

Aspects climatologiques liés aux possibilités d'alimentation en eau potable par collecte des eaux pluviales dans le Nord-Cameroun

Jean-Pierre LABORDE (1) et Michel MOREL (2)

RÉSUMÉ

La collecte des eaux pluviales pour la satisfaction des besoins en eau potable est une technique très ancienne. Elle provoque un regain d'intérêt principalement dans les pays en développement et dans les zones d'habitat dispersé, où elle est une technique très recommandable. A propos de la zone Nord-Cameroun, nous présenterons ici une démarche méthodologique permettant de proposer des règles de dimensionnement des ouvrages, en fonction des précipitations et de leur répartition temporelle.

Les règles permettent de lier entre eux la consommation potentielle, la surface de toiture et le volume du réservoir.

Les résultats concernant le Nord-Cameroun montrent que cette collecte des eaux pluviales est techniquement et économiquement possible.

Dans la mesure où le régime des précipitations ne varie pas trop, les règles que nous proposons sont adaptables à d'autres pays, avec pour seul paramètre de calage la hauteur moyenne interannuelle des précipitations.

MOTS CLÉS: Précipitations — Collecte des eaux pluviales — Alimentation en eau — Cameroun.

ABSTRACT

CLIMATOLOGICAL ASPECTS OF RAINFALL COLLECTION FOR WATER SUPPLY IN NORTH CAMEROON

The collection of rain water for drinking is a very ancient technique. It is presently gaining ground, especially in developing countries and in areas of scattered settlement where this technique is particularly suitable. The study presents a methodological approach based on field work in North Cameroon and proposes rules for determining the size of water collection equipment depending on precipitations and their temporal distribution.

These rules are based on a three-fold association involving potential consumption, collecting roof-top area and tank volume.

The results show that rain water collection in North Cameroon is technically possible and economically viable.

Provided that the rainfall regime is not subject to very wide fluctuations, the rules proposed here could be adapted to other countries after calibrating for the mean interannual rainfall value.

KEY-WORDS: Rainfall — Rain-water collection — Water supply — Cameroon.

INTRODUCTION

La collecte des eaux pluviales pour la satisfaction des besoins en eau potable est une technique utilisée depuis la plus haute antiquité. Dans le monde des pays développés, son utilisation est tombée en désuétude, mais pour les pays en développement, c'est encore un moyen sûr, peu coûteux et autonome pour alimenter en eau des populations à l'habitat dispersé. Actuellement, plusieurs modes d'alimentation en eau sont en vigueur selon les caractéristiques climatologiques, hydrogéologiques et hydrologiques :

(1) Laboratoire d'analyse spatiale de l'université de Nice - Sophia Antipolis, BP 369, 06007 Nice.

(2) Département de physique de l'université Cheikh Anta Diop, Dakar fann, Sénégal.

— l'utilisation individuelle des eaux de surface est très fréquente, mais elle se heurte à des problèmes d'hygiène difficilement surmontables. La pérennité de la ressource n'est d'ailleurs pas toujours assurée;

— le captage de sources est une solution quasi idéale, donnant pour un faible coût une eau de qualité avec une plus grande sécurité d'approvisionnement. Malheureusement, cette solution ne s'applique qu'à des zones au contexte hydrogéologique bien particulier. De plus, si l'habitat est dispersé, on se heurte souvent au problème du transport entre la source et le lieu d'habitation;

— les puits et forages permettent d'assurer une fourniture d'eau saine et pérenne, mais ils ne sont possibles que dans un cadre hydrogéologique favorable. De plus, l'importance de l'investissement cantonne cette technique à l'alimentation en eau de villages.

La collecte et le stockage des eaux pluviales à partir de toitures ou d'impluvium est une technique simple, peu coûteuse et bien adaptée à un habitat dispersé. Cependant cette solution est très peu utilisée en Afrique, bien que préconisée par la Banque mondiale et d'autres organismes d'aide au développement. Notre étude a pour but de montrer si cette technique est adaptée aux conditions climatologiques du Nord-Cameroun. En effet, cette technique d'alimentation en eau connaît des limites qui sont principalement de deux ordres. Le premier est celui du maintien de la qualité de l'eau. Ceci nécessite une information des populations qui doivent bien comprendre les précautions élémentaires à prendre au moment de la collecte des eaux (nettoyage des toitures), de leur stockage (hygiène des réservoirs), et de leur consommation (moyen de puisage). Ce problème ne sera pas développé ici, mais on pourra retenir qu'il est tout à fait surmontable, comme le montrent les expériences réussies en Asie du Sud-Est. Le deuxième aspect auquel nous nous attachons ici est essentiellement climatologique et quantitatif:

— l'abondance des précipitations est-elle suffisante pour satisfaire, au moins partiellement, les besoins en eau d'une famille à partir de la surface de toiture dont elle dispose?

— la durée de la période sèche est-elle compatible avec un stockage de l'eau dans un réservoir de dimension raisonnable?

Les réponses à ces deux questions sont essentielles à la faisabilité d'un tel système d'alimentation. En effet d'un point de vue économique, il est difficile d'envisager la réalisation de toitures ou d'impluvium supplémentaires, et la construction du réservoir est à la fois la plus coûteuse et la plus techniquement difficile.

LA ZONE ÉTUDIÉE ET LES DONNÉES UTILISÉES

La zone Nord-Cameroun est une région où, malgré les progrès récents, le problème de l'eau en habitat dispersé est loin d'être réglé. Comme l'indique la figure 1, cette zone s'étend sur le territoire de la République du Cameroun entre 7° et 12° de latitude nord. Elle est limitée à l'ouest par le Nigeria et à l'est par le Tchad.

Sur cette zone, nous disposons jusqu'en 1985 des relevés de pluviomètres pendant 14 à 40 ans. Ces pluviomètres sont gérés par la Sodécoton, organisme d'État s'occupant de la culture et de l'exploitation du coton. Compte tenu de

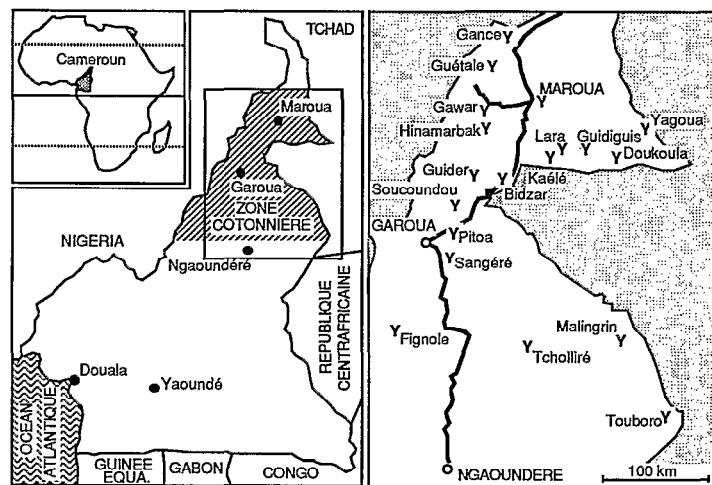


FIG. 1. — La zone d'étude et les postes pluviométriques utilisés.

l'utilisation faite par la Sodécoton de l'information pluie, il est possible que des cumulés sur plusieurs jours n'aient pas été signalés, aussi avons nous préféré travailler uniquement sur les totaux mensuels beaucoup plus fiables. Cependant une étude critique des données pluviométriques, menée par l'Orstom et le CIEH, nous donnait également des données journalières critiquées et donc fiables sur la station de Guider pour la période 1948-1972. Cette dernière série nous a servi à évaluer les écarts entre les résultats d'une étude au pas de temps mensuel, seule possible sur les 19 stations de la Sodécoton, et les résultats que l'on aurait pu obtenir en travaillant au pas de temps journalier, pas de temps le mieux adapté à notre problème.

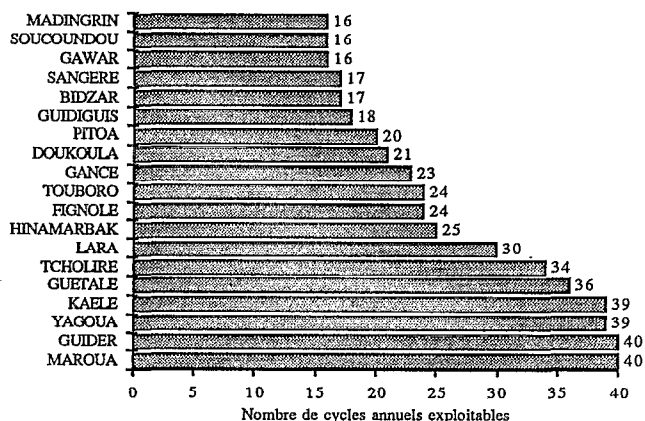


FIG. 2. — Nombre de cycles hydrologiques annuels exploitables.

ÉTUDE A L'ÉCHELLE MENSUELLE

Dans un premier temps, nous avons admis que les précipitations pouvaient être considérées comme uniformément réparties à l'intérieur de chaque mois. Le graphique représentant le cumul des précipitations pour un cycle hydrologique est alors une ligne brisée, formée d'autant de segments de droite que de mois. Prenons l'exemple de la saison sèche de l'année 1955-56 à Kaélé. Le tableau I récapitule les données pour ce cycle hydrologique.

TABLEAU I
Exemple du cycle hydrologique annuel des précipitations à Kaélé en 1955-56

Mois	Pluie du mois	Pluie cumulée en fin de mois
Jan-55	0,0	0,0
Fév-55	0,0	0,0
Mar-55	0,5	0,5
Avr-55	22,4	22,9
Mai-55	66,5	89,4
Jui-55	213,2	302,6
Jui-55	270,9	573,5
Août-55	260,9	834,4
Sep-55	274,6	1109,0
Oct-55	53,9	1162,9
Nov-55	0,0	1162,9
Déc-55	0,0	1162,9
Jan-56	0,0	1162,9
Fév-56	0,0	1162,9
Mar-56	1,9	1164,8
Avr-56	16,1	1180,9
Mai-56	31,9	1212,8
Jui-56	130,9	1343,7

Ce tableau s'exploite graphiquement comme l'illustre la figure 3. Pendant ce cycle, l'examen des cumuls des précipitations montre une première période de pluies faibles à nulles, puis fortes, et enfin à nouveau faibles à nulles. Sur ce graphique, nous traçons une droite s'appuyant sur les «limites inférieures» de cette courbe. Cette droite tangente la courbe des pluies cumulées le 1^{er} juin 1955 pour une hauteur de 89,4 mm et le 1^{er} juin 1956 pour une hauteur de 1 212,8 mm.

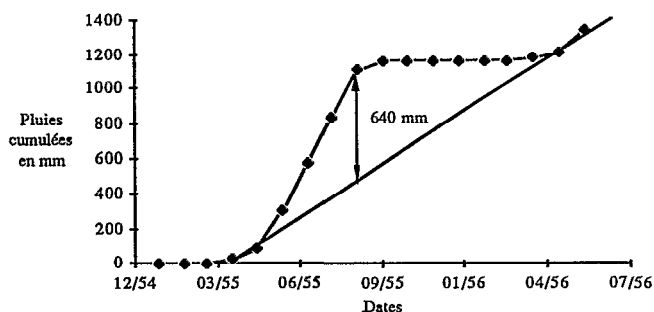


FIG. 3. — Détermination du volume de réservoir minimum pour une consommation potentielle maximum à Kaélé en 1955-56.

Ceci s'interprète ainsi: du 1^{er} juin 1955 au 1^{er} juin 1956 il est tombé 1 123,4 mm de pluie, soit en moyenne 3,08 mm.j⁻¹ soit une quantité d'eau consommable de 3,08 l.j⁻¹.m²⁻¹. Supposons que les habitants consomment cette quantité d'eau, la droite représenterait la consommation cumulée depuis le 1^{er} juin 1955. On conçoit bien que la distance verticale entre cette droite et la courbe cumulée des précipitations représente le volume à stocker à tout instant dans un réservoir. Cette année 1955-56, il aurait fallu disposer d'un réservoir de 640 l.m²⁻¹ pour pouvoir consommer 3,08 l.j⁻¹.m²⁻¹. On retiendra ici que pour ce cycle hydrologique la consommation potentielle maximale est de 3,08 l.j⁻¹.m²⁻¹ et que la taille du réservoir n'est plus limitante au-delà de 640 l.m²⁻¹.

Supposons maintenant que nous ne disposons plus qu'un réservoir de 200 l.m²⁻¹, la taille du réservoir est limitante et on ne pourra donc plus consommer 3,08 l.j⁻¹.m²⁻¹. Pour trouver la consommation potentielle dans ce cas, on utilise également une construction graphique. La consommation potentielle est donnée par la pente de la droite tangente en fin de période humide à la courbe cumulée des précipitations, et tangente en fin de saison sèche à la même courbe des cumuls, mais translatée de 200 mm. La figure 4 représente cette méthode.

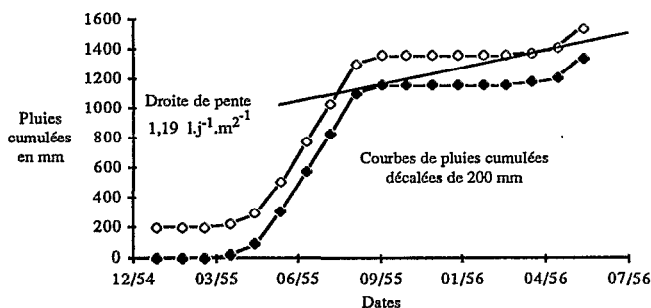


FIG. 4. — Détermination de la consommation potentielle, maximum pour un réservoir de 200 l.m²⁻¹ à Kaélé en 1955-56.

On constate alors qu'avec un réservoir de 200 l, on pourrait assurer une consommation de 1,19 l.j⁻¹.m²⁻¹ du 10 septembre 1955 au 1^{er} mai 1956, et que le réservoir aurait été rempli le 1^{er} novembre 1955.

Ce travail a été fait pour différentes capacités de réservoir: 100, 200, 300, 400 et 500 l.m²⁻¹ (ou mm). Pour la station de Kaélé et l'année hydrologique 1955-56, on obtient les résultats suivants:

TABLEAU II

Exemple de l'évolution de la consommation potentielle en fonction de la taille du réservoir à Kaélé en 1955-56

Capacité du réservoir en (l.m ²⁻¹)	100	200	300	400	500	infinie
Consommation potentielle (l.j ⁻¹ .m ²⁻¹)	0,64	1,19	1,64	2,11	2,48	3,08

On peut ensuite recommencer pour toutes les années disponibles. Ainsi pour la station de Kaélé, on dispose de 37 consommations potentielles annuelles et pour 6 capacités de réservoir. On constate que, dans l'ensemble, les distributions sont sensiblement gaussiennes. La figure 5 présente l'ajustement réalisé sur les consommations pour un réservoir de 200 l.

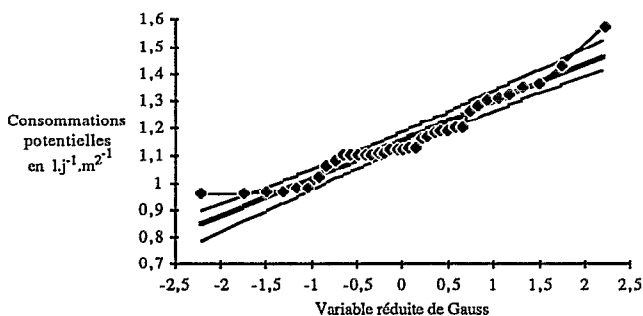


FIG. 5. — Ajustement à une loi de Gauss des consommations potentielles à Kaélé pour un réservoir de 200 l.m²-¹.

La moyenne est de 1,156 l.j⁻¹.m²-¹ et l'écart-type de 0,139 l.j⁻¹.m²-¹. On peut donc admettre que dans 90 % des cas (période de retour T = 10 ans), la consommation potentielle sera supérieure à :

$$1,156 - 1,28 * 0,139 = 0,978 \text{ l.j}^{-1}.\text{m}^2^{-1}.$$

On peut bien sûr faire un travail identique pour d'autres périodes de retour et d'autres capacités. A Kaélé, on obtient ainsi les résultats de la figure 6 :

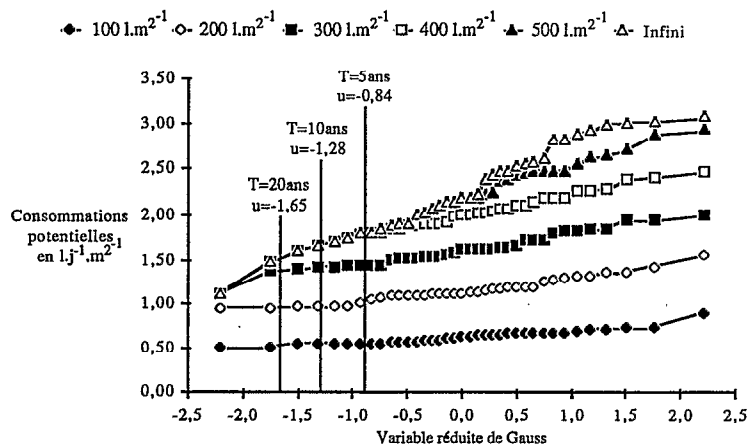


FIG. 6. — Ensemble des ajustements à des lois de Gauss des consommations potentielles à Kaélé pour différents volumes de réservoir.

Si l'on examine la variation de la consommation potentielle en fonction du volume du réservoir pour une période de retour donnée, on constate que lorsque le réservoir est de faible taille, la consommation augmente d'une façon sensiblement linéaire. La seule restriction à la consommation est alors le volume du réservoir, qui ne rencontre aucun problème de remplissage par les précipitations, vu sa faible taille. Au contraire, lorsque le réservoir est très grand, la consommation devient indépendante du volume du réservoir et ne dépend plus que des précipitations, qui trouvent toujours assez de place pour être stockées.

Comme le montre l'exemple de la figure 7, les points expérimentaux ne sont pas toujours répartis d'une façon régulière. Il peut même survenir des cas où, par exemple, du fait des erreurs d'échantillonnage et des incertitudes sur les ajustements, la consommation décennale pour un réservoir de 500 l soit légèrement supérieure à celle d'un réservoir infini. Ceci est bien évidemment théoriquement impossible. Nous avons donc choisi de modéliser les courbes « Consommation - Volume » par une courbe théorique sensiblement linéaire pour les faibles volumes, puis d'asymptote horizontale pour les forts volumes.

Parmi les courbes simples susceptibles de répondre à ces contraintes, nous avons choisi d'utiliser une cubique à trois paramètres, puis une horizontale. Le modèle adopté est donc le suivant :

$$\begin{aligned}
 & \text{Si } v < V_{\text{max}} & \text{Si } v > V_{\text{max}} \\
 x &= m(v / V_{\text{max}}) + (3 X_{\text{max}} - 2 m) (v / V_{\text{max}})^2 + (m - 2 X_{\text{max}}) (v / V_{\text{max}})^3 & x &= X_{\text{max}}
 \end{aligned}$$

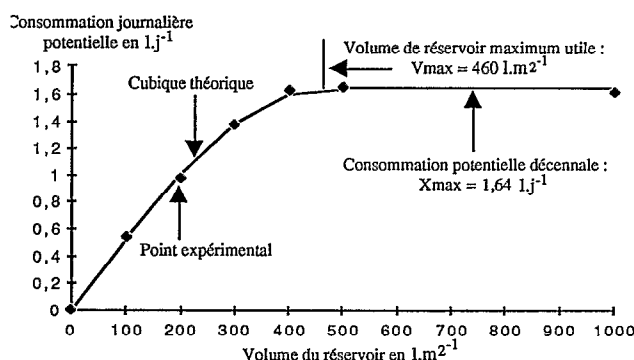


FIG. 7. — Ajustement d'un modèle théorique «Consommation-Volume» pour la station de Kaélé dans des conditions décennales.

Ce modèle donne une courbe passant par l'origine ($x = 0, v = 0$) avec une pente m/V_{max} , et par le point (X_{max}, V_{max}) avec une pente nulle. Au-delà de V_{max} , x demeure égal à X_{max} . Les notations sont x pour la consommation pour un volume v quelconque, X_{max} est la consommation potentielle maximale possible et V_{max} est le volume maximal au-delà duquel on n'augmente plus la consommation.

Les trois paramètres m , X_{max} et V_{max} sont calés de la façon suivante:

— tout d'abord on admet que m est tel que la pente à l'origine est égale à la pente de la droite passant par l'origine et par le premier point expérimental:

$$m = x_{200} * V_{max} / 100$$

— les paramètres X_{max} et V_{max} sont optimisés de façon à minimiser la somme des carrés des écarts entre les six points expérimentaux et la courbe théorique. V_{max} est optimisé avec une précision de $10 \text{ l.m}^2\text{⁻}^1$ et X_{max} avec une précision de $0,01 \text{ l.j}^{-1}.\text{m}^2\text{⁻}^1$.

La figure 7 illustre un tel ajustement, réalisé sur les résultats de la station de Kaélé pour une période de retour de 10 ans.

Ce travail a donc été réalisé pour les 19 stations disponibles et les trois périodes de retour 5 ans, 10 ans et 20 ans, à la fois statistiquement évaluables et pratiquement utilisables. Le tableau III récapitule les résultats obtenus.

TABLEAU III
Consommation et volumes de réservoirs maximums d'après l'étude à l'échelle mensuelle

Poste	T = 5 ans		T = 10 ans		T = 20 ans	
	Vmax (l.m ² ⁻¹)	Xmax (l.j ⁻¹ .m ² ⁻¹)	Vmax (l.m ² ⁻¹)	Xmax (l.j ⁻¹ .m ² ⁻¹)	Vmax (l.m ² ⁻¹)	Xmax (l.j ⁻¹ .m ² ⁻¹)
Gance	420	1,42	360	1,25	320	1,12
Guétalé	530	2,02	500	1,88	480	1,77
Maroua	510	1,88	480	1,75	460	1,65
Gawar	500	1,87	470	1,71	440	1,57
Hinamarbak	560	2,11	540	1,93	520	1,78
Yagoua	490	1,71	440	1,52	400	1,37
Lara	510	1,90	460	1,69	430	1,53
Guidiguis	490	1,68	460	1,55	430	1,43
Doukoula	480	1,74	440	1,54	420	1,38
Kaélé	500	1,83	460	1,64	430	1,49
Guider	560	2,21	530	2,03	500	1,88
Bidzar	500	1,95	480	1,82	460	1,71
Soucoundou	600	2,27	590	2,11	560	1,96
Pitua	530	2,12	510	1,98	500	1,88
Sangéré	510	2,19	490	2,05	460	1,92
Fignolé	650	2,78	630	2,59	600	2,42
Madingrin	570	2,50	530	2,31	500	2,16
Tcholliré	730	3,04	690	2,78	650	2,57
Touboro	670	2,97	620	2,72	590	2,54

ÉTUDE A L'ÉCHELLE JOURNALIÈRE ET TERMES CORRECTIFS

Jusqu'à présent nous avons supposé que les précipitations étaient uniformément réparties à l'intérieur du mois et que la totalité des précipitations étaient récupérables. Dans la pratique, il n'en est rien puisque, bien sûr, il ne pleut pas en permanence pendant le mois, mais qu'il y a, soit absence de pluie, soit une averse prépondérante par jour. En début d'averse, une part de la pluie s'évapore sur la surface chaude de la toiture. Le premier flot récupérable est une eau sale que l'on doit détourner. Enfin les toitures ne captent pas la totalité des précipitations. Les chiffres du tableau III sont donc forcément optimistes et il convenait de les corriger. Dans la mesure où il n'y a qu'une averse prépondérante par jour, il suffit pour résoudre ce problème de disposer d'une information pluviométrique journalière. Dans la région étudiée, la seule série dont nous disposions était celle de la station de Guider, pour laquelle l'étude CIEH-Orstom donnait des données journalières fiables sur la période 1948-1972. Voici donc comment nous avons procédé.

ÉVAPORATION DE LA PREMIÈRE PARTIE DE L'AVERSE

Il ne nous était pas possible de procéder à une expérimentation, mais plusieurs auteurs comme MARTIN et WEYNS (1976) donnent des ordres de grandeur tout à fait cohérents entre eux. Sur des tôles chaudes, on peut admettre que 0,4 mm de pluie s'évaporent en début d'averse. Par contre, en pleine saison des pluies, le soleil est toujours plus ou moins voilé et l'évaporation n'est plus que de l'ordre de 0,2 mm en début d'averse.

NETTOYAGE DE LA TOITURE

Là encore, nous n'avons pas pu faire d'expérimentation et malheureusement la littérature est bien moins prolifique sur ce sujet. Dans la mesure où il s'agit de termes correctifs dont seul l'ordre de grandeur est important, nous avons retenu des valeurs intuitives: nous admettons qu'après plus de 5 jours sans pluie, la toiture est très sale (poussières, fientes d'oiseaux, etc.) et qu'il faut de l'ordre de 2,5 l d'eau en moyenne pour nettoyer correctement 1 m² de toiture. Cela signifie que sur le premier mètre de toiture, 2,5 l d'eau de ruissellement font le nettoyage, mais que juste avant la gouttière, ce chiffre est multiplié par le nombre de mètres du pan de toiture. En période des pluies, le temps d'exposition entre deux averses est plus faible et donc la toiture sera moins sale. Nous admettons que, s'il a plu depuis moins de 5 jours, 0,5 l d'eau par mètre carré suffiront à assurer le nettoyage.

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT DES TOITURES

Quelle que soit la nature de la toiture, il est illusoire de penser récupérer la totalité des précipitations. En effet une partie de la pluie rebondit et retombe à l'extérieur du toit (effet de bord). Par ailleurs, certaines toitures sont « poreuses », soit intrinsèquement par la nature des matériaux utilisés, soit par leur vétusté (trous) et/ou leur pose (joints). MARTIN et WEYNS (1976) proposent pour des tôles d'aluminium un coefficient de ruissellement K_r de 0,95; FRAZIER et MYERS (1983) donnent des valeurs plus faibles de 0,88. En fait, ce coefficient s'applique uniformément sur toutes les précipitations à toutes les échelles de temps. Il suffit donc de réduire au préalable le total des précipitations par le coefficient K_r choisi pour tenir compte des pertes au ruissellement.

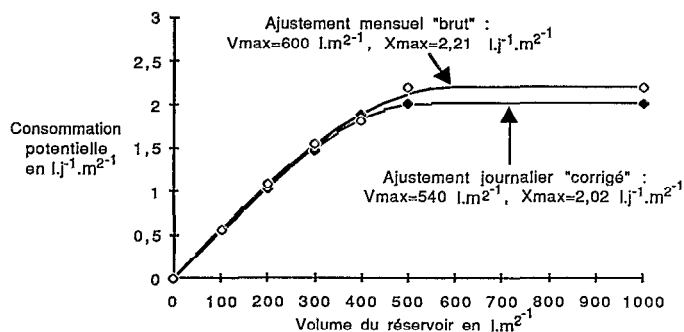


FIG. 8. — Ecart entre traitements mensuel et journalier pour une période de retour de 10 ans à la station de Guider pour la période 1948-1972.

ÉTUDE AU PAS DE TEMPS JOURNALIER

Nous avons procédé sur la station de Guider et la période 1948-1972 à deux traitements. Le premier, à l'échelle mensuelle, était identique à celui décrit précédemment, mais sur une période un peu plus courte (1948-1972 au lieu de 1948-1985). Le second était à l'échelle journalière, et chaque jour nous retranchions de l'averse 2,9 ou 0,7 mm (selon qu'il avait plu ou non dans les cinq jours précédents). Nous avons donc obtenu deux séries de résultats qui, après étude statistique, nous ont permis de caler deux modèles donnant Xmax et Vmax.

On constate que les consommations maximales sont dans un rapport de l'ordre de 0,91 (0,916 pour la période de retour T = 5 ans; 0,914 pour T = 10 ans; 0,909 pour T = 20 ans), et que pour les réservoirs ce rapport est de l'ordre de 0,89 (0,903 pour T = 5 ans; 0,900 pour T = 10 ans; 0,880 pour T = 20 ans).

Nous admettrons que l'ordre de grandeur de ces corrections est le même pour toutes les stations et, qu'ainsi, les valeurs ponctuelles des consommations et des volumes de réservoirs, obtenues à l'échelle mensuelle, doivent être corrigées en les multipliant respectivement par 0,91 et 0,89.

SYNTHÈSE RÉGIONALE ET CARTOGRAPHIE

Actuellement, nous disposons donc des valeurs ponctuelles des consommations et des volumes de réservoirs pour 19 postes pluviométriques et pour trois périodes de retour.

Ces résultats ponctuels sont évidemment entachés d'incertitudes, liées à la représentativité des périodes d'observation disponibles, aux erreurs d'échantillonnage, etc. Il était donc nécessaire de procéder à une homogénéisation. Par ailleurs, nous n'avons aucune idée sur la structure spatiale de ces caractéristiques. Notre idée a donc été d'homogénéiser ces résultats en les liant aux pluies moyennes interannuelles, facteur explicatif mieux connu, moins soumis aux aléas d'échantillonnage et donc la structure spatiale nous était connue à travers les cartes de SUCHEL (1972).

TABLEAU IV

Données ponctuelles des consommations, des volumes de réservoirs et des précipitations moyennes interannuelles

Poste	T = 5 ans		T = 10 ans		T = 20 ans		Pluie moyenne inter-annuelle (mm)
	Vmax (l.m ² ⁻¹)	Xmax (l.j ⁻¹ .m ² ⁻¹)	Vmax (l.m ² ⁻¹)	Xmax (l.j ⁻¹ .m ² ⁻¹)	Vmax (l.m ² ⁻¹)	Xmax (l.j ⁻¹ .m ² ⁻¹)	
Gance	374	1,29	320	1,14	285	1,02	647
Guétalé	472	1,84	445	1,71	427	1,61	847
Maroua	454	1,71	427	1,59	409	1,50	781
Gawar	445	1,70	418	1,56	392	1,43	796
Hinamarbak	498	1,92	481	1,76	463	1,62	902
Yagoua	436	1,56	392	1,38	356	1,25	790
Lara	454	1,73	409	1,54	383	1,39	862
Guidiguis	436	1,53	409	1,41	383	1,30	724
Doukoula	427	1,58	392	1,40	374	1,26	795
Kaélé	445	1,67	409	1,49	383	1,36	823
Guider	498	2,01	472	1,85	445	1,71	930
Bidzar	445	1,77	427	1,66	409	1,56	803
Soucoundou	534	2,07	525	1,92	498	1,78	932
Pitoea	472	1,93	454	1,80	445	1,71	857
Sangéré	454	1,99	436	1,87	409	1,75	927
Fignolé	579	2,53	561	2,36	534	2,20	1161
Madingrin	507	2,28	472	2,10	445	1,97	1080
Tcholliré	650	2,77	614	2,53	579	2,34	1299
Touboro	596	2,70	552	2,48	525	2,31	1247

CORRÉLATIONS ENTRE PRÉCIPITATIONS MOYENNES INTERANNUELLES, CONSOMMATIONS ET VOLUMES

Pour chaque période de retour, nous avons étudié les corrélations entre les pluies moyennes interannuelles P et les consommations maximales possibles Xmax, puis entre ces consommations Xmax et les volumes de réservoir Vmax.

Comme le montrent les figures 9 et 10, les corrélations sont tout à fait satisfaisantes avec des coefficients de corrélation r généralement supérieurs à 0,95, et l'on obtient les équations de régression suivantes:

TABLEAU V

Régressions entre pluie moyenne interannuelle (P en mm), consommation maximale potentielle (X_{max} en $l.j^{-1}.m^2^{-1}$) et volume de réservoir (V_{max} en $l.m^2^{-1}$)

T = 5 ans	$X_{max} = 0,00227 P - 0,126$	$r = 0,987$
	$V_{max} = 161 X_{max} + 174$	$r = 0,964$
T = 10 ans	$X_{max} = 0,00213 P - 0,162$	$r = 0,973$
	$V_{max} = 175 X_{max} + 145$	$r = 0,952$
T = 20 ans	$X_{max} = 0,00202 P - 0,191$	$r = 0,960$
	$V_{max} = 180 X_{max} + 135$	$r = 0,944$

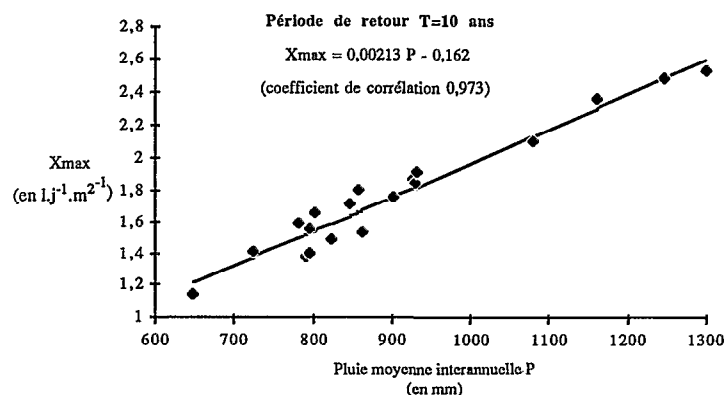


FIG. 9. — Corrélation entre pluie moyenne interannuelle et consommation potentielle décennale.

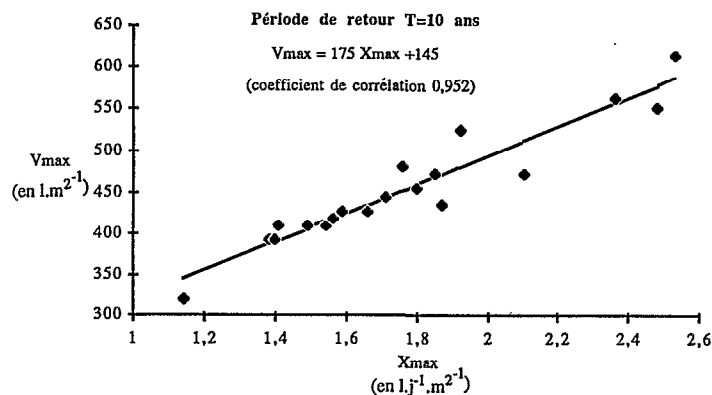


FIG. 10. — Corrélation entre consommation potentielle décennale et volume de réservoir.

SYNTHÈSE CARTOGRAPHIQUE

Nous venons de voir que X_{max} et V_{max} sont très étroitement liés à la pluie moyenne interannuelle P. Il suffit donc d'étudier la cartographie de ces pluies moyennes interannuelles.

J.B. SUCHEL avait établi en 1972 une carte des précipitations moyennes interannuelles du Nord-Cameroun. Les observations, dont il disposait à l'époque, ignoraient la grande sécheresse des années soixante-dix/quatre-vingts. On constate effectivement que les moyennes interannuelles que nous avons calculées sont nettement plus basses que ne l'indique la carte de J.B. SUCHEL. Nous avons donc retouché sa carte en déplaçant les isohyètes de façon à correspondre aux valeurs actuellement admises de la pluviométrie interannuelle, mais en leur conservant leur forme. On obtient ainsi la carte de la figure 11.

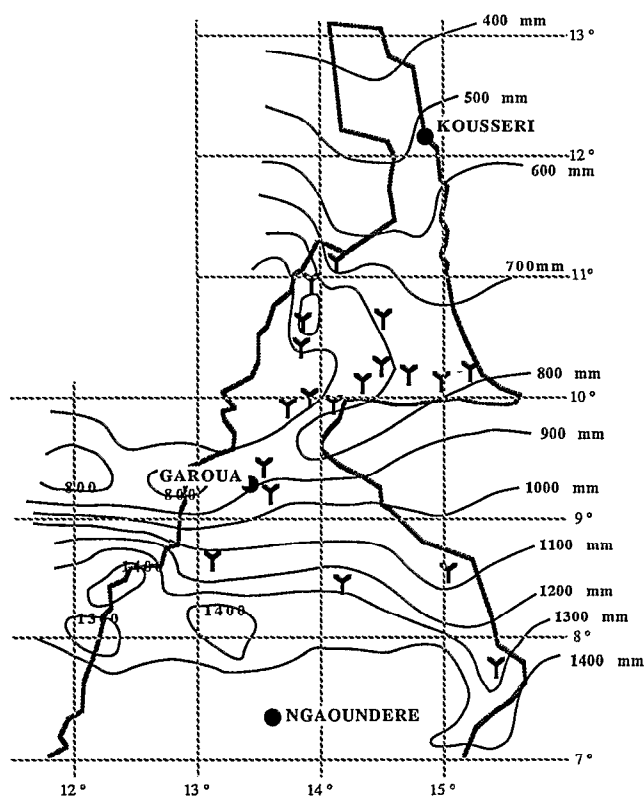


FIG. 11. — Carte des isohyètes interannuelles de la zone Nord-Cameroun (tracés inspirés de J.B. SUCHEL).

MISE EN ŒUVRE DES RÉSULTATS ET LIMITES

POUR LA PROMOTION GLOBALE DE CETTE TECHNIQUE

Les résultats que nous venons de présenter sont de deux ordres : méthodologique et pratique. D'un point de vue pratique, nos résultats montrent que la situation climatique du Nord-Cameroun permet d'envisager au moins un complément important de fourniture d'eau, à partir de la collecte des eaux pluviales.

Sur le plan méthodologique, la démarche reste simple tout en étant plus logique que les approches classiques, où la consommation potentielle est tirée de la seule analyse statistique des précipitations annuelles, et le volume du réservoir de celles des durées de saison sèche. Si des études complémentaires devaient être engagées, notre démarche méthodologique pourrait servir d'exemple.

La décision de promouvoir cette technique ne doit pas seulement se baser sur ces considérations climatiques. En effet, la réussite complète de ce mode d'alimentation dépend, pour une part au moins égale, du soin apporté aux aspects sanitaires lors de la collecte (nettoyage des toitures), du stockage (entretien du réservoir) et de la consommation (moyens de puisage). Les exemples de réussites cités dans la littérature montrent que ces obstacles sont loin d'être insurmontables. Par contre, il est indispensable de faire une enquête sociologique auprès des populations et, en fonction de ses résultats, de concevoir une sensibilisation adéquate des populations.

ÉVALUATION DES INCERTITUDES SUR LES RÉSULTATS CHIFFRÉS

Les résultats que nous présentons sont issus d'une démarche en plusieurs étapes :

a. physique (pour la détermination des consommations potentielles de chaque année en fonction de la taille du réservoir) :

- b. statistique (ajustement des consommations potentielles à des lois de Gauss);
- c. mathématique (ajustement de la courbe $X_{\max} V_{\max}$ à une cubique);
- d. empirique (en adoptant les termes correctifs évalués à Guider, pour toutes les stations);
- e. statistique (en reliant par régression pluie moyenne interannuelle, X_{\max} et V_{\max}).

A chaque étape des incertitudes apparaissent dues au choix des modèles et à la représentativité des données (erreurs d'échantillonnage). Il est difficile de faire une étude exhaustive et précise de ces erreurs. Dans notre optique, où nous voulions montrer la faisabilité «climatique» et donner les ordres de grandeur des ouvrages pour envisager la faisabilité «économique», on peut se contenter d'une approche plus sommaire.

L'étape a) ne soulève que le problème du découpage en mois (résolu en partie en appliquant les règles de corrections évaluées à Guider) et celui d'une consommation supposée constante, même pendant la période des pluies (cela va dans le sens de la sécurité, car à cette période d'autres ressources peuvent être envisagées).

La bonne adéquation de la loi de Gauss à l'étape b) peut se justifier par des considérations statistiques (théorème central limite), mais surtout elle n'est pas contredite gravement par les ajustements statistiques. Par ailleurs, nous ne nous servons de ce modèle que pour l'évaluation de quantiles raisonnables ($T = 5, 10$ et 20 ans) devant la taille des échantillons ($n = 16$ à 40 ans). La principale source d'incertitude réside donc à cette étape dans les erreurs d'échantillonnage. Nous avons donc procédé à l'évaluation des intervalles de confiance à 70% sur les quantiles de période de retour $5, 10$ et 20 ans, pour les différentes tailles de réservoir et pour les trois stations de Lara, Guider et Sangéré, dont les effectifs couvrent toute la gamme rencontrée.

La modélisation à l'étape c) risquerait d'engendrer une forte incertitude sur V_{\max} , puisque ce paramètre caractérise un raccordement tangentiel. En fait, on constate que les tailles de réservoir V_{\max} sont très rarement supérieures à 500 l, et donc que le calage se fait bien dans la zone où nous avons effectué des expériences. L'incertitude due au choix du modèle ne devrait pas excéder quelques litres, voire une dizaine de litres sur des volumes de l'ordre de 300 à 600 l. Si maintenant on conserve ce modèle, mais que l'on effectue le calage sur les bornes inférieures et supérieures des intervalles de confiance à 70% sur l'estimation des quantiles, on constate pour les trois stations citées que les écarts maximums obtenus sont de ± 27 l pour les V_{\max} et $\pm 0,13$ l.j⁻¹ pour les X_{\max} . Les écarts varient à la fois avec la taille des échantillons, la variabilité des précipitations et bien sûr avec les périodes de retour envisagées.

Les corrections proposées à partir du traitement des données journalières à Guider sont des facteurs multiplicatifs de l'ordre de $0,9$, et on peut raisonnablement penser qu'ils ne peuvent varier d'une station à l'autre que de quelques pour cent.

A la dernière étape, qui ne se justifie que pour des sites éloignés des stations de base, on introduit une nouvelle incertitude due à la régression.

L'ordre de grandeur des incertitudes est donc globalement de ± 55 l pour les V_{\max} et $0,25$ l.j⁻¹ pour les X_{\max} , dans environ 70% des cas.

EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE

Disposant des régressions du tableau V, de la carte figure 11, et en se donnant un coefficient de ruissellement, il est aisé d'évaluer la consommation potentielle et le volume de réservoir correspondant pour une période de retour donnée.

A titre d'exemple, supposons que l'on envisage d'équiper une habitation de la région de la ville de Pété par 11° de latitude nord et $14^\circ 30'$ de longitude est. La carte des isohyètes nous indique une pluviométrie moyenne interannuelle de l'ordre de 700 mm. On supposera que l'habitation a un toit en tôles d'aluminium ($K_r = 0,91$) de 50 m². La pluie corrigée du ruissellement n'est donc plus que de:

$$0,91 * 700 = 637 \text{ mm.}$$

En moyenne 9 années sur 10 ($T = 10$ ans), on est donc assuré d'avoir une consommation potentielle supérieure ou égale à:

$$0,00202 * 637 - 0,162 = 1,12 \text{ l.j}^{-1} \cdot \text{m}^2^{-1}$$

Soit pour 50 m² de toiture:

$$1,12 * 50 = 56 \text{ l.j}^{-1}$$

Le réservoir à construire devra donc avoir une capacité de:

$$175 * 1,12 + 145 = 341 \text{ l.m}^2^{-1}$$

Soit pour 50 m² de toiture:

$$341 * 50 = 17\ 050 \text{ l} = 17 \text{ m}^3$$

Le bac de détournement des eaux de lavage aura bien sûr une capacité de :

$$\begin{aligned} 50 \text{ m}^2 * 2,9 \text{ mm} &= 145 \text{ l pour les grands nettoyages,} \\ 50 \text{ m}^2 * 0,7 \text{ mm} &= 35 \text{ l pour les petits nettoyages,} \\ &\text{soit au total 180 l.} \end{aligned}$$

En 1990, on peut évaluer le coût de cette installation à 350 000 F CFA (7 000 FF) comportant le prix des tôles, des gouttières, du réservoir et de ses annexes (pompe à main, bac de détournement avec flotteur à bascule, etc.). Si une toiture adéquate existe déjà, le coût tombe à 250 000 F CFA (5 000 FF).

CONCLUSION

Cette étude montre d'un point de vue quantitatif que, dans la zone Nord-Cameroun, la collecte des eaux pluviales et leur stockage permettrait au moins un appoint non négligeable pour l'alimentation en eau potable en habitat dispersé (pour l'aspect sanitaire et les précautions élémentaires à prendre, on pourra consulter les ouvrages cités en référence et les directives de l'OMS).

D'un point de vue financier, l'investissement est modeste, mais malheureusement pas encore à la portée d'une population rurale. Cette solution économique ne peut donc être mise en œuvre qu'avec une forme d'aide à déterminer. Cependant des économies substantielles peuvent être obtenues en développant l'utilisation de ressources locales (pompes artisanales au lieu de pompes importées, matériaux locaux au lieu de ciment, etc.).

Dans la pratique, les résultats que nous donnons permettent aisément de dimensionner les ouvrages de collecte et de stockage pour une consommation souhaitée et pour un certain risque de défaillance accepté.

D'une façon plus générale, la démarche que nous présentons est applicable à bien d'autres pays où l'alimentation en eau potable est notablement insuffisante, spécialement en zone d'habitat dispersé. Dans ces zones, en effet, il est peu probable que dans les prochaines décennies les Etats et les organismes internationaux puissent apporter des solutions autres, du fait du coût important des forages ou des réseaux de distribution. Il est même certain que les résultats concernant les régressions «pluie moyenne interannuelle - consommation potentielle - volume de stockage» puissent être applicables à d'autres régions climatologiquement comparables de l'Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

- BARNEAUD (J.C.) et MARTIN (P.), 1977. — Recueil et stockage de l'eau de pluie - bassin type «Botswana», Irfed, Paris, 21 p.
- FRAZIER (G.W.), et MYERS (L.E.), 1983. — Handbook of water harvesting. U.S. Dep. Agric., Washington, 47 p.
- HUISMAN (L.), AZEVEDO NETTO (J.M.) et SUNDARESAN (B.B.), 1983. — Récupération de l'eau de pluie. In: Alimentation en eau des petites collectivités, 53-64, Rijswijk CIR.
- MAIKANO (G.J.) et NYBERG (L.), 1980. — Collecte des eaux pluviales au Botswana. In: Approvisionnement en eau dans les régions rurales des pays en voie de développement, 13-16, Symposium Zomba, Malawi.
- MARTIN (P.) et WEYNS (W.), 1976. — Collecte et stockage des eaux pluviales (besoins familiaux). Ciepac Paris, 67 p.
- MICHAELIDES (G.), ALLYBOKUS (M.) et YOUNG (R.S.), 1986. — Optimised design and water quality studies of roof top rainwater catchment project in Mauritius. *Water Supply*, vol. IV, n° 2: 117-122.
- OLIVRY (J.C.), 1986. — Fleuves et rivières du Cameroun. *Monographies hydrologiques* Orstom, n° 9, 733 p.
- SUCHEL (J.B.), 1972. — La répartition et les régimes pluviométriques au Cameroun. *Travaux et documents de géographie tropicale*, n° 5, Ceget CNRS Bordeaux.