



Les infrastructures hydrauliques de Phnom Penh (Cambodge) face au risque d'inondation depuis 1979

Céline Pierdet

► To cite this version:

Céline Pierdet. Les infrastructures hydrauliques de Phnom Penh (Cambodge) face au risque d'inondation depuis 1979. Environnement Urbain / Urban Environment, 2008, 2 (Inondations en milieux urbains et périurbains), pp.a90-a106. halshs-00344935

HAL Id: halshs-00344935

<https://shs.hal.science/halshs-00344935>

Submitted on 8 Jan 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES DE PHNOM PENH (CAMBODGE) FACE AU RISQUE D'INONDATION DEPUIS 1979

Céline PIERDET

❶ RÉSUMÉ

Située dans la plaine alluviale du Mékong, la ville de Phnom Penh doit faire face chaque année à un risque d'inondation aggravé. Les infrastructures doivent contenir la montée des eaux du fleuve, tout en assurant l'évacuation des eaux usées et pluviales. Leur absence d'entretien sous le régime khmer rouge a menacé la pérennité de la cité endiguée. Le recours à l'expertise internationale, renforcé à partir de 1992, a permis la reconstruction des réseaux et une meilleure évaluation de l'aléa par la reconstitution des séries de données. Mais les plus démunis restent les plus vulnérables aux inondations, toujours récurrentes à Phnom Penh.

MOTS-CLÉS ■ Inondation, système hydraulique, digue, plaine alluviale, Mékong, Phnom Penh



❶ ABSTRACT

Situated in the alluvial plain of the Mekong river, Phnom Penh's city has to face up every year to an increasing risk of flood. So hydraulic infrastructures have to contain the rise of the water level and to drain off wastewater and rainwater. Their absence of maintenance under regime Khmer rouge threatened the permanence of the diked city. The appeal in international expertise, reinforced from 1992, allowed the reconstruction of networks and a better valuation of vagary by the reconstitution of series of data. But the most divested populations remain the most vulnerable in inundations, always recurrent in Phnom Penh.

KEYWORDS ■ flood, hydraulic system, dike, alluvial plain, Mekong river, Phnom Penh

INTRODUCTION

Dans la plaine alluviale du Mékong, soumise à l'alternance saison sèche/saison des pluies, les habitants sont souvent tributaires des aléas climatiques. Si l'inondation est source de mise en valeur agricole, et donc de vie, elle est aussi redoutée pour son ampleur. Ainsi, au Cambodge, le bilan des inondations de l'année 2000, qui figurent parmi les plus fortes enregistrées, s'élève officiellement à 350 morts et 3,2 millions de sinistrés (UNDP, 2003). Le plan d'eau atteint 10,12 m NGK¹ le 19 septembre 2000 à Phnom Penh, soit 1,62 m au-dessus de la cote d'alerte – fixée à 8,5 m NGK.

En quoi peut-on dire que cette capitale fluviale, située à l'apex du delta du Mékong, au site de confluence dit des Quatre-Bras, doit ainsi faire face chaque année à un risque d'inondation aggravé? D'une part, la fonte estivale des neiges sur les hauts plateaux tibétains engendre une montée progressive des eaux de six à dix mètres à partir du mois de juin, ainsi qu'une forte augmentation du débit du fleuve, de l'ordre de 40 000 m³/s aux plus hautes eaux en septembre en amont des Quatre-Bras. La superficie de cette partie amont du bassin versant est estimée à 660 000 km² (JICA, 1999). Par la suite, l'eau envahit les *beng*² (ou lacs d'arrière-berge), par l'intermédiaire d'un réseau de *prek* (ou chenaux), relié aux voies fluviales. À la décrue, quand le débit du Mékong diminue et que le plan d'eau s'abaisse, le cours des *prek* s'inverse et les *beng* se vident peu à peu (Delvert, 1961). Par ailleurs, l'arrivée des pluies de mousson en avril-mai précède de peu cette montée des eaux. Leur intensité maximale coïncide avec le niveau des eaux les plus hautes. Comment évacuer l'eau – eau pluviale, eaux usées – hors de la ville, déjà cernée par l'inondation?

Dans les plaines alluviales et les deltas, les bourrelets de berge qui encadrent le lit du fleuve sont souvent les seuls points hauts susceptibles d'accueillir un établissement humain – ville, route, etc. Située plusieurs mètres en contrebas, la plaine alluviale s'abaisse lentement, à une altitude souvent inférieure au fond du lit du fleuve. Par conséquent, la fixation d'une capitale au site des Quatre-Bras, à partir de 1865, a nécessité l'extension de la partie

exondée en arrière du bourrelet³. Par quels moyens cela a-t-il été réalisé? Avec Durand-Dastès (1984b), on sait que « toute localisation dotée d'une certaine permanence, donc observable, correspond au fonctionnement d'un système doté d'une certaine stabilité [...] ». Néanmoins, pour qu'il y ait système, il faut qu'il y ait interaction entre des composantes, entre des structures, et qu'une boucle de rétroaction assure la stabilité de ce système. En 1975, le scientifique De Rosnay en vient à assimiler la ville à un organisme vivant, à un système ouvert, interagissant avec son environnement – le méta-système – et prenant place dans ce que Dollfus (1990) a nommé une « interaction circulaire » société/espace. On définit ainsi comme système hydraulique toute cité fluviale endiguée, subdivisée en bassins versants, drainés par un réseau d'égouts hiérarchisé, dont les exutoires sont munis de vannes ou de stations de pompage permettant de rejeter hors de l'espace intra-digue les eaux pluviales et les eaux usées. L'eau, à la fois entrée, composante et sortie du système, singularise ce système spatial ouvert en tant que système hydraulique (Pierdet, 2008).

Une série de questions demeure : l'absence d'entretien des infrastructures hydrauliques du système-ville entre 1975 et 1979, sous le régime khmer rouge, les rendent-elles plus vulnérables aux inondations et ce manque d'entretien menace-t-il leur pérennité? L'embargo international qui pèse sur le Cambodge jusqu'en 1989 diffère la reconstruction des infrastructures. Comment le système hydraulique se maintient-il malgré les crises qui l'affectent, en particulier celle de 1996, et comment les experts procèdent-ils pour réduire le risque? Quels sont les changements apportés à la gestion des inondations?

I. LA VULNÉRABILITÉ DU SYSTÈME HYDRAULIQUE DE PHNOM PENH AUX INONDATIONS APRÈS 1979

Quels types d'aménagements les contraintes de site ont-elles nécessité pour permettre la fixation de la capitale aux Quatre-Bras depuis 1865? En 1979, si les infrastructures hydrauliques sont toujours présentes, elles n'en sont pas moins fortement endommagées. Dans quelle mesure l'absorption de la

¹ Le niveau géographique khmer (NGK) est pris à Hatien, sur la côte du golfe de Siam. Il existe une différence de 1,08 m entre le NGK et les valeurs des échelles de crue de Phnom Penh, qu'utilise par exemple J. Delvert (1961).

² Les termes khmers sont ici retranscrits phonétiquement pour en faciliter la lecture.

³ La capitale khmère devient itinérante après la chute d'Angkor en 1432. Elle est déplacée de Oudong, située en amont des Quatre-Bras, près du Tonlé Sap, à Phnom Penh en 1865, deux ans après la signature du traité de protectorat. Cette situation est alors jugée plus stratégique par les Français, afin de remonter le cours du Mékong et d'atteindre le sud de la Chine.

crise au niveau dit « mésoscopique », selon l'expression d'Archaéomèdes (1998), participe-t-elle de la pérennisation de l'ensemble de la structure du système hydraulique?

I.1 Contraintes de site et urbanisation : la formation d'un système hydraulique

Du fait de l'importance des contraintes de site et des faibles moyens techniques et financiers dont dispose alors le protectorat, la capitale reste confinée sur l'étroit bourrelet de berge jusqu'en 1890. Elle se présente comme une série de villages juxtaposés, constitués de paillotes. Des embryons de quartiers colonial, chinois et cambodgien se succèdent ainsi du nord au sud, le long de la berge. L'extension de l'urbanisation en arrière du bourrelet repose sur la mise en œuvre d'un processus édiltaire visant à « séparer définitivement la terre des eaux ». Pour les ingénieurs, il s'agit de « transformer un milieu statique, humide et organique en un milieu dynamique, sec et minéral » (Barles, 1999). Comment produire des terrains constructibles? Des matériaux de remblai sont d'abord prélevés près du fleuve. Le creusement d'un canal semi-circulaire en arrière du bourrelet, afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales et usées jusqu'au fleuve, fournit lui aussi des remblais pour l'extension du quartier colonial. Un plan de lotissement en est dressé en 1892 par le service du Cadastre. Des rues-digues, construites à l'intérieur de l'espace ceinturé par le canal, se recoupent à angles droits et délimitent ainsi des « casiers », asséchés, puis remblayés un à un à la cote de la rue, ce qui donne un remblai de trois mètres environ. Ce mode d'urbanisation, qui structure l'arrière-berge, s'étend au quartier chinois situé juste au sud. Le quartier cambodgien, qui s'organise autour du palais royal, n'est toujours pas remblayé.

Néanmoins, jusqu'aux années 1920, le coût des remblais reste à la charge des acquéreurs. Par conséquent, le manque de terrains constructibles perdure, ce qui aggrave l'insalubrité de la capitale du fait de la présence d'eaux stagnantes au fond des casiers. Comment le protectorat accroît-il la production de terrains remblayés? Depuis 1865, les nombreux bancs de sable présents dans le lit du Mékong constituent un obstacle récurrent pour la navigation et l'accès au port de Phnom Penh. Des dragages sont effectués chaque année aux Quatre-Bras, afin d'entretenir un chenal de navigation. À partir des années 1920, les ingénieurs associent la question des remblais de l'arrière-berge à celle du dragage de la confluence, afin de diminuer les coûts.

Un contrat est conclu en 1928 entre le protectorat et la société des grands travaux de Marseille. À l'aide d'une drague puissante, les boues et les sables aspirés dans la passe sont directement refoulés dans les casiers des quartiers colonial et chinois. Leur remblai s'accompagne de la pose d'égouts. Soit la mise en œuvre de cette « interaction circulaire » société/espace, qui préside dès lors à l'extension de la zone exondée et qui perdure jusqu'à aujourd'hui. Mais le quartier cambodgien reste alors à l'écart du processus d'assainissement et est donc inondé chaque année en saison des pluies. Les eaux stagnent dans les zones basses, favorisant la propagation d'épidémies.

L'extension de la zone exondée repose ainsi sur la formation d'une *boucle de rétroaction positive*, du fait d'une accélération des interactions entre le système-ville et l'espace de confluence. Mais la production de terrains constructibles permet d'abord de remblayer des casiers délimités de longue date, sans augmenter la superficie de la capitale. La structure du système se complexifie, avec l'« émergence » d'un niveau supplémentaire doté de « propriétés nouvelles » (de Rosnay, 1975), celui du bassin versant. Elle résulte d'une complexification et d'une diversification des interactions entre les acteurs et les composantes du système. Suivant le principe du « tout à l'égout », eaux usées et eaux pluviales du quartier colonial s'écoulent de façon gravitaire, par des vannes, dans le canal circulaire ou dans le Tonlé Sap. Les eaux du quartier chinois, quant à elles, s'écoulent vers le Tonlé Sap ou sont conduites au sud du quartier cambodgien par un égout collecteur construit en 1922 et qui traverse ce quartier du nord au sud. Cet égout collecte aussi les eaux du palais royal, dont les terrains sont désormais remblayés, couvrant ainsi un bassin versant d'une centaine d'hectares. Cela donne lieu à la délimitation de deux bassins versants, chacun structuré par un réseau d'égouts.

Des années 1930 au début des années 1970, et à nouveau depuis 1992, la protection contre les inondations et l'extension de la ville reposent sur l'endiguement et les remblais hydrauliques, accompagnés de la construction d'égouts. Une route-digue périmétrale délimitant le noyau de la capitale est construite à la fin des années 1950. La réalisation de différents programmes d'urbanisation dans l'intra-digue complexifie alors le système hydraulique, par la multiplication des bassins versants, presque tous structurés par un réseau d'égouts. La plupart des superficies en eau – canaux, mares – sont peu à peu remblayées. Seuls subsistent

quelques *beng* intra-urbains – *beng* Kak, *beng* Trabek, *beng* Salang – qui permettent d'absorber l'excès d'eau lors de la saison des pluies, avant que l'eau ne soit évacuée par des pompes hors de l'intra-digue. Enfin, au début des années 1970, sous le général Lon Nol, de grandes digues sont réalisées à 10 kilomètres au nord et au sud de la ville-centre – les digues Kop Srov et Tompun – afin de la protéger des inondations. Ainsi « émerge » un échelon supplémentaire au sein de la structure du système hydraulique, ou la constitution d'une macrostructure. Les nouveaux espaces englobés ne sont ni remblayés, ni couverts par un réseau d'égouts. Lors de l'évacuation de la ville en avril 1975, donc en saison sèche, les vannes permettant d'évacuer les eaux d'une partie de la ville-centre dans le fleuve restent ouvertes. D'avril 1975 à janvier 1979, les eaux du fleuve envahissent le réseau d'égouts chaque année au moment de la crue. Les inondations dans la capitale ne sont résorbées que par évaporation et écoulement gravitaire. En 1979, les composantes du système sont donc très détériorées.

En résumé, un processus de territorialisation par appropriation et aménagement de l'espace engagé en 1865, et rendu nécessaire par les contraintes de site, aboutit à la mise en œuvre d'« interactions entre un groupe social et son territoire » (Le Berre, 1992). Il en résulte la constitution d'un système spatial, d'un système-ville, doté d'une structure hiérarchisée. Une boucle de

rétroaction positive, définie par De Rosnay (1975) comme un « générateur aléatoire de variété » qui « amplifie le moindre écart », se met en place à partir de 1928, reposant sur de fortes interactions entre le système-ville et la confluence, de sorte que l'on peut ensuite le qualifier de *système hydraulique*.

1.2 La structure du système hydraulique après 1979

Les espaces centraux de la capitale sont donc subdivisés en bassins versants. On sait, comme l'écrit Durand-Dastès (1984a), que « les structures inscrites matériellement dans la réalité aboutissent à constituer l'espace en « mémoire » des processus interactifs ». Comment l'échelon du bassin versant parvient-il à absorber la crise? En quoi permet-il au système hydraulique de la surmonter?

Dans ce contexte de l'Asie des Moussons, la pérennité d'une cité fluviale endiguée telle que Phnom Penh dépend entre autres d'une bonne résistance de la macrostructure aux causes exogènes d'instabilité, c'est-à-dire les crues ou les inondations. On retient comme définition d'une inondation « toute présence d'eau de façon permanente pendant une durée supérieure à six heures » (ADITEM, 1994). C'est donc surtout sur le réseau d'égouts, puis sur les digues, que se porte d'abord l'attention des experts à partir de 1979.

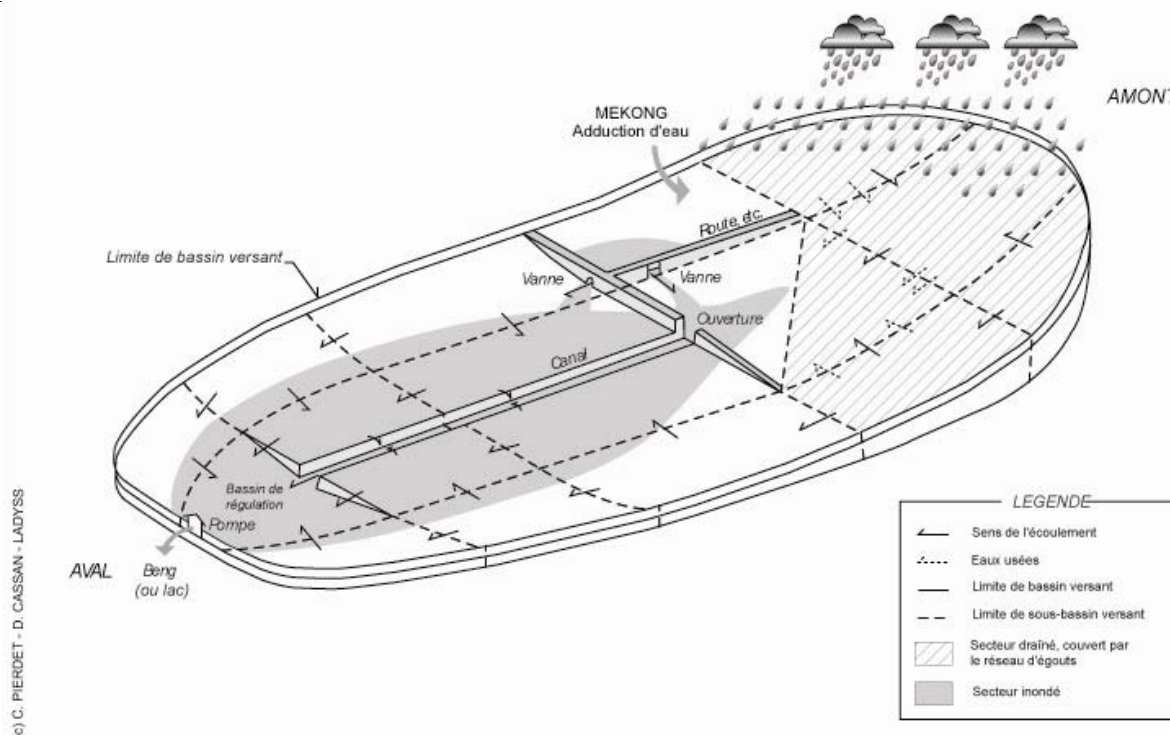


Fig. 1 - Le cycle de l'eau dans un bassin versant du centre de Phnom Penh
Source : D'après JICA, 1999

D'amont en aval, au sein d'un même bassin versant des districts centraux de Phnom Penh, on distingue les infrastructures hydrauliques suivantes (voir Figure 1) :

- un réseau d'égouts unitaire qui collecte et transporte des eaux usées et d'orage en dehors du centre : il s'agit du réseau primaire, constitué à la fois de buses en béton enterrées de 300 à 1 500 mm de diamètre – dont la longueur est estimée à 124 km en 1981 –, de canaux à ciel ouvert et de plusieurs dizaines de kilomètres de fossés souvent remblayés ; sur ce réseau sont raccordés les caniveaux des rues et les fosses septiques des maisons (Legrand, 2003) ;
- un bassin de stockage, ou *beng*, à la sortie du réseau de drainage primaire, qui reçoit les eaux usées ou d'orage de l'aire de captage ; il absorbe le pic des eaux d'orage

lors de la saison des pluies ;

- enfin, des digues ceinturant la ville afin de la maintenir hors d'eau ; munies de vannes, elles laissent les eaux s'écouler par gravité hors de la ville quand la différence de niveau entre l'intérieur et l'extérieur le permet ; lorsque les eaux sont hautes, les vannes sont fermées et une station de pompage rejette les eaux accumulées au-delà de la digue ; pour certains bassins versants du centre, les eaux s'écoulent dans le Tonlé Sap par les déversoirs d'orages implantés le long des berges ; vétustes, sous-dimensionnés, voire hors d'usage, ils sont surtout utilisés en saison sèche pour le rejet des eaux usées ; lorsque les eaux sont plus hautes, ils sont fermés afin que le fleuve ne reflue pas dans les canalisations ; eaux usées et pluviales sont alors dirigées vers les *beng* et évacuées par pompage.

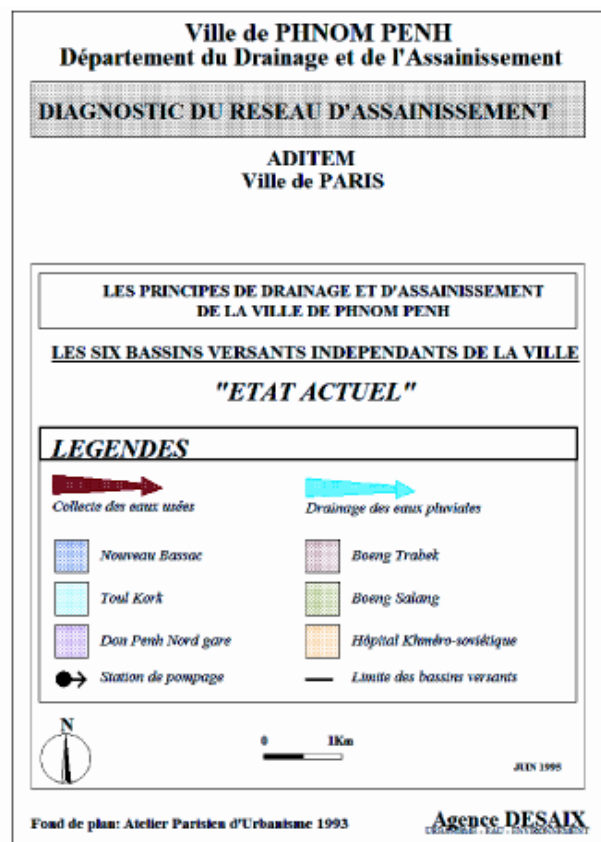
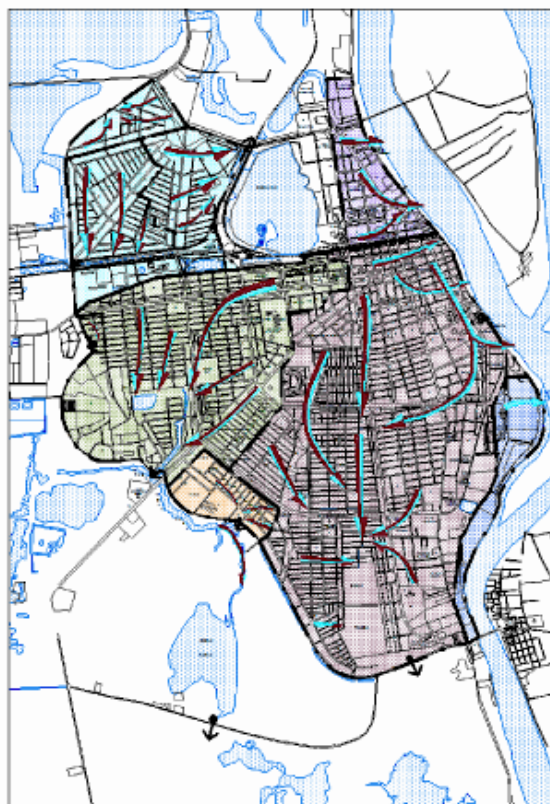


Fig. 2 — Plan des six bassins versants du centre de Phnom Penh
 Source : G. Stetten, 1996

La nécessité de modéliser le réseau, afin de déterminer les cas possibles d'inondation, impose la collecte de données diversifiées et actualisées. C'est toujours « le principe de l'évacuation immédiate et continue des effluents » (Dupuy et Knaebel, 1982) qui prévaut pour le réseau, afin de limiter les inondations. Aucune modification de sa structure n'est alors entreprise.

1.3 Le risque d'inondation au sein des bassins versants du centre de Phnom Penh

Les bassins versants du centre de Phnom Penh forment le niveau « mésoscopique » du système hydraulique. Cet échelon regroupe les nombreuses composantes du niveau microscopique – regards, canaux, bouches d'égouts, etc. – en entités différenciées. En 1981, l'ingénieur Legrand (1993), qui analyse la structure du système-ville, détermine cinq bassins versants principaux (voir Figure 2), grâce auxquels l'écoulement des eaux est organisé par rapport au niveau du fleuve, selon la saison :

- celui qui correspond à l'ancien quartier colonial : les eaux se déversent directement dans le Tonlé Sap par des déversoirs d'orages ; il n'est donc pas protégé des crues ;
- celui du quartier du marché central – ancien quartier chinois –, au nord du bassin versant du beng Trabek : les eaux se déversent en période de basses eaux dans le Tonlé Sap et en période de crue, après mise en charge du réseau et renversement des sens d'écoulement, vers l'aval du bassin du beng Trabek ;
- le bassin du beng Trabek, qui est équipé d'un réseau de type unitaire bien structuré, mais qui est aussi le plus vaste ; il reçoit deux canaux à ciel ouvert ; en période de basses eaux, une partie des eaux du bassin se déverse dans le Tonlé Sap ; en période de crue, après mise en charge et renversement du sens d'écoulement, toutes les eaux se déversent dans le beng Trabek ;
- le bassin du beng Salang, à l'ouest en vert, dont les réseaux ne sont pas terminés et où le système séparatif peut encore être mis en place ;
- le bassin du *khân*⁴ Tuol Kork, au nord-ouest en bleu, qui est sans réseau clairement défini.

On peut rajouter le bassin du Front du Bassac, délimité à partir de 1992. Il est situé à l'est de la ville, au plus près de la confluence. En dehors du premier et du dernier, ces bassins versants sont tributaires des stations de relevage des eaux situées sur les digues.

Quels sont les facteurs endogènes de leur dysfonctionnement ? La superficie de ces bassins versants, la faiblesse de la pente d'écoulement et les densités de population croissantes se conjuguent pour accroître le risque d'inondation. Avec le temps, le découpage des bassins versants s'affine, même si, d'un bureau d'études à l'autre, les bassins sont parfois définis différemment. Des incertitudes demeurent sur la circulation des eaux dans le centre. Ainsi, en 1995, avant que la reconstruction des infrastructures ne soit entreprise, alors qu'en dehors des grands axes le réseau de voirie est pour l'essentiel en terre battue, la Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques (SOGREAH Ingénierie, 1995) dresse un bilan par bassin. Elle prend en compte la superficie et la pente et calcule un temps de concentration des eaux (voir Tableau 1).

Donc, les disparités importantes dans la taille des bassins versants se traduisent par des temps de concentration des eaux de ruissellement à l'exutoire très différenciés, la pente de chacun d'eux étant très faible. Le volume d'eaux ruisselées pour une pluie donnée varie aussi en fonction de la nature du sol ou de la densité d'occupation. Il est alors possible de définir un coefficient de ruissellement allant de 0,1 – espaces verts – à 0,9 – zones urbaines denses.

Les bassins versants du beng Trabek, du beng Salang et de Tuol Kork restent les plus touchés par les inondations. Elles sont très fortes au sud du marché central et derrière le palais royal (voir photos) pour cause d'obstruction du réseau, d'avaloirs bouchés ou sous-dimensionnés.

Les bassins versants sont donc toujours distincts, voire « indépendants » les uns des autres, préservant ainsi une structuration du centre du système hydraulique, comme le montre par exemple le maintien de l'écoulement des eaux qui alterne en fonction de la saison. Indépendance ne signifie pas absence d'interactions entre eux : celles-ci sont même une condition nécessaire à la protection contre l'extension des inondations dans toute la ville.

⁴ Un *khân* est une division administrative qui correspond au district. La ville-centre est divisée en quatre *khân* : Daun Penh à l'est, Prampir Makara au centre, Chamkarmon au sud et Tuol Kork au nord-ouest (voir Figure 3).

Tableau I
Caractéristiques des bassins versants, 1995

NOM du bassin versant	Surface (km²)	Périmètre (m)	Pente (m/m) ⁽¹⁾	Temps de concentration (mn) ⁽²⁾
Daun Penh nord	1,164	5 575	0,0007	43
Beng Trabek	11,39	15 320	0,001	105
Beng Salang	5,585	11 580	0,0016	62
Hôpital khméro-soviétique	0,685	3 562	0,0045	16
Tek Laak	0,0987	1 362	0,001	11
Tuol Kork 1	2,058	8 035	0,001	30
Tuol Kork 2	1,145	4 859	0,001	27
Tuol Kork 3	0,5934	3 672	0,001	18
Nouveau Front du Bassac	0,86	7 200	0,005	22

⁽¹⁾ La pente est estimée comme une moyenne en fonction du plus long canal existant dans le bassin versant considéré.

⁽²⁾ Il est défini comme le temps nécessaire pour que la goutte de pluie tombée à une extrémité du bassin versant atteigne l'entrée de la canalisation desservant l'aire de captage considérée. Il tient compte de l'intensité maximale de la pluie ainsi que de la pente et de la section des canalisations.

Source : SOGREAH, 1995

Ces interactions sont maintenues par la subsistance du réseau d'égouts – réseau de drainage primaire – dans les principaux bassins, des digues qui ceignent la ville-centre, mais aussi par des acteurs « pionniers » et par des interventions ponctuelles des personnels de la subdivision des égouts dès les années 1980.

Mais ces bassins n'en sont pas moins fragilisés. De plus, les inondations récurrentes au sein de la ville-centre, les temps de concentration au sein de chacun d'eux (Tableau I) indiquent de nombreux dysfonctionnements à l'échelle infra systémique cette fois.

2. COMMENT RÉDUIRE LE RISQUE INONDATION MALGRÉ LA DÉTÉRIORATION DES INFRASTRUCTURES?

Selon le géographe Dauphiné (2001), « pour réduire les risques, les hommes disposent de deux stratégies : agir soit sur l'aléa, soit sur la vulnérabilité, pour que la catastrophe ne survienne pas ou que ses impacts négatifs soient atténués ». Après la crise de 1996, qui donne à voir des structures au bord de la rupture, les experts occidentaux constatent que peu de données chiffrées sont disponibles afin de définir les aléas. La quasi-totalité des données recueillies avant 1975 ont été détruites entre 1975 et 1979. Si

les données sont depuis lors conservées sous la pression de ces experts, comment ces derniers parviennent-ils à reconstituer celles qui ont été perdues ? Comment le système hydraulique se maintient-il alors qu'aucune action de reconstruction de sa structure et de ses différentes composantes n'est encore effectuée au moment de la crise de 1996?

2.1 La crise de 1996 comme « source de connaissance du risque »

Le géographe Roncayolo (1990) rappelle que « nos sociétés urbaines, même inégales, supportent mal – plus mal que les sociétés anciennes – les marges, sans doute moins étroites, de la sécurité. La réduction des risques passe par la maîtrise collective devant l'exceptionnel ». Cette « maîtrise » nécessite une collecte de données permettant d'évaluer les risques. À Phnom Penh, malgré l'arrivée d'experts internationaux dès le début des années 1980 et la mise en place d'une expertise plus massive au début des années 1990, l'hydrogéologue Stetten constate, après la grande crue d'octobre 1996, que les données permettant de définir précisément l'aléa inondation ou l'occurrence de crues exceptionnelles aux Quatre-Bras n'existent quasiment plus. Selon lui, « mis à part quelques données sur la hauteur des eaux du Mékong, aucun paramètre quantifiable n'était alors disponible ». (Stetten, 1996). Il y a plusieurs raisons à cela : les données conservées

Photos
Inondations du 1^{er} avril 2003 dans les districts centraux de Phnom Penh



1. Intersection rue 96 - rue 61



2. Rue 51 (au nord de la rue 102)



3. Vat Phnom (nord du boulevard Norodom)



4. Angle rue 214 - rue 19



5. Rue 19 (derrière le palais royal) (photos : C. Pierdet)

jusqu'en 1975 dans les bureaux des services techniques municipaux sont perdues, détruites entre 1975 et 1979 ; les stations météorologiques sont endommagées pendant cette période ; enfin, les membres des personnels des stations ou des services municipaux figurent pour la plupart parmi les victimes du génocide qui a surtout frappé les citadins et les élites urbaines sous le régime du leader khmer rouge Pol Pot entre avril 1975 et janvier 1979, faisant près de 1,7 million de victimes.

Dans l'urgence, les experts internationaux déterminent les séries de données qu'ils estiment nécessaires à une définition des aléas. Leur collecte est entreprise auprès des stations d'observation météorologiques de Phnom Penh (voir Figure 3), remises en service. Comme l'explique Stetten (1996), « la crise de 1994 passée, les autorités cambodgiennes concluaient sans fondement à un caractère millénaire de l'occurrence de la crue et repoussaient de ce fait les perspectives d'interventions vers d'autres horizons ». Ces autorités n'ont donc plus la mémoire des crises, pas plus de leur occurrence que de leur intensité. La reconstitution des données chiffrées est donc postérieure à la crue de 1996, ce qui vient corroborer l'assertion de Veyret (2003) selon laquelle « la crise ou la catastrophe [sont des] sources de connaissance du risque ». En octobre 1996, Stetten (1996) explique que

contrairement à toutes les attentes (prévisions d'une année sans pluies ni crues), les inondations par le Mékong se sont révélées particulièrement brutales, reléguant la crue de 1994 (dite millénaire) au rang d'épisode « classique ». Cette année s'est donc distinguée par une montée soudaine et violente de la crue [...].

Pourtant, pour retrouver la mémoire du réseau d'égouts de Phnom Penh, l'ingénieur Legrand mobilise dès 1981 les données d'expertise contenues dans les rapports du Bureau central des études outre-mer (BCEOM). De même, des données climatologiques et fluviales sont disponibles dans les travaux des géographes qui ont fait des recherches au Cambodge dans les années 1960 (Delvert, 1961 ; Goulin, 1966). Mais elles sont peu citées dans les rapports de mission des experts français avant les années 1990. Delvert (1961) indique, par exemple, qu'une crue est dite faible si le niveau atteint est inférieur à 9,75 m, forte s'il dépasse 11 m, et exceptionnelle s'il dépasse 11,25 m. On comprend que le niveau de 8,5 m NGK est atteint presque chaque année en septembre-octobre aux Quatre-

Bras. Delvert (1961) recense et détaille aussi les crues de 1937, 1939, 1955 – cette dernière est considérée comme l'une des plus basses, avec 8,47 m –, etc. Selon ce géographe, « le maximum absolu aurait été 11,78 m, en 1894 ».

Peu d'importance est accordée à ces informations avant la crise de 1996, ce qui coïncide avec la période lors de laquelle une attention moindre est portée aux digues, par rapport aux efforts dispensés pour la réhabilitation du réseau d'égouts, ou à l'attention portée au risque sanitaire. Le risque qu'une crue puisse engendrer la rupture d'une digue périmétrale n'est guère évoqué. En 1981, la quasi absence de données à la disposition des experts concernant la climatologie et les voies fluviales ne permet pas d'évaluer le risque. Même en 1998, les données chiffrées des années 1960 ne sont que partiellement prises en compte par l'agence internationale de coopération japonaise (JICA) qui cherche plutôt à travailler à partir de séries modélisables, donc complètes.

Ce sont les stations d'observation météorologiques, remises en état de fonctionnement à partir de 1981, qui fournissent à nouveau les premières données (Figure 3).

Les stations météorologiques sont gérées par la Direction générale de l'irrigation, de la météorologie et de l'hydrologie du ministère de l'Agriculture, des Forêts et de la Pêche. À Phnom Penh, cette station est située à l'aéroport international de Pochentong et permet d'obtenir les mesures les plus fiables et les plus complètes depuis sa remise en état de marche en 1981. Les données sur le niveau d'eau sont quant à elles collectées par le ministère des Ressources en Eau. Il existe ainsi trois stations permettant de mesurer respectivement la hauteur du plan d'eau du Mékong, du Tonlé Sap et des Quatre-Bras (Figure 3). Pour cette dernière station, on dispose de mesures quasi continues depuis 1960, avec une interruption entre janvier 1975 et juin 1980. Au port de Phnom Penh et à la station de Chruoy Changvar, les données ne sont complètes que depuis 1993.

Enfin, il n'existe aucune station permettant de mesurer les variations de hauteur, de débit, etc. du *prek Thnot* et du *prek Phnov*, qui coulent respectivement au nord et au sud de Phnom Penh, selon une direction ouest-est, et dont les eaux font pression sur les grandes digues lorsqu'ils sont en crue. C'est au moyen des quatorze échelles de

crue disposées autour de Phnom Penh, en priorité de part et d'autre de ces digues périmétrales, qu'il est possible de surveiller le niveau de ces *prek*. Elles permettent d'évaluer la pression ou la différence de charge exercée par l'eau.

2.2 Les données climatiques

Les rapports récents montrent que les experts ne travaillent souvent pas à partir des mêmes sources d'informations. En 1996, Stetten indique qu'il ne dispose que des précipitations mensuelles moyennes de 1904 à 1964 (excepté l'année 1945) et des précipitations journalières depuis 1984. Pourtant, en 1999, la JICA présente des séries chiffrées très différentes. Pour la pluviométrie, on dispose soit de toutes les mesures journalières relevées à la station météorologique de Pochentong de 1981 à 1997, soit de tableaux de synthèse – précipitations mensuelles, total annuel, quantité et date de la pluie la plus importante de l'année, etc. Les précipitations sont également enregistrées à la station du Bassac, de 1984 à 1997, et à celle de Chruoy Changvar, de 1981 à 1994. Mais les données sont incomplètes, en particulier pour 1994, année lors de laquelle a lieu une crue importante suivie d'inondations à Phnom Penh.

Ainsi, seules les données fournies par la station météorologique de Pochentong semblent fiables et utilisables, même si la période considérée est assez courte. Pour 1981-2002, le total annuel des précipitations varie entre 1 093 mm en 1992 et 2 116 mm en 2000, avec une moyenne annuelle de 1 373,6 mm. L'année 2000 cumule les précipitations les plus importantes, avec près de 500 mm de plus qu'en 1996 (voir Figure 4). De plus, 93 % des précipitations annuelles sont concentrées entre les mois de mai et de novembre et 57 % ont lieu entre les mois d'août et d'octobre. Le mois de septembre est souvent le mois le plus pluvieux de l'année, alors qu'au cours des mois de décembre, de janvier et de février, les précipitations sont quasi nulles (Figure 4). Néanmoins, les quantités d'eau tombées en septembre sont très variables d'une année à l'autre, comprises entre environ 120 et 475 mm au cours de cette période. De même en octobre, elles varient entre 90 et 430 mm. Il existe donc une forte variabilité des précipitations mensuelles d'une année à l'autre.

Pour les températures, la JICA indique encore les moyennes mensuelles des maxima et des minima journaliers relevés à la station de Pochentong de 1985 à 1997. On note donc une absence de données entre 1980 et 1984. Les maxima peuvent varier en moyenne entre 30,4 °C en décembre et 34,9 °C en avril et les minima, entre 21,1 °C en janvier et 25,4 °C en avril, en

mai et en juin. Aujourd'hui, le département des Travaux publics de la municipalité collecte régulièrement toutes ces données auprès de la station de Pochentong, afin de modéliser le réseau.

On peut synthétiser les données climatiques de Phnom Penh sous forme de diagramme ombrothermique pour la période 1985-1997 en suivant le principe établi par Gaussen, avec $P = 2T$ pour des raisons d'échelle, du fait de l'importance des précipitations enregistrées (voir Figure 5). Bien que la période d'observation soit très courte, on obtient une courbe thermique avec un seul maximum pour les mois d'avril et de mai. Les températures moyennes mensuelles varient peu en cours d'année (la variation étant de l'ordre de 4°C) et sont toutes supérieures à 18°C, ce qui donne lieu à un climat tropical selon la définition de Köppen. Mais une saison fraîche correspond à la saison sèche, c'est-à-dire à $P < 2T$ selon Gaussen. L'amplitude thermique quotidienne est quant à elle supérieure à l'amplitude thermique annuelle. Le véritable facteur de différenciation des saisons est la pluviométrie, puisque les pluies sont concentrées entre les mois de mai et de novembre, et surtout d'août à octobre. Un seul maximum pluviométrique est clairement identifiable, en septembre, ce qui donne une courbe pluviométrique monomodale qui correspond à un climat de type tropical. Le régime pluviométrique est défini comme un « régime de mousson retardé », par rapport aux maxima habituels de juillet en région de mousson (Durand-Dastès, 1969). Comme les autres pays d'Asie situés en position de façade orientale ou méridionale des continents, le Cambodge est soumis au régime de mousson qui touche l'Asie du 50° parallèle nord au 10° parallèle sud, qui distingue le climat de celle-ci par rapport à celui des autres pays situés aux mêmes latitudes de par le monde, mais avec de fortes disparités à l'intérieur de cet ensemble⁵.

Pour résumer, les données fournies par la station météorologique de Pochentong et réunies par la JICA en 1999 permettent de décrire le climat en vigueur à Phnom Penh tel qu'il se présente sur ce diagramme ombrothermique, à savoir, un climat à saisons contrastées, de type tropical « long », avec une saison des pluies de 7 à 9 mois, un seul maximum des précipitations enregistré en septembre – soit un « régime de mousson retardé » –, une nébulosité et une humidité importantes, ainsi qu'une amplitude thermique annuelle assez faible, de l'ordre de 4 °C.

⁵ Pour les différentes acceptions du terme « mousson », se reporter aux ouvrages de Demangeot (1999), Estienne (1970) ou encore Pédelaborde (1970).



Fig. 3 — Localisation des stations d'observation météorologique à Phnom Penh (D'après JICA, vol. 3, 1999)

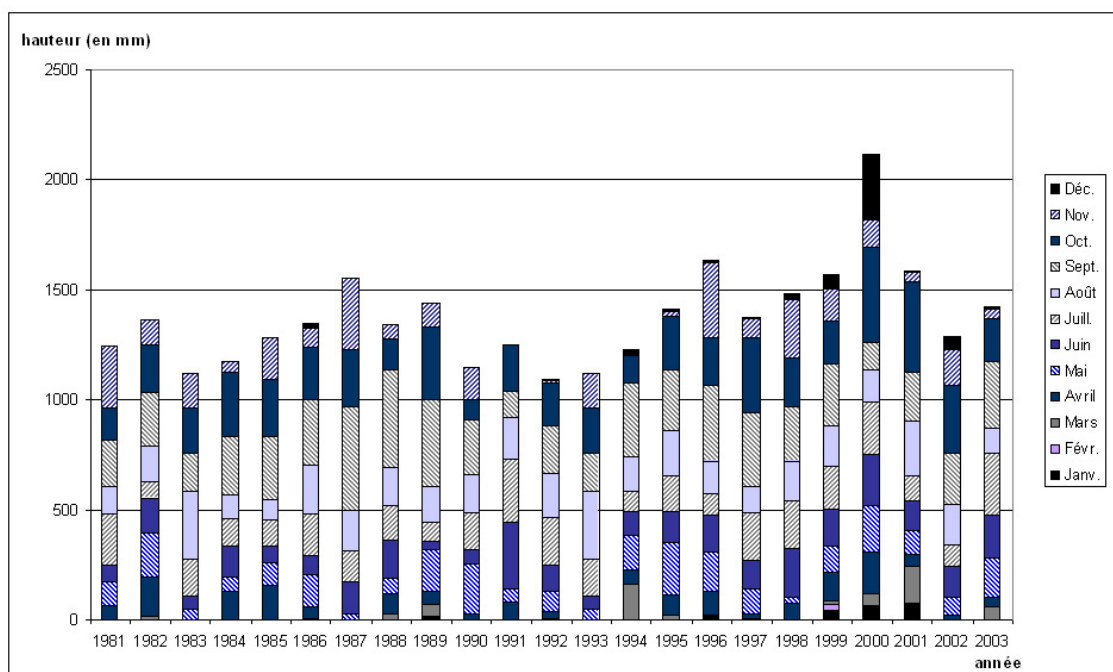


Fig. 4 — Précipitations, en mm – Station de Pochentong, 1981-2003 (D'après JICA, 1999 ; Station de Pochentong, 2004)⁶

⁶ Données collectées auprès de la station de Pochentong par le département des Travaux publics de la municipalité de Phnom Penh.

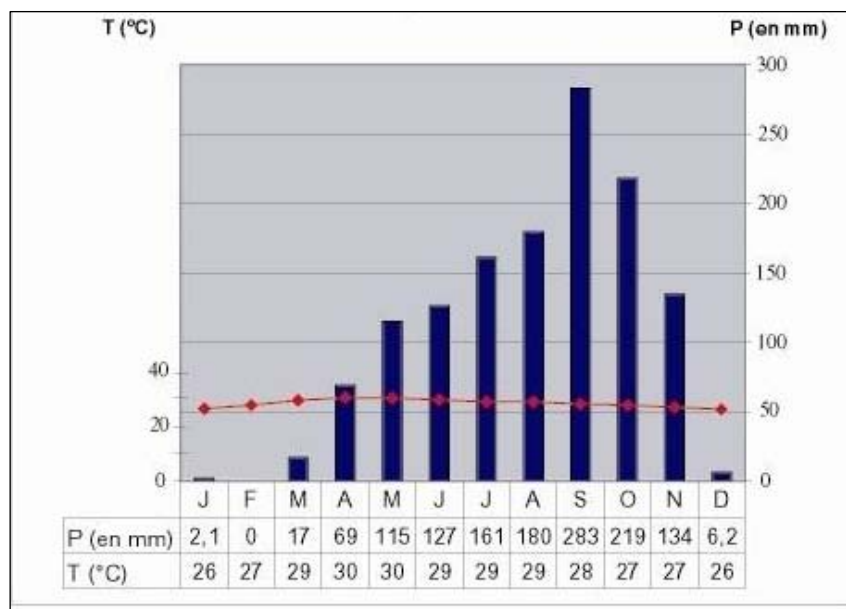


Fig. 5 — Diagramme ombrothermique de Phnom Penh (avec $P = 2T$) – Station de Pochentong, 1985-1997
(D'après JICA, 1999. Réalisation : C. Pierdet)

2.3 Les données hydrologiques

L'analyse comparative du diagramme ombrothermique de Phnom Penh et de la hauteur du plan d'eau à Chaktomuk confirme que le pic de la saison des pluies coïncide avec celui des crues du Mékong. Les données concernant les cours d'eau sont résumés dans le tableau 2.

Peu de données concernent la variation du débit des fleuves aux Quatre-Bras. Le débit du Mékong peut s'élever à plus de 65 000 m³/s en débit de pointe en amont (De Koninck, 2005). La coïncidence entre pic des pluies et fonte des neiges sur les massifs tibétains, avec ce climat à saisons contrastées, engendre une amplitude remarquable entre les eaux les plus hautes et les eaux les plus basses. Aux plus hautes eaux, le plan d'eau varie entre 6,90 et 10,12 m. Aux plus basses eaux, il varie entre 0,05 et 0,99 m. Les digues et les berges sont donc soumises à des différences de pression très fortes.

La JICA reconstitue les données concernant les minima et les maxima annuels du plan d'eau à la station de Chaktomuk pour les années 1960-1974 et 1980-1998. Elles sont désormais collectées régulièrement. Pour le Tonlé Sap, seules les données comprises entre 1966 et 1974 sont reconstituées. Elles sont de nouveau collectées depuis 1993. La période polypotienne introduit donc un problème de cohérence

durable entre les différentes sources d'information. Selon ces données, il est très rare que le plan d'eau ne dépasse pas les 7,00 m aux hautes eaux. C'est toutefois arrivé en 1998, avec un maximum de 6,9 m seulement atteint le 25 septembre.

Depuis 1960, pour le plan d'eau de Chaktomuk, les 10,0 m sont d'abord frôlés à deux reprises : le 9 octobre 1961, avec 9,96 m, puis le 2 octobre 1996, avec 9,92 m (voir Figure 6). En 1961, selon Delvert, la catastrophe fait 164 morts et 300 000 sinistrés dans le pays. Le niveau du plan d'eau reste pendant 44 jours – du 21 septembre au 3 novembre 1996 – au-dessus de 8,5 m NGK. Cette crue coïncide avec les précipitations les plus importantes alors enregistrées, qui aggravent donc la crise. D'année en année, le temps de retour de crues et l'ampleur des précipitations, souvent trop rapidement dites exceptionnelles, est corrigé (voir Tableau 3). Ainsi, en 2000, les 10,12 m sont atteints le 19 septembre (Figure 6). Le plan d'eau reste supérieur à 8,5 m NGK du 22 juillet au 29 octobre, et supérieur à 10,0 m NGK du 14 septembre au 25 septembre 2000. Là aussi, la hauteur maximale du plan d'eau en septembre 2000 coïncide avec 430 mm de précipitations en septembre, sur un total annuel de 2 116 mm, total qu'on n'avait encore jamais enregistré (voir Figure 4).

Aucune donnée concernant les variations de débit du *prek Phnov* et du *prek Thnot* ne sont disponibles en 1998. Prenant leur source dans les massifs situés à une centaine de kilomètres à l'ouest de Phnom Penh, leurs bassins versants très courts apportent en peu de temps, lors de précipitations, des masses d'eau importantes contre les digues de protection au nord et au sud de la ville.

Cet afflux d'eau de toutes parts à la saison des pluies accroît le risque d'inondation, mais surtout celui d'une rupture des digues lors de crues pendant lesquelles le plan d'eau reste plusieurs jours supérieur à 8,5 m NGK à Chaktomuk. De telles crues coïncident en général avec des précipitations plus fortes que d'ordinaire en septembre–octobre. D'après des études effectuées par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) en 1971, le sous-sol de la ville est peu perméable en raison d'une présence massive d'argile. La nappe phréatique est située à une faible profondeur, entre 1,00 m et 1,50 m selon les saisons. En saison des pluies, le sol saturé devient imperméable, ce qui favorise le ruissellement en surface.

Du fait de la coïncidence entre le pic des pluies et la mise en crue du Mékong par la fonte des neiges, on rejoint le géographe Dauphiné (2001) qui insiste sur la nécessité de prendre en compte la durée et l'intensité d'un événement pour quantifier un aléa :

[...] il est nécessaire de dresser un tableau à double entrée pour caractériser l'aléa, avec, en ligne, la hauteur d'eau tombée et en colonne la durée considérée, 12, 24, 48 heures. [...] il est possible de regrouper les cases en trois catégories pour distinguer des aléas fort, moyen et faible.

Il conviendrait ici de croiser la durée et l'intensité de chaque événement avec la hauteur du plan d'eau, surtout la durée pendant laquelle celui-ci reste supérieur à 8,5 m NGK. La JICA détermine alors un temps de retour du niveau des plus hautes eaux à partir des données collectées :

Le tableau 3 est antérieur à la crue de 2000, ce qui vient relativiser le *nota bene*. En 1999, avec le faible intervalle de temps pour lequel les experts disposent de données fiables et régulières, ils estiment le temps de retour de la crue de 1996 à une période de trente ans environ. On sait que depuis, en 2000, ce maximum est largement dépassé, avec une crue à 10,12 m, dont le temps de retour est estimé en 1999 à 50 ans environ. La multiplicité des paramètres à prendre en compte, la difficulté à les interpréter ou à reconstituer des séries de données fiables expliquent ces tâtonnements.

Mais même si les données fournies depuis lors restent approximatives, la crue de 1996 constitue un véritable accélérateur à la production de données permettant d'évaluer le risque de crue, mais aussi de données plus diversifiées. Elle joue véritablement son rôle de « source de connaissance du risque ».

3. QUELLES ACTIONS DE PRÉVENTION CONTRE LE RISQUE D'INONDATION?

Quelles sont les limites à l'action de la structure chargée de coordonner la lutte contre les inondations, à Phnom Penh comme dans le reste du pays? En quoi la crue de 1996 constitue-t-elle un moteur pour la reconstruction des infrastructures hydrauliques de Phnom Penh?

3.1 Les limites à la prévention contre les risques naturels

En 1995, en raison de la récurrence des catastrophes naturelles – inondation, sécheresse, etc. –, le gouvernement royal met en place le Comité national de prévention des risques naturels (NCDM). Celui-ci doit apporter une aide d'urgence aux victimes, développer la prévention pour réduire les dégâts humains et matériels en coopération avec la communauté internationale, avec les ONG, etc. Ce comité est soutenu par des agences onusiennes, par exemple le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). Le NCDM assume désormais la tâche de coordination avec ces différentes institutions, qui revenait auparavant à la Croix-Rouge cambodgienne. Un sous-décret du gouvernement royal du 14 juin 1999 fixe la composition du NCDM à l'échelon national. Il est présidé par le Premier ministre, lui-même assisté de deux vice-présidents – le ministre de l'Intérieur et le ministre de la Défense. Ce comité dispose d'un secrétariat général et regroupe dix membres. Les ministres de l'Économie et des Finances, des Affaires étrangères, de la Coopération internationale, des Ressources en Eau et de la Météorologie, et d'autres ministres, ainsi que le haut représentant des forces armées royales khmères (FARK), en font partie. Les FARK développent par ailleurs leur propre plan d'intervention en cas d'inondation.

Tableau 2
Données hydrologiques au Cambodge

FLEUVE	Bassin versant (km ²)	Longueur (km)	Débit moyen (m ³ /s)
Mékong	660 000 *	4 500 *	11 830 **
Tonlé Sap	84 400 *	400 *	1 570 **
Tonlé Bassac	-	300 ***	-
Prek Phnov	640	50	-
Prek Thnot	5 200	110	-

* En amont de Phnom Penh

** A Phnom Penh

*** De Phnom Penh à la mer

Source : JICA, 1999

Tableau 3
Temps de retour des plus hautes eaux, en m NGK

Temps de retour (en années)	Niveau des plus hautes eaux (en m)
2	8,9
5	9,4
10	9,7
20	9,9
30	10,0
50	10,1

NB : Le niveau de 9,96 m est le niveau le plus élevé enregistré depuis 1960.

Source : JICA, 1999.

Le NCDM doit collecter des données sur les risques naturels afin d'anticiper les catastrophes, de mobiliser et coordonner les moyens d'intervention en situation d'urgence. Sa structure est similaire au niveau de la province, du district et de la commune. À Phnom Penh, en cas de risque d'inondation, le comité transmet des ordres aux ministères concernés et à la municipalité. Les stations de mesure transmettent d'abord leurs données au ministère des Ressources en Eau, qui les transmet lui-même à la division de protection contre les inondations. Quand la municipalité les reçoit, elle donne l'ordre d'engager la défense contre les inondations aux ministères concernés, à la division de protection contre les

inondations, ainsi qu'aux différents services municipaux – police, etc. –, ONG, responsables de districts, de quartiers et de villages. Des messages d'alerte sont diffusés par radio et par télévision pour informer les habitants.

Les inondations de 2000 révèlent néanmoins les limites du dispositif. Les modestes moyens d'intervention du comité, la distribution par la Croix-Rouge de riz, de boissons, de vêtements, etc. s'avèrent très insuffisants, à Phnom Penh comme dans les campagnes, par rapport aux besoins causés par la perte des récoltes, par la destruction de l'habitat, etc. Il s'agirait d'institutionnaliser une politique nationale de

prévention des risques naturels et d'améliorer la capacité de réponse en situation d'urgence. Les problèmes subsistent du fait de l'absence d'une base de données permettant d'anticiper les inondations. Les données disponibles restent inadéquates, même si le dispositif d'alerte s'améliore avec la collaboration entre la Commission du Mékong et le ministère des Ressources en Eau, entre autres par la réhabilitation des stations de mesures situées le long du fleuve, pour anticiper la crue à Phnom Penh. Mais les messages d'alerte sont souvent diffusés trop tardivement.

Des responsables du NCDM reconnaissent eux-mêmes qu'aucune enquête n'est effectuée auprès de la population de la capitale en cas d'inondation pour évaluer les dommages : dégâts matériels, propagation des maladies liées à l'eau, etc. Seules quelques ONG procèdent à des enquêtes sur les conditions de vie des squatters sur le pourtour des beng intra urbains (Handicap International — Action Nord-Sud, 2001). Les messages d'alerte du NCDM, souvent diffusés avec retard, y compris dans la capitale, s'adressent plutôt aux habitants des terrains bas situés hors de la ville-centre. Mais aucune base de données ne semble les concerner, malgré les crues de 1996 ou de 2000. Le NCDM concentre ses efforts sur les provinces

riveraines du Mékong — Stung Treng, Kompong Cham, etc. — situées en amont et en aval de la confluence des Quatre-Bras. En effet, la population cambodgienne reste une population rurale qui se regroupe majoritairement le long du Mékong, du Tonlé Sap et du Tonlé Bassac. D'après le recensement intermédiaire de 2004, sur une population totale de 13,5 millions d'habitants, seuls 2,5 millions vivent en ville (Institut national de la statistique, 2004). De longue date, la proximité des voies fluviales est recherchée pour la mise en valeur agricole — cultures de berges, riziculture, etc. —, pour la pêche ou comme moyen de transport. Les provinces qui en sont riveraines supportent donc des densités de population plus fortes que les autres. Mais ces populations agraires établies à proximité des fleuves sont aussi les plus vulnérables face aux inondations. Et malgré les efforts du NCDM et de la Commission du Mékong pour anticiper la crue, les inondations du Grand fleuve font chaque année de nouvelles victimes. Pour les provinces comme pour la capitale, les conséquences des inondations sur la population mériteraient désormais d'être mieux documentées.

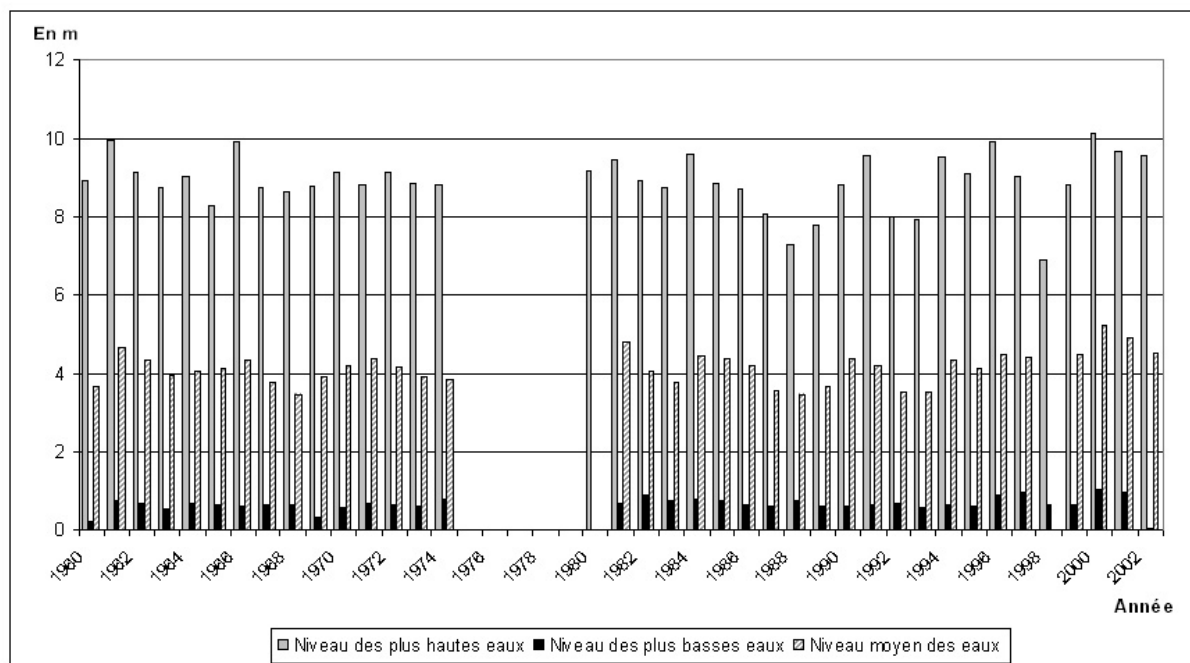


Fig. 6 — Niveau du plan d'eau à la station Chaktomuk, 1960-2002
(D'après JICA, 1999; station Chaktomuk, 2004)⁷

⁷ Données collectées auprès de la station Chaktomuk par le département des Travaux publics de la municipalité de Phnom Penh.

3.2 La crue de 1996 et la reconstruction des infrastructures

À Phnom Penh, la crue de 1996 oblige les autorités à colmater les brèches et à consolider les digues Lon Nol avec des sacs de sable. Les dommages alors causés à la population restent mal connus. Dès 1995, la SOGREAH, assistante technique de la Banque asiatique du développement (BAD), insiste sur la nécessité de réhabiliter les stations de pompage et le réseau d'assainissement de la ville-centre. Après la crue de 1996, la JICA réalise une étude et un plan d'action pour la périphérie (JICA, 1999). D'après cette étude, la moitié orientale de l'aire urbaine de Phnom Penh doit être protégée des inondations grâce à la reconstruction des grandes digues, puis des infrastructures du bassin versant du *beng* Trabek. La digue Kop Srov doit servir à protéger la ville contre les inondations du *prek* Phnov. En octobre 1996, des infiltrations très importantes se produisent dans cette digue sur environ 4 km. En 2000, elle menace de céder. Une portion importante est alors élargie et rehaussée en 2001-2002, et un remblai de protection est construit sur 7 km pour la renforcer. Mais la reconstruction de la partie occidentale n'étant pas achevée, elle perd en efficacité. La digue Tompun, au sud de la ville, protège cette dernière contre les crues du *prek* Thnot. Elle est de même reconstruite sur une portion de quatre kilomètres, et une nouvelle station de pompage est construite à côté de l'ancienne grâce à des financements japonais.

Dans l'intra-digue, les infrastructures du bassin versant du *beng* Trabek sont reconstruites entre 1999 et 2003 : canaux à ciel ouvert, retenues de stockage, station de pompage. Un bureau d'ingénierie américain – Shéladia – assure la maîtrise d'ouvrage. Jusqu'alors en terre et obstrués par de nombreux déchets, les canaux à ciel ouvert sont creusés et bétonnés. De même, le bassin de stockage du *beng* Trabek voit sa capacité de rétention portée à 520 000 m³. Une station de pompage est reconstruite à côté de l'ancienne et inaugurée en novembre 2003. Elle est dotée d'une capacité de pompage de 20 000 m³/h, qui permet aussi de vider le *beng* en une journée environ.

Enfin, les quais du Tonlé Sap et du Tonlé Bassac, soumis à une forte érosion du fait des arrachements qui surviennent à la décrue, sont régulièrement réhabilités par tronçons. L'érosion des berges constitue non seulement un risque pour la population, mais elle met aussi en péril le bon fonctionnement des déversoirs d'orages, qui assurent l'écoulement des eaux usées et pluviales jusqu'au fleuve pour quelques bassins versants de la ville-centre.

CONCLUSION

Au total, malgré la réhabilitation des structures du système hydraulique – digues, réseau d'assainissement, etc. –, des inondations subsistent dans la ville-centre. Elles sont surtout dues au mauvais usage persistant de certaines infrastructures, à l'occupation des *beng* intra-urbains ou au remblai des *beng* périphériques, etc., mettant ainsi en danger la cohérence du système. Compte tenu de la fragilité de ses infrastructures, la lutte contre les inondations au sein de cette cité fluviale endiguée repose sur la sécurisation des différents bassins versants par la préservation de leur indépendance. Enfin, les crues exceptionnelles du Mékong doivent être anticipées grâce aux données collectées par les différentes stations de mesure situées le long du fleuve, puis centralisées par le NCDM. La diffusion de messages d'alerte auprès des populations serait alors plus précoce. La difficulté à reconstituer des séries de données continues rend difficile toute prévision à long terme, y compris en termes de planification des infrastructures hydrauliques. Il s'agit là d'un problème désormais commun à d'autres cités endiguées d'Asie du Sud-Est, comme Hanoi ou Jakarta, du fait de la rapidité de leur croissance. Une urbanisation accélérée tend à amplifier les inondations par ruissellement, qui ne peuvent pas être absorbées par des infrastructures devenues sous-dimensionnées, ce qui fragilise leur cohérence et leur équilibre.

BIBLIOGRAPHIE

- ADITEM (1994). *Étude diagnostique du réseau d'assainissement de la Ville de Phnom Penh*. Minutes de mission., n.p.
- ARCHAÉOMÈDES (1998). *Des oppida aux métropoles*, Paris, Éd. Economica, collection Villes-Anthropos, 280 p.
- BARLES, S. (1999). *La ville délétère. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain. XVIII^e – XIX^e siècles*, Seyssel, éd. Champ Vallon, 373 p.
- BRGM, République khmère, *Carte géologique de reconnaissance – Phnom Penh*. Ech. 1/200 000^e, levés effectués par O. Dottin (campagne 1966-1967), publiée en 1971 par Lavauzelle. Source : Bibliothèque nationale de France, département des Cartes et Plans (Ge BB 1650 – feuille n°11)
- BRGM, *Carte géologique de reconnaissance du Cambodge à l'échelle 1/200 000^e – Notice explicative sur la feuille Phnom Penh*. Orléans, 1971, 14 p.
- DAUPHINÉ, A. (2001). *Risques et catastrophes*, Paris, Armand Colin, 288 p.
- DE KONINCK, R. (2005). *L'Asie du Sud-Est*, Paris, Masson, 361p.

- DELVERT, J. (1961). *Le paysan cambodgien*, Paris, Mouton, 740 p.
- DEMANGEOT, J. (1999). *Tropicalité*, Paris, Armand Colin, p. 22-23
- DOLLFUS, O. (1990). « Il n'y a pas d'espaces amnésiques. Les espaces et leurs mémoires », *Géopoint 90*, Groupe Dupont – UMR Espace, Université d'Avignon, p. 139-141.
- DUPUY, G. et G. KNAEBEL (1982). *Assainir la ville hier et aujourd'hui*, Paris, Dunod, 92 p.
- DURAND-DASTES, F. (1969). « Les pluies sur les côtes orientales de l'Inde et du Viêt-Nam en octobre et novembre », *Annales de géographie*, p. 226-243
- DURAND-DASTES, F. (1984a). « Systèmes et localisations : problèmes théoriques et formels », *Géopoint 84*, Groupe Dupont – UMR Espace, Université d'Avignon, p. 19-44.
- DURAND-DASTES, F. (1984b). « La question « Où? » et l'outillage géographique », *EspacesTemps*, n° 26-27-28, p. 8-21.
- ESTIENNE, P. et A. GODARD (1970). *Climatologie*, Paris, Armand Colin, p. 325-330
- GOULIN, C. (1966). *Phnom Penh – Etude de géographie urbaine*, Doctorat de 3^e cycle de géographie, Phnom Penh, 242 p
- HANDICAP INTERNATIONAL, ACTION NORD-SUD (2001). *Bæung Kak Lake – Alternatives for development*, Phnom Penh.
- JICA, (1999). *The Study on Drainage Improvement. Final Report*, Vol. 3 : Supporting Report, n.p.
- LE BERRE, M. (1992). « Territoires », BAILLY, A., FERRAS, R. et PUMAIN, D. (dir.), *Encyclopédie de Géographie*, Paris, éd. Economica, p. 622.
- LEGRAND, F. (1993). « Infrastructures hydrauliques et urbanisme », APUR, *L'urbanisme de Phnom Penh. Du constat aux projets*, Paris, p. 40.
- LEGRAND, F. (2003). « Phnom Penh et l'eau », APUR, *Phnom Penh à l'aube du XXI^e siècle*, Paris, p. 17.
- PÉDELABORDE, P. (1970). *Les moussons*, Paris, Armand-Collin, 222 p.
- PIERDET, C. (2008). « Prévoir la trajectoire d'une cité fluviale endiguée. Mise en crise et résilience du système hydraulique de Phnom Penh (Cambodge) depuis les années 1960 », *Géopoint 2006*, Université d'Avignon, (à paraître).
- RONCAYOLO, M. (1990). *La ville et ses territoires*, Paris, éd. Gallimard, 285 p.
- ROSNAY, J. de (1975). *Le macroscope*, Paris, éd. du Seuil, 346 p.
- SOGRAH INGÉNIERIE (1995). *Urban Water Supply and Sanitation Project – Interim Report*, Kingdom of Cambodia, ADB Technical Assistance Cambodia, 249 p.
- STETTEN, G. (1996). *Bilan des inondations – Octobre 1996*, Phnom Penh, 30 p.
- UNDP (2003). *Cambodia – Strengthening National Capacities for Disaster Preparedness and Management*, 5 p.
- VEYRET, Y. (2003). *Les risques*, Paris, SEDES, 255 p.