

#### 4. Aperçu sur l'extension géographique et abattement des averses

Ce genre d'analyse a pour objet l'établissement de courbes dites *Hauteur des précipitations-Durée-Superficie (HDS)*. Ces dernières donnent l'évolution de la hauteur moyenne de la lame d'eau précipitée en fonction de la surface du bassin dans l'emprise de l'averse, pour des durées de référence déterminées. Ces courbes, utilisées couramment pour l'analyse des averses de type généralisée ou de grande étendue et de longue durée, sont établies à partir des cartes donnant les isohyètes relatives aux hauteurs totales de précipitation tombée au cours d'un épisode pluvieux donné. On planimètre successivement l'aire à l'intérieure de chacune des isohyètes et on calcule la hauteur de la lame d'eau moyenne tombée sur ladite surface par cubature "du relief pluviométrique" correspondant (Réméniéras, 1980). Les résultats obtenus sont ensuite synthétisés sur un graphique en portant en abscisses la surface développée à partir du centre de gravité (maximum) de l'averse et en ordonnées la hauteur moyenne de la lame d'eau précipitée sur la dite surface. Les observations ont montré que la hauteur moyenne des pluies diminue dans toutes les directions de façon exponentielle au fur et à mesure que l'on s'éloigne du ou des centres de l'averse. Pratiquement, pour estimer le taux de décroissance (ou le coefficient d'abattement), ce graphique est souvent modifié ; il s'agit de porter en ordonnées le rapport de la pluie moyenne à la pluie maximale  $H_0$  correspondante ( $\bar{H}_i/H_0$ ) et en abscisses la surface cumulée relative ( $A_i/A$ ). Cette surface croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne du maximum ponctuelle jusqu'à la plus petite isohyète tandis que la pluie moyenne décroît. Mathématiquement, cette relation se traduit par une fonction du type :

$$\frac{\bar{H}_i}{H_0} = f\left(\frac{A_i}{A}\right) \quad (94)$$

Pour se fixer les idées, on a repris les résultats des travaux de Sitour et al., (1997) où l'analyse porte particulièrement sur quatre épisodes pluvieux journaliers de grande extension géographique, enregistrés au cours de l'année hydrologique 1991-1992, choisis à partir des images Radar de l'ONM (site de Séraïdi) et pour lesquelles les relevés journaliers sont disponibles pour un nombre suffisant de postes pluviométriques. Chaque épisode pluvieux est en réalité choisi de façon à caractériser une saison donnée. Il s'agit des épisodes pluvieux du 16 Octobre 1991 (pluie d'automne), du 20 Février 1992 (pluie d'hiver), du 25 Mai 1992 (pluie de printemps) et du 15 Août 1992 (pluie d'été).

L'examen des graphiques d'abattement des pluies (Fig. 61) montre que les averses d'été dont le centre de gravité se situe, dans le cas de l'averse du 15/08/92, au niveau du versant sud de l'Atlas Tellien (région d'Aioun Settara), ont un caractère relativement local.

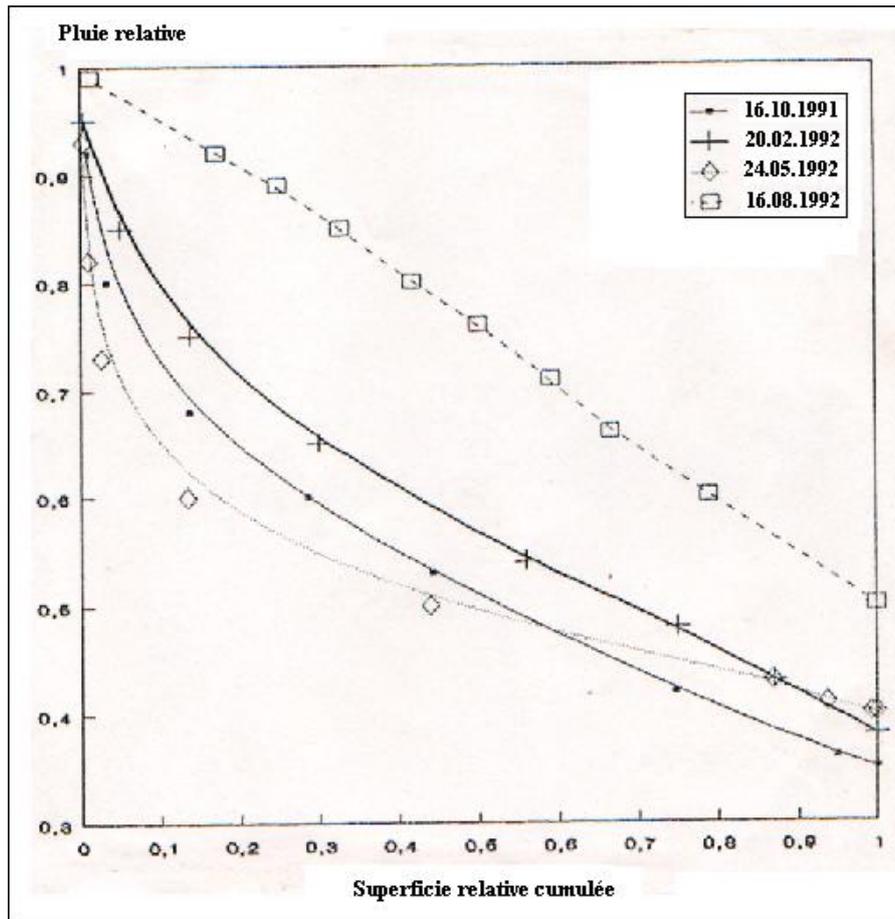


Fig. 61. Abatement des pluies-Quelques exemples (Sitour et al., 1997)

On retient également que les pluies saisonnières s'abattent de façons relativement différentes sur la superficie couverte par l'averse. En effet, l'épisode pluvieux du 15/08/92, ayant un aspect plus ou moins local, se distingue par une décroissance rapide (90 % de la pluie s'est abattue sur un peu moins de 20% de la superficie. Les pluies des autres saisons montrent, par contre, une diminution relativement plus rapide de la hauteur moyenne des précipitations au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre de l'averse. Si on considère l'épisode pluvieux du 24/05/92, par exemple, on s'aperçoit que la lame d'eau précipitée diminue de 90 % sur un peu moins de 10 % de la surface totale. Il faut enfin signaler que ces conclusions ne peuvent en aucun cas être généralisées. Un nombre d'averses, suffisamment représentatif, devrait être étudié pour faire des généralisations sur la zone étudiée.

## 5. Gradex des pluies: estimation et cartographie

Bien que la distribution des valeurs extrêmes de Type I de Gumbel ne soit bien cotée pour ajuster la distribution des probabilités des pluies quotidiennes intenses au niveau du Nord-est algérien, on s'est aussi intéressé au calcul et à la cartographie du Gradex des pluies

journalières maximales, un paramètre pertinent dans la modélisation *Pluie-Débit* (Ahattab, 2014). Etant défini par le paramètre de dispersion  $\sigma$  de la fonction de distribution des valeurs extrêmes de Gumbel (Type I), les valeurs ponctuelles de ce dernier sont reportées aux tableaux suivants (cf Annexe 4).

**Tableau 85. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin des Côtiers constantinois (03)**

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0104	Domaine Dehas	36,65	5,09	7	17
0204	Amoucha	36,43	5,42	800	16
0301	Jijel	36,82	5,77	5	19
0302	Texana	36,66	5,79	700	26
0319	Harma	36,69	5,81	400	20
0401	Erraguene	36,58	5,58	680	26
0403	Col de Fdelous	36,63	5,9	920	22
0504	Taher	36,77	5,9	56	21
0903	Zardezas	36,6	6,89	200	23
0905	Bousnib	36,49	6,96	900	17
0909	Ramdane Djamel	36,74	6,9	50	18
1102	Bekkouche Lakhdar	36,69	7,17	80	17
1105	Bouati Mahmoud	36,59	7,33	150	21
1201	Ain Charchar	36,76	7,24	34	13
1302	Berrahal	36,84	7,45	33	15
1501	Cheffia Bge	36,61	8,04	170	18
1601	Ain Assel	36,77	8,36	32	21
1604	Ain Kerma	36,59	8,2	235	21
Ski	Skikda ONM	36,88	6,9	5	15

**Tableau 86. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin des Hauts Plateaux constantinois (07)**

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0406	Foum Toub	35,41	6,55	1102	16
0720	Foum el Gueis	35,47	6,94	945	11
0316	Batna	35,56	6,17	1040	10

**Tableau 87. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin du Kébir-Rhumel (10)**

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0302	Belaa	36,2	5,85	990	11
0306	Bir El Arch	36,13	5,84	952	13
0312	Chelghoum Laid	36,16	6,16	768	7
0511	Fourchi	36,36	6,6	775	19
0410	Constantine ANRH	36,34	6,6	595	14
Const	Constantine ONM	36,28	6,62	-	16
0703	Hamala	36,57	6,34	660	14
0708	Ouled Messaouda	36,71	6,08	585	20
0706	El Milia	36,76	6,28	100	28
0527	Ouled Nacer	36,11	6,89	839	9
0508	Ouled Rahmoun	36,18	6,7	700	24
0411	Bir Drimil	36,04	6,42	854	6
0503	Ain Fakroun	35,98	6,88	920	14
0711	Settara	36,72	6,34	280	17
0201	Redjas Ferada	36,42	6,12	360	11

**Tableau 88. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin de la Medjerda-Mellegue (12)**

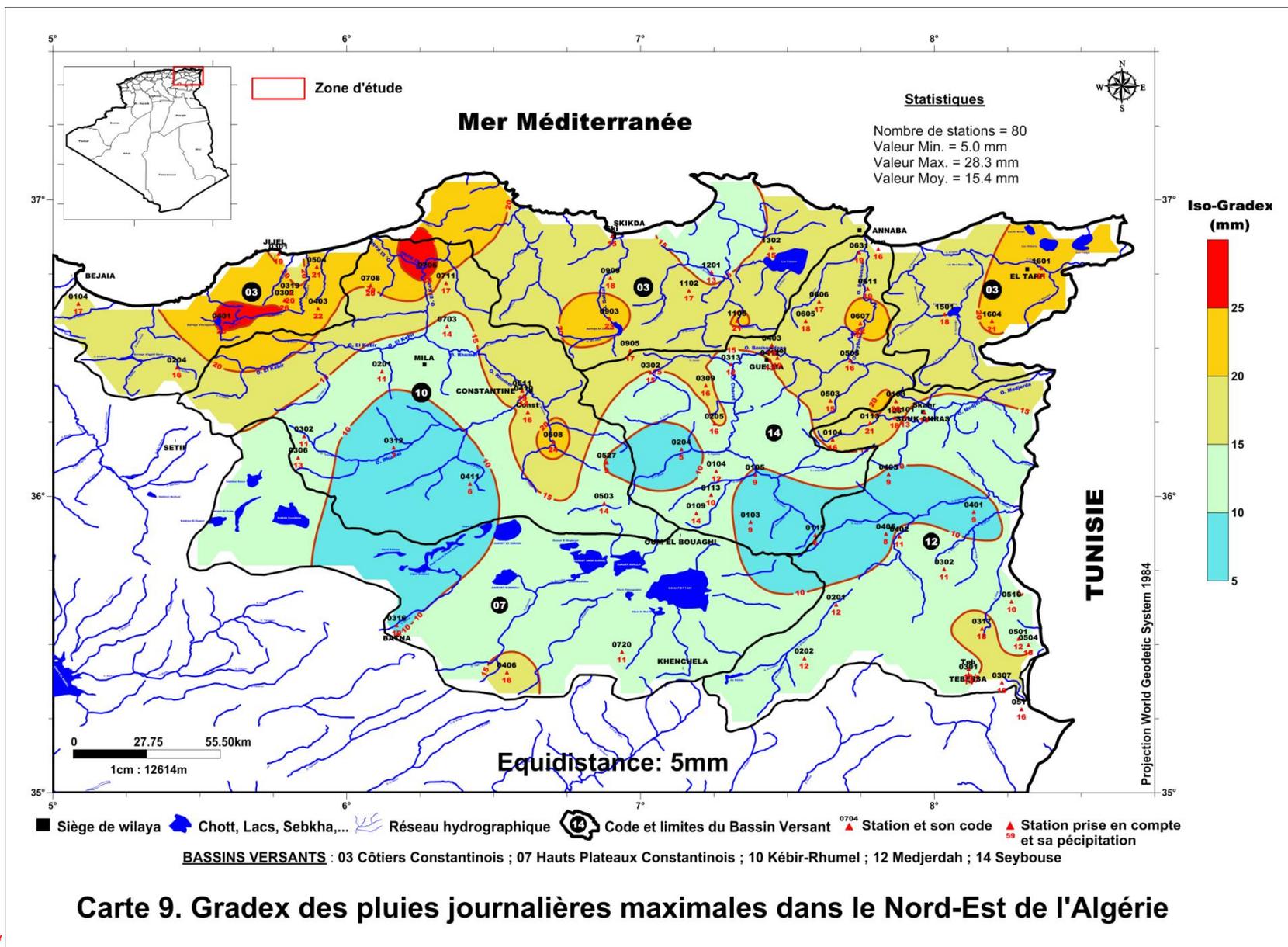
Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0101	Souk Ahras	36,27	7,9	790	13
Skahr	Souk Ahras ONM	36,28	7,97	-	13
0103	Ain Seynour	36,32	7,87	904	20
0104	Khemissa	36,19	7,65	900	16
0113	Cheikh Abdallah	36,25	7,78	700	21
0125	Ain Dalia	36,26	7,86	717	18
0201	Meskiana	35,63	7,67	845	12
0202	Ain Dhala	35,45	7,56	980	12
0301	Tébessa	35,4	8,12	890	14
0302	Boukhadra	35,75	8,03	900	11
Teb	Tébessa ONM	35,42	8,12	-	13
0307	Bekkaria	35,37	8,23	895	19
0317	Oueled Hamza	35,55	8,16	1220	18
0401	Ouenza	35,95	8,14	520	9
0402	El Aouinet	35,86	7,88	650	11
0403	Mdaourouche	36,07	7,84	870	9
0405	Mesloula	35,87	7,84	700	8
0501	Ras El Aioun	35,52	8,29	995	12
0504	El Kouif	35,5	8,32	1100	15
0517	Saf-Saf	35,28	8,3	1000	16
0510	Ain Zerga	35,64	8,26	850	10

**Tableau 89. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin de la Seybouse (14)**

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
Ann	Annaba ONM	36,83	7,81	3	16
0104	Ksar Sbahi	36,08	7,26	850	12
0105	Ain Settara	36,07	7,39	741	9
0205	Ain Makhlouf	36,25	7,25	834	16
0403	Héliopolis	36,51	7,45	-	19
0412	Guelma Lycée	36,46	7,44	260	13
0503	Hammam N'bails	36,32	7,65	478	15
0505	Bouchegouf	36,46	7,71	800	16
0606	Ain Berda	36,66	7,61	100	17
0103	Berriche	35,91	7,37	800	9
0109	Ain Babouche	35,94	7,19	860	14
0309	Ras El Akba	36,37	7,22	740	16
0611	Kef Mourad	36,7	7,77	17	19
0313	Medjez Amar	36,44	7,31	275	12
0115	Terraguelt	35,87	7,6	868	6
0631	Pont Bouchet	36,82	7,74	3	19
0302	Bordj Sabat	36,42	7,03	525	15
0113	Cheikh Rabah	36	7,24	865	10
0605	Nechmaya	36,59	7,56	265	18
0607	Boukhamouza	36,58	7,75	40	22
Guel	Guelma ONM	36,47	7,47	-	19
0204	Tamlouka	36,16	7,14	740	5

Pour rendre beaucoup plus parlantes les données des tableaux 83 à 87, on a élaboré la carte dite du *Gradex* des pluies journalières maximales. Les courbes iso-Gradex peuvent être exploitées par les partisans de *la méthode du Gradex* pour évaluer les crues de faibles fréquences (supérieures ou égales aux crues décennales) dans les bassins du Nord-est algérien.

En effet, l'examen de la carte des Gradex montre que la répartition spatiale de cette grandeur est plus ou moins comparable à celles des pluies rares et de courtes durées. Plus précisément le Gradex augmente du Sud vers le Nord dont les plus grandes valeurs (Gradex  $\geq 25$  mm) sont particulièrement observées dans les bassins des Côtiers constantinois Ouest et Est (carte 9).



Faut-il enfin noter que l'estimation des pluies relatives à d'autres périodes de retour à partir des cartes isohyètes élaborées est possible. Pour une durée de référence donnée, il suffit de reporter sur un graphique semi logarithmique les valeurs des isohyètes décennale et centennale en ordonnée arithmétique et les périodes de retour correspondantes en abscisse logarithmique et tracer une droite. Les hauteurs de pluie recherchées peuvent être obtenues par interpolation.

## **6. Conclusion**

Au terme de ce chapitre, on doit reconnaître que les aléas pluviométriques sont des phénomènes aléatoires à la structure complexe et difficilement reproductible. Ainsi l'établissement des cartes isohyètes pour différentes durées et fréquences est une opération délicate et doit, par conséquent, obéir à une démarche rigoureuse et bien définie (sélection des épisodes pluvieux, analyse fréquentielle, modélisation des relations HDF et IDF, techniques d'interpolation). La cartographie des averses à différentes échelles de temps et de fréquence d'apparition permet de passer d'une connaissance ponctuelle à une connaissance spatiale du phénomène permettant l'estimation, non seulement des lames mais aussi des volumes d'eau précipités pour le calcul de la pluie de projet dans le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques. Les cartes élaborées dans cette étude ont permis de mettre le point sur la variabilité spatiale et temporelle de l'intensité des pluies extrêmes dans le Nord-est algérien. Hormis certaines restrictions, ces cartes montrent que la torrencialité des averses, définie par les plus grandes isohyètes, est plus importante sur la bande littorale, notamment dans les parties Ouest et Est de la zone d'étude et à un degré moindre sur les parties sommitales des zones internes (monts de Constantine et de Souk Ahras). Sur le plan pratique, ces cartes doivent enfin être utilisées avec prudence, notamment quand il s'agit d'estimer les valeurs centennales ; les quantiles permettant d'établir ces cartes étant déterminées à partir d'échantillons de taille limitée (inférieur à 50 ans d'observations).

## *CONCLUSION GENERALE*

Faisant partie du Nord-est algérien, la région étudiée représente une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud. Les disparités géomorphologiques, façonnées par un empilement de nappes de charriage anormalement superposées, confèrent à la zone étudiée des conditions climatiques extrêmement variables dans le temps et dans l'espace ; l'orientation et l'encaissement des versants, l'altitude et l'éloignement de la mer étant les facteurs les plus déterminants. En effet, l'action conjuguée de la topographie, de la géologie et du climat font que le Nord-est algérien jouit de possibilités hydriques très importantes dont le renouvellement est, en grande partie, assuré par les pluies. Si les hauteurs de pluies annuelles et saisonnières assurent la pérennité des écoulements souterrains et superficiels dans les cinq grands bassins hydrographiques, elles ne peuvent expliquer à elles seules le caractère imprévisible des pluies les plus intenses car elles ont tendance à lisser les variabilités dans le temps de la pluviosité, et à masquer de ce fait les caractéristiques énergétiques des averses. Les pluies, plus clémentes au nord qu'au Sud de l'aire d'étude (1600 mm/an dans le massif de Collo au Nord et moins de 300 mm/an à Tébessa et Batna, plus au Sud), tombent sous forme d'averses de courte durée, parfois violentes, dues à des perturbations météorologiques locales ou généralisées. La brutalité des pluies extrêmes provoquent parfois des inondations dont les dégâts matériels et humains ne cessent de s'accroître aussi bien en Algérie qu'ailleurs.

Les données relatives aux averses dont la durée varie entre 5 minutes et 24 heures relevées dans 18 postes pluviographiques et 74 stations pluviométriques ont fait l'objet d'une analyse exploratoire (contrôle de fiabilité) et d'une analyse fréquentielle afin de trouver un modèle fréquentiel capable de rendre compte de la probabilité d'occurrence des pluies de courtes durées dans le Nord-est algérien. Sachant que la détermination de la meilleure loi d'ajustement a toujours été délicate et le choix du modèle probabiliste peut être crucial pour l'estimation des précipitations de différentes périodes de retour, plusieurs tests d'appréciation de la qualité de l'ajustement ont été utilisés. Les résultats ont montré qu'aucune loi ne peut être exclusivement utilisée sur l'ensemble du territoire d'étude. Etayées par les différents tests d'adéquation de l'ajustement, cinq lois de distribution des probabilités, choisies parmi les 9 modèles classiquement utilisés en hydrologie, notamment la GEV, la LN-3p, la LP3, la Ga-3p

et la Fr-3p, ont été retenues pour l'estimation des quantiles. Les résultats étant plus ou moins comparables, il est difficile de se prononcer sur une loi générale pour décrire le régime pluviométrique à l'échelle événementielle au niveau du Nord-est algérien. Par conséquent, pour la majorité des stations, les grandeurs des pluies maximales annuelles de courtes durées correspondant à des périodes de récurrence de 2 à 100 ans ont été estimées par la moyenne arithmétique des résultats de ces cinq lois. L'usage d'un modèle probabiliste particulier pour l'estimation des quantiles ne concerne que très peu de stations.

Sachant que la détermination du meilleur modèle pour décrire de façon analytique les lois HDF et IDF a toujours été délicate et le choix de ce modèle peut être crucial pour l'estimation des pluies de projet, l'accord entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales a permis de développer deux modèles empiriques de réduction des pluies (modèles multiplicatif et semi-logarithmique) pour estimer les précipitations de courte durée à partir des données quotidiennes maximales et un modèle de type Bernard décrivant de façon satisfaisante les relations Intensité-Durée-Fréquence des pluies intenses pour 18 points dans la zone d'étude. Ces outils peuvent être utilisés avec plus de précaution pour une transposition de l'information pluviométrique afin de réaliser des cartes isohyètes dans le Nord-est de l'Algérie. Ce qui en augmenterait la rentabilité et permettrait de résoudre beaucoup de problèmes hydrotechniques.

Afin de pouvoir restituer les grandes disparités en quantités et durées des épisodes pluvieux entre les différents bassins du NE algérien, on a procédé à une cartographie en usant, des résultats d'anciens travaux et ceux produits dans le cadre de cette thèse (modélisation des courbes HDF et des IDF). La combinaison des résultats a permis d'élaborer des cartes des isohyètes décennales et centennales relatives à des durées de référence de 15, 30, 60 minutes et 24 heures et une carte du Gradex des pluies quotidiennes extrêmes.

Bien que l'établissement de ces cartes soit une opération délicate (sélection des épisodes pluvieux, analyse fréquentielle, modélisation des relations HDF et IDF, techniques d'interpolation), elles ont permis de passer d'une évaluation ponctuelle à une connaissance spatiale du phénomène. Ces cartes permettent l'estimation, non seulement des lames mais aussi des volumes d'eau précipités pour le calcul de la pluie de projet dans le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques. Les cartes élaborées dans cette étude ont également permis de mettre le point sur la variabilité spatiale et temporelle de l'intensité des pluies extrêmes dans le Nord-est algérien. Hormis certaines restrictions, ces cartes montrent

que la torrencialité des averses, définie par les plus grandes isohyètes, est plus importante sur la bande littorale, notamment dans les parties Ouest et Est de la zone d'étude et à un degré moindre sur les parties sommitales des zones internes (monts de Constantine et de Souk Ahras).

Sur le plan des applications, cette étude doit permettre de répondre à de nombreuses questions dans le génie de l'eau : calcul de la pluie de projet dans les études hydrotechniques (assainissement urbain et agricole, dimensionnements des ouvrages routiers tels que les ponceaux et les ponts, ), dans la modélisation *Pluie-Débit* (méthode rationnelle, méthode du NRCS, méthode de Caquot, méthode du Gradex, etc.) et *Pluie-Erosion* (équation universelle des pertes en sol,...). Moyennant certaines précautions, les résultats sont valables pour les intervalles de récurrence inférieurs ou égaux à 50 ans. Pour les plus petites fréquences d'apparition, ces résultats sont à manipuler avec plus de précaution.

Il faut enfin signaler que le réseau pluviométrique actuellement en place est manifestement insuffisant tant par la faible densité spatiale des instruments de mesure que par la courte durée d'enregistrement pour obtenir des résultats plus précis. Les lacunes d'observations constatées au niveau de certaines stations, malgré le nombre relativement assez représentatif de postes pluviométriques, est un signe d'une mauvaise prise en charge de ce réseau.

Enfin, cette étude n'a pas la prétention d'être tout à fait complète et d'épuiser toutes les questions relatives aux problèmes liés aux pluies intenses de courte durée. Il s'agit d'une modeste contribution à la compréhension des phénomènes pluviométriques extrêmes dans le Nord-est algérien afin d'apporter une aide à la décision aux pouvoirs publics et aux bureaux d'études chargés des études hydrauliques.

## ***LISTE DES REFERENCES***

- Adamowski K., Bougadis J., 2003. Detection of trends in annual extreme rainfall. *Hydrol. Process.* 17: 3547–3560.
- Ahattab J., Serhir N., LAKHAL E. K., 2014. Mapping Gradex values on the Tensift basin (Morocco). *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 5 (4-part1): 1-7.
- A.N.R.H., 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.), Ministère de l'Equipement, Alger, Ed. I.N.C.
- Aron G., Wall D. J., White E. L., Dunn C. N., 1987. Regional rainfall intensity-duration- frequency curves for Pennsylvania. *Water Resources Bulletin.* 23(3): 479-485.
- Bell F. C., 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationship. *Amer. Soc. Civ.Eng., J. Hydraulic Eng.* 95: 311–327.
- Belloula M., 2008. Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens). Mémoire de Magister, Université de Batna, 168 p.
- Beloulou L., 2008. Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'Etat, Université Badji Mokhtar, Annaba, 320 p.
- Beloulou L., Guechi S., Moguedet G., 2015. The assessment of heavy rains in the region of Annaba ( NE Algeria) to improve extreme flood forecasting-Use of the Depth-Duration-Frequency curves. *Journal of Earth Science And Engineering*, 5(7): 449-156.
- Benabdesselam T., Amarchi H., 2013. Approche régionale pour l'estimation des précipitations journalières extrêmes du Nord-est algérien. *Courrier du Savoir – N°17* : 175-184.
- Benkaci A T., Dechemi N., 2004. Modélisation pluie- débit journalière par des modèles conceptuels et “boîte noire”; test d'un modèle neuroflou. *Journal des Sciences Hydrologiques* 49 : 919-930
- Benkhalel A., 2007. Distributions statistiques des pluies maximales annuelles dans la région du Cheliff Comparaison des techniques et des résultats. *Courrier du Savoir – N°08*: 83-91
- Benzarti Z., 2003. L'intensité horaire de la pluie à Tunis Manubia. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 15 : 287-294
- Bernard M.M., (1932). Formulas for rainfall intensities of long durations. *Trans. ASCE*, 96: 592-624
- Bhakar S.R., Bansal, A.K., Chhajed, N., Purohit R.C., 2006. Frequency analysis of consecutive days maximum rainfall at Banswara, Rajasthan, India. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, pp 64-67..
- Bilkova D., 2014. Robust parameter estimations using L-moments, TL-moments and the order statistics. *American Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2(2): 36-53
- Biondi D., Freni G., Lacobellis V., Mascaro G., Montanari A., 2012. Validation of hydrological models: Conceptual basis, methodological approaches and a proposal for a code of practice. *Physics and Chemistry of the Earth*, pp 42–44.
- Bloschl G., Sivapalan M., 1995. Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrological processes* 9: 251-290.

- Body K., 1981. Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie - Synthèse régionale : Détermination des paramètres principaux par station et répartition spatiale, ANRH-Antenne de Constantine, Algérie, 46 p.
- Bouillin, J.P., Raoult, J.F., 1971. Présence sur le socle kabyle du Constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs ; le Numidien peut-il être un néo-autochtone?. *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. XIII, pp 338-362
- Boukhelifa M., Touaibia B., Hubert P., 2011. Prévention du risque pluvial par l'élaboration des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF): application à la ville de Tipasa dans le Nord-Ouest Algérien. *IAHS Publication* 347:36-42.
- Buzzi, A., Tartaglione N., Malguzzi P., 1998. Numerical simulations of the 1994 Piedmont flood : Role of the orography and moist processes. *Mon. Weather Rev.*126: 2369–2383.
- Chaumont M., Paquin C., 1971, Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000 (4 feuilles avec notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger
- Chen C. I., 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*. 109(12): 1603-1621.
- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, 588 p.
- Conseil International de la Langue Française, 1978. Vocabulaire de l'hydrologie et de la météorologie. Ed. La maison de dictionnaire-CILF, Paris, 246 p.
- Cote M., 1998a, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, *Rhumel*, n° 6 :57-71.
- Chrominski et Tkacz, 2010. Comparison of outlier detection methods in biomedical data. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, Vol. 16: 89-94
- Djeboua A., 2001. Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les alpes franco-italiennes. Préviation quantitative des pluies journalières par la méthode des analogues. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, LTHE-INPG, 422 p.
- Delrieu, G., Nicol J., Yates E., Kirstetter P., 2005. The catastrophic flash-flood event of 8–9 September 2002 in the Gard region, France: A first case study for the Cévennes–Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory. *J. Hydrometeorology* 6:34-52.
- Demarée G., 1985. Intensity–duration–frequency relationship of point precipitation at Uccle, Reference period 1934–1983. N° 116, Publications de l'Institut Royal Meteorologique de Belgique, 52 p.
- Descroix L., Nouvelot J.F., Estrada J., Lebel T., 2001. Complémentarités et convergences de méthodes de régionalisation des précipitations : application à une région endoréique du Nord-Mexique. *Revue des sciences de l'eau* 14, n° 3: 281-305.
- Durand-Delga M., 1972. La courbature de Gibraltar, extrémité occidentale des chaînes alpines, unit l'europe et l'afrique. Ed. geol. Helv, 65/2 : 267-278
- Durand-Delga, M., Fontboté, J.M., 1980. Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. In : *J. Auboin, J. Debelmas et M. Latreille (Ed.), Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. Mémoire du B.R.G.M. n°115 : 67-85.*

- Elamir E.A.H, 2001. Probability distribution theory, generalisations and applications of L-moments, Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online : <http://etheses.dur.ac.uk/3987/>
- Fallot J.M., Hertig J.A., 2013. Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques et augmentation des valeurs extrêmes durant le 20ème siècle. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 23-34.
- Frei C., Davies H.C., Gurtz J., Schär C., 2000. Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. *Integrated Assessment*, 1: 281-299.
- Gautier E. F., 1911. Profils en long de cours d'eau en Algérie-Tunisie. *Annales de Géographie* 20(112) : 351-366
- Gelard J. P., 1979. Géologie du Nord-Est de la grande Kabylie (Un segment interne de l'orogène littoral nord- africain). Thèse S C. Dijon. 326 p, 98 Fig, 19 PL. 1 carte h.t .couleur
- Ghachi A., 1986. Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin de la Seybouse, O.P.U., Alger, 508 p
- Ghanmi H., 2014. Estimation des courbes Intensité-Durée-Aire-Fréquence (IDAF) de la région de Tunis dans un contexte multifractal. Thèse de doctorat en météorologie, océanographie physique et physique de, l'environnement, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines; Université Tunis El Manar, 133 p.
- Goldfarb B., Pardoux C., 2005. Méthodes d'ajustements graphiques : Diagramme Quantile – Quantile. *Revue MODULAD* N°33 : 1- 6.
- Grisollet H. , 1948. Etude des averses orageuses de la région parisienne. *La Météorologie*, N° 11 : 175-195.
- Guilmet B., 1963. Intensités des fortes précipitations en fonction de leur durée. Direction de la Météorologie nationale, Paris, 12 p.
- Gupta H. V., Kling H., Yilmaz K. K., Martinez G. F., 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377(1-2) : 80-91.
- Habibi B., Meddi M., Boucefiane A., 2012. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui. *Nature & Technologie*, pp 41-48
- Hamadache B., Terchi A., Brachemi, O., 2002. Study of the meteorological situation which affected the west and the center of Algeria in general and Bab-El-Oued in particular on the 10 th November 2001. In *Mediterranean Storms : Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference, published on CD-ROM (ISBN 84-7632-792-7)*
- Hingray B., Picouet C., Musy A., 2009. Hydrologie: Une science pour l'ingénieur. PPUR presses polytechniques, 600 p
- Horner, W., Flynt, F., 1936. Relation between rainfall and runoff from small urban areas. *Trans. ASCE*, 101: 104–183.
- Hosking J. R. M., Wallis J. R., 2005. Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments. Cambridge University Press, 244 p.
- Hosking, J. R. M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of statistics. *Journal of the Royal Statistical Society B* 52: 105-124.

- Hosking, J. R., M. and Wallis J., 1995. A comparison of unbiased and plotting-position estimators of L-moments. *Water Resources Research*, 31: 2019-2025.
- Huet P., Martin X., Prime J.L., Laurain C., Cannard P., 2003. Retour d'expérience des crues de septembre 2002 dans les départements du Gard, de L'Hérault, du Vaucluse, des Bouches- du- Rhône, de l'Ardèche et de la Drôme. Rapport consolidé après phase contradictoire. La Documentation française. Ministère de l'Ecologie et du Développement durable. 133 p.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. The physical science basis. Working Group I Contribution to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 p.
- Kieffer Weisse A., 1998. Étude des précipitations exceptionnelles de pas de temps court en relief accidenté (Alpes françaises). Méthode de cartographie des précipitations extrêmes. Relation avec le contexte topographique. Utilisation de l'information au pas de temps de la journée. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, LTHE-INPG, 314 p.
- Kiingumbi A., Mailhot A., 2010. Courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF): comparaison des estimateurs des durées partielles et des maximums annuels. *Hydrological Sciences Journal*, 55(2): 162-176
- Kothyari, U.C., Grade, R.J., 1992. Rainfall intensity duration frequency formula for India. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, 118(2): 323-336.
- Koutsoyiannis D., Kozonis, D., Manetas, A., 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal .of Hydrology*, 206 : 118–135.
- Laborde J.P., 1982. Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques : prise en compte des relations pluviométrie-morphométrie, *Houille. Blanche*, 4 : 331- 338.
- Laghouag M.Y., 2014. Etude des lamproïtes du Nord-Est algérien. Mémoire de Magister, Université de Setif, 194 p.
- Lahlah S., 2004. Les inondations en Algérie. *Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection*, /Batna 15/16/décembre.
- Lam K.H., Milton J., Nadeau M., Vescovi L., 2004. Mise à jour des courbes d'Intensité Durée Fréquence des pluies de courte durée du climat récent au Québec. 57ème Congrès annuel de l'association canadienne des ressources hydriques-Eau et changement climatique: comprendre pour mieux s'adapter, 16-18 Juin, Montréal, Qc, Canada.
- Lebel T., Slimani M., 1987. Estimation, régionalisation et moyenne spatiale de la distribution fréquentielle des pluies. In: *Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier*. (FRA): ORSTOM. pp 263-288.
- Lee C., 2005. Application of rainfall frequency analysis on studying rainfall distribution characteristics of Chia-Nan plain area in Southern Taiwan. *Journal of Crop, Environment & Bioinformatics*, 2:31-38
- Legates D. R., McCabe G.J., 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, *Water Resour.Res.*, 35(1): 233–241.
- Marre A., 1992. Le Tell oriental algérien : de Collo à la frontière tunisienne. Etude géomorphologique. OPU, Alger, 624 p.
- Mann H.B., Whitney D.R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Ann .of Math. Stat.* Volume 18: 52-60.

- Mathlouti M., Ghali A., Lebdi F., 2011. Impact de pluies extrêmes sur la genèse et l'amplification des glissements de terrain dans le Nord de la Tunisie. *Revue scientifique et technique, LJEE* N° 19 : 76-89.
- Mebarki A., 1999a, Approche hydrologique des bassins de l'Est algérien, Actes des Journées d'information et d'étude : *La nouvelle politique de l'Eau, les Agences de bassins hydrographiques et le Bassin Constantinois-Seybouse-Mellegue*, Constantine 20-21 oct. 1998, A.B.H.-C.S.M, pp. 22-30.
- Mebarki A., 1999b, Les bassins exoréiques de l'Est algérien et leurs apports d'étiage à la mer Méditerranée : écoulements, rejets et protection des eaux du littoral. Actes des Journées d'étude: *Protection des eaux du littoral de l'Est algérien*, Constantine, A.B.H.-C.S.M, pp. 24-41.
- Mebarki A., 2009, Ressources en eau et aménagement en Algérie –Les bassins hydrographiques de l'Est , O.P.U., Alger, 389 p.
- Mebarki A., 2010. La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. L'exemple du défi algérien : mobilisation et gestion durable des ressources. ICID+18 2nd International Conference « *Climate, Sustainability and Development in semi-arid regions*» August 16-20, Fortaleza - Ceará, Brazil
- Meddi M., Toumi S., 2015. Spatial variability and cartography of maximum annual daily rainfall under different return periods in the North of Algeria. *Journal of Mountain Science* 12(6): 1403-1421
- Mohymont B., Demarrée G.R., 2006. Courbes intensité–durée–fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 51(2) : 239-253
- Nash J.E., 1969. A course of lectures on parametric or analytical hydrology. Great Lakes Institute, University of Toronto Pr 38: Lecture 12.
- Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Vol. 27, N°3: 282-290.
- Nedjraoui D., 2003. Profil fourrager. Algérie. FAO, 30 p.  
<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/algeria/algerie.htm> (consulté le 12 Juillet 2017)
- Ogunlela A.O., 2001. Stochastic analysis of rainfall events in Ilorin, Nigeria. *Journal of Agricultural Research and Development*. Vol. 1: 39 -50.
- Olofintoye O.O., Sule B.F., Salami, A.W., 2009. Best-fit Probability distribution model for peak daily rainfall of selected Cities in Nigeria. *New York Science Journal*, 2(3) : 1-12.
- OMM, 2012. Glossaire international d'hydrologie, Publication N° 385, Organisation météorologique mondiale, Genève, 469 p.
- Phien H.N., Jirajah T.J., 1984. Applications of the log-Pearson Type-3 distribution in hydrology. *Journal of hydrology*, 73: 359-372.
- Rashid M. M., Faruque S. B., Alam J. B., 2012. Modeling of Short Duration Rainfall Intensity Duration Frequency (SDR-IDF) Equation for Sylhet City in Bangladesh, *ARNP Journal of Science and Technology*, 2 (2): 92-95.
- Raoult, J.F., 1969c. Relations entre la Dorsale kabyle et les flyschs sur la transversale du Djebel Rhedir ; phases tangentielles éocènes, paléogéographie (Nord du Constantinois, Algérie). *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. XI, p. 523-543.
- Réménieras G., 1980. L'Hydrologie de l'Ingénieur (Sixième éd.), Eyrolles, Paris, 456 p.
- Riad S., 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc . Thèse doctorat, Université Ibnou Zohr D'Agadir, 154 p.

- Rodier J.A., Colambani J., Claude J., Kallel R., 1981. *Monographies hydrologiques: Le bassin de la Medjerdah*. ORSTOM, Paris.
- Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. Carbonnel, Alger, 219 p.
- Servat E., Dezetter A., 1990. Sélection de critères numériques de calage dans le cadre d'une modélisation pluie-débit en zone de savane soudanaise. *Hydrol. continent.*, vol. 5(2): 147-165
- Sherman C.W., 1931. Frequency and Intensity of Excessive Rainfall at Boston, Mass. *Trans. ASCE*, 95: 951-960.
- Tao D.Q., Nguyen, V.T., Bourque A., 2002. On selection of probability distributions for representing extreme precipitations in Southern Quebec. Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. 5th -8th June, pp 1-8.
- Topaloglu F., 2002. Determining suitable probability distribution models for flow and precipitation series of the Seyhan River Basin". *Turk Journal of Agric.* 26: 189 - 194.
- Trömel S., Schönwiese C.D., 2007. Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, 87: 29-39
- Vila, J.M., 1980. La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat ès Science, Paris VI, 3 Volumes, 655 p
- Vogel, R. Fennessey N., 1993. L-moment diagram should replace product moment diagram. *Water Resource Research*, 29 : 1745-1752.
- Rao A.R., Hamed K.H., 2000. Flood frequency analysis. CRC Press LLC, 356 p.
- Wenzel H.G., 1982. Rainfall for urban storm water design. In *Urban Storm Water Hydrology*. Kibler, D.F. (editor). Water Resources Monograph, 7, AGU, Washington, DC.
- Wald A., Wolfowitz J., 1943. An exact test for randomness in the non parametric case based on serial correlation", *Ann. Math. Stat.* Volume 14: 378-388.
- Wilcox, B. P., Rawiw W. J., Brakensiek D. L., Wight J. R., 1990. Predicting runoff from range land catchments : A comparison of two models, *Water Resour. Res.*, 26 : 2401-2410.
- Wildi, W., 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique*, vol. 24(3) : 201-297.
- Willmott C.J., Robeson S.M., Katsuura K., 2012. A refined index of model performance, *International Journal of Climatology* 32: 2088–2094
- Zahar Y., Laborde J.P., 2007. Modélisation statistique et synthèse cartographique des précipitations journalières extrêmes de Tunisie. *Revue des sciences de l'eau*, 20(4) : 409-424.
- Zalina M.D., M. Desa M.N., Nguyen V.T.V., M. Kassim A.H., 2002. Selecting a probability distribution for extreme rainfall series in Malaysia. *Water Science and Technology*, Vol. 45(2) : 63–68

## **Autres ressources documentaires**

A.B.H.-C.S.M., 1999-2004. *Les Cahiers de l'Agence*, Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Seybouse-Mellegue, Constantine.

ANRH., *Annuaire hydrologiques de l'Algérie* (de 1946-47 à 1960-61), Alger, Gouvernement général de l'Algérie, Direction du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique, DSCH-SCEGGT, Service des Etudes Scientifiques, Alger,

Brakenridge G.R., Global Active Archive of Large Flood Events, Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html> (consulté le 20 Mars 2017) .

Centre de Marseille pour l'intégration en méditerranée, Juin 2011. L'adaptation au changement climatique et la résilience aux désastres naturels dans les villes côtières d'Afrique du Nord. Sommaire de l'étude régionale. [http://mc3.lped.fr/IMG/pdf/coastal\\_cities.pdf](http://mc3.lped.fr/IMG/pdf/coastal_cities.pdf)

Fédération Française des Sociétés d'Assurances. Prévention et assurance contre les catastrophes naturelles. Direction des Assurances de Biens et de Responsabilité. Février 2011. [http://www.ffsa.fr/sites/upload/docs/application/pdf/2011-02/ffsa\\_prevention\\_et\\_assurance\\_catnat.pdf](http://www.ffsa.fr/sites/upload/docs/application/pdf/2011-02/ffsa_prevention_et_assurance_catnat.pdf)

Groupe d'Experts Intergouvernementaux, 2004. Changement Climatique 2001 : Rapport de synthèse - Résumé à l'intention des décideurs.

Accessible le 15 février 2005 à [www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf)

Musy A., Cours d'hydrologie générale.

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html> (consulté le 13.06.2017)

Ressources Naturelles Canada. (2004c). Inondations. Accessible le 28 mars 2005 à

[http://gsc.nrcan.gc.ca/floods/index\\_f.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/floods/index_f.php)