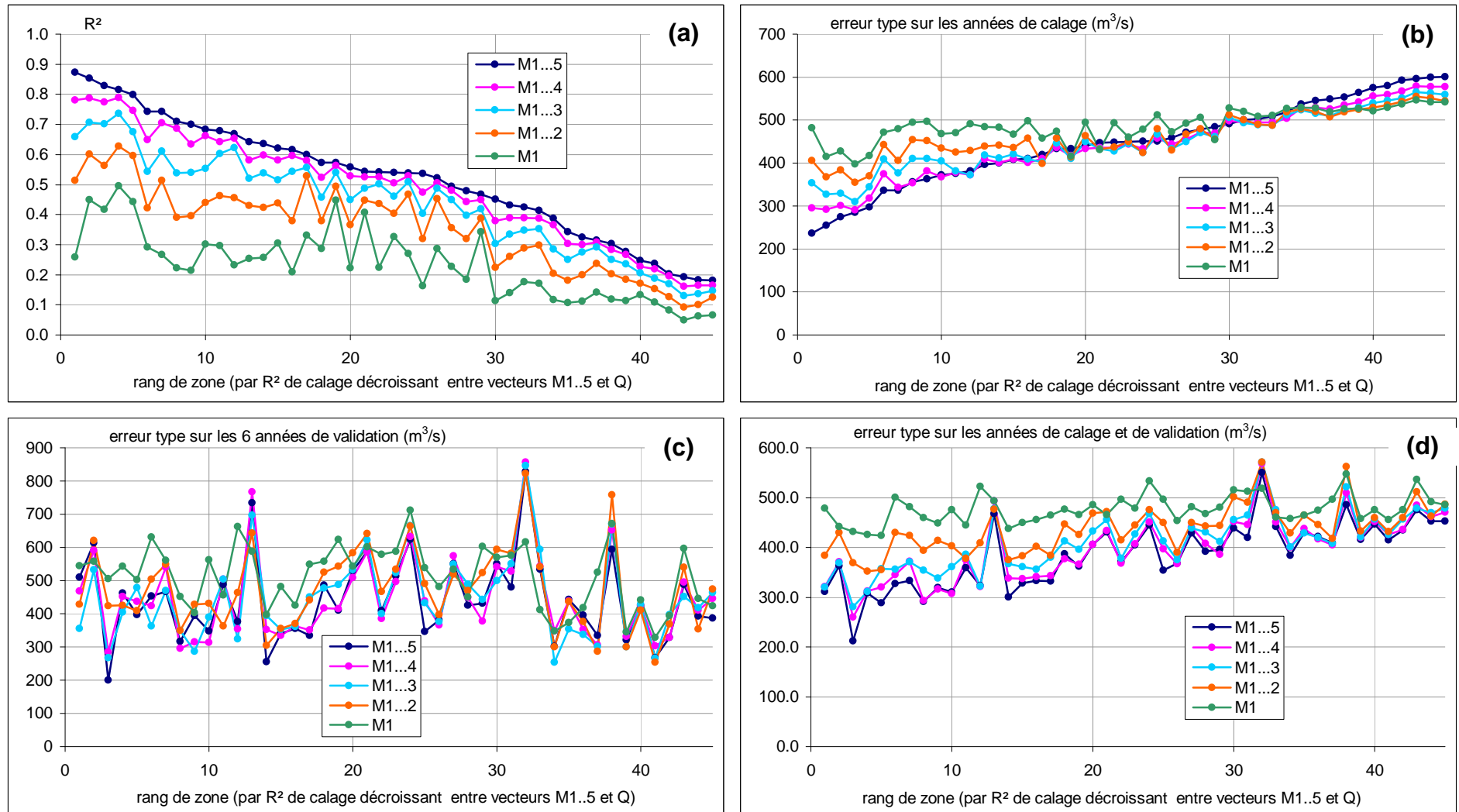


Figure 4 : résultats obtenus pour la prévision du débit de septembre-octobre, avec un découpage des données produisant un échantillon de validation représentatif (années 1991, 1995, 1999, 2000, 2004 et 2009)

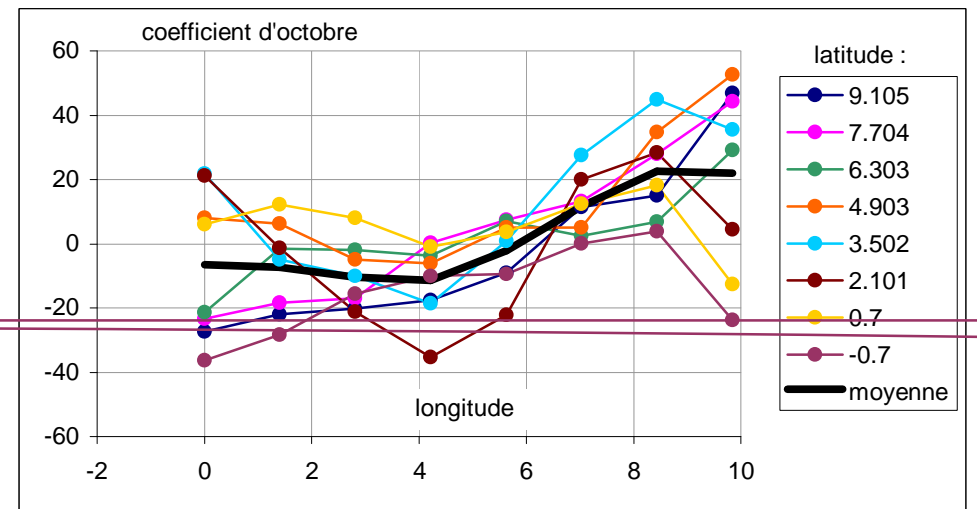
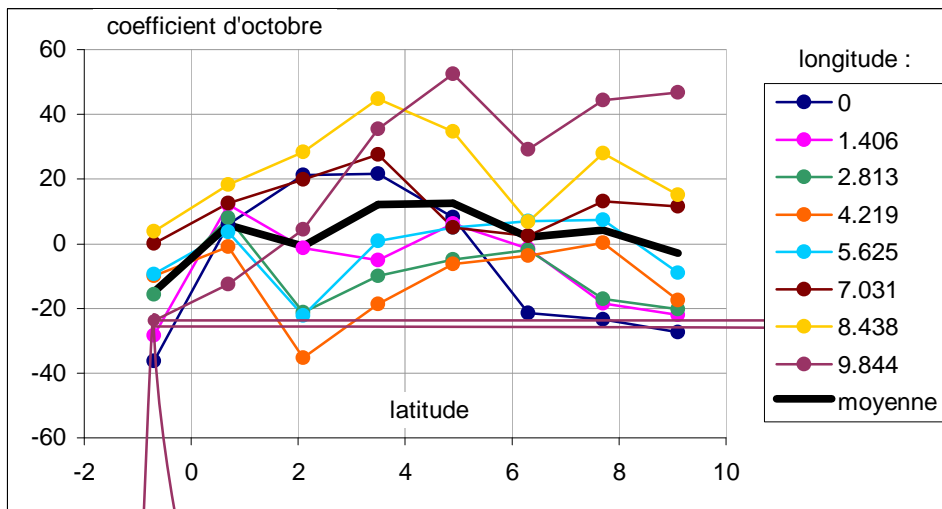
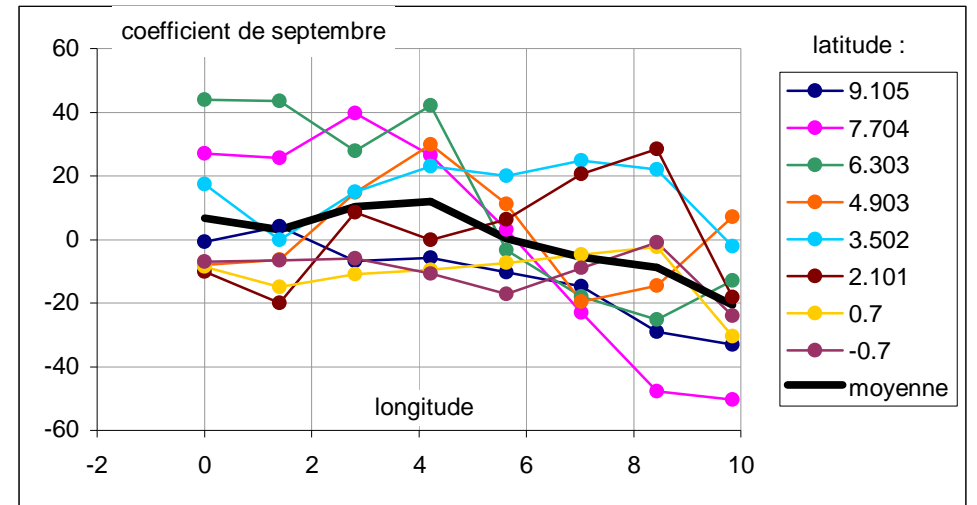
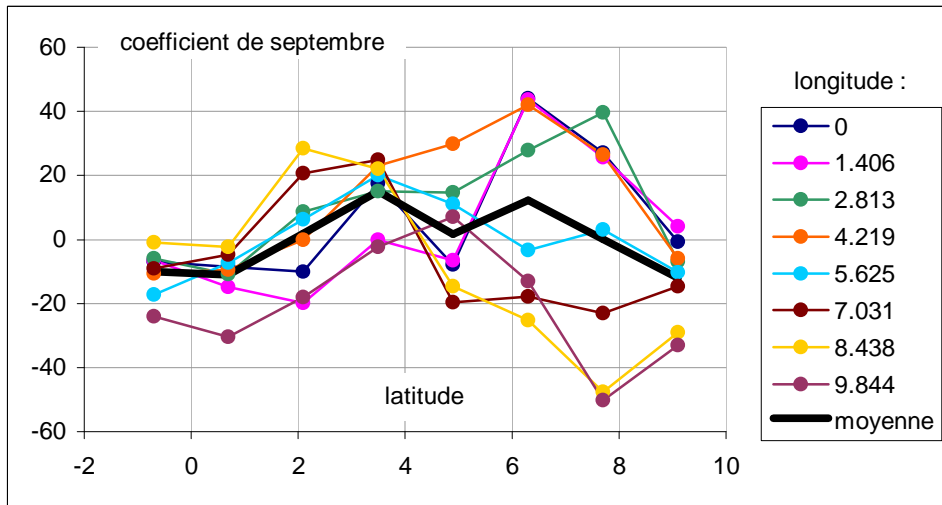


Figure 5 : coefficients multiplicateurs des index pluviométriques de la zone H8a8 dans le modèle prévoyant début août le débit moyen naturel de septembre-octobre



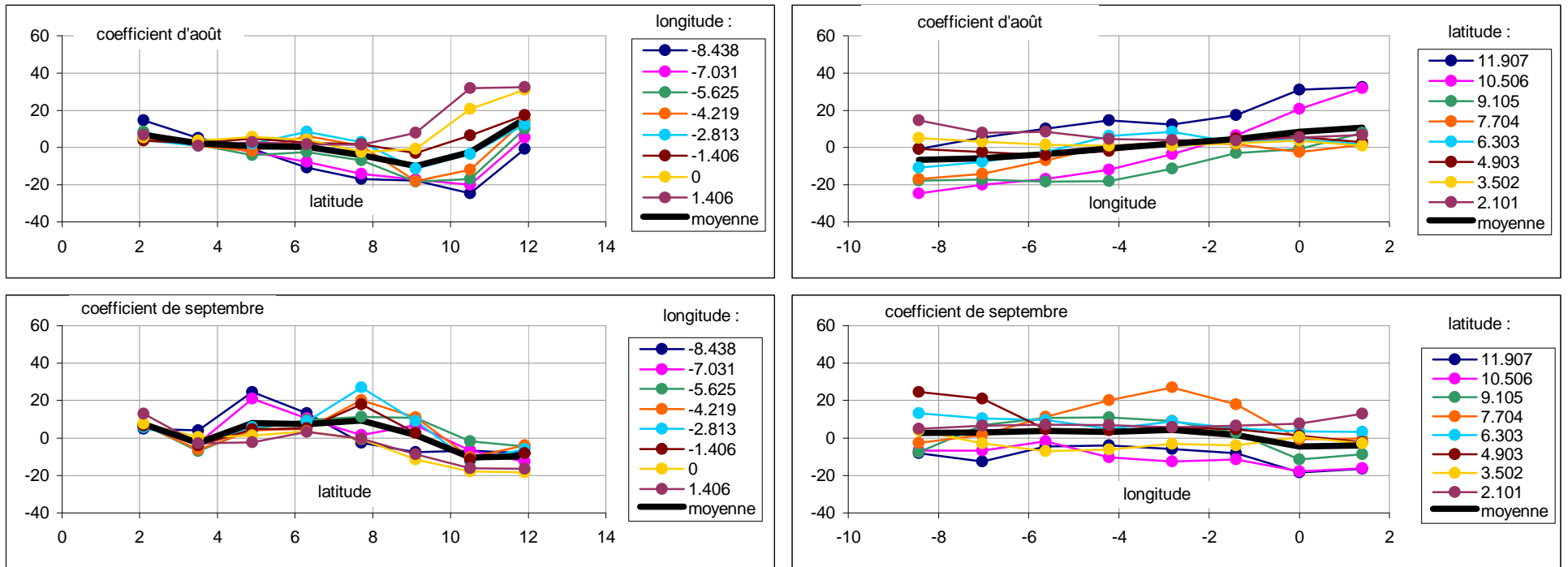


Figure 7 : coefficients multiplicateurs des index pluviométriques de la zone E8b88 dans le modèle prévoyant début juillet le débit moyen naturel de août-septembre-octobre

rang	zone	R² (calage)							écart type résiduel calage							écart type résiduel validation							erreur type globale						
		1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1
1	H8a8	0.947	0.565	0.904	0.869	0.825	0.665	0.342	171	409	192	214	237	315	425	706	802	727	752	806	713	746	381	501	401	421	456	444	517
2	H8b8	0.901	0.578	0.883	0.841	0.753	0.582	0.315	234	403	212	236	282	352	434	717	704	728	790	877	903	770	397	457	406	445	503	543	531
3	L8c8	0.896	0.732	0.875	0.840	0.787	0.642	0.340	239	321	219	236	261	326	426	790	645	697	732	754	687	619	434	401	393	417	439	438	469
4	K8c8	0.895	0.735	0.869	0.839	0.745	0.601	0.339	241	319	224	238	286	343	426	708	697	713	761	908	874	781	394	423	402	432	519	527	531
5	I8a8	0.919	0.427	0.852	0.805	0.725	0.618	0.312	210	470	239	261	297	336	435	757	726	740	726	724	650	711	413	494	419	422	437	427	508
6	M8a8	0.903	0.698	0.844	0.764	0.668	0.544	0.321	231	341	245	288	326	367	432	703	678	715	703	687	683	649	389	422	408	420	432	455	483
7	J8a8	0.850	0.507	0.834	0.759	0.683	0.503	0.312	287	435	252	290	319	383	435	751	738	747	756	827	699	692	424	484	425	445	492	469	501
8	N8a8	0.879	0.666	0.827	0.764	0.631	0.482	0.317	258	358	258	287	344	391	433	649	665	664	661	647	632	637	369	423	388	401	423	447	480
9	I8b8	0.838	0.491	0.806	0.772	0.724	0.618	0.316	299	443	273	283	297	336	434	635	699	622	593	663	662	603	372	472	373	369	410	432	468
10	K8b8	0.843	0.687	0.805	0.779	0.736	0.618	0.325	294	347	274	278	291	336	431	608	627	529	532	457	535	671	358	402	332	340	321	381	491
11	K8a8	0.818	0.752	0.800	0.746	0.689	0.537	0.324	316	309	278	298	316	370	431	792	824	818	808	789	788	671	450	478	466	472	474	500	491
12	H8c8	0.847	0.788	0.797	0.755	0.686	0.539	0.332	290	285	280	293	317	370	428	742	681	725	679	726	631	709	421	404	423	411	446	435	504
13	E8c8	0.798	0.651	0.796	0.678	0.555	0.409	0.230	333	367	280	336	378	418	460	806	803	810	782	677	671	702	461	487	463	472	450	475	519
14	J8b8	0.802	0.526	0.783	0.707	0.594	0.464	0.301	330	427	289	320	361	398	438	541	691	613	520	608	642	703	338	462	374	353	415	454	507
15	M8c8	0.778	0.717	0.776	0.747	0.716	0.606	0.309	349	330	294	298	302	341	436	727	735	732	752	745	742	689	428	444	431	446	449	468	500
16	L8a8	0.807	0.771	0.771	0.735	0.687	0.541	0.331	326	297	297	305	317	369	429	837	792	792	764	788	726	661	474	459	459	453	474	473	486
17	M8b8	0.799	0.676	0.770	0.725	0.647	0.568	0.352	332	353	298	310	337	358	422	610	699	581	612	607	647	654	369	436	364	387	403	436	480
18	N8c8	0.807	0.621	0.764	0.684	0.583	0.475	0.315	325	382	301	333	366	394	434	772	718	778	772	743	708	671	443	455	454	467	473	478	492
19	I8c8	0.764	0.722	0.756	0.735	0.694	0.512	0.331	360	327	306	304	313	380	429	651	582	666	648	586	723	643	396	376	404	401	384	477	479
20	G8c8	0.783	0.656	0.754	0.640	0.520	0.390	0.243	345	364	307	355	392	425	456	773	740	766	741	716	627	692	448	458	451	461	473	462	513
21	N8b8	0.760	0.617	0.742	0.700	0.634	0.535	0.388	363	384	315	324	342	371	410	624	692	632	633	628	677	656	385	444	393	402	414	454	474
22	L8b8	0.767	0.675	0.734	0.693	0.629	0.554	0.345	358	354	320	328	345	363	424	671	753	600	580	547	648	659	404	460	380	381	383	439	483
23	D8c8	0.848	0.508	0.728	0.654	0.563	0.439	0.245	289	435	324	348	374	408	455	801	780	780	781	774	663	656	449	502	462	476	490	467	499
24	O8a8	0.699	0.613	0.693	0.687	0.636	0.556	0.406	407	386	344	331	342	363	404	586	626	588	584	598	632	677	382	418	385	384	402	432	478
25	G8b8	0.709	0.567	0.689	0.663	0.589	0.473	0.325	400	408	346	343	363	395	431	868	754	874	842	848	768	817	507	480	513	502	518	503	548
26	J8c8	0.754	0.629	0.688	0.651	0.581	0.480	0.264	368	378	346	349	367	392	450	655	669	582	626	700	820	744	400	432	383	410	455	524	529
27	F8c8	0.777	0.675	0.685	0.628	0.513	0.394	0.247	350	354	348	361	395	424	455	752	765	715	741	770	669	704	440	465	441	463	497	478	517
28	G8a8	0.697	0.624	0.671	0.642	0.604	0.554	0.400	408	380	356	354	356	363	406	883	846	912	926	926	884	815	516	511	533	544	551	540	535
29	O8c8	0.765	0.563	0.667	0.600	0.524	0.440	0.340	360	410	358	374	391	407	426	704	694	696	669	638	621	657	420	456	436	438	441	451	483
30	D8b8	0.690	0.553	0.653	0.593	0.522	0.437	0.279	413	415	365	377	391	408	445	831	876	830	892	895	864	833	492	536	499	537	550	549	561
31	O8b8	0.652	0.579	0.652	0.638	0.623	0.563	0.442	437	403	366	356	348	359	392	757	691	758	731	722	679	666	466	452	466	457	456	449	467
32	E8b8	0.708	0.571	0.648	0.617	0.575	0.511	0.280	401	406	368	366	369	380	445	836	853	839	857	811	859	838	491	523	503	517	504	536	563
33	F8b8	0.651	0.579	0.635	0.603	0.567	0.518	0.304	438	403	375	373	372	378	437	847	793	867	814	800	824	840	507	495	519	500	500	519	561
34	A8b8	0.632	0.376	0.620	0.608	0.525	0.428	0.244	450	490	382	370	390	412	456	877	907	856	865	724	743	660	524	578	516	522	475	501	501
35	F8a8	0.630	0.611	0.618	0.607	0.589	0.548	0.472	451	387	383	371	363	366	381	890	933	920	932	989	973	878	530	553	545	553	582	581	550
36	B8b8	0.636	0.401	0.609	0.565	0.491	0.397	0.280	447	480	388	390	404	423	445	966	911	981	941	942	839	829	564	575	575	564	575	545	560
37	E8a8	0.623	0.587	0.608	0.579	0.545	0.509	0.460	455	399	388	384	382	381	385	973	1004	967	1005	969	1011	907	569	589	569	591	579	604	565
38	B8a8	0.580	0.410	0.573	0.557	0.537	0.495	0.327	480	476	406	394	385	387	430	912	953	934	935	937	854	879	548	592	559	562	566	536	573
39	D8a8	0.612	0.523	0.572	0.548	0.505	0.460	0.391	462	428	406	398	398	400	409	1002	960	981	1017	917	908	894	584	578	581	601	562	565	570
40	A8a8	0.559	0.425	0.553	0.534	0.471	0.403	0.269	492	470	415	404	412	421	448	945	947	968	1026	1018	1012	847	566	588	578	607	613	620	569
41	C8a8	0.563	0.460	0.538	0.510	0.473	0.421	0.349	490	456	421	414	411	414	423	950	984	934	913	837	834	890	568	599	564	560	532	539	574
42	C8b8	0.554	0.410	0.528	0.509	0.484	0.405	0.290	495	477	426	414	407	419	442	849	854	841	851	869	859	844	524	550	525	532	544	553	565
43	B8c8	0.548	0.329	0.523	0.475	0.400	0.311	0.182	499	508	428	428	439	452	474	685	702	688	670	592	615	614	455	502	461	463	448	473	496
44	A8c8	0.506	0.303	0.489	0.454	0.418	0.376	0.215	521	518	444	437	432	430	464	632	666	642	655	604	638	619	442	493	449	461	449	469	492
45	C8c8	0.548	0.462	0.464	0.427	0.389	0.336	0.230	499	455	454	448	442	443	460	724	735	732	727	740	746	646	471	492	490	494	506	518	499

Tableau 1 : résultats obtenus pour la prévision Q(sept-oct) avec découpage chronologique de l'échantillon, classés par R² entre M1..5 et Q

rang	zone	R² (calage)							écart type résiduel calage							écart type résiduel validation							erreur type globale						
		1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1
1	K8b8	0.932	0.459	0.872	0.782	0.659	0.514	0.259	207	488	237	296	353	406	482	511	351	511	468	355	429	545	291	376	311	322	320	384	479
2	K8a8	0.873	0.272	0.853	0.787	0.707	0.601	0.450	282	566	255	292	327	367	416	599	492	613	592	533	620	559	351	460	363	372	369	430	442
3	H8a8	0.836	0.133	0.829	0.774	0.703	0.563	0.417	321	617	274	301	330	384	428	201	463	200	285	267	423	506	209	481	212	260	281	369	432
4	L8a8	0.819	0.212	0.816	0.789	0.737	0.628	0.495	337	589	284	291	311	355	398	462	466	463	452	404	425	544	307	465	309	313	312	352	426
5	M8c8	0.831	0.301	0.799	0.747	0.675	0.596	0.444	326	555	298	318	345	370	418	369	367	397	438	479	409	503	266	420	289	321	357	355	424
6	N8a8	0.826	0.383	0.743	0.648	0.543	0.422	0.292	330	521	336	375	409	442	472	380	293	453	424	363	504	632	272	383	328	345	357	430	500
7	J8b8	0.767	0.497	0.743	0.705	0.611	0.514	0.268	382	470	336	343	377	406	480	461	442	467	540	470	549	561	323	392	333	372	371	424	482
8	L8c8	0.752	0.358	0.711	0.687	0.539	0.390	0.222	395	531	357	354	411	454	494	309	403	316	295	349	349	452	275	416	292	294	354	394	460
9	O8a8	0.764	0.423	0.701	0.635	0.540	0.395	0.214	385	504	363	382	411	453	497	422	327	394	315	287	428	403	309	380	320	316	338	414	449
10	K8c8	0.725	0.553	0.684	0.661	0.554	0.441	0.302	416	443	373	368	405	435	468	399	477	348	314	390	432	563	314	389	310	308	362	403	475
11	N8c8	0.729	0.254	0.679	0.642	0.603	0.463	0.297	413	573	376	378	381	426	470	398	388	489	504	505	363	457	312	436	360	375	386	379	444
12	N8b8	0.688	0.443	0.670	0.654	0.622	0.457	0.232	443	495	381	372	372	429	491	341	576	376	353	324	464	662	307	449	323	321	323	409	523
13	B8a8	0.701	0.209	0.642	0.582	0.521	0.431	0.253	434	590	397	409	419	439	484	728	583	734	767	697	644	588	452	501	468	494	478	476	493
14	M8b8	0.658	0.303	0.637	0.598	0.538	0.424	0.257	463	554	400	401	411	442	483	262	531	255	352	394	305	397	295	465	301	338	367	375	438
15	M8a8	0.694	0.245	0.621	0.582	0.516	0.438	0.305	439	576	409	409	421	436	467	328	407	341	334	352	356	482	301	443	328	338	361	383	450
16	L8b8	0.625	0.252	0.616	0.597	0.544	0.379	0.209	485	574	411	402	409	458	499	368	451	355	363	360	370	425	334	453	333	341	356	402	456
17	H8c8	0.642	0.407	0.599	0.579	0.557	0.528	0.332	474	511	420	410	403	400	458	348	440	335	350	451	441	549	323	414	333	343	380	384	464
18	I8b8	0.663	0.458	0.573	0.524	0.458	0.379	0.286	460	488	433	436	446	458	474	348	431	486	416	477	526	558	317	399	387	377	413	447	477
19	H8b8	0.579	0.555	0.573	0.564	0.540	0.495	0.448	514	442	433	418	411	414	417	437	508	411	415	488	543	624	369	399	362	366	396	426	465
20	A8a8	0.574	0.271	0.558	0.530	0.450	0.366	0.223	518	566	441	434	449	463	494	526	586	530	509	533	584	543	401	489	406	406	433	469	486
21	C8b8	0.580	0.093	0.544	0.525	0.487	0.448	0.407	514	632	448	436	433	432	432	499	454	588	586	622	642	602	390	487	431	434	456	472	466
22	J8c8	0.564	0.519	0.542	0.525	0.502	0.437	0.224	523	460	449	436	427	437	494	471	450	410	385	400	467	579	384	389	371	368	379	415	497
23	A8c8	0.593	0.187	0.540	0.506	0.461	0.403	0.326	506	598	450	444	445	450	460	498	433	513	496	523	535	588	386	462	405	407	427	444	479
24	B8b8	0.556	0.085	0.539	0.529	0.509	0.467	0.270	528	634	450	434	424	425	479	655	522	624	632	665	664	711	454	507	445	451	468	476	533
25	I8a8	0.582	0.331	0.537	0.475	0.404	0.319	0.164	512	543	451	458	467	480	513	380	439	347	440	433	491	538	351	432	354	397	413	449	496
26	I8c8	0.542	0.506	0.522	0.506	0.487	0.454	0.287	536	466	459	444	434	430	473	361	362	381	365	376	396	482	356	367	368	368	376	390	454
27	A8b8	0.508	0.120	0.495	0.481	0.449	0.356	0.228	556	622	472	456	449	467	492	533	522	551	575	550	519	535	419	500	429	440	439	450	482
28	O8c8	0.505	0.272	0.479	0.442	0.397	0.320	0.184																					

rang	zone	R² (calage)							écart type résiduel calage							écart type résiduel validation							erreur type globale						
		1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1	1...8	1...5	M1...5	M1...4	M1...3	M1...2	M1
1	L8b8	0.811	0.406	0.797	0.748	0.682	0.511	0.290	346	513	300	319	343	409	474	612	557	607	617	719	696	583	375	452	376	393	453	480	486
2	M8c8	0.789	0.523	0.782	0.717	0.628	0.489	0.262	366	460	311	338	371	417	484	649	545	631	716	742	749	747	397	421	390	444	475	506	549
3	C8a8	0.715	0.453	0.707	0.689	0.620	0.536	0.365	425	493	361	354	375	398	449	1008	632	1030	966	945	802	571	578	468	590	563	566	519	466
4	E8b8	0.697	0.051	0.696	0.692	0.677	0.646	0.530	438	649	367	352	346	347	386	500	431	509	518	487	561	561	360	492	363	368	361	396	425
5	J8b8	0.718	0.507	0.677	0.633	0.565	0.406	0.229	423	468	379	385	401	450	494	597	681	605	604	571	601	625	393	475	406	416	420	467	512
6	M8a8	0.668	0.424	0.660	0.634	0.564	0.447	0.323	459	505	388	384	401	435	463	501	558	483	445	456	455	529	368	448	363	357	380	410	461
7	K8c8	0.658	0.390	0.651	0.632	0.558	0.466	0.278	466	520	393	385	404	427	478	667	649	669	642	701	717	620	436	488	439	432	473	498	500
8	L8c8	0.669	0.497	0.649	0.636	0.576	0.498	0.339	458	472	395	383	396	414	458	596	534	600	606	662	734	603	404	423	411	417	453	498	482
9	C8c8	0.654	0.151	0.644	0.616	0.572	0.503	0.311	468	614	398	394	398	412	467	864	690	798	897	816	710	763	523	549	495	545	518	488	546
10	O8a8	0.644	0.494	0.639	0.629	0.564	0.489	0.269	475	474	400	387	401	417	481	530	511	513	529	533	497	565	385	416	380	389	406	413	484
11	D8a8	0.641	0.288	0.629	0.614	0.588	0.501	0.262	477	562	406	395	390	413	484	840	490	780	836	828	582	457	514	457	491	518	519	439	454
12	C8b8	0.643	0.300	0.625	0.617	0.608	0.561	0.288	476	557	408	393	381	387	475	842	723	845	828	785	723	539	515	533	520	514	497	481	472
13	O8c8	0.673	0.303	0.624	0.569	0.504	0.368	0.232	455	556	409	417	428	464	493	531	539	609	706	666	533	502	378	469	421	472	470	453	473
14	L8a8	0.700	0.493	0.623	0.564	0.484	0.387	0.239	436	474	409	419	437	457	491	470	525	502	515	591	611	588	347	421	381	400	446	475	498
15	E8a8	0.605	0.189	0.602	0.600	0.546	0.487	0.355	500	600	420	402	410	418	452	539	406	523	533	620	645	885	399	457	393	398	443	466	586
16	N8c8	0.665	0.334	0.597	0.526	0.444	0.334	0.222	461	544	423	437	453	477	497	600	427	684	720	713	674	702	407	429	457	487	501	508	540
17	F8a8	0.603	0.179	0.595	0.547	0.495	0.418	0.256	502	604	424	427	432	446	486	557	441	551	673	890	1033	1282	406	467	405	463	564	639	773
18	I8b8	0.601	0.522	0.595	0.578	0.503	0.418	0.231	503	460	424	413	429	446	494	666	704	673	684	717	573	454	449	481	453	461	490	455	460
19	K8b8	0.628	0.402	0.592	0.562	0.525	0.460	0.285	485	515	426	420	419	429	476	526	597	523	515	562	594	604	388	467	396	401	427	453	494
20	G8a8	0.627	0.230	0.586	0.562	0.499	0.407	0.310	486	584	428	420	430	450	468	430	498	414	439	438	468	544	354	472	361	375	392	423	469
21	G8b8	0.596	0.124	0.580	0.566	0.487	0.393	0.248	506	623	431	418	435	455	488	537	525	549	525	559	592	441	400	502	409	403	434	467	452
22	M8b8	0.669	0.415	0.576	0.513	0.414	0.312	0.165	458	509	434	443	465	485	514	581	508	622	607	548	647	592	399	434	437	446	447	503	514
23	B8c8	0.627	0.177	0.568	0.531	0.484	0.422	0.228	486	604	438	435	437	444	495	956	785	780	683	597	592	443	570	578	503	471	449	460	457
24	N8a8	0.572	0.534	0.565	0.556	0.533	0.505	0.276	521	455	439	423	416	411	479	506	497	488	488	461	453	523	395	402	391	393	390	395	470
25	J8a8	0.675	0.484	0.554	0.481	0.382	0.260	0.134	454	478	445	457	478	503	524	520	577	537	552	603	561	501	373	441	411	433	473	485	493
26	K8a8	0.613	0.438	0.548	0.498	0.443	0.316	0.183	496	499	448	450	454	483	509	461	564	519	529	552	597	606	369	447	406	421	442	485	515
27	H8b8	0.551	0.217	0.546	0.542	0.499	0.450	0.289	533	590	449	430	430	433	475	578	658	571	581	575	510	543	426	525	425	430	437	426	473
28	J8c8	0.588	0.443	0.544	0.504	0.451	0.377	0.268	511	497	450	447	450	461	482	653	721	621	651	578	637	625	446	504	444	464	449	486	504
29	F8b8	0.560	0.082	0.539	0.524	0.504	0.467	0.392	528	638	452	438	428	427	439	452	443	458	449	419	344	404	380	489	387	389	385	374	409
30	B8a8	0.564	0.404	0.539	0.490	0.434	0.348	0.255	526	514	452	454	457	472	486	634	665	605	546	538	587	665	444	491	439	429	439	475	520
31	A8a8	0.527	0.506	0.521	0.509	0.493	0.448	0.322	548	468	461	445	433	434	463	713	686	701	719	699	733	601	484	478	480	490	485	508	485
32	O8b8	0.521	0.438	0.517	0.482	0.436	0.388	0.289	551	499	463	457	457	457	475	605	541	615	590	552	487	569	443	439	448	446	444	434	481
33	D8b8	0.513	0.143	0.508	0.496	0.472	0.441	0.354	555	617	467	451	442	437	452	741	404	727	731	664	709	859	498	466	493	497	476	500	576
34	B8b8	0.536	0.239	0.505	0.482	0.454	0.399	0.237	542	581	468	457	449	453	492	827	660	828	810	738	684	612	529	522	535	532	508	499	506
35	E8c8	0.540	0.202	0.498	0.453	0.383	0.294	0.153	540	595	472	470	478	491	518	567	410	552	526	418	508	458	425	455	429	431	415	461	477
36	H8a8	0.509	0.279	0.484	0.461	0.383	0.270	0.153	558	566	478	466	477	499	518	367	534	379	346	355	378	523	368	473	378	376	398	432	495
37	I8a8	0.555	0.482	0.482	0.436	0.352	0.258	0.141	531	479	479	477	490	503	522	532	526	526	462	455	505	634	409	424	424	415	433	468	532
38	G8c8	0.531	0.275	0.469	0.411	0.347	0.277	0.165	545	567	485	488	491	497	514	615	560	485	425	405	383	363	445	481	414	410	420	431	452
39	I8c8	0.511	0.397	0.469	0.419	0.347	0.272	0.154	557	517	485	484	491	498	518	748	680	695	580	578	540	467	501	498	489	457	472	476	480
40	H8c8	0.508	0.318	0.463	0.423	0.381	0.298	0.151	558	550	488	483	478	489	519	636	581	661	720	569	507	472	458	479	477	508	462	460	481
41	N8b8	0.495	0.434	0.439	0.406	0.359	0.289	0.167	566	501	499	489	487	493	514	563	501	553	512	558	484	596	434	427	443	437	463	455	515
42	F8c8	0.471	0.384	0.434	0.392	0.340	0.269	0.181	579	523	501	495	494	499	509	583	430	471	485	362	390	289	447	418	418	432	411	435	433
43	A8c8	0.447	0.276	0.418	0.390	0.321	0.245	0.126	592	567	508	496	501	507	526	777	741	673	687	582	597	524	526	544	491	502	479	499	501
44	D8c8	0.388	0.156	0.386	0.385	0.316	0.231	0.136	623	612	522	498	503	512	523	561	499	569	569	690	563	576	457	488	460	461	517	491	514
45	A8b8	0.356	0.258	0.331	0.303	0.258	0.180	0.095	639	574	545	530	524	529	536	710	614	660	585	569	558	607	517	502	504	484	488	500	532

Tableau 3 : résultats obtenus pour la prévision Q(août-sept-oct) avec échantillon de validation représentatif, classés par R² entre M1.5 et Q