

## **Éléments d'évaluation et d'action de gouvernance durable de l'eau de pluie en milieu urbanisé au Sahel pour la biodiversité et la sécurité alimentaire. Retour d'expérience d'une étude dans les « niayes » de la région de Dakar.**

Sylvestre DASYLVA<sup>1\*</sup>· Claude COSANDEY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> C.N.R.S. / Laboratoire de Géographie Physique Pierre Birot - U.M.R. 8591

\* 1 place A. Briand 92195 Meudon Cedex FRANCE; Gilbert.Dasylda@cirs-belleuve.fr; Fax 01 45 07 58 30

**Sylvestres DASYLVA :** Sylvestre DASYLVA est docteur en géographie de l'Université de Paris 1 (France). Présentement, il est chercheur associé au Laboratoire de géographie Physique de Meudon (CNRS UMR 8591). La gestion durable des eaux pluviales en Afrique subsaharienne est sa thématique d'intervention, son centre d'intérêt étant la conception et la réalisation de solutions innovantes, intégrant les dimensions « risque » et « ressource » de l'eau de pluie. Le but de cette approche est faire de la gestion participative des écoulements par temps de pluie (maîtrise des inondations pour protéger le cadre de vie), un levier de développement économique basé sur un renforcement des ressources en eau souterraines ou la création de ressource hydrique additionnelle. Il vient de publier un ouvrage d'aide à la décision sur la gestion des inondations à Dakar et au Sahel, sur la base d'enjeux émergents liés aux impacts de la variabilité climatique, aux contraintes de développement de l'agriculture urbaine, aux maladies hydriques et aux limites de la gouvernance institutionnelle. Son projet actuel est la rédaction d'un guide de bonnes pratiques de gouvernance durable des eaux pluviales en milieu urbanisé au Sahel, reproductible dans différent contexte de référence.

### **Résumé**

Ce texte est un exemple d'approche analytique pour concevoir et mettre en œuvre des actions de gouvernance durable de l'eau de pluie en *milieu urbanisé* dans les pays d'Afrique sub-saharienne. Le but est d'attirer l'attention sur la pertinence d'une maîtrise rationnelle des eaux pluviales en évaluation environnementale appliquée à la biodiversité et à la sécurité alimentaire. Contrairement à l'approche dominante de gestion *in-situ* efficace de l'offre, celle suggérée ici en s'appuyant sur le domaine des sables dunaires de la région de Dakar, est une valorisation des eaux recueillies par les ouvrages d'assainissement. La démarche est de faire d'une contrainte hydrologique liée à l'urbanisation (développement du ruissellement), une source de création de ressource hydrique additionnelle. Plus précisément, il s'agit d'utiliser ce procédé comme une stratégie de gestion préventive et curative de la vulnérabilité de l'écosystème des NIAYES face à la pression climatique et sociale, en renforçant la réserve hydrique des nappes les occupant par des infiltrations forcées. Le résultat escompté est la sauvegarde (conservation) ou la revitalisation (restauration) de ces habitats naturels assurant une fonctionnalité biologique et socio-économique, notamment le maintien de la biodiversité et le développement d'activités agricoles. Pour précision, les NIAYES sont des milieux atypiques au sahel, car ces zones humides sont des dépressions dunaires occupées par une nappe phréatique affleurante ou sub-affleurante et une végétation à tendance hygrophile. De nos jours, elles sont en déphasage avec le climat sahélien actuel qui n'est pas à l'origine de leur façonnement; d'où la nécessité de mettre en œuvre des plans d'action d'adaptation.

À partir d'une évaluation d'éléments pertinents en rapport avec la maîtrise durable des écoulements par temps de pluie, des solutions adaptées et durables sont suggérées. L'innovation est la prise en considération des dimensions « risque » et « ressource » des eaux pluviales, et la

promotion d'une gestion partagée des tâches. Dans un contexte mondial marqué par la recherche ou le début d'application de nouveaux paradigmes de gestion durable de l'eau, ce papier fournit des éléments de mise en œuvre d'une politique hydraulique pertinente d'aménagements pour : (i) la préservation des ressources naturelles, et (ii) la protection du cadre de vie. Les études diagnostiques pour déterminer des enjeux émergents ont porté sur des pratiques institutionnelles et socioéconomiques, la dynamique des ressources naturelles et la variabilité pluviométrique.

## Introduction

Vision nouvelle, le *Développement durable* s'impose de plus en plus comme un concept incontournable dans le processus de développement. Cela justifie l'opportunité des études visant à définir des paradigmes ou des outils adaptés de sa mise en œuvre, utilisant en particulier une approche transversale (ou holistique) pour atteindre des objectifs multifonctionnels.

Les *niayes* de la région de Dakar sont des écosystèmes formés par des dépressions dunaires, fermées ou ouvertes, façonnées en aval des systèmes de drainage et occupées par une ressource en eau issue d'une nappe phréatique et/ou d'un rassemblement du ruissellement. Cette eau assure de multiples services au plan économique, environnemental et social (figure 1). Plus précisément, elle permet la pratique d'une agriculture urbaine, la pêche, l'approvisionnement partiel de Dakar en eau potable et le développement de la biodiversité, car ces zones humides attirent de nombreuses espèces d'oiseaux et abritent une végétation riche en espèces.

Ici, le postulat est qu'une gouvernance durable des eaux de pluie – une ressource disponible et facilement mobilisable en *milieu urbanisé*<sup>1</sup> – pourrait efficacement contribuer à la conservation et à la restauration de ces habitats naturels assurant des services divers. Actuellement, la pression climatique et anthropique pesant sur ces écosystèmes particuliers et les zones humides en général, fait qu'il est urgent de promouvoir, le cas échéant, des solutions d'assainissement intégrant la question de leur sauvegarde. Plus précisément à Dakar et sa banlieue, deux problèmes majeurs sont observés concernant les *niayes* : (i) un assèchement hydrologique à cause d'une insuffisance de la recharge pluviale, (ii) une accentuation des inondations du fait de leur occupation croissante. Une telle situation fait apparaître la double dimension – « *risque* » et « *ressource* » — attribuable à la maîtrise des eaux en surface découlant des pluies, pour préserver les ressources naturelles et façonner des territoires (ou un cadre de vie) résilients au risque hydrologique.

Pour bâtir un plan durable d'aménagement et de gestion des eaux de pluie visant *in fine* un développement national ou local, une évaluation des paramètres directement ou indirectement en rapport avec la pluviométrie, est effectuée pour déterminer les problématiques à prendre en considération localement. Dans cette étude, le processus d'urbanisation, la dynamique des ressources en eau souterraine, le mode de mise en valeur agricole, les techniques actuelles d'assainissement et la gouvernance institutionnelle, sont passées en revue. On les considère comme des paramètres pertinents de référence pour concevoir et mettre en œuvre des actions durables. Leur analyse permet de faire ressortir les enjeux (technique, environnemental, économique et sociétal) émergents se rapportant à la gouvernance rationnelle du ruissellement pluvial. Avec les informations obtenues, des éléments de maîtrise multifonctionnelle des écoulements par temps de pluie au Sahel, applicables en milieu urbain ou rural, sont proposés.

---

<sup>1</sup> Désigne tout espace de fort peuplement, devant bénéficier d'un réseau collectif d'assainissement pluvial, que l'on soit en ville ou en zone rurale.

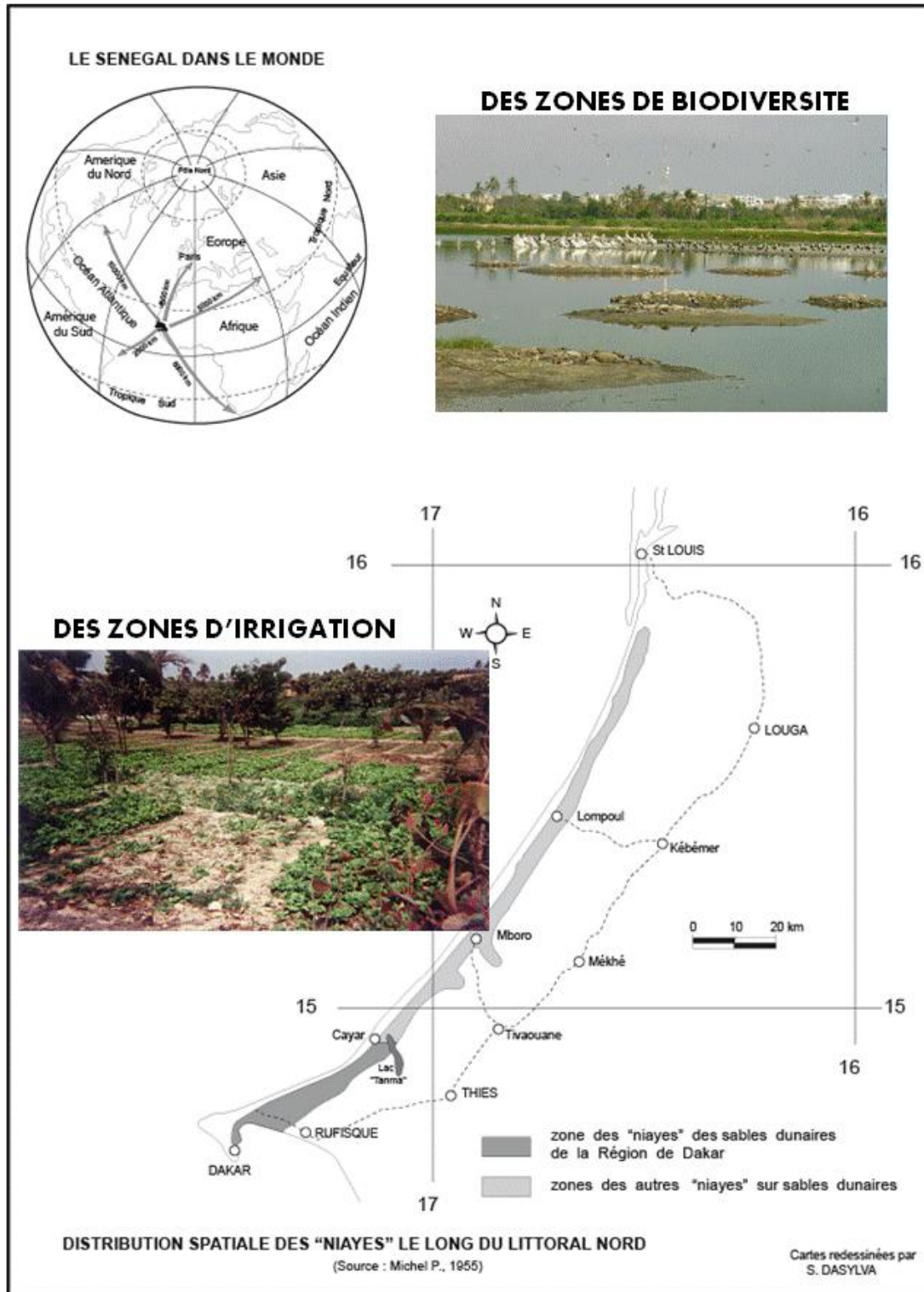


Figure 1 : Localisation et principaux services assurés par les « niayes » du Sénégal

## **PERTINENCE DES THEMATIQUES RETENUES**

### **Sécurité alimentaire : l'agriculture, la première fonction actuelle des « niayes »**

À l'image des bas-fonds d'Afrique intertropicale, les niayes de la région de Dakar sont des sites appropriés de développement de cette activité, grâce à l'irrigation rendue possible par les nappes phréatiques les occupant. Il s'agit de l'une des principales raisons justifiant les objectifs suggérés de maîtrise de l'eau. Contrairement aux autres bas-fonds d'Afrique (Dasyva, 2001), l'exploitation des *niayes* a commencé depuis la période coloniale. Et l'intérêt continu accordé à ces milieux aboutit après les indépendances, à la création en 1962 de la SODENIA (Société pour le Développement des Niayes). De nos jours, ces écosystèmes agricoles se sont particulièrement spécialisés dans le maraîchage, l'arboriculture et l'aviculture; la production étant destinée à l'autoconsommation et à l'approvisionnement de Dakar. Cette agriculture urbaine et péri urbaine est en constante augmentation et participe pour près de 60 % dans la consommation de Dakar en produits maraîchers (Ba Diao M, 2004). Du coup, la fiabilisation de l'approvisionnement en eau est un enjeu prioritaire pour cette filière, l'eau étant un paramètre indispensable dans le processus de production agricole (figure 2). Cela, d'autant plus que la croissance exponentielle de la population entraîne une constante hausse des demandes en produits alimentaires.

### **Biodiversité : les « niayes », des biotopes offrant des conditions favorables d'habitat à des espèces animales et végétales variées**

L'affleurement de la nappe phréatique dans les *niayes*, fait que ces zones humides sont des habitats très favorables au développement de la biodiversité.

❶ S'agissant de sa flore, une végétation de type humide s'y est maintenue, bien que le climat soit à tendance sahélienne (Dasyva, 2009a). Les « niayes » constituent un important réservoir au Sénégal : selon Ndiaye P (1998), (i) 20 % de la flore sénégalaise (près de 419 espèces végétales) s'y localise, et (ii) parmi les 31 espèces dites endémiques du pays, 13 espèces se trouvent dans cette zone.

❷ À propos de la diversité faunistique), il est indiqué dans un rapport de l'Uicn (2002), que dans la *Grande Niaye de Pikine* (région de Dakar) 133 espèces d'oiseaux ont été dénombrées, parmi lesquelles 40 dites endémiques, 25 migratrices et 51 nidifiant (cf photo sur la figure 1<sup>2</sup>).

❸ Aussi, ces sites sont les derniers « poumons verts » de la capitale, ce qui pourrait leur faire assurer une fonctionnalité récréative et touristique dans un contexte de très forte pression sociale.

---

<sup>2</sup> Origine de la photo : <http://www.environnement-afrique.info/?Grande-Niaye-de-Pikine-le-Djoudj>

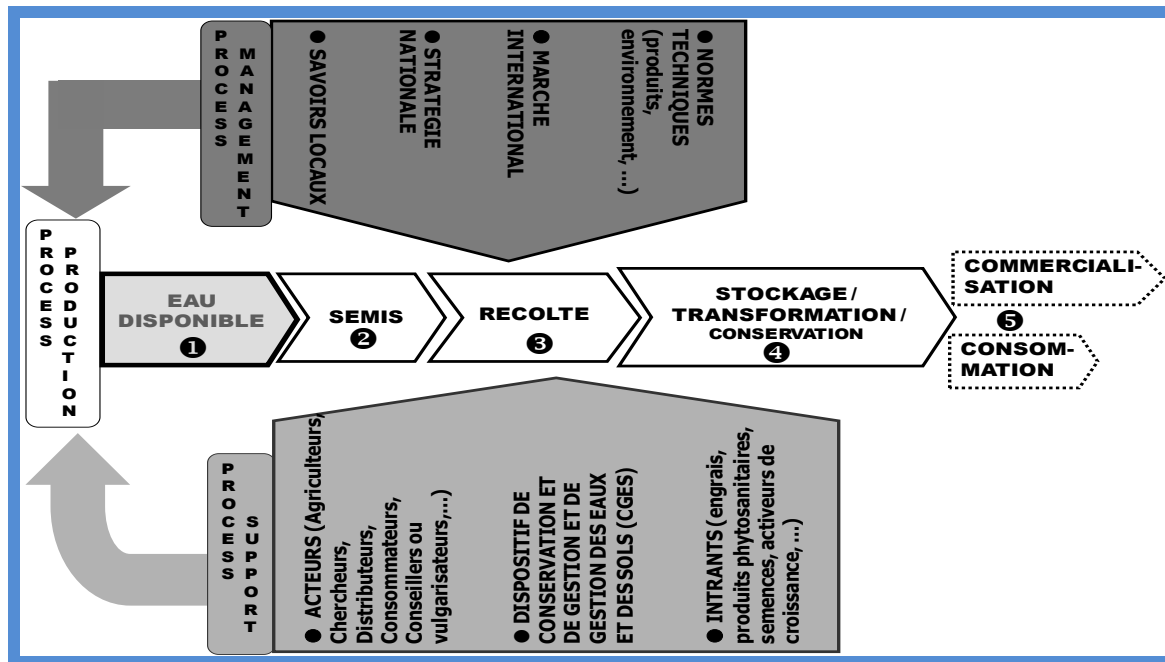


Figure 2 : Les différents aspects du *process* de maîtrise de la filière agricole

Concernant les deux thématiques de référence et en rapport avec la variabilité pluviométrique et les actions anthropiques (pompages agricoles et industriels), les réserves hydriques (ou nappes) subissent une double contrainte selon les secteurs : quantitative (baisse de niveau) et qualitative (salinisation progressive par des intrusions d'eaux salées et pollution microbologique, minérale et organique d'origine anthropique) (Pigeon, 1999; Dasylya et Cosandey, 2005). La fragilité de ces milieux atypiques que sont les *niayes*, est factuellement attestée par les reliques composant aujourd'hui ce paysage qui occupait jadis une importante superficie dans la région.

Paradoxalement, malgré l'acuité du problème (Dasylya, Cosandey, 2007a), les solutions de gestion du ruissellement urbain ne sont pas utilisées dans le domaine des sables dunaires de la région de Dakar, comme des mesures potentielles d'atténuation de la dégradation de ces ressources naturelles par la création de réserves hydriques additionnelles. Par exemple, la récupération des eaux de pluie ("*rainwater harvesting*") en milieu urbanisé pour contribuer à la sécurisation de l'approvisionnement en eau, n'est pas une pratique de mobilisation de ressource additionnelle répandue en Afrique subsaharienne. Pourtant, un document conjoint (BAD, FAO *et al*, 2006), indique que la situation de pénurie d'eau actuelle ou à venir ici, est plus causée par un manque de systèmes de stockage que par une réelle pénurie. Pour preuve, les eaux drainées par le réseau d'assainissement pluvial sont le plus souvent rejetées en mer ou stockées dans des bassins d'évaporation, ce qui constitue une perte de ressource, car ne visant pas une valorisation des eaux recueillies. Dans la plupart des cas, les solutions d'économie de l'eau sont basées sur une maîtrise de l'usage de la ressource (offre et/ou demande et une modernisation des infrastructures).

En référence aux différents constats, la politique d'aménagement et de maîtrise de l'eau au plan local ou national qu'on veut promouvoir (ou valeur ajoutée) est l'intégration de la dimension « *ressource* » dans les solutions de gestion des écoulements par temps de pluie, comme réponse

de mitigation des effets négatifs du péril climatique (raréfaction des pluies) sur les habitats naturels assurant des services multiples. En plus d'une protection efficace du cadre de vie (dimension « *risque* »), l'approche suggérée vise surtout à créer des ressources hydriques additionnelles ou alternatives. *In fine*, il s'agit est de créer ou de soutenir une activité agricole et/ou favoriser le maintien ou la restauration de la biodiversité par la sauvegarde des zones humides que sont les *niayes* en particulier, ou les zones humides en général. Depuis une dizaine d'années, l'agriculture urbaine est reconnue comme une activité majeure en termes d'approvisionnement des villes, d'emplois et de gestion de l'environnement urbain (Undp, 1996). *Les émeutes de la faim en Haïti ont permis d'attirer l'attention sur l'importance de la pauvreté urbaine dans la crise alimentaire mondiale* (Florence Egal, Responsable de l'initiative « *Food for cities* » de la FAO)<sup>3</sup>. Et selon les projections, on estime que d'ici 2020, plus de la moitié de la population de l'Afrique vivra dans des zones urbaines. Étant donné l'expansion industrielle ne réussit pas à diminuer la pauvreté urbaine, il devient incontournable d'intégrer l'agriculture urbaine dans les projets de planification des villes (Smilth *et al*, 2004).

### La question de la maîtrise des eaux pluviales et de l'hydraulique agricole au Sahel

Malgré des inondations\* récurrentes, le Sahel connaît des problèmes de sécurité alimentaire -une dimension importante de la pauvreté-. Ici, l'insuffisance pluviométrique est un facteur déterminant de dégradation des ressources naturelles (Eau et Ecosystème agricoles), et par conséquent d'insécurité alimentaire à cause de la diminution de la capacité de production. En visant la création de ressources hydriques additionnelles locales, il s'agit d'impacter positivement sur les performances d'une agriculture dominée par des exploitations familiales. Du fait de la prééminence de cette activité dans ce continent, une telle perspective constitue un levier majeur de lutte contre la pauvreté. A cet égard, on partage cet avis que l'eau de pluie doit être placée dans la tendance dominante des politiques de l'eau (Partenariat pour l'Eau de Pluie, 2004). L'une des recommandations fortes de l'Appel de Ouagadougou (BAD *et al*, 2007) -dénommé '*Expansion des aménagements hydro-agricoles en Afrique sub-saharienne*'-, n'est-elle pas une incitation aux gouvernants de promouvoir des stratégies nationales de développement de l'hydraulique agricole, pour le rôle qu'il peut jouer dans la réduction de la pauvreté et la croissance économique. A cet

\* Cf Note bas de page<sup>4</sup>

Toutefois, la diversité des questions en milieu urbanisé indique qu'une approche *durable* nécessite une évaluation de plusieurs paramètres, pour faire ressortir les enjeux majeurs pertinents liés à la protection des ressources naturelles surtout, mais aussi du cadre de vie.

<sup>3</sup> Propos tenus lors du Forum mondial Biovision de Lyon en mars 2009

<sup>4</sup> En 2007 par exemple, « de violentes précipitations et des inondations ont fait un grand nombre de victimes et endommagé les cultures dans plusieurs pays, dont le Burkina Faso, la Gambie, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal et le Tchad » (Rapport n° 3 - 13 septembre 2007 - source : Site internet FAO).

## ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION POUR LA PRISE EN COMPTE DES ENJEUX HYDRIQUES LIÉS À LA VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES NATURELLES

Dans le domaine des sables dunaires de la région de Dakar, quels sont les éléments d'analyse pour mettre en évidence les problématiques socio-économiques et environnementales émergentes (contraintes hydriques et usage bénéfique des eaux pluviales) liées à une gouvernance rationnelle de l'eau de pluie? En plus des questions techniques abordées plus loin, la prise en compte de ces paramètres contrôlant la sécurisation du cadre de vie et le maintien à plus ou moins long terme des écosystèmes fonctionnels que sont les *niayes*, est un gage essentiel de *durabilité*. Les questions abordées ci-dessous, sont souvent observables en milieu urbanisé au Sahel : elles sont largement abordées dans un manuel déjà publié (Dasyuva (2009b) et à paraître<sup>5</sup>).

**La pression urbaine** : des impacts marqués par une disparition progressive des zones humides et une aggravation des inondations

Étant la capitale du Sénégal, Dakar exerce un attrait indéniable sur les populations des zones rurales. Le rythme d'occupation de l'espace a été tellement rapide que six Plans Directeurs d'Urbanisme (PDU) se sont succédés entre 1862 et 1986 (Dasyuva, 2001). De nos jours, l'essentiel des espaces bâtis est concentré dans le secteur occidental de la région, notamment la tête et l'isthme de la presqu'île de Dakar. Le taux d'urbanisation y avoisine 100 % dans plusieurs quartiers. Au total, la région compte 2,9 millions d'habitants sur une superficie de 550 km<sup>2</sup>.

**La pression urbaine s'est matérialisée par une occupation des zones humides ou inondables**, car des populations, souvent les plus pauvres, ont pris le risque de construire dans des bas-fonds (y compris des *niayes*) en toute connaissance des contraintes (inondations). À Dakar, c'est la course à l'obtention d'une parcelle à construire partout où il y a de l'espace libre, sans se soucier de la nature du site. On est dans une situation où le processus d'occupation de l'espace n'est pas totalement maîtrisé par les pouvoirs publics. Le droit foncier traditionnel – appropriation des terres en dehors du circuit officiel – est toujours appliqué par la population. Il se trouve que les quartiers « irréguliers » sont les sites où les problèmes d'inondation se posent avec le plus d'acuité, car des équipements de prévention ou de lutte contre les eaux sont inexistantes. L'espace bâti est généralement marqué par une trame irrégulière, d'où des problèmes de réalisation d'infrastructures pour leur viabilisation et d'intervention en cas de sinistre de tous ordres. Tous ces aspects sont autant de facteurs qui intensifient la vulnérabilité des habitats naturels et des populations. Par exemple, lors des événements de 1989, le bureau d'étude japonais JICA (1993) avait recensé 45 sites d'inondation dans les communautés urbaines de Dakar et Pikine.

**Le péril climatique** : des impacts négatifs sur les ressources en eau et l'agriculture urbaine traditionnelle

- Un renouvellement inefficace des réserves hydriques des zones humides

Dans le domaine des sables dunaires de la région, la pluie est le seul facteur de recharge des nappes phréatiques occupant les *niayes* (Béture-Sétame, 1988), ce qui signifie que sa variabilité a des effets déterminants sur le comportement de ce dernier. À l'image de la zone sahélienne, la principale caractéristique des précipitations à Dakar est sa très grande variabilité interannuelle.

---

<sup>5</sup> DASYLVA (?). Gouvernance durable de l'eau de pluie en milieu urbanisé au Sahel. Proposition d'un guide de bonnes pratiques.

Plus précisément, le fait marquant est la très forte chute des précipitations après 1968 : la moyenne interannuelle est passée de 574 à 342 mm, soit un écart de 232 mm entre les deux périodes, ce qui correspond à un déficit de 40 % (Dasylyva, 2009b). Si on retient le seuil de 20 % de Durand (1988) pour définir les périodes de sécheresse, on peut dire que cette dernière est sévère pour la région. **L'information pertinente est de connaître si cette baisse des précipitations annuelles a des répercussions sur la reconstitution des nappes, ou non. Même si la tendance pluviométrique de ces dernières années semble localement marquée par une remontée vers une situation « normale », cette dernière ne serait « gagnante » que si elle a un impact positif sur les ressources en eau mobilisées.**

Pour apprécier l'influence de la variabilité pluviométrique sur la ressource hydrique, la NSQ (Nappe de Sables Quaternaires) est prise en exemple : elle occupe la plupart des *niayes* de la région. Son comportement est indiqué sous trois scénarii pluviométriques, représentatifs d'une pluviométrie moyenne, sèche et humide. Les piézomètres sélectionnés sont implantés dans une zone faiblement urbanisée et à fonctionnement non perturbé par les intrusions salées et les pompages de la SDE (Société Des Eaux). La figure 3 montre qu'avec une pluviométrie annuelle moyenne ou déficitaire, le solde final annuel du bilan de la NSQ est négatif (figure 3a et 3b) ; le bilan n'est positif (figure 3c) qu'à partir d'une recharge générée par une pluviosité excédentaire, de récurrence proche de la décennale humide. En référence à la pluviosité annuelle actuelle (exception faite à l'année 1989), on peut dire que la NSQ est, de nos jours, en situation de non-recharge (Dasylyva, Cosandey, 2005). Cela se traduit naturellement par un épuisement progressif de la réserve hydrique à l'origine de l'existence des *niayes* et aussi exploitée pour l'irrigation ; selon Hubert (1921), cette baisse serait observée depuis le 19<sup>e</sup> siècle. Cependant, il existe deux zones d'exception à cette tendance : le littoral nord et le littoral sud, où l'évolution actuelle semble stationnaire (Dasylyva *et al*, 2003).



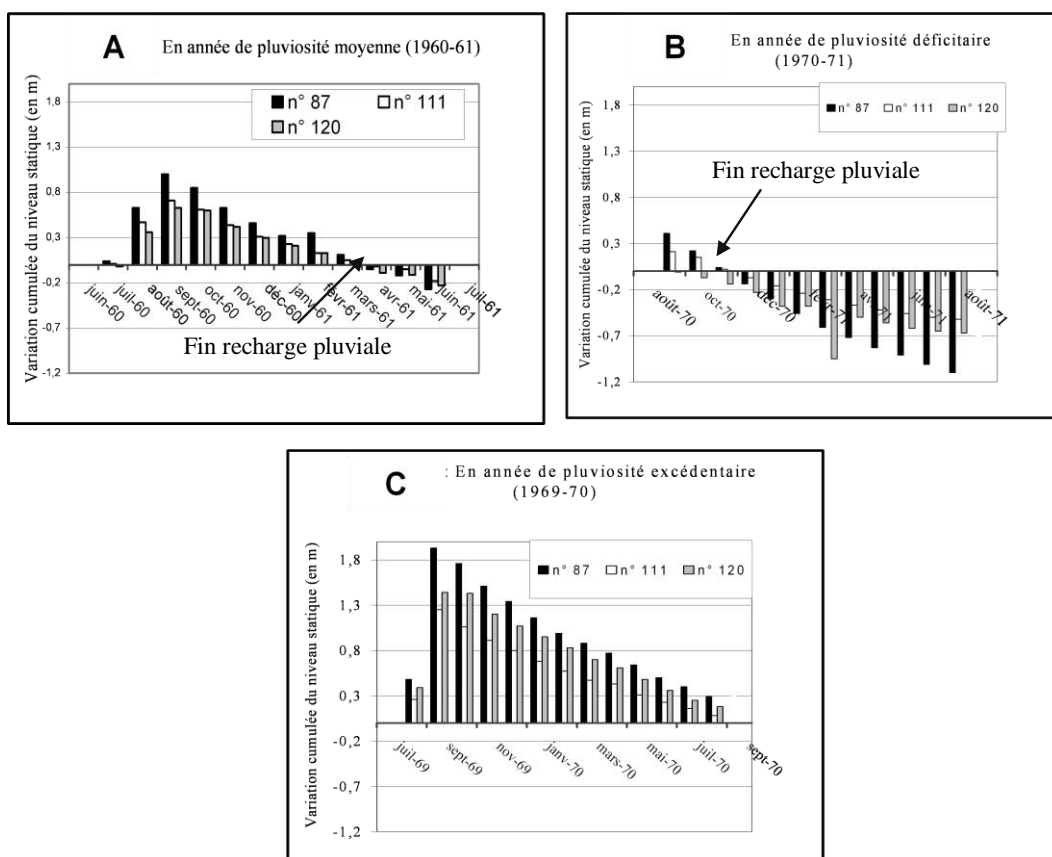


Figure 3 : Évolution annuelle du stock hydrique dans les trois scénarii pluviométriques

La dynamique de la nappe occupant les *niayes* dépend de la recharge pluviale qui est le seul facteur de reconstitution des réserves. Et il vient d'être démontré que l'infiltration résultant des totaux pluviométriques annuels actuels est insuffisante pour générer une recharge efficace des nappes, ou engendrer un bilan hydrique annuel équilibré ou positif. Par exemple en année moyenne, la recharge pluviale ne tient que pendant 6 mois, au-delà, c'est le déstockage de la réserve qui assure l'offre hydrique (figure 2a). Dès lors, la recharge des nappes (pour préserver les ressources en eau et les écosystèmes aquatiques) est un enjeu majeur à prendre en considération dans toute perspective de gestion durable des écoulements par temps de pluie.

- Un enfoncement des niveaux piézométriques fragilisant les pratiques agricoles traditionnelles

Dans les villes africaines, la pratique d'une agriculture rudimentaire dans les zones de bas-fond est une pratique assez répandue. Cette agriculture urbaine et péri urbaine se caractérise par l'utilisation de petits lopins de terre dont la taille est généralement comprise entre 5 m et 1200 m<sup>2</sup> (Enda Graf Sahel, 2002) : par exemple dans la région de Dakar, les exploitations de type familial représentent près de 70 % des structures intervenant dans l'horticulture (SNC-LAVALLIN/BCEOM, 1996). La mobilisation de la nappe s'effectue souvent avec des **moyens traditionnels d'exhaure de l'eau**, composés de « séanes » (excavations de 1 à 2 mètres de

profondeur, munies d'un sentier d'accès) et de puits peu profonds. Or, ces techniques nécessitent que le toit de la nappe ne soit pas trop éloigné de la surface du sol pour faciliter l'accès. Étant données les conditions hydro-climatiques actuelles n'assurent pas une recharge efficace des nappes phréatiques, on assiste à un enfoncement progressif des niveaux piézométriques.

En référence à l'épuisement des réserves hydriques, la **maîtrise de la position du toit de la nappe** est une perspective d'action **pour sauvegarder sur le long terme l'agriculture urbaine traditionnelle** dans les villes africaines. Dès lors, les solutions de gestion doivent promouvoir la mise en place de dispositifs permettant d'atténuer la dynamique négative, pour maintenir le toit des nappes à un niveau moins contraignant.

Après la précision d'enjeux socioéconomiques et environnementaux émergents liés aux « *niayes* », des éléments d'aménagement et de gouvernance durable des eaux des eaux de pluie vont être suggérés. Auparavant, les problèmes techniques et stratégiques liés à l'application des solutions dites « classiques » vont être abordés : le cas échéant, il s'agit des paramètres complémentaires à prendre en considération. D'emblée, la préoccupation sera d'apprécier si les solutions actuelles de protection du cadre de vie sont efficaces.

#### **ÉLÉMENTS D'AMÉNAGEMENT ET DE GOUVERNANCE DURABLE DES EAUX DE PLUIE EN MILIEU URBANISE, DE PROTECTION DES RESSOURCES NATURELLES ET DU CADRE DE VIE**

À Dakar (domaine de référence), la mise en place d'un réseau d'assainissement n'a pas entraîné une éradication des inondations, d'où la pertinence de connaître les dysfonctionnements pour leur prise en compte dans les plans d'action. En passant en revue les contraintes et conditions techniques de performance des solutions appliquées, y compris les approches stratégiques, il s'agit de compléter la liste des enjeux afin de concevoir une stratégie complémentaire (ou compensatoire) prenant en compte la diversité des problématiques.

#### **Paramètres complémentaires / Contraintes et conditions de performance des solutions de protection du cadre de vie & Destination finale des eaux recueillies**

Les limites des actions dites « classiques »

Le réseau officiel d'assainissement pluvial se compose essentiellement de dispositifs classés dans les solutions dites « classiques » : axes linéaires, stations de refoulement et bassins de réception forme le tryptique généralement utilisé. D'abord, il est utile de signaler que les ingénieurs ont hérité d'une approche de gestion fortement influencée par le concept dit « hygiéniste », datant de la fin du 19<sup>e</sup> siècle (loi du 10 juillet 1894 en France) et reposant sur le « tout-à-l'égout ». Il s'agit d'un système d'évacuation rapide des eaux, dont le seul but est d'empêcher des nuisances dans les zones d'habitation; rien n'est prévu contre leur formation ou pour leur valorisation économique.

Il est vrai que pour expliquer le maintien des inondations, la faible densité du réseau est un facteur déterminant, car cela entraîne une gestion partielle du problème : les poches d'inondation qui ne sont pas connectées au réseau voient le problème se maintenir. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'il existe aussi d'autres contraintes d'ordre technologique et/ou environnemental à prendre en considération. En Afrique subsaharienne en général, les conditions techniques et comportementales requises pour un fonctionnement optimal de ces infrastructures ne sont pas

remplies. D'une part, l'ensablement dû à l'érosion et les rejets de déchets solides dans le réseau par l'homme, sont autant de contraintes limitant les performances de fonctionnement. D'autre part, dans la conception hydraulique des ouvrages, le coefficient de ruissellement joue un rôle déterminant dans le dimensionnement des ouvrages. Et ce paramètre est très difficilement appréhendable, car il augmente fortement avec l'anthropisation de l'espace, qui dans les villes africaines se fait avec une grande vitesse et sans maîtrise.

À la lumière de ces précisions, le débat sur la pertinence de l'usage, **seul**, des technologies dites « classiques » en Afrique subsaharienne est posé. Le réseau d'assainissement pluvial est régulièrement débordé par les eaux. Compte tenu des dysfonctionnements, n'est-il pas inéluctable d'adapter la stratégie de gestion au plan technologique, par exemple **promouvoir des solutions compensatoires** (complémentaires), dites « alternatives » et visant à élargir les fonctionnalités du réseau d'assainissement et à former un **réseau mixte**?

Cet état des faits, certains acteurs l'ont compris et font de plus en plus recourt aux solutions « alternatives », formées de dispositifs autonomes ou semi-autonomes.

#### Les limites des actions spontanées des populations

Pour pallier le manque d'infrastructures, les techniques utilisées le plus souvent par la population consistent à édifier un remblai ou une murette devant les concessions pour empêcher l'eau d'y pénétrer, ou de surélever la fondation des maisons pour les mettre hors de portée des eaux. Concernant les deux premiers dispositifs, l'efficacité est mitigée. En amont, la méthode peut être efficace, car le risque de débordement est faible du fait de l'évacuation facile des eaux. Par contre, au niveau des bas-fonds (ou exutoires du ruissellement), les effets escomptés ne sont pas toujours obtenus, car les remblais et les murettes sont souvent submergés par les arrivées massives d'eau. En construisant ces édifices, les habitants ne tiennent pas compte de la spécificité de chaque site et de la variabilité du paramètre hydrologique. Le mimétisme est la règle générale, on applique chez soi ce qui semble réussir ailleurs. De ce fait, **il existe un besoin prégnant de coordination et d'adaptation de ces actions spontanées.**

Par ailleurs, ces dispositifs créent une perturbation dans la circulation des eaux : par exemple, ils bloquent toute communication entre l'intérieur des espaces bâtis et l'extérieur. Ainsi, l'eau qui s'accumule dans les concessions ne peut pas s'évacuer, d'où un travail supplémentaire à faire pour la dégager. **Un autre défi est de trouver un dispositif adapté pour prendre en charge le problème du blocage de l'eau dans les maisons, afin de sécuriser les espaces habités.**

À propos des remblais, leur usage généralisé a tendance à provoquer un nivellement topographique. De plus en plus, l'eau s'étale en surface et déborde au-delà des limites des bas-fonds, ce qui provoque une tendance à l'expansion spatiale des inondations. Globalement, cela implique que les remblaiements ne constituent pas un dispositif adapté.

#### Les limites du modèle institutionnel de gestion

L'ONAS (Office National de l'Assainissement du Sénégal) est le principal acteur officiel en charge de la gestion du secteur de l'assainissement. Selon une approche « *top-down* », il assure la maîtrise d'ouvrages et la maîtrise d'œuvre, la conception et le contrôle des études et des travaux d'infrastructures d'assainissement pluvial, de même que l'entretien. En référence aux contraintes techniques évoquées plus haut, il est indéniable que l'État ne peut à lui seul tout faire, pour preuve, la densité du réseau laisse à désirer et l'entretien des infrastructures n'est pas régulier.

Dès lors, une bonne gouvernance de l'eau pluviale nécessite une adaptation du système actuel de gestion. Pour répondre en temps, en nombre et en performance d'actions, une alternative serait de **promouvoir une gouvernance participative** de l'eau de pluie, pour en faire affaire de tous.

À propos de la destination finale des eaux recueillies

Actuellement, les eaux recueillies par les infrastructures de drainage sont déversées en mer ou dans des bassins d'évaporation. Par exemple, dans la tête de la presqu'île, près de 90 % des émissaires de drainage ont la mer pour exutoire<sup>6</sup>. C'est aussi le cas dans l'isthme de la presqu'île, où les plans actuels d'assainissement et futurs suggèrent le rejet des eaux drainées en mer (JICA, 1993). Ces rejets constituent une perte pour les ressources en eaux souterraines, au bilan hydrodynamique déficitaire dans le contexte dakarois (*cf* plus haut). Du coup, il est urgent de développer des actions permettant de préserver les réserves hydriques, dans le cadre d'un aménagement cohérent de l'espace.

L'eau de pluie des villes a aussi son rôle à jouer dans l'amélioration des disponibilités ou dans la diversification de l'offre hydrique. La politique différentielle en matière de stratégie de gestion des eaux pluviales entre zones rurale et urbaine doit évoluer et tendre vers une gestion *durable* (intégrant les dimensions « risque » et « ressource »), quel que soit le milieu de référence.

Un bilan des enjeux passés en revue va être effectué, avant d'en venir aux solutions durables (stratégie complémentaire & dispositif englobant) suggérées.

### **Bilan des enjeux complémentaires / *Check-list* de validation du modèle de gestion**

La diversité des enjeux d'une maîtrise durable des eaux pluviales mise en évidence, a conduit à identifier les axes d'intervention indiqués sur le tableau 1. Il s'agit du tableau de bord qui va servir à valider la pertinence du dispositif technologique suggéré au final, notamment sur la base de l'adéquation entre les solutions préconisées et les problématiques se rapportant au contexte de référence. C'est le gage d'une solution *juste*, se démarquant de la pratique du « copier/coller » de modèles non adaptés au milieu d'application, car réalisés dans des contextes différents.

---

<sup>6</sup> Site ONAS : [www.onas.sn](http://www.onas.sn)

<b>THEMATIQUES &amp; COMPOSANTS</b>	<b>Problématiques</b>
<b>PROTECTION DES RESSOURCES NATURELLES / BIODIVERSITÉ; SÉCURITÉ ALIMENTAIRE;</b>	Recharge nappe
	Profondeur nappe
	Assèchement des écosystèmes agricoles
<b>PROTECTION DU CADRE DE VIE / INONDATIONS;</b>	Infiltrabilité des sols
	Stagnation de l'eau en surface
	Sous performance du réseau « classique » d'évacuation
	Augmentation du coef. de ruissellement (ou flux d'eau en circulation)
	Eau bloquée dans les espaces bâtis
	Structuration des quartiers populaires des PVD
	Coût financier des infrastructures
<b>GOUVERNANCE / PARTIES PRENANTES;</b>	Approche « <i>Top-Down</i> »

Tableau 1 : Éléments d'enjeux complémentaires liés à la maîtrise de l'eau de pluie dans ses dimensions « ressource »/ « risque » (source : Dasylyva, 2009b)

### **Stratégie complémentaire de maximisation de performance du dispositif actuel**

La diversité et l'acuité des problématiques nécessitent un renforcement des pratiques actuelles par une stratégie compensatoire visant à corriger les limites observées, par la prise en compte des différentes questions mentionnées dans le tableau 1 : la durabilité des actions appliquées y dépend. Pour son identification, on s'est basé sur un modèle décrivant le processus d'impact de la pluviosité sur les ressources naturelles et le cadre de vie (figure 4), car il fait ressortir le paramètre sur lequel intervenir pour bâtir une approche complémentaire adaptée.

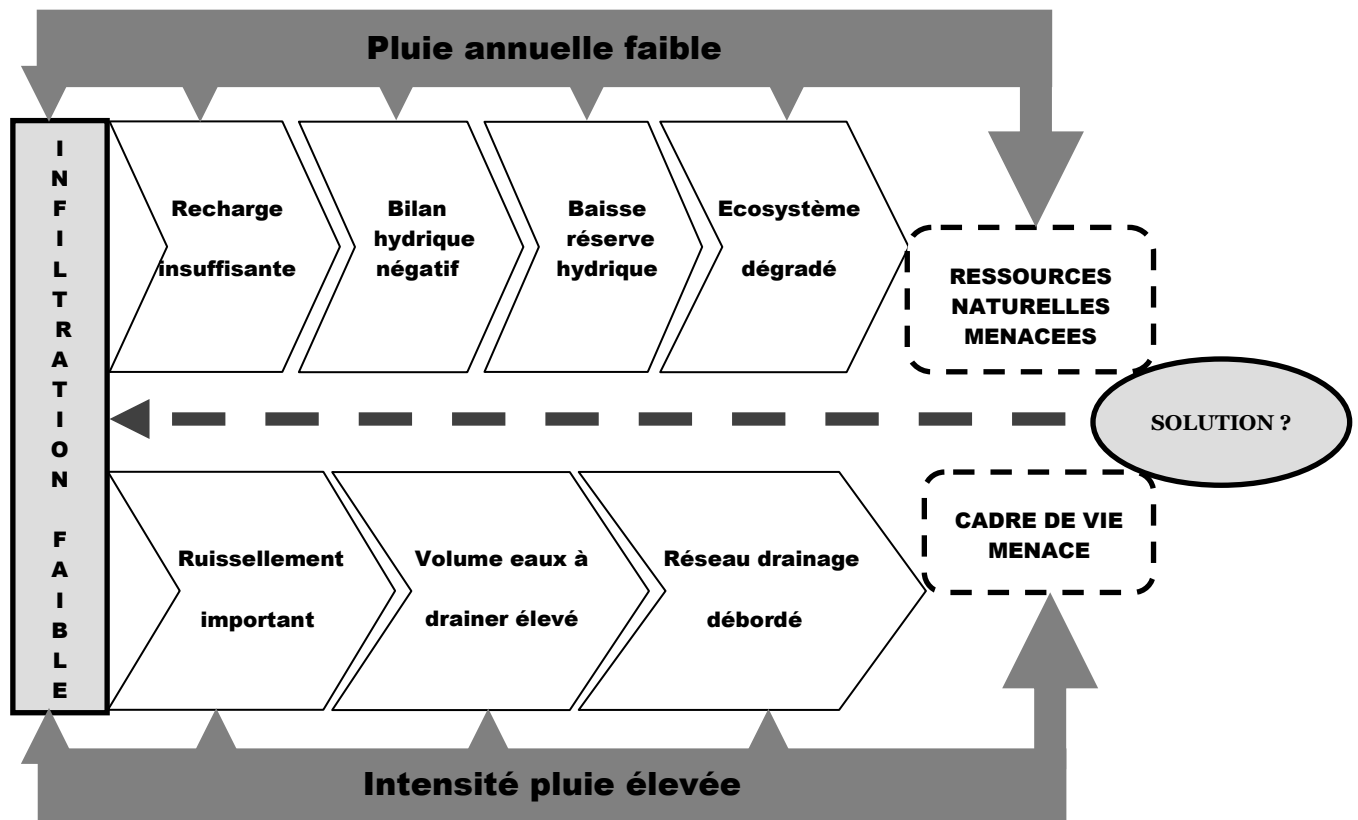


Figure 4 : Processus d'impact de la pluviosité sur les ressources naturelles et le cadre de vie  
(source : DasyIva, 2009b)

À la lumière de ce modèle et des problèmes de gouvernance évoqués, la stratégie complémentaire de gestion retenue dans le domaine des sables dunaires de la région de Dakar est la suivante :

**STRATEGIE TRANSVERSALE COMPLÉMENTAIRE** = mettre en place des technologies absorbantes adaptées aux réalités socio-culturelles des quartiers urbains et péri urbains. En corrigeant la baisse de l'infiltrabilité des sols due à l'anthropisation de l'espace ou en l'augmentant, il s'agit : (i) de reconstituer efficacement la nappe des *niayes* par des transferts massifs d'eaux de pluie, et (ii) de diminuer le ruissellement pour obtenir des volumes d'eau conformes à la capacité de prise en charge des infrastructures « classiques » -axes linéaires et stations de refoulement.

NB : Au plan financier, des expériences de terrain ont démontré que l'utilisation de ces technologies compensatoires à faible coût (ou *Smart solutions*) n'augmente pas les coûts de viabilisation à l'échelle de la zone équipée, et qu'elle contribue à diminuer de façon très sensible les budgets en équipements structurants d'assainissement (Deutsch, 2003).

La preuve qu'une hausse du taux de ruissellement peut avoir un impact positif sur la recharge des nappes phréatiques est confirmée par l'évolution de cette dernière en fonction de la pluviosité :

on observe sur la figure 3 une variabilité de la recharge, notamment son augmentation avec une hausse des précipitations. Cela implique que toute infiltration supplémentaire pourrait être bénéfique à la réserve hydrique des nappes phréatiques, et par conséquent contribuer à la protection des ressources naturelles et du cadre de vie.

#### **ⓘ MAITRISE QUALITATIVE DES EAUX RECUPEREES**

Dans le but d'obtenir des eaux en bon état d'infiltration ou respectueuses de la réglementation en vigueur – ce qui permet d'éviter des chocs de pollution, la parcelle habitée est potentiellement le niveau d'intervention présentant le plus de sécurité. Les eaux pluviales sont immédiatement prises en charge, avant qu'elles ne soient en contact avec des sites pollués (décharges et rues). La précaution est d'infiltrer les eaux à partir d'une surface artificialisée, pour ne pas laisser le sol à nu. S'agissant des puits et bassin d'infiltration, ils doivent être édifiés préférentiellement en amont des sites de décharge ou de déversement d'eaux usées. À défaut de présence d'une couverture sableuse suffisamment épaisse pour jouer le rôle de filtre naturel, la mise en place d'un dispositif de blocage (ou de filtration) des contaminants est nécessaire.

À la suite de la précision des enjeux et des conditionnalités associées à une gouvernance durable des eaux pluviales en milieu urbanisé, quel type d'infrastructures faut-il concrètement mettre en place selon la nature du lieu d'intervention, pour des actions préventives et curatives de lutte contre la perte de biodiversité et l'insécurité alimentaire?

#### **Modèle spatio-technologique d'aménagement et de gouvernance des eaux pluviales**

**NB** : dans le domaine des *niayes* de la région de Dakar, le succès de la mise en œuvre de la stratégie complémentaire nécessite de mobiliser des volumes aptes à inverser les tendances hydrologiques (déficit de recharge des nappes et augmentation des flux d'eau en circulation). Pour se faire, les écoulements doivent être gérés tout le long du processus hydrologique, notamment au niveau : (a) des parcelles habitées (pour limiter à la source leur genèse) ; (b) des rues (pour baisser les flux vers le réseau structurant) ; (c) et des zones de rassemblement du ruissellement ou exutoires (pour éviter les pertes de ressource).

➡ Globalement, un réseau mixte d'assainissement pluvial, combinant des ouvrages « classiques » (pour canaliser le surplus d'eau) et des techniques dites « alternatives » (pour réaliser les objectifs complémentaires mis en évidence), est préconisé (figure 5). Et comme on peut le constater, l'utilisation combinée des différents dispositifs permet d'adapter les mesures de gestion à la réalité du terrain et d'impacter positivement sur les objectifs de protection des ressources naturelles et du cadre de vie.

MESURES SPATIO-TECHNOLOGIQUES	SOLUTIONS ALTERNATIVES			SOLUTIONS CLASSIQUES DE TRANSFERT ➔ Axes linéaires ; Stations refoulement
	PARCELLES HABITÉS ➔ Puits d'infiltration	RUES ➔ Puits d'infiltration	EXUTOIRES ➔ Bassins d'infiltration	
<b>Enjeux cibles / Contraintes à lever</b>	<b>IMPACT DU DISPOSITIF SUR LES ENJEUX</b>			
Augmenter la recharge efficace vers la nappe	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Agir sur la baisse du toit de la nappe près de la surface du sol	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Préserver les écosystèmes agricoles dépendant des nappes	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Optimiser la performance du réseau d'évacuation	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>
Réduire le volume du ruissellement	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>
Empêcher une stagnation prolongée de l'eau au niveau des exutoires	<b>NON</b> (car positionnés en amont)	<b>NON</b> (car positionnés en amont)	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Prendre en charge l'eau bloquée dans les espaces bâtis	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>
Promouvoir des technologies adaptées au milieu socio-culturel	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Promouvoir technologies à faible coût	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>
Développer la gestion participative	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Evacuer le surplus d'eau non pris en charge par le dispositif compensatoire	<b>NON</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>	<b>OUI</b>

Figure 5 : Modèle d'aménagement et de gestion durable des eaux pluviales préconisé dans le domaine des sables dunaires de la région de Dakar

### Discussion : les bénéfices de l'usage d'un réseau mixte

L'une des originalités de ce modèle d'aménagement et de maîtrise des écoulements par temps de pluie, est la diversification des infrastructures utilisées, en particulier le recours aux technologies « alternatives ». Sur le plan de l'appropriation des ouvrages par les parties intéressées, nous savons que ces technologies sont d'une complexité technique et d'un coût de réalisation adaptés aux capacités d'intervention des acteurs locaux. Cela signifie qu'en plus du rôle joué dans la prise en compte de la diversité des problématiques, elles permettent aussi et surtout de corriger le système institutionnel actuel de gouvernance, en favorisant une **gestion participative**. À Dakar tout comme partout ailleurs en Afrique subsaharienne, face à l'ampleur et la récurrence des contraintes liées aux eaux pluviales, l'intervention d'un seul acteur officiel disposant d'une capacité limitée d'action (en personnes-ressources et en matériels) réduit la réactivité et les performances; d'où d'ailleurs des expressions fréquentes de mécontentement. À cet effet, l'usage d'un réseau multifonctionnel favorisant l'implication de la société civile et des usagers et une **gestion de proximité** dans le temps et dans l'espace, est une condition de performance.

En Afrique subsaharienne, il est plus que temps de promouvoir l'émergence d'un système pyramidal (ou *bottom-up*), basé sur un partage juste des tâches par une diversification des parties prenantes (figure 6). Par exemple s'agissant des inondations, l'intensité de l'aléa et son occurrence spatiale nécessitent d'intervenir à la source de genèse du ruissellement et dans les domaines privés (espaces bâtis). Aussi, la mise en cohérence des actions spontanées et officielles est inéluctable pour optimiser l'efficacité et l'efficience du dispositif.



*In fine*, la gouvernance participative plébiscitée vise à promouvoir un changement des mentalités et des comportements au plan sociétal, notamment la **modification de la perception et de la représentation du processus de gestion des eaux pluviales en Afrique subsaharienne**. Le défi est de créer non pas une participation spontanée et éphémère, mais une implication pérenne basée sur la concertation, la conviction, l'appropriation et le long terme : seuls gages d'un *local empowerment*.

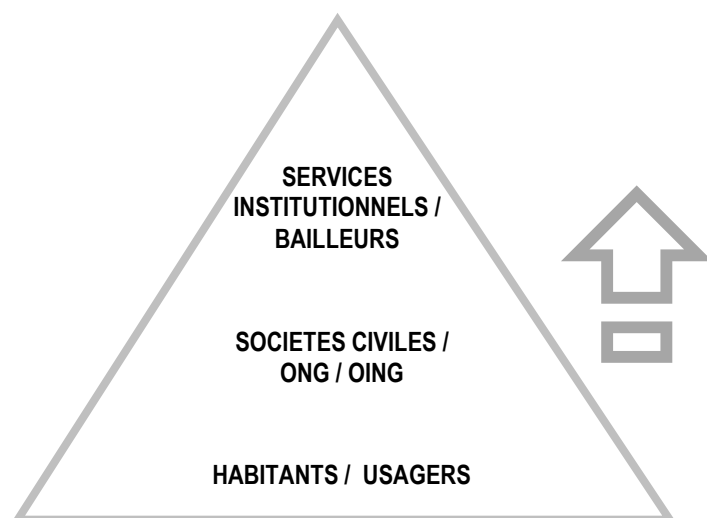


Figure 6 : Approche hiérarchique des responsabilités dans la nouvelle gouvernance des eaux pluviales (source : Dasylva, 2009b)

## Conclusion

Au Sahel, il est évident qu'un changement de paradigme s'impose dans la recherche de solutions aux problèmes de pauvreté. Et changer de paradigme signifie ne plus uniquement se baser sur une approche sectorielle pour réduire la vulnérabilité de la zone en termes de sécurité alimentaire, de dégradation des ressources naturelles, de difficultés d'accès à l'eau potable... mais surtout, parmi les chantiers, d'agir à une racine commune du mal qu'est le mode de gestion non durable de l'eau de pluie en milieu urbanisé. Plus particulièrement, le challenge ciblé est l'exploitation généralisée du potentiel d'eau constitué par le ruissellement découlant de l'imperméabilisation des surfaces en milieu fortement anthropisé, pour la création de ressource additionnelle permettant la sauvegarde de sites fonctionnels au plan environnemental et économique, et cela, en ville et en zones rurales.

Pour un **développement national ou local impliquant le plus grand nombre**, la récupération de l'eau de pluie est un levier majeur d'optimisation des réserves hydriques au Sahel : ce qui favorise une préservation des zones humides (biodiversité) et une sécurisation de l'approvisionnement en eau dont dépend la capacité de production en quantité suffisante d'aliments de consommation et/ou de commercialisation. Cela, d'autant plus que les surfaces irriguées sont faibles en Afrique au sud du Sahara : moins de 3,3% des superficies agricoles selon des chiffres de la FAO (Faurès, Sonou, 2000). La stratégie innovante d'aménagement suggérée vise à promouvoir la **valorisation des eaux d'inondation, en transférant l'eau des milieux à risque vers des zones de pénurie d'eau**.

Au final, on considère que la gouvernance durable des eaux pluviales constitue un levier fondamental devant retenir l'attention en évaluation environnementale concernant et la sécurité alimentaire et la biodiversité. Elle pourrait contribuer à la préservation des habitats et des ressources naturelles de production. Et cette étude donne des éléments de diagnostic, d'enjeux et d'actions pour la formulation d'un plan de gestion adapté aux préoccupations actuelles au Sahel.

## **Bibliographie**

BAD, FAO, FIDA, IWMI, Banque Mondiale (2007) – Appel de Ouagadougou sur l'expansion des aménagements hydro-agricoles en Afrique sub-saharienne, 26-28 mars 2007, Ouagadougou, Burkina Faso, 3 p.

BAD, FAO, FIDA, IWMI, BM (2006) – Investissement dans l'hydraulique agricole en vue de la réduction de la pauvreté et de la croissance en Afrique subsaharienne. 92 p.

BA DIAO M, (2004) – Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cahiers Agricultures*. Vol 13 (n°1): p 39-49

COLLIN J J, SALEM G, (1989) - Pollution des eaux souterraines par les nitrates dans les banlieues non assainies des pays en développement. Le cas de Pikine (Sénégal), Symposium SISSIPA-Lisbonne.

DASYLVA S, (2009)<sup>o</sup> - Inondations à Dakar et au Sahel. Gestion durable des eaux de pluie. Enda Editions, Série Etudes&Recherches n° 267, 268, 269, Dakar, 267p.

DASYLVA S, (2009a) - Rapport de mission sur les niayes du littoral nord sénégalais. Projet SAHELP, Mission LSCE & SISYPHE, Paris, 25p.

DASYLVA S, COSANDEY C, -2007- Sustainable water management in the agricultural bottom-lands, *4th Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management (PIM)*, Tehran, Iran

DASYLVA S, COSANDEY C (2006) - Risques environnementaux dans les bas-fonds urbanisés à Dakar : limite des solutions actuelles de gestion du temps de pluie et éléments techniques d'atténuation d'impacts. *Colloque Développement, Environnement et Santé*, SIFEE, Bamako, Mali

DASYLVA S, COSANDEY C, (2005) - L'exploitation de la nappe des sables quaternaires pour l'alimentation en eau potable de Dakar : une offre compromise par l'insuffisance de la recharge pluviométrique. *Géocarrefour*. 80(4): 349-358.

DASYLVA S, COSANDEY C, Orange, *et al.* 2004b. Rainwater infiltration rate and groundwater sustainable management in the Dakar region. *Electronic Journal of International Commission of Agricultural Engineering*. Vol. 6.

DASYLVA S, COSANDEY C, *et al.* (2004a) - Acuité des problèmes liés à l'eau et la nécessité d'une gestion «intégrée» des eaux pluviales dans le domaine des sables dunaires de la Région de Dakar. Colloque Développement Durable : leçons et perspectives. Ouagadougou.

DASYLVA S, COSANDEY C, ORANGE D, SAMBOU S, (2003a) – Integrated management of the rainwater in the area of Dakar : estimation of the increase of the rainwater infiltration rate in the current pluviometric context. *Colloque Envirowater 2003*, Albacete (Espagne),

DASYLVA S, COSANDEY C, ORANGE D, *et al.* (2003b) - Assèchement des « niayes » (bas-fonds agricoles) de la Région de Dakar durant la période 1960 – 1990 : variabilité spatiale et rôle joué par la pluviosité. *Sud Science et Technologie*. Vol. 11. 27-34.

DASYLVA S, COSANDEY C, ORANGE D, (2002) - Proposition de gestion « intégrée » des eaux pluviales pour lutter contre les problèmes liés à l'eau dans la banlieue de Dakar. *Colloque Envirowater 2002*. Ouagadougou.

DASYLVA S, (2001) - Les bas-fonds des sables dunaires de la Région de Dakar : potentialités agricoles et contraintes urbaines. Thèse doctorat. Univ. Paris 1-Sorbonne. 405 p.

DEUTSCH J C, (2003) - Cours d'hydrologie urbaine en ligne, *ENPC*, année 2003-2004

DURAND J. H. (1988) – Arrêter le désert, Techniques vivantes, PUF, Paris 416 p.

ENDA GRAF SAHEL (2002) - Le financement de l'agriculture péri-urbaine par un système de crédit à caution solidaire, *Séminaire international : Le financement de l'agriculture familiale dans un contexte de libéralisation : quelle contribution de la microfinance ?* Dakar 21-24 janvier 2002, 18 p.

GIEC (2001): Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité. Résumé du groupe de travail II du GIEC, 101 p.

HENRY H (1921) – Eaux superficielles et souterraines au Sénégal, *Larose*, Paris, 30 p.

J.I.C.A. (1993) – L'étude sur l'assainissement de Dakar et ses environs, Rapport intérimaire, TOKYO, 231 p.

NDIAYE P (1998) - Les "Niayes" dans monographie nationale sur la biodiversité au Sénégal, *Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature*, 14 p.

PARTENARIAT POUR L'EAU DE PLUIE (2004) – Déclaration pour l'eau de pluie, *Secrétariat pour l'Eau de Pluie*, Nairobi, 2 p.

PIGEON J L, (1999) - *Projet d'approvisionnement en eau potable à long terme, Rapport définitif*, Dakar, 203 p.

SETICO (1997) - Le plan d'assainissement de Grand Yoff, Rapport interne, NON PAG.

SMITH O B, MOUSTIER P, MONGEST LJA, FALL A (1993) – Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux concepts et méthodes. CIRAD, Montpellier, 173 p.

SNC-LAVALLIN/BCEOM, (1996) - Étude des impacts du canal du Cayor sur l'environnement, Document de référence - R7, Dakar

TANDIA A A, GAYE C B, FAYE A,(1997) – Origine des teneurs élevées en nitrates dans la nappe phréatique des sables quaternaires de la région de Dakar, Sénégal. Sécheresse, Vol. 8, numéro 4, p. 291-294

TANDIA A A, (1993) - Origine, évolution et migration des formes de l'azote minéral dans les aquifères du Sénégal: cas de Thiaroye (banlieue non assainie). Contrat de Recherche AIEA n°7272/RB.

TARHOUNI J, JEMAI S (2002) – Études préliminaires d'évaluation et de lutte contre la salinisation des nappes côtières. Actes Colloque *Envirowater* 2002, Ouagadougou, 153-158

TROCHAIN J, (1939) – La flore et la végétation de la région des « niayes » (Sénégal). II L'évolution de la végétation des « niayes », *Société Biogéographique*, 132, 10-14

TROCHAIN J. (1940) – Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal, *Larose*, Paris, 433 p.

UICN/Réseau zones humides, (2002) - La *Grande Niaye* de Dakar, problématique urbaine et enjeux environnementaux, *UICN*, Dakar, 22 p

UNESCO (1997) - Qualité de l'eau de la nappe phréatique à Yeumbeul Sénégal. Études sur le terrain. CSI info n° 3, UNESCO, Paris, 27 p.

UNDP (1996) – Urban agriculture, food, jobs and sustainable cities. New York, *Undp*, 302 p.