

L'INFORMATION HISTORIQUE EN HYDROLOGIE

Le silence des pays en voie de développement !

Yasser Hamdi¹ et Rachid Boukhchina²

Résumé

Malgré les efforts considérables des organisations internationales (UNESCO, FAO, etc.), la sécheresse continue à causer des dégâts non négligeables dans les pays en voie de développement dont le climat est aride et semi-aride. Nous ne parlerons pas de l'impact économique, social, environnemental, écologique dans la présente publication, on a parlé assez dans la littérature et on ne fait que ça ! Dans le présent papier nous avons choisi l'Afrique du nord et plus particulièrement la Tunisie comme cas d'étude.

La sécheresse est un événement hydrologique et climatologique extrême et aléatoire tout comme les grandes crues. Nous croyons qu'on doit faire recours à l'hydrologie statistique et l'analyse fréquentielle pour l'étudier. L'objectif de l'analyse fréquentielle des événements hydrologiques et climatologiques rares relatifs à la sécheresse est d'interpréter la série des événements passés en terme de future probabilité d'occurrence. L'utilisation de l'information historique dans une analyse fréquentielle permet de mieux mobiliser l'information réellement disponible et devrait donc améliorer l'estimation des quantiles de grandes périodes de retour. Par information historique, on entend ici de l'information relative à des événements extrêmes qui se sont produits avant le début de la période d'enregistrement (jaugeage systématique) hydrométrique et hydrométéorologique.

Nous avons consacré une partie de notre publication à l'évaluation et la critique de l'état de la recherche scientifique dans ce domaine en Afrique du nord.

Mots clés: Sécheresse; Analyse fréquentielle; Information historique;

1. Introduction

L'objectif de la présente publication est, en plus de mettre le point sur l'état de la science dans le domaine de la conservation des eaux et des sols et plus particulièrement sur la sécheresse en Afrique du nord, de présenter et démontrer le lien évident entre le risque sécheresse et l'hydrologie statistique en utilisant l'information historique. Nous croyons que ceci va constituer une opportunité pour développer des approches et méthodologies nouvelles pour lutter contre la sécheresse, la surexploitation des réserves d'eau souterraine et tous les autres phénomènes qui y sont liés comme la désertification par exemple.

Les activités des organisations internationales (UNESCO, FAO, OSS, etc.) dans le domaine de la conservation des sols et eaux dans les pays en voie de développement sont de grande importance pour lutter contre la sécheresse. La problématique des risques naturels et plus particulièrement du risque sécheresse n'est pas tout à fait d'actualité au regard notamment de la nature aride et semi-aride du climat dans les plus part des pays en voie de développement.

¹ Département de génie civil, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Tunisie. Tél. : +216.98.606 051; E-mail: yasser.hamdi@ymail.com

² Institut des Régions Arides de Gabès, Tunisie. Tél. : +216 75 227 325 ; E-mail: rachid.boukhchina@ira.rnrt.tn

Malgré ces efforts considérables, la sécheresse continue à causer des dégâts non négligeables dans les pays de l'Afrique du nord et surtout dans le secteur de l'agriculture qui constitue toujours la première source d'emploi et le secteur moteur de l'économie de ces pays. L'OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel) dans un de ses bulletins publié récemment a démontré que le seuil de surexploitation des réserves d'eau souterraine du système aquifère du Sahara Septentrional (SASS) a été franchi depuis 1980 (date à partir de laquelle les prélèvements ont excédé la recharge naturelle).

Il faut commencer par avouer que les recherches purement scientifiques (qui aboutissent à des solutions concrètes et outils opérationnels) en Afrique du nord dans le domaine de la conservation des terres et des eaux sont quasiment absentes! Malgré les efforts de plusieurs groupes de recherche dans le domaine de l'eau, l'hydrologie et l'hydrogéologie (Comité National tunisien par exemple), on ne fait que participer à des manifestations, organiser des colloques et des séances, observer et finalement tourner autour du sujet de la conservation des eaux et des sols! Ce qui manque c'est les réalisations scientifiques : apporter des réponses concrètes à la problématique et risque sécheresse, faire limite à la surexploitation des nappes souterraines et surtout profiter des nouvelles technologies presque gratuites dans le domaine de l'hydrologie statistique.

Il est très important de noter ici que si les pays de l'Afrique du nord et particulièrement la Tunisie n'arrive toujours pas à joindre les pays développés c'est en grande partie à cause de la nature aride et semi-aride de la région, du climat sévère, du manque d'eau et de l'impact social, économique, environnemental et écologique de la sécheresse. D'après les statistiques des Nations Unies (2005), l'agriculture est le secteur majeur en terme de consommation d'eau en Tunisie. La quantité d'eau allouée au secteur de l'irrigation est estimée à 2 billions m³/année, avec des surfaces irriguées de 400,000 ha. Pour le moment, le secteur de l'irrigation contribue de 30% des productions agricoles, 10% des exportations agricoles et 27% des emplois dans le secteur de l'agriculture. Il est donc clair que les enjeux des sécheresses en Tunisie sont considérables. La recherche de l'ensemble des informations pouvant améliorer la situation se voit économiquement, 'environnementalement', écologiquement et socialement justifiée.

Il est évident que le manque de pluie est la composante principale du risque sécheresse. L'aspect aléatoire de la pluie nous incite et invite à explorer le domaine de la sécheresse en s'armant de toutes les connaissances de base et avancées de l'hydrologie statistique. Nous trouvons surprenant qu'un tel phénomène, où le hasard de la nature joue un rôle crucial dans son existence, soit approché par des méthodes empiriques, régionales et conceptuelles et non par les moyens statistiques ! Les grandes crues ont fait l'objet de milliers de publications, la majorité des études utilisent l'analyse fréquentielle. Pourtant les sécheresses sont des événements hydrologiques et climatologiques extrêmes, tout comme les inondations et on ne les traite pas avec les mêmes moyens scientifiques !

Il a été prouvé que l'analyse fréquentielle des événements hydrométéorologiques extrêmes avec les séries de données et enregistrements à disposition n'est pas concluante et les périodes de données doivent être beaucoup plus longue pour conduire une étude statistique pertinente. L'utilisation de l'information historique dans une analyse fréquentielle permet de mieux mobiliser l'information réellement disponible et devrait donc améliorer l'estimation des quantiles de grande période de retour. Par information historique, on

entend ici de l'information relative à des événements rares qui se sont produites avant le début de la période d'enregistrement (ou ce que nous appelons période de jaugeage systématique) hydrométrique et hydrométéorologique.

La revue de la littérature montre que l'information historique améliore très bien l'analyse fréquentielle des crues extrême (Hirsch et Stedinger, 1987; Wang, 1990; Ouarda et Hamdi, 2002). Dans le cas de la sécheresse, un très grand nombre de rapports et de publications ont été publiés et malheureusement on ne parlait que de définitions, catégories, caractéristiques et impacts de la sécheresse sans apporter des solutions concrètes ! Plusieurs méthodes basées sur des analyses régionales sont aussi disponibles dans la littérature (Russell et al, 1970; Palmer and L. M. Denny, 1971; Garcia and Escudero, 1986). Un indice de sévérité des sécheresses a été proposé et largement utilisé dans les régions arides et semi-arides (Palmer, 1965). Ici nous nous posons la question suivante : Avons-nous besoin d'évaluer le degré de sévérité d'une sécheresse (qui a déjà causé des dommages) avec l'indice de Palmer dans les pays arides et semi-arides comme la Tunisie. C'est ce que nous appelons 'les solutions superficielles' et 'tourner autour de la question!' D'autres chercheurs ont utilisé l'analyse fréquentielle des sécheresses dans les régions humides en se servant des données systématiques seulement (Beersma et Buishand, 2004; DALEZIOS, 2000). En 1992, on a fait recours à l'hydrologie statistique au Soudan (Eltahir, 1992) mais malheureusement on a utilisé que l'information systématique aussi. Hallack et Watkins (2005) ont réalisé un travail consistant dans le domaine de la sécheresse agricole en estimant l'intensité-durée-fréquence de la sécheresse au Mexique mais sans utiliser l'information historique.

L'article sera organisé comme suit: l'aspect aléatoire du risque sécheresse et sa vulnérabilité feront l'objet de la section '*Le concept du risque sécheresse*'. Dans la section '*La sécheresse et l'hydrologie statistique*' nous mettrons en évidence le lien entre la sécheresse et l'analyse fréquentielle. Par la suite, nous présenterons dans la section '*L'information historique*' le rôle que peut jouer l'information historique dans l'analyse fréquentielle des sécheresses. La dernière section '*Les sources de l'information historique*' aura comme objet l'extraction et la collecte des événements historiques rares relatifs à la sécheresse et leur intégration dans le calcul. Nous finirons cette publication par une conclusion et quelques recommandations.

2. Le concept du risque sécheresse

Nous pouvons définir le concept du risque sécheresse par le croisement de deux aspects. L'aspect aléatoire des pluies d'une côté et la vulnérabilité aux sécheresses de l'autre. Le premier aspect est lié à l'hydrométéorologie et plus précisément à la pluie et la deuxième composante est fortement liée à l'utilisation des terres, la disponibilité de l'eau de surface et souterrain et les activités économiques directement et indirectement liées à ces deux ressources: terre et eau. En plus de l'aspect aléatoire des précipitations nous trouvons deux autres facteurs qui aggravent à leur tour le risque :

- La mauvaise qualité des données. Une des raisons de la dégradation de l'information systématique est le mauvais état des réseaux hydrométéorologiques ainsi que le manque de leur entretien, l'emplacement non optimisé des stations de mesure et l'accès difficile aux réseaux ;

- Les changements climatiques qui sont venus pour mélanger les cartes et remettre en question tous nos stratégies pour faire face aux risques hydrologiques et climatiques d'une façon générale.



Fig. 1: concept du risque sécheresse

3. La sécheresse et l'hydrologie statistique

L'objectif de l'analyse fréquentielle des crues est d'interpréter la série des événements passés en terme de future probabilité d'occurrence. Le manque de pluie est un phénomène naturel, il est donc basée en grande partie sur le hasard: c'est la composante aléatoire du risque sécheresse. L'hydrologie statistique est une discipline qui peu apporter quelques éléments de la réponse à une question qui se pose depuis toujours : quelle est la fréquence des événements extrêmes, quelle est leur période de retour et quelles sont les pluies de projets et les débits pour dimensionner les ouvrages hydrauliques et les systèmes d'irrigation par exemple? La sécheresse est un événement hydrologique et climatologique extrême tout comme les grandes crues. Nous avons donc fait recours à l'hydrologie statistique pour étudier ce phénomène.

Dans les pays en voie de développement, l'information systématiques issues des réseaux hydrométéorologiques, qui permettent d'étudier la composante aléatoire du risque sécheresse, sont généralement de courte durée (20 à 40 ans d'enregistrements continus) et de mauvaise qualité. On trouve souvent des données manquantes dues à la dégradation des réseaux hydrométéorologiques, à un grand nombre de pannes dans les stations de mesures et l'absence de l'entretien (pour des raisons économiques et de gestion...). Cette information est largement insuffisante pour conduire une analyse statistique fiable permettant d'estimer les pluies de très faible occurrence et les sécheresses de degrés de sévérités élevés et de périodes de retour élevées aussi.

Pour contourner ce problème et élargir les séries d'enregistrements systématiques afin d'améliorer l'estimation des événements rares liés à la sécheresse, nous pouvons utiliser l'information historique (paléohydrologie, dendrohydrologie, archives, mémoire des gens, etc.). L'information historique dans une analyse fréquentielle permet de mieux mobiliser l'information réellement disponible et améliore l'estimation des quantiles de grandes périodes de retour. Par information historique, on entend ici de l'information relative à des

événements rares qui se sont produites avant le début de la période d'enregistrement (jaugeage systématique) hydrométrique et hydrométéorologique.

4. L'information historique

Il a été prouvé durant les dernières trente cinq années que l'information historique est particulièrement intéressante pour l'estimation des événements rares relatifs aux grandes crues (Cohn, 1986 ; Hirsch et Stedinger, 1987). Nous avons eu l'opportunité de développer une expertise solide en analyse fréquentielle avec information historique en collaborant dans plusieurs projets internationaux d'hydrologie statistique. Nous citons par exemple le projet SPHERE réalisé en collaboration avec la communauté européenne pour estimer les crues extrêmes historiques qui ont eu lieu en Europe (Hamdi et al. 2002). Nous avons développé un outil d'analyse fréquentielle avec information historique que nous avons nommé « FRESH : FRequency ESTimation in Hydrology ». Différentes fonctions de distributions (Normal : N ; lognormal à deux paramètres LN2 ; lognormal à trois paramètres : LN3 ; GAM ; Generalized Extreme Value : GEV ; Pearson : P3 ; log Pearson III : LP3 et Gumbel : GUM) ont été utilisées, plusieurs formules de calcul des probabilités expérimentales (Weibull, Blom, Cunnane, Hazen, Gringorten and Chegodajev) ont été considérées. Quant aux résultats, elles sont tout simplement impressionnantes : on a nettement amélioré l'estimation des débits centenaires que nous utilisons pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques par exemple. Nous avons pu mettre en évidence l'intérêt de l'information historique du point de vue de la réduction (qui a atteint 60%) des incertitudes d'échantillonnage sur les quantiles estimés. D'où la raison d'être de la présente recherche, nous sommes en train de refaire l'expérience avec la sécheresse puisque elle est considérée comme un événement hydrologique et climatologique extrême et aléatoire.

Il est important de souligner que l'information historique brute que nous pouvons obtenir n'est pas sous forme d'une valeur de pluie ou débit mais c'est un indice sous forme d'une information qui nous donne une idée sur l'ampleur de l'événement et la date approximative ou exacte de son occurrence. Il est relativement facile d'obtenir l'information mais ce qui est difficile c'est d'associer à l'événement historique obtenu une valeur exacte de quantité de pluie par exemple. Cependant, même si l'information est imprécise, nous pouvons l'intégrer dans notre analyse fréquentielle en la considérant inférieure à un seuil que nous fixerons en conséquence. Par exemple, une information de type « On a pas eu de pluie supérieure à celle de 1969 durant les vingt dernières années » peut très bien servir à améliorer l'estimation de la distribution des pluies.

5. Les différentes sources de l'information historique

L'information relative aux sécheresses historiques peut provenir essentiellement de trois sources, notamment : La dendrohydrologie, les archives, la mémoire des observateurs. Le principe de l'analyse fréquentielle prenant en compte ces différentes sources d'information historique est le même.

5.1 La dendrohydrologie :

La dendrohydrologie est, par définition, l'application de la dendrochronologie à l'étude des fluctuations de la disponibilité de l'eau (Schweingruber, 1996). L'eau peut constituer un facteur limitatif (agissant rarement seul, mais plutôt en combinaison avec d'autres facteurs)

en produisant un stress affectant la nutrition de l'arbre et ses échanges gazeux avec l'air du sol ou de l'atmosphère. La sécheresse constitue un agent très perturbateur qui affecte le milieu de croissance de l'arbre. Il s'agit d'évidences botaniques de sécheresses anciennes ayant laissé des traces sur les arbres sous forme d'anomalies de croissance permettant d'extraire les dates et sévérité des sécheresses. En faisant notre recherche dans le domaine de la dendrohydrologie et la dendrochronologie nous étions surpris de voir que l'arbre est une véritable base de données ou archive naturelle ou aussi une sorte de fiche d'identité. Non seulement elle peut nous informer de sa date de naissance mais aussi elle peut nous renseigner sur ses années de gloire où elle a pu profiter de conditions hydrologiques et climatologiques favorables et les années de sa vie où elle a fait face à des sécheresses relativement sévères.

Chez les espèces ligneuses des arbres, la croissance des cernes (sur une coupe transversale de tronc, les couches concentriques s'appellent des cernes) suit un cycle annuel. Cette croissance s'interrompt à l'automne et reprend au printemps. Chaque année, un nouveau cylindre de bois est formé à l'extérieur du précédent (Figure 2).

Chaque cerne représente le bois formé pendant une année. Dans chaque cerne, on distingue vers l'intérieur une région poreuse qui correspond au bois formé au printemps (trachéides de grand diamètre assurant la conduction) et une région plus lisse qui correspond au bois formé en été (trachéides de diamètre plus faible assurant essentiellement le soutien).

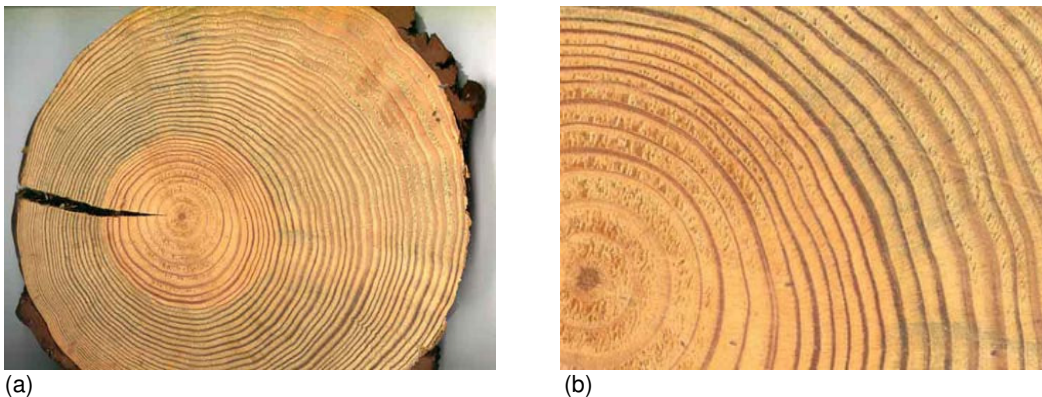


Figure 2. (a) Section transversale d'un tronc de pin : On distingue une région centrale et une région périphérique ou aubier et tout à fait à l'extérieur, l'écorce de couleur sombre. Le bois de ce tronc est formé de 38 couches concentriques ou cernes; (b) Détails de la partie centrale.

En comptant les cernes, on peut déterminer l'âge de l'arbre ou de la branche étudiée (38 ans dans l'exemple de la figure 2). Une étude approfondie de l'épaisseur des cernes et de leur porosité peut permettre d'avoir une idée sur les conditions climatiques et hydrologique au cours du temps. Dans le cadre du présent article, nous n'allons pas plus loin dans les détails de la dendrohydrologie. Ceci fera l'objet d'un article séparé que nous publions dans les semaines qui viennent.

5.2 Les archives

Observations enregistrées dans des documents et journaux anciens. Cette information est très précise. Nous pouvons l'obtenir et la vérifier assez facilement en consultant les

anciens documents et journaux qui se trouvent dans la bibliothèque du parlement ou aussi dans les archives nationales par exemple.

5.3 La mémoire des observateurs

Observations obtenues par des enquêtes auprès des observateurs qui sont les résidents de la région ayant vécu des expériences de sécheresse. Cette information peut être précise et précieuse aussi. Nous pouvons l'obtenir et la vérifier assez facilement en interrogeant plusieurs personnes sur le même événement et en vérifiant la concordance entre les différentes informations obtenues. Contrairement à l'information issue des archives, l'importance de cette enquête réside dans sa disponibilité pour n'importe quelle région que nous souhaiterions étudier. Il suffit de trouver quelques personnes qui ont vécu des sécheresses ou aussi qui ont une information de la part de leurs parents ou grands-parents lorsqu'ils étaient jeunes. Nous pouvons citer quelques exemples d'informations historiques que nous avons obtenus durant notre enquête dans la région de Sidi Khelif (Tunisie centrale) :

« ... Je me souviens que mon père nous parlait souvent d'une sécheresse très sévère qui a eu lieu au début du 20^{ème} siècle et en 1906, tout le monde ont amené leurs bétails à Frigua (une région dans le nord-est de la Tunisie) » Ahmed B. H. Khelifi (89 ans), confirmé par 3 autres personnes.

« ... Je me souviens très bien de l'année de la famine, 1937, suite à quelques années de sécheresse, nous avons tout perdu, le bétail n'avait pas de nourriture ... » Ahmed H., confirmé par 13 autres personnes.

« ... On n'a pas eu de pluie pendant 5 ans, entre 1943 et 1947, En 1948, nous avons perdu tous nos bétails sauf Mr. Mhamed Khelifi qui a quitté la région avec ses bétails vers le nord » Ahmed H., (78 ans), confirmé par 6 autres personnes.

6. Conclusion et recommandations

L'utilisation de l'information historique dans l'estimation des sécheresses vise à mieux exploiter les données systématiques réellement disponibles en réduisant leur poids dans l'estimation. En intégrant l'information historique, nous donnons plus de poids aux événements rares de différents degrés de sévérités comme les faibles pluies annuelles ou saisonnières responsables en grande partie sur les sécheresses. Par conséquent, le choix des fonctions de distributions qui ajusteront les probabilités expérimentales sera justifié et approprié à plusieurs situations et catégories de sécheresses.

Il est surprenant que, malgré l'importance que prend la gestion du risque hydrologique dans les sociétés actuelles, le capital des informations historiques relatives aux événements catastrophiques rares n'est toujours pas exploité dans les pays en voie de développement et les pays pauvres ravagés et menacés par des sécheresses très sévères !!! Concernant l'avancement de la science dans le domaine de l'hydrologie statistique, les pays de l'Afrique du nord sont pour le moment des observateurs silencieux et nous souhaiterions que la présente publication pourrait servir comme point de départ pour les chercheurs nord africains pour se lancer dans des projets faisant recours à l'analyse fréquentielle et l'information historique non seulement pour lutter contre la sécheresse mais aussi pour prévenir les fortes crues qui sont très dommageables. A titre d'exemple, l'analyse fréquentielle des sécheresses avec information historique pourrait très

bien être utile à l'élaboration d'un système expert pour la proposition de stratégies de gestion optimales des productions agricoles dans les pays en voie de développement

Notre travail sera inachevé si nous transmettrons pas le message très noble et rassurant au même temps de l'un des habitants de la région de Sidi Khelif à la communauté internationale: « ce qui nous aide c'est de nous protéger des hausses de prix de la nourriture pour bétails durant les années sèches... nous avons toujours composés avec la nature, nous avons survécu à toutes les fois que mère nature nous a giflé et nous continuerons de se battre ! »

References

- United Nations – Economic Commission for Africa. Water Resources Development in North Africa : Summary of the Subregional Report. ECA Office for North Africa. Twentieth Meeting of the Intergovernmental Committee of Experts 2005.
- Schweingruber F. H. Tree rings and environment : dendroecology. Haupt, Berne 1996. Chapter 8: Influence of water (Dendrohydrology), 131-181.
- Hallack A. and Watkins D.W. Drought Frequency Analysis and Prediction in Sonora, Mexico. Impacts of Global Climate Change. World Water and Environmental Resources. Congress 2005 Anchorage, Alaska, USA.
- Dalezios et al. Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. Hydrological sciences journal 2000. 45(5): 751-769
- Palmer W.C. Meteorological Drought. Dept. of Commerce, Washington, D.C. Res. Paper 1965. 45: 58pp.
- ELTAHIR E.A. Drought frequency analysis of annual rainfall series in central and western Sudan. Hydrological sciences journal 1992. 37(3): 185-199.
- Beersma J.J. and Buishand T.A. Joint probability of precipitation and discharge deficits in the Netherlands. Water Resources Research 2004. 40, W12508.
- Russell C.S. et al. Drought and Water Supply (1970)
- Palmer W.C. and Denny L.M. Drought Bibliography (1971)
- R. V. Garcia and J. Escudero, Drought and Man (1986)
- Cohn T.A. and Stedinger J.R. Use of historical information in a maximum-likelihood framework. Journal of hydrology 1987. 96: 215-223
- Hamdi Y., Ouarda, T.B.M.J. et Bobee, B. *FRESH*: A computer based system for Frequency ESTimation in Hydrology with historical data. Canadian Geophysical Union journal 2002.
- Hirsch R. M. and Stedinger J.R. Plotting positions for historical floods and their precision. Water Resour. Res. 1987. 23(4): 715-727.
- Wang Q.J. unbiased estimation of probability weighted moments and partial probability moments from systematic and historical information and their application to estimating the GEV distribution. Journal of Hydrology 1990. 120: 115-124.