HAL
open science

Impact potentiel de l'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment sur les consommations d'eau potable à l'échelle urbaine : le cas de l'agglomération parisienne

Ali Belmeziti

To cite this version:

Ali Belmeziti. Impact potentiel de l'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment sur les consommations d'eau potable à l'échelle urbaine : le cas de l'agglomération parisienne. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est, 2012. Français. NNT : 2012PEST1051 . pastel-00718463

HAL Id: pastel-00718463

https://pastel.hal.science/pastel-00718463

Submitted on 17 Jul 2012

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.

UNIVERSITÉ PARIS-EST

ECOLE DOCTORALE VILLE TERRITOIRE TRANSPORT

Thèse
Présentée pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS-EST

Discipline : Urbanisme, Aménagement du territoire

Par

Ali BELMEZITI

Impact potentiel de l'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment sur les consommations d'eau potable à l'échelle urbaine.

Le cas de l'agglomération parisienne

Soutenue publiquement le 06 juillet2012 devant le jury

Sylvie BARRAUD	**Rapporteur**
Nilo de OLIVEIRA NASCIMENTO	**Rapporteur**
Manuel PRUVOST-BOUVATTIER	**Examinateur**
Olivier COUTARD	**Directeur de thèse**
Bernard de GOUVELLO	**Co-directeur de thèse**

Remerciements

Ce travail de thèse conclut un peu plus de trois ans de travail au sein du LEESU. Le présent mémoire fait état de résultats de recherche qui n'auraient pu voir le jour sans la contribution de nombreuses personnes que je tiens à remercier.

Je tiens d'abord à remercier madame *Sylvie Barraud* et monsieur *Nilo de Oliveira Nascimento* les rapporteurs de ce mémoire, pour leur regard avisé sur le travail, et l'ambiance « sérieuse et agréable » qu'ils ont fait régner lors de la soutenance de thèse.

Cette thèse résulte d'une recherche doctorale dont le « double encadrement » de :

> *Olivier Coutard* chargé de recherche au CNRS et directeur du laboratoire LATTS. Je tiens à le remercier pour avoir assuré la direction de mon travail de thèse et pour avoir contribué aux décisions majeures, le tout dans un véritable climat de confiance.
>
> *Bernard de Gouvello*. Ingénieur au CSTB et chercheur associé au LEESU. Je tiens à le remercier pour avoir assuré le suivi régulier de ce travail. Il ma permis grâce son regard particulièrement synthétique, mais aussi, grâce à son critique et analyse extrêmement profitable. Je tiens à le remercier aussi pour m'avoir donné les moyens d'atteindre mes objectifs de recherche.

J'adresse également mes remerciements aux nombreuses personnes qui ont pris le temps à lire mon travail et qui m'ont fait part de leurs remarques et de leurs corrections : Jean-Claude Deutsch, Elise Marcandella, Helmi Ben-Rajeb, Elodie Molin, Amandine de Coninck et Aline Mariage.

Je remercie les membres du LEESU pour l'accueil amical qu'ils m'ont réservé : Bruno Tassin (directeur du LEESU), Annick Piazza, Catherine Charleux, etc.

Je remercie Manuel Pruvost-Bouvattier et Sophie Foulard de l'IAU-IDF pour le temps qu'ils ont consacré à l'extraction des différentes données nécessaires à ce travail.

Je remercie mes amis : Rachid, Faouzi, Mimoune, Ismail, Yahia, Menade, Héchem, etc

Je remercie aussi mes collègues du bureau : Anne, Juliette, Elodie et Amandine.

Un **grand merci** à ma mère (Meriem) pour son soutien et pour son encouragement tout au long de cette thèse….**Merci maman !!**

J'adresse un merci particulier à ma femme (Khalida) pour sa patience et pour sa compréhension.

Enfin, j'adresse une pensée particulière à ma famille et mes proches (Mohamed, Fadheloune, Zohra, Aicha, Ahmed,etc) pour leur soutien durant l'ensemble de la thèse

Ali Belmeziti

Résumé

Ce travail de recherche vise à appréhender les effets engendrés à terme sur la gestion urbaine de l'eau par le développement progressif de la pratique de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie (RUEP), et plus particulièrement sur l'alimentation en eau potable. Il est réalisé de manière prospective à l'échelle de l'agglomération parisienne. Plus largement, cette recherche constitue une contribution au débat ouvert depuis quelques années relatif à la remise en question progressive du modèle centralisé de gestion de l'eau en milieu urbain.

Après une description de la pratique urbaine de REUP, ce travail établit un état de l'art des outils et des méthodes scientifiques s'y rapportant, et suggère de se focaliser sur le développement d'une approche de *changement d'échelles.* L'objectif est de produire, à une échelle urbaine, une *estimation significative* des économies d'eau potable réalisables en substituant à celle-ci de l'eau de pluie récupérée pour des usages ne requérant pas une qualité d'eau alimentaire. Pour ce faire, nous proposons une approche basée sur l'évaluation séquentielle à l'aide d'une *échelle intermédiaire* (la commune), d'une logique de regroupement de bâtiments aux caractéristiques comparables au regard de la RUEP et de quatre *principes* (distinction, agrégation, majoration, hiérarchisation).

Sur l'agglomération de Paris, la méthodologie mise en œuvre montre que l'eau de pluie récupérée est susceptible de représenter un *potentiel* équivalent à 65% des besoins en eau non potable et à 11% du volume d'eau potable distribué. Le travail met également en évidence que le secteur résidentiel constitue le gisement principal de ce potentiel, car il détient 2/3 du potentiel global de l'agglomération.

Une première analyse du *système d'acteurs* impliqués dans la RUEP en milieu urbain complète ce travail. Cette analyse permet de dégager un sous ensemble particulier d'acteurs qui ont la capacité d'effectuer une action *« levier »* sur la diffusion de cette pratique sur une échelle urbaine, soit *directement* en raison de leur capacité d'action collective (un ensemble de bâtiments par exemple), soit *indirectement* au travers de leur capacité d'influencer sur les propriétaires des bâtiments (mécanismes d'incitation notamment).

Au final, ce travail permet de situer la RUEP en milieu urbain au sein du débat général portant sur les *mutations* que connaît la ville d'aujourd'hui.

Mots clefs : *récupération et utilisation de l'eau de pluie, économies d'eau potable, changement d'échelles, agglomération de Paris, système d'acteurs.*

Abstract

This research aims at assessing the effects generated, on management of urban water in the long term, by progressive development of rainwater harvesting (RWH), and more particularly on the drinking water supply. It is carried out in a prospective way on the scale of Paris and its suburbs. On the whole, this research contributes to a controversy about the validity of a centralized model of management of water in an urban environment.

After a description of the RWH in urban areas, this report presents state of the art tools and scientific methods, and focuses on the development of a *scaling approach*. The objective is to produce, a *significant assessment* of potential potable water savings (PPWS), on an urban scale by substituting part of it by rainwater recovered for uses which do not require such quality. With this aim, we propose an approach based on sequential evaluation using an *intermediate scale* (the municipality), on merging of buildings with similar characteristics related to RWH and four methodological *principles* (modeling, aggregation, increase, Ranking strategy)

Applied to the Paris agglomeration, the implemented methodology shows that the recovered rainwater volume is likely to represent a *potential* equivalent of 65% of the demands for non-drinking water and of 11% of the drinking water distributed. This research also highlights that the residential sector constitutes the major contribution of this potential, because it holds 2/3 of the total potential to the Paris agglomeration.

The first analysis of the system of actors implied in the RWH in urban environment has also been developed. This analysis makes it possible to identify a specific subset of actors who have the capacity to carry out an "*lever*" action in generalizing this practice on an urban scale, either *directly* because of their capacity of leading a collective action (for a set of buildings for example), or *indirectly* through their capacity to act on the owners of the buildings (by incentive mechanisms in particular).

Finally, this work positions RWH in on urban environment within the general debate related to the *evolution* of present cities.

Keywords: *rainwater harvesting, potable water savings, scaling approach, Paris agglomeration, system of actors*.

Sommaire

Remerciements **3**

Résumé **5**

Abstract **7**

Sommaire **9**

Acronymes **13**

Glossaire **15**

Introduction générale **19**

LA GESTION CENTRALISEE DE L'EAU URBAINE : UN MODELE REMIS EN QUESTION 19
VERS UNE GESTION « IN SITU » DE L'EAU URBAINE : L'EMERGENCE DES NOUVELLES TECHNIQUES ALTERNATIVES AUX RESEAUX CENTRALISES 22
LA RECUPERATION ET L'UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE : UNE DYNAMIQUE PROPRE 22
IMPACTS ET POTENTIEL DE LA RUEP SUR LA GESTION URBAINE DE L'EAU 23

Partie I. D'une approche descriptive de la Récupération et de l'Utilisation de l'Eau de Pluie à la définition d'une problématique

Chapitre 1. La Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : une pratique associée au bâtiment **29**

1.1. INTRODUCTION 30
1.2. LA COMPOSITION D'UN DISPOSITIF DE RUEP 32
1.3. LA RUEP DANS LE CONTEXTE FRANÇAIS 42
1.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 46

Chapitre 2. Etude de la Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : de l'échelle du bâtiment à l'échelle urbaine. **49**

2.1. LES THEMATIQUES DE LA RUEP ABORDEES DANS LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE 50
2.2. ETUDE DE LA PERFORMANCE HYDRAULIQUE A L'ECHELLE DU BATIMENT 51
2.3. ETUDE DE LA PERFORMANCE HYDRAULIQUE A L'ECHELLE URBAINE. 80
2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 92

Chapitre 3. Un enjeu central de la problématique de recherche : le changement d'échelles **95**

3.1. SPECIFICITE DE LA PRATIQUE DE RUEP 96
3.2. LES ENJEUX DE LA PRATIQUE DE RUEP 97
3.3. RAPPEL SUR LES THEMATIQUES DE RECHERCHE TRAITANT LE MEME SUJET 102
3.4. UN RECUL CRITIQUE SUR CES THEMATIQUES 102
3.5. LE PROJET « SR-UTIL » (POUR SCENARII DE RECUPERATION - UTILISATION) 104
3.6. NOTRE POSITIONNEMENT 105
3.7. CONCLUSION DU CHAPITRE : LA DEFINITION DE NOS PROBLEMATIQUES DE RECHERCHE. 106

Partie II. Une approche renouvelée du calcul du PPWS aux échelles urbaine et supra-urbaine

Introduction. Méthodologie générale de calcul du PPWS **111**

I. METHODE THEORIQUE 111
II. SOURCE DE L'INFORMATION 116
III. PRINCIPES DE CALCUL 120
VI. SYNTHESE 121

Chapitre 4. Calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment 123

4.1. Choix de la methode de calcul du PPWS a l'echelle du batiment 124
4.2. Choix du point qui correspond a nos objectifs 124
4.3. Le calcul du Potentiel de Stockage et d'Utilisation (PSU) de l'eau de pluie 125
4.4. Exemple de calcul du PSU a l'echelle du batiment 138
4.5. Le calcul du PSU global d'un ensemble de batiments 142
4.6. Comparaison entre le $PSU_{B_EQUIVALENT}$ et le $PSU_{\sum BATIMENTS}$ 143
4.7. Conclusion du chapitre 146

Chapitre 5. Calcul du PPWS à l'échelle urbaine (commune) 147

5.1. Le PPWS a l'echelle de la commune « changement d'echelles : de l'echelle du batiment a l'echelle de la commune » 148
5.2. Le passage de l'echelle du batiment a l'echelle de la commune « la construction d'une typologie de batiments » 149
5.3. Calcul du PPWS a l'echelle d'une commune 162
5.4. Analyse et interpretation du PPWS des deux communes (Drancy et Colombes) 169
5.5. Conclusion du chapitre 172

Chapitre 6. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine (agglomération) 175

6.1. Calcul du PPWS a l'echelle supra-urbaine « changement d'echelles : de l'echelle de commune a l'echelle supra-urbaine » 176
6.2. Le passage de l'echelle communale a l'echelle supra-urbaine « la construction d'une typologie de communes » 182
6.3. Le calcul du PPWS a l'echelle supra-urbaine de l'agglomeration parisienne « application, resultats et interpretation » 186
6.4. Analyse et interpretation du PPWS de l'agglomeration de Paris 202
6.5. Conclusion du chapitre 206

Conclusion de la partie 207

Partie III. Une première étude du système d'acteurs de la RUEP

Chapitre 7. Première approche méthodologique du système d'acteurs de la RUEP.....211

7.1. Acteurs et systemes d'acteurs dans les processus de diffusion de la RUEP 215
7.2. Analyse du systeme d'acteurs du domaine RUEP 217
7.3. Acteurs leviers et developpement de la RUEP 223
7.4. Conclusion : les acteurs leviers pour etudier la complexite 227

Chapitre 8. Acteurs leviers et développement de la RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris 229

8.1. L'enjeu quantitatif de la RUEP a l'echelle de l'agglomeration de Paris 230
8.2. Systeme d'acteurs de l'habitat individuel 230
8.3. Acteurs leviers de l'habitat collectif 240
8.4. Realite du developpement actuel de la RUEP 242
8.5. Conclusion : vers une mobilisation des proprietaires des batiments 244

Conclusion générale 247

Retour sur le contenu du rapport 247
Apport et originalite de notre demarche 248
Limites et perspectives du travail 250
Vers une demarche de changement d'echelles flexible 252
Finalement, un nouveau rapport qui emerge entre le batiment et la ville 257

Références bibliographiques 259

Annexes 274

Annexe 1 : questionnaire des enquetes : disponibilite de l'espace et comportement d'arrosage 275
Annexe 2 : Exemples de cuves de RUEP commercialisees et dimensions associees 277
Annexe 3 : Representativite des batiments utilises pour le calcul des batiments equivalents . 281

ANNEXE 4 : REORGANISATION DU MOS-IAU 283
ANNEXE 5 : OPERATIONS DE RETOUR D'EXPERIENCE 291
ANNEXE 6 : PCR DES COMMUNES DE L'AGGLOMERATION DE PARIS 297
ANNEXE 7 : INDICE DE VEGETATION : METHODOLOGIE IAURIF 301
ANNEXE 8 : EXEMPLES DES PARCELLES (BATIMENTS) ECHANTILLONNEES 303

Table des matières détaillée 311

Listes des illustrations 315

Liste des tableaux 317

Acronymes

AFNOR : Agence Française de Normalisation
AORIF : union social pour l'habitat d'Ile-de-France
AP : Agglomération de Paris
ARENE : Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies
BBC : Bâtiments Basse Consommation
BTP : Bâtiment et Travaux Public
C.I.Eau : Centre d'Information sur l'Eau
CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DDASS : Direction Départementale de l'Action Sanitaire et Sociale
DIN : *Deutsches Institut für Normung* (Institut allemand de normalisation)
ESH : Entreprises Sociales pour l'Habitat.
ETP : Evapotranspiration
HLM : Habitation à Loyer Modéré
HQE : Haute Qualité Environnementale
IAU-IDF : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France.
IDF : Ile-de-France
NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index* (Indice de Végétation)
LEESU : Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains
MO : Maitre d'Ouvrage
MOS : Mode d'Occupation du Sol
MOS-IAU : Mode d'Occupation du Sol de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme.
OPH : Offices Publics de l'Habitat
PCR : Potentiel de Captage et de Récupération
PEHD : Polyéthylène Haute Densité
PLU : Plan Local d'Urbanisme
PPWS : *Potential for Potable Water Savings* (potentiel d'économie d'eau potable)
PSU : Potentiel de Stockage et d'Utilisation
R2DS : Réseau de Recherche sur le Développement Soutenable
RFU : Réserve Facilement Utilisable
RUEP : Récupération et Utilisation de l'Eau de Pluie
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SARET : *Storage and Reliability Estimation Tool*
SARL : Société a Responsabilité Limitée
SEDIF : Syndicat des Eaux d'Ile de France
SEM : Société d'Economie Mixte
SR-Util : projet élaboration de Scenarii de Récupération – Utilisation de l'eau de pluie en IDF
TABULA : *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment*
UV : Ultraviolet
VBA : *Visual Basic for Applications*
ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

Glossaire

Ce glossaire contient deux types de définitions associées à deux types distincts de mise en forme :

- en « *style italique* » figurent les définitions des nouveaux concepts, i.e. spécifiquement développés dans cette thèse ;
- en « style normal » figurent les définitions de concepts existants. Le cas échéant des adaptations à ces définitions ont été réalisées dans l'optique de clarifier l'utilisation de ces concepts dans le cadre de cette thèse.

Acteur levier de la RUEP : acteur pouvant susciter ou conduire une ou plusieurs actions collectives (d'une certaine ampleur) influant sur le développement de la *RUEP*.

> ***Acteur levier direct*** *: est un acteur peut effectuer une action de type « prise de décision » conduisant à un effet de levier sur le développement de la RUEP sur une échelle urbaine donnée.*
>
> ***Acteur levier indirect*** *: est un acteur qui participe indirectement (grâce aux actions de type : incitation, sensibilisation,…) au développement de la pratique de RUEP.*

Agglomération de Paris : [selon définition IAU-IDF] ensemble de 415 communes (en comptant chacun des 20 arrondissements de Paris comme commune à part) de la région Ile-de-France, regroupées sur la base de deux critères : logique de l'INSEE ; caractéristiques morphologiques (taux d'espaces urbanisés, densité humaine) [Bertrant et Dugué 2007]

Bâtiment équivalent *:* « supra bâtiment virtuel » utilisé pour calculer directement le *PSU* correspondant à l'ensemble des bâtiments d'une classe-de-bâtiments donnée sans avoir à calculer le *PSU* de chacun des bâtiments composant la classe. Les caractéristiques techniques du bâtiment équivalent sont obtenue par cumul de celles de l'ensemble des bâtiments qu'il représente (exemple : surface de toiture du Bâtiment équivalent est la somme des surfaces de toitures des bâtiments de la classe considérée).

Bâtiment : toute construction destinée à l'habitation ou constituant un abri. Dans cette thèse, le mot bâtiment est utilisé pour désigner l'échelle de la mise en œuvre du dispositif de RUEP, il comporte tous les éléments nécessaires de son fonctionnement (récupération : toiture et gouttière ; stockage : emplacement et cuve ; distribution : tuyaux et pompe ; usage : WC, jardin, véhicule,…).

Catégorie-de-bâtiments : catégorie du MOS-IAU pour laquelle la RUEP est possible au sens de la démarche adoptée dans cette thèse (bâtiment doté d'une toiture). Parmi les 81 catégories créées par l'IAU, 54 ont été retenues comme catégories-de-bâtiments.

Classe-de-bâtiments : regroupement des *catégories-de-bâtiments* selon le critère « *scénario d'usage* » de l'eau de pluie. 13 classes-de-bâtiments ont été créées dans ce travail.

> ***Classe-de-bâtiments importante :*** *classe-de-bâtiments* dont le *PCR* est égal ou supérieur de 10% du PCR global de la commune considérée.
>
> ***Classe-de-bâtiment marginale :*** *classe-de-bâtiments* dont le PCR est inférieur à 10% du PCR global de la commune considérée.
>
> ***Classe-de-bâtiments complémentaire :*** *classe-de-bâtiments marginale* pour laquelle le calcul du PSU doit tout de même être réalisé. Entrent dans cette catégorie toutes les *classes-de-bâtiments marginales* nécessaires pour que la somme cumulée de leurs PCR classés par ordre

décroissant ajoutée à celle des PCR des *classes-de-bâtiments importantes* soit supérieur ou égal à 90 % du PCR global de la commune considérée.

Classe-de-communes : regroupement d'un ensemble de communes ayant les mêmes *classes-de-bâtiments importantes*.

Classe-de-communes importante : *classe-de-communes* dont le *PCR* est égal ou supérieur de 10% du PCR global de l'échelle supra-urbaine considérée.

Classe-de-communes marginale : *classe-de-communes* dont le PCR est inférieur à 10% du PCR global de l'échelle supra-urbaine considérée.

Classe-de-communes complémentaire : *classe-de-communes marginale* pour laquelle le calcul du *PSU* doit tout de même être réalisé. Entrent dans cette catégorie toutes les *classes-de-communes marginales* nécessaires pour que la somme cumulée de leurs *PCR* classés par ordre décroissant ajoutée à celle des *PCR* des *classes-de-communes importantes* soit supérieur ou égal à 90 % du PCR global de l'échelle supra-urbaine considérée.

Dispositif de RUEP : ensemble des composants techniques et des procédés utilisés nécessaire à la *RUEP*.

Dispositif isolé de RUEP *: dispositif de RUEP* lié à un bâtiment donné

Dispositif urbain de RUEP *:* ensemble des *dispositifs de RUEP* dispersés à une échelle urbaine ou à une *échelle supra-urbaine* donnée. Nous parlons alors de *RUEP* comme phénomène urbain.

Echelle urbaine : toute échelle « supra-bâtiment » (quartier, zone, ville, …) comportant un nombre de bâtiments qui ne peuvent être étudiées (au regard à la RUEP) de manière individuelle (bâtiment par bâtiment), en raison de leur nombre trop important et/ou de la difficulté de renseigner individuellement leurs variables.

Echelle Supra-urbaine : toute échelle territoriale– institutionnalisée ou non –, plus grande que celle de la commune. Exemples : département, agglomération, communauté des communes, *classe-de-communes*…

Environnement pertinent : « Ensemble des acteurs qui, bien que ne participant du dispositif institutionnel, exercent une influence de facto sur son émergence, fonctionnement ou évolution. Seront précisés ces acteurs, leur nature et fonctions, ainsi que le rôle indirect joué sur le dispositif institutionnel » [Crozier et Friedberg 1992].

Fréquence *:* nombre de fois qu'un ratio d'usage se répète dans une unité de temps donné. Par exemple, 5 fois/jour pour l'usage WC.

MOS-IAU (Modes d'Occupation du Sol de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile de France) : nomenclature créée par l'IAU pour suivre notamment l'urbanisation du milieu urbain de la région IDF. La version 2008 comporte 81 catégories (MOS-IAU).

Multi-propriétaire : propriétaire possédant un nombre important de bâtiments. Exemple : gestionnaire de patrimoines, office HLM…

Polygone : contour fermé et d'une surface de taille variable incluse au sein d'un MOS-IAU. Le polygone est notamment utilisé par l'IAU-IDF pour exprimer la densité végétale.

PCR (Potentiel de Captage et de Récupération) : quantité de l'eau de pluie susceptible d'être récupérable en aval de la toiture du bâtiment. Le PCR est exprimé en m^3/an.

PPWS (Potential for Potable Water Savings) : Potentiel d'économie d'eau potable. Notion utilisée par Ghisi (cf. références bibliographiques) pour désigner la quantité d'eau potable potentiellement économisable grâce à l'utilisation de l'eau de pluie.

PSU (Potentiel de Stockage et d'Utilisation) *:* quantité de l'eau de pluie récupérée, stockée et utilisée afin de remplacer en partie l'eau potable du réseau public pour certains usages. Le PSU est exprimé m^3/an.

Ratio d'usage *:* quantité d'eau consommée par rapport à un usage donné. Exemple : 3 l/m^2 pour l'usage arrosage de la pelouse.

RUEP (Récupération et Utilisation de l'Eau de pluie) : pratique consistant à collecter, stocker et utiliser l'eau de pluie issue des toitures pour certains usages domestiques ne nécessitent pas la qualité d'eau potable. Exemple : évacuation des excrétas (WC), arrosage des espaces verts…

Scénario d'usage : usage ou combinaison d'usages de l'eau de pluie associable à un bâtiment ou un ensemble donné de bâtiments. Cette notion renvoie à trois sous-notions : usage, ratio et fréquence.

Situation-type de bâtiments : ensemble de bâtiments susceptibles d'utiliser l'eau de pluie de façon semblable en termes de *scénarios d'usage*.

Usage de l'eau de pluie: consommation de l'eau de pluie dans une finalité donnée. Exemple : usage « WC », usage « arrosage des espaces verts »…

Utilisation de l'eau de pluie : recours au *dispositif de RUEP* comme système d'approvisionnement en eau. En milieu urbain, ce recours est parallèle et complémentaire à celui du réseau public.

Système : « ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but » [de Rosnay 1977].

Introduction générale

Cette thèse s'intéresse au développement de la Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie (RUEP) à l'échelle de l'agglomération parisienne. Cette pratique très ancienne, attachée au bâtiment, a existé partout dans le monde depuis l'âge de l'antiquité. En France, elle était très répandue jusqu'au 19ème siècle. Cependant, avec l'arrivée des réseaux centralisés d'eau potable, elle aurait presque disparu, sauf dans certains endroits isolés où le réseau centralisé n'a pas fait son apparition [Chouli 2006].

A l'instar d'autres techniques décentralisées, la RUEP réapparaît aujourd'hui en milieu urbain sous une nouvelle forme plus sophistiquée en faisant appel à des technologies et des savoirs élaborés qui permet de la qualifier de rétro-innovation [de Gouvello 2010], au sens proposé par Thierry Poujol[1] [Poujol 1990]. Progressivement, les installations de RUEP constituent un système d'approvisionnement en eau parallèle, complémentaire plus qu'alternatif au réseau d'eau potable centralisé [Coutard et Rutherford 2009].

Nous visons dans ce travail de recherche à contribuer à la compréhension des effets engendrés par ce retour, sur les réseaux d'eau et d'assainissement urbains. Ainsi, cette thèse est conçue comme une contribution au débat ouvert depuis déjà plus de vingt ans autour des vertus et des limites du modèle centralisé de gestion de l'eau en milieu urbain.

La gestion centralisée de l'eau urbaine : un modèle remis en question

Le modèle centralisé de gestion de l'eau en milieu urbain repose sur la notion de réseau (d'assainissement ou d'approvisionnement en eau potable) qui peut être définie comme : « ensemble d'équipements interconnectés, planifiés et gérés de manière centralisée à une échelle tantôt locale tantôt plus large et offrant un service plus ou moins homogène sur un territoire donné qu'il contribue ainsi à solidariser » [Coutard et Rutherford 2009].

Le réseau d'assainissement est apparu sous la forme actuelle au 19ème siècle. À l'origine, il a été créé pour évacuer les eaux pluviales et les eaux usées souvent souillées d'excréments humains ou animaux, sources de maladies. La solution appelé « tout-à-l'égout » a consisté à installer des canalisations souterraines ayant pour fonction d'évacuer ces eaux hors de la ville. Au début, cette

[1] La rétro-innovation implique, selon T. Poujol « une coupure dans le développement de la technique et sa réadaptation au monde actuel à partir des acquis d'autres technologies » (Définition adoptée depuis [Guillerm et Auffray 1984]).

solution technique a connu un large succès en évitant toute forme de contact avec les eaux souillées [Andrieu et al. 2010].

Cependant, au cours du 20ème siècle cette solution a entrainé des inconvénients qui se sont révélés de plus en plus insupportables. En rejetant les eaux usées et les eaux pluviales directement dans le milieu naturel, celui-ci s'est dégradé en conséquence. La nécessité d'assainir les eaux usées des villes avant leur restitution au milieu a donc fini par s'imposer. En passant donc, d'une logique de l'éloignement de l'eau à une logique de collecte et de traitement de cette eau [Triantafillou 1987].

Aujourd'hui, le réseau d'assainissement centralisé est remis en question pour diverses raisons. En effet, les problèmes de capacité du réseau engendrés par l'urbanisation rapide et les changements climatiques se heurtent au coût des interventions (redimensionnement, traitement,…) que ces problèmes appellent. De plus, des préoccupations environnementales croissantes favorisent le recyclage, et la réutilisation au détriment de l'évacuation pure et simple [Le Bris et Coutard 2008]. La reconnaissance institutionnelle de l'assainissement non collectif[2] (grâce à arrêté du 3 mars 1982[3] et ensuite à loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau[4]) comme un vrai mode de gestion des eaux usées témoigne de cette remise en question du modèle centralisé. Alors que ce dernier (l'assainissement non collectif) était auparavant considéré comme solution provisoire dans l'attente du raccordement à l'égout central [Weymersche 2006].

Par ailleurs, le *modèle central d'approvisionnement en eau potable* est plus rarement remis en question. M. Montginoul explique que le recours à une ressource autre que l'eau potable du réseau public reste faible et encore plus faible en milieu urbain. Par ailleurs, elle ajoute qu'aucune véritable étude n'a été effectuée sur ce sujet [Montginoul 2006].

Toutefois, le modèle central d'approvisionnement en eau potable présente lui aussi des limites : le vieillissement et la dégradation de l'infrastructure, la perte de plus de 20% du volume d'eau distribué et l'augmentation du prix du m^3 d'eau potable (assainissement compris) qui s'est accru de

[2] « Installation d'assainissement non collectif : désignent toute installation d'assainissement assurant la collecte, le transport, le traitement et l'évacuation des eaux usées domestiques ou assimilées au titre de l'article R. 214-5 du code de l'environnement des immeubles ou parties d'immeubles non raccordés à un réseau public de collecte des eaux usées » [Arrêté 2009]. D'après le ministère de l'écologie (http://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/), 10% de la population française sont concernés par l'assainissement individuel (Concerne généralement un seul bâtiment) et 4% sont concernés par l'assainissement semi collectif (Un ensemble de bâtiments) dans le milieu urbain non dense

[3] Fixant les règles de construction et d'installation des fosses septiques et appareils utilisés en matière d'assainissement autonome des bâtiments d'habitation.

[4] La loi sur l'eau exige aux communes de réaliser un zonage entre zones d'assainissement collectif et zones d'assainissement non collectif. Pour ce dernier cas, les communes doivent mettre en place un service public d'assainissement non collectif (SPANC) [Miquel 2003].

10% par an en moyenne entre 1998 et 2004 [IFEN 2007][5]. De plus, ce modèle conduit parfois à un usage abusif de la ressource (en ouvrant le robinet, l'eau potable coule abondamment) [Beyeler et Triantafillou 1987].

En France, en 2011, 78 départements ont étés forcés de prendre des mesures de restriction de consommation d'eau. Bien qu'on assiste à une baisse de la consommation sur Paris [Barraqué et al. 2008], une telle mesure a également touché la région parisienne pourtant considérée jusqu'il y a très peu de temps comme non exempte d'un risque de pénurie d'eau. Le préfet de région d'Ile-de-France a ainsi décidé d'activer en mai 2011 les mesures de restriction liées au « seuil de vigilance » et les Franciliens, entreprises, particuliers et collectivités locales, ont dû réduire les utilisations de l'eau qui ne sont pas indispensables, comme : le nettoyage des véhicules, le remplissage des piscines ou encore l'arrosage des jardins. Ce phénomène est appelé à se répéter dans les années à venir selon les spécialistes métrologique.

Désormais, la France est amenée à s'adapter au risque de sécheresses récurrentes. La ministre de l'environnement, Nathalie Kosciusko-Morizet, qui participait en décembre 2011 à la conférence du climat à Durban (Afrique du Sud), y a ainsi déclaré : « il est impératif d'améliorer notre gestion de la ressource en eau. C'est pourquoi j'ai fixé comme objectif une réduction de 20% des prélèvements d'eau d'ici à 2020 » à l'échelle nationale en France.

En plus de ces questions qui émergent aujourd'hui autour des deux modèles centraux de gestion de l'eau en milieu urbain, une autre vient s'ajouter au tournant des 20ème et 21ème siècles. Il s'agit de la question environnementale qui touche profondément le domaine de l'eau, vu qu'il s'agit d'une ressource vitale non remplaçable soumise à une dégradation continue. A l'échelle mondiale, l'UNESCO dresse ainsi un portrait alarmant de la situation en matière d'eau douce. L'organisation rappelle qu'aujourd'hui près de 1.2 milliard d'individus n'ont pas accès à l'eau potable saine, soit 20 % de la population mondiale et estime que plus de 5 milliards d'individus ne disposeront pas d'accès à des installations sanitaires décentes en 2030 (soit 67% de la population mondiale) [UNESCO 2010].

Face à ce contexte, deux types de réponses sont envisagées : des réponses *institutionnelles* comme la *gestion intégrée des ressources en eau « GIRE »*[6] ; et des réponses *structurelles*, qui consistent à développer, en complément des solutions traditionnelles (la construction des nouveaux ouvrages

[5] Il convient toutefois de préciser que cette augmentation est du en grande partie au coût des investissements en assainissement.

[6] « Approche globale dans la gestion des ressources en eau considérant celle-ci comme une ressource unique ayant des utilisations concurrentes et des interactions avec les systèmes écologiques, sociaux et économiques » [BAD 2000].

d'eau et d'assainissement et l'entretien des anciens), des *techniques alternatives* aux réseaux [Wenger 2003, GWP 2009].

Vers une gestion « in situ » de l'eau urbaine : l'émergence des nouvelles techniques alternatives aux réseaux centralisés

Les *techniques alternatives*[7] aux réseaux sont apparues comme une concrétisation de l'approche GIRE, impliquant ainsi les citoyens comme un acteur dans la gestion de l'eau en milieu urbain. Elles répondent à un objectif double : d'une part, faire des économies d'eau potable pour réduire le prélèvement d'eau douce, d'autre part, lutter contre les problèmes de gestion de l'eau en ville causés par le réseau d'assainissement centralisé (inondation, pollution, saturation du réseau, …) et qui sont liés à leur tour à l'imperméabilisation et à la croissance démographique des zones urbanisées. Ces techniques alternatives concernent les réseaux d'assainissement (toiture réservoir, bassin de retenue,…) et d'eau potable (réutilisation des eaux usées, récupération et utilisation d'eau de pluie,…).

La récupération et l'utilisation de l'eau de pluie : une dynamique propre

Afin de donner des éléments d'analyse sur l'émergence de ces solutions (les techniques alternatives) qui émergent depuis quelques années, nous avons décidé de nous intéresser à l'une d'entre elles. Il s'agit de la technique de Récupération et d'Utilisation de l'Eau de Pluie (RUEP). Cette technique nous a plus particulièrement intéressés du fait de sa dynamique actuelle de développement.

Au regard de la littérature importante concernant les techniques alternatives en assainissement, les techniques alternatives au réseau d'eau potable (dont la RUEP faite partie) sont assez peu abordées dans la production scientifique. Ceci peut être expliqué en partie, par la résistance du modèle du réseau d'eau potable évoquée plus haut et aussi, par le fait que les techniques alternatives en assainissement ont débuté il y a longtemps, alors que les techniques alternatives à l'eau potable sont plus récentes (ou considérées comme une pratique marginale).

Mais la RUEP se caractérise actuellement par une dynamique réglementaire et normative spécifique. Ainsi, depuis Août 2008, la RUEP fait l'objet d'un arrêté « relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments », alors que le cadre réglementaire se référait avant cette date à d'autres domaines (milieu aquatique, code de santé, …). De plus, l'AFNOR, vient de publier (décembre 2011) la norme française spécifique aux

[7] En hydrologie urbaine les techniques alternatives sont définies, par exemple, comme « l'ensemble des techniques qui viennent se substituer au schéma centralisateur et mono-technique traditionnel qui prévalait en matière d'assainissement des eaux pluviales jusque dans les années 1990 » [Maigne 2006]. Pour nous, il s'agit de toutes solutions qui visent la gestion urbaine de l'eau sauf celles des réseaux centralisés d'eau et d'assainissement.

« Systèmes de récupération de l'eau de pluie pour son utilisation à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments ». Dans le même sens, on note aussi l'émergence d'une filière spécifique à cette pratique (marché, associations, …) et un intérêt particulier de la part des collectivités locales, qui promeuvent de diverses manières cette pratique sur leur territoire, notamment des incitations financières à l'acquisition de dispositifs de la part des particuliers.

Impacts et potentiel de la RUEP sur la gestion urbaine de l'eau

Il s'agit de vérifier la capacité de la RUEP à participer à la résolution de la « crise » des réseaux centralisés d'eau et d'assainissement. En effet, on assiste aujourd'hui à une multitude de propositions sous forme de techniques alternatives et d'adaptations institutionnelles, mais on connaît mal, de manière générale, dans quelle mesure elles sont susceptibles de remplacer ou de compléter les systèmes techniques existants.

Dans ce contexte, notre travail est une contribution à l'étude des impacts de la RUEP sur les réseaux d'eau et d'assainissement en milieu urbain. Pour ce faire, il convient d'aborder cette pratique en tant que phénomène urbain, c'est à dire d'étudier la RUEP et ses effets à une échelle urbaine.

L'évaluation de ces impacts est un sujet lourd à traiter dans le cadre d'une thèse dont le temps et les moyens sont limités. Dès lors, nous avons choisi de centrer notre recherche sur la phase « amont » de l'évaluation des impacts. Aussi l'objectif de cette thèse est de mesurer l'ampleur potentielle de la RUEP dans le cas de son développement à grande échelle, l'échelle urbaine. Pour ce faire, nous avons développé notre travail en trois parties.

La première partie intitulée « d'*une approche descriptive de la Récupération et d'Utilisation de l'Eau de Pluie à la définition d'une problématique* » est consacrée à une revue de la littérature scientifique dans l'objectif de faire un état des connaissances établies relatives à cette pratique. Une description technique et historique de la RUEP, en plus d'une section spécifique au contexte français font l'objet du *chapitre 1*. Le but de ce premier chapitre est de définir la RUEP à travers ses caractéristiques techniques, mais aussi de la replacer dans le contexte national actuel. Dans le *chapitre 2* nous nous attachons à la littérature internationale et nationale dans le but de comprendre la spécificité de cette « pratique urbaine ». Nous noterons dans ce chapitre que la RUEP est une pratique spécifique au bâtiment. Ce constat nous amène alors à poser la question suivante : comment est-il possible de l'étudier à une échelle plus large (urbaine) ? Cette problématique de *changement d'échelles* fait l'objet du *chapitre 3*.

La seconde partie nommée «*Partie II. Une approche renouvelée du calcul du PPWS*[8] *aux échelles urbaine et supra-urbaine* » est consacrée à l'évaluation de l'ampleur de la RUEP à une échelle urbaine. Comme il s'agit d'une démarche de changement d'échelles complexe, nous adoptons dans un premier temps un certain nombre de principes méthodologiques et nous introduisons une échelle intermédiaire (l'échelle communale) permettant de réduire cette complexité. Par ailleurs, nous nous attachons à évaluer la capacité d'utilisation de l'eau de pluie à différentes échelles. Nous commençons par l'évaluation de cette capacité à l'échelle du bâtiment (*chapitre 4*). Dans un second temps, nous présentons une méthode permettant de passer de l'échelle du bâtiment à celle de la commune, grâce à une étude typologique des bâtiments (*chapitre 5*). Enfin, nous passons de l'échelle communale aux échelles urbaines plus larges (agglomération, région,…) grâce à une étude typologique des communes (chapitre 6). Pour mettre en œuvre cette approche, nous avons choisi l'agglomération parisienne ; il s'agit d'une région significative à l'échelle nationale comme à l'échelle européenne.

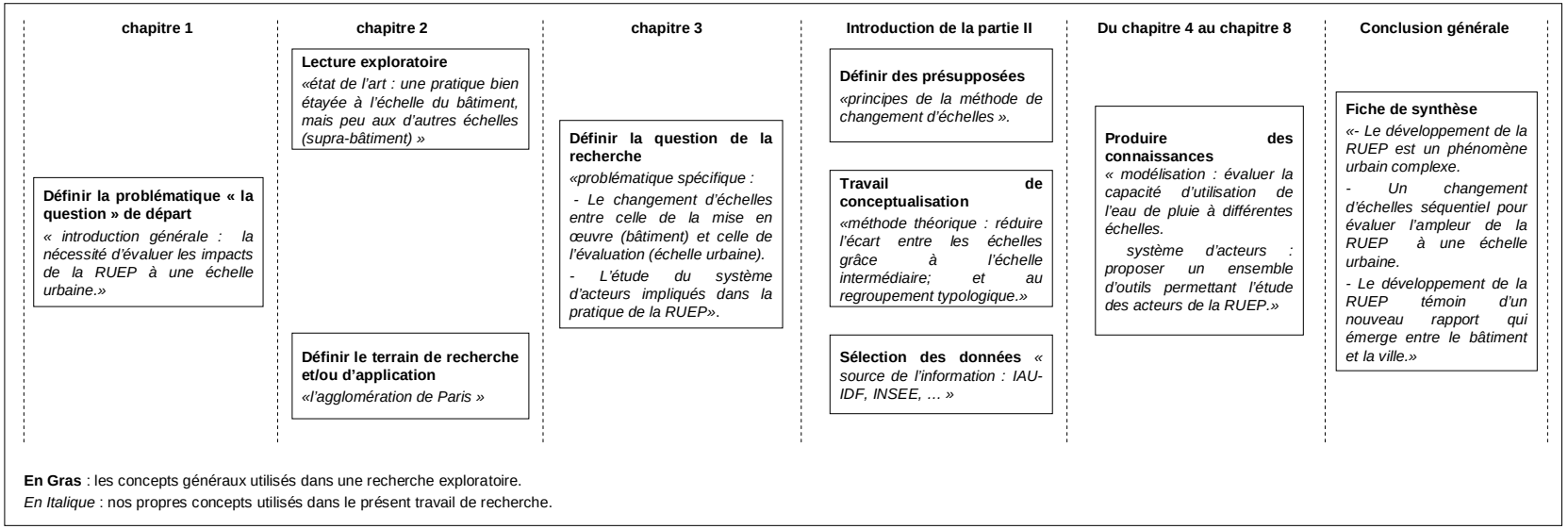
La dernière partie appelée « *une première étude du système d'acteurs de la de la RUEP* » est consacrée à l'étude du rôle du système d'acteurs dans le développement de la RUEP. Il ne s'agit pas d'une étude approfondie, mais d'une première étude exploratoire du système d'acteurs concerné par la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie. Nous caractérisons chacun de ces acteurs par un certain nombre de notions qui rendent compte de la complexité du système ainsi constitué. Cela fait l'objet du *chapitre 7*. Puis, dans le *chapitre 8* nous tenons un discours plus pratique en prenant des exemples concrets au sein de l'agglomération parisienne et en appliquant aux systèmes d'acteurs locaux les outils d'analyse dégagés dans le chapitre précédent.

Du point de vue de son positionnement, cette recherche s'inscrit dans le domaine de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire. La nouveauté du sujet d'étude, sa complexité et son caractère interdisciplinaire (hydrologie, urbanisme, sciences humaines,…) nous ont conduit à privilégier une *recherche exploratoire*.

Le schéma suivant exprime le protocole exploratoire nous avons proposé afin de conduire ce travail. Nous avons repris le protocole type d'une recherche exploratoire [Fugier 2009] et nous l'avons adapté à notre cas d'étude.

[8] *Potential for Potable Water Savings* (potentiel d'économie d'eau potable)

Figure 1. Schéma du protocole exploratoire suivi durant notre travail de thèse. Source: adapté de [Fugier 2009]



Partie I. D'une approche descriptive de la Récupération et de l'Utilisation de l'Eau de Pluie à la définition d'une problématique.

Chapitre 1. La Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : une pratique associée au bâtiment

Chapitre 2. Etude de la Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : de l'échelle du bâtiment à l'échelle urbaine

Chapitre 3. Un enjeu central de la problématique de recherche : le changement d'échelles

Ce chapitre général est divisé en trois sections :

Dans la première section, nous effectuons un aperçu rapide de l'histoire de la RUEP et de son retour dans le contexte actuel.

La deuxième section est consacrée à la description du dispositif de RUEP. Nous détaillons les composants, les appareils et les fonctions de chaque partie de ce dispositif.

La dernière section est dédiée au cas français. Nous décrivons la RUEP dans le contexte français actuel, ensuite, nous exposons le cadre réglementaire et enfin, nous terminons en dégageant quelques spécificités françaises.

1.1. Introduction

La Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie (RUEP) est une pratique qui consiste à collecter, à stocker et à utiliser l'eau de pluie issue des toitures de bâtiments. Cette eau de pluie peut être utilisée pour des usages domestiques, industriels, agricultures, élevages ….voire, dans certains contextes et, après certains traitements, pour des usages de préparation des aliments ou boissons. Elle peut être aussi utilisée comme moyen de lutte contre les inondations ou encore comme réserve incendie [Datar 2006, Konig 2000].

Le principe général de la pratique de RUEP est schématisé ci-dessous :

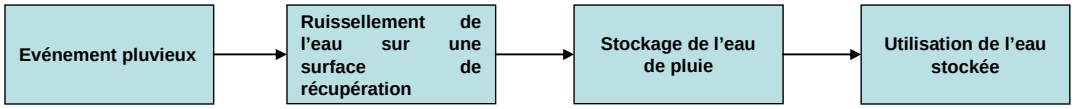


Figure 2. Le principe général de la RUEP. Source : adapté depuis [Roebuck 2007]

Un « dispositif de RUEP »[9] peut varier entre une simple cuve mise en dessous d'une gouttière, où l'eau de pluie stockée est utilisée pour l'arrosage de la pelouse généralement et un ensemble d'appareils (cuve, filtre, pompe,…) plus compliqués, couramment synonyme d'un usage à l'intérieur du bâtiment, tel que l'alimentation des chasses d'eau des toilettes et/ou le lave-linge [Roebuck 2007].

Toutefois, tous les dispositifs de RUEP partagent au moins les composants suivants [Gould et Nissen-Peterson 1999] :

- *La surface de récupération* : la toiture du bâtiment qui permet de capter l'eau de pluie.
- *La gouttière* : pour transporter l'eau entre la surface de récupération et la cuve.
- *La cuve de stockage* : l'espace de stockage de l'eau récupérée.
- *Un dispositif de sortie de l'eau* : qui achemine l'eau vers les points d'usages.
- *Un trop plein* : afin d'évacuer l'eau de pluie lorsque la cuve est pleine.

A. Fewkes classe les usages de l'eau pluie comme suit [Fewkes 1999 (a)] :

- Eau potable ou son complément (dans les pays en voie de développement).
- Complément à l'eau potable (dans les pays développés).

[9] Nous entendons par le terme « dispositif de RUEP » l'ensemble des composants techniques utilisés pour remplir la fonction « utilisation de l'eau de pluie » à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment donné.

Il convient de signaler que jusqu'au début du 20éme siècle, les dispositifs de RUEP étaient utilisés dans les zones dépourvues de toutes formes d'approvisionnement en eau, ainsi que dans les zones arides et semi arides [Krishana et al. 2005].

Historiquement, toutes les études ont montré que la RUEP est une pratique très ancienne (utilisée par l'homme dès l'antiquité). Plusieurs auteurs ont affirmé qu'il n'y a pas une origine déterminée à cette pratique. Néanmoins, Des traces et des preuves ont été trouvées partout dans le monde [Agawal et Narain 1997] :

- Au Moyen-Orient et depuis 2000 avant J.C, le ruissellement des collines a été collecté et stocké dans des citernes pour des usages agricoles et domestiques.
- En Inde, des pierres ont été creusées depuis 3000 avant J.C pour stocker l'eau de pluie de ruissellement.
- Il y a aussi des preuves dans la région méditerranéenne de l'existence des dispositifs de RUEP dans les palais et les maisons des personnes riches.
- Dans les maisons de la Rome antique il se trouvait des bassins nommés «impluvium » utilisés pour récupérer l'eau de pluie.
- En France, des fermes à Saint-Saturnin-d'Apt dans le Vaucluse (Nord-est) étaient alimentées par une citerne creusée dans la roche calcaire et alimentée en eau de pluie[10].

D'autres preuves de l'usage des dispositifs de RUEP pour s'approvisionner en eau ont été retrouvées également en : Afrique du nord, Turquie, Japon, Pakistan, le monde Islamique, Afrique subsaharienne, Australie, Amérique du nord et du sud [Shata 1982].

Par ailleurs, dans le contexte actuel les dispositifs de RUEP sont largement diffusés dans certaines zones rurales où la réalisation du réseau d'eau potable demeure chère et peu rentable. Au début des années 80, S. Perrens a estimé qu'il y avait un million de cuves de stockage d'eau de pluie dans les zones rurales d'Australie [Perrens 1982]. Dans le même sens, A. Fewkes a relevé que l'utilisation de l'eau de pluie à des fins non potables dans les zones urbaines a nettement augmenté au cours des 20 dernières années [Fewkes 2006].

Des études effectuées entre la fin du 20ème siècle et le début du 21ème siècle ont montré que le nombre des dispositifs de RUEP installés est variable d'un pays à un autre. En Allemagne, T. Hermann a estimé qu'en 1999, environ 100 000 dispositifs existaient et offraient un volume de stockage de plus 600 000 m^3 [Herrmann et Schmida 1999]. En Allemagne toujours, K.W. Konig a

[10] http://www.crit.archi.fr/produits%20innovants/FICHES/Eaux%20pluviales/presentation.html#Anchor-Chapitre-2

estimé de son côté qu'entre 50 000 à 100 000 dispositifs de RUEP sont fabriqués et installés chaque année par les professionnels du domaine [Konig 2001].

1.2. La composition d'un dispositif de RUEP

Les composants d'un dispositif de RUEP peuvent être classés en deux catégories :

- *Les composants propres au bâtiment*. Ils caractérisent le bâtiment, mais ils sont nécessaires au fonctionnement du dispositif de RUEP. Il s'agit de la surface de collecte, de la gouttière et les points d'usage susceptibles d'être alimentés par l'eau de pluie.
- *Les composants propres au dispositif*. Ils sont des composants qui s'ajoutent au bâtiment si nous désirons l'équiper d'un dispositif de RUEP. Comme nous l'avons dit plus haut, ces composants sont différents selon plusieurs paramètres et considérations (nature du bâtiment, usages visés, niveau de sophistication, qualité de l'eau de pluie souhaitée,…).

Un dispositif de RUEP peut prendre plusieurs formes selon la nature du bâtiment qui abrite le dispositif, les usages visés et le degré de complexité et de sophistication souhaité. Cependant, entre une simple cuve mise de manière artisanale et des composants plus sophistiqués, le même principe général est conservé (Cf. Figure 2).

Afin de comprendre le fonctionnement d'un dispositif (qualifié comme sophistiqué) et de ses composants, nous suivons le cheminement de l'eau de pluie de son état initial « événement pluvieux » jusqu'à sa finalité « usage » :

1.2.1. Captage et récupération de l'eau de pluie

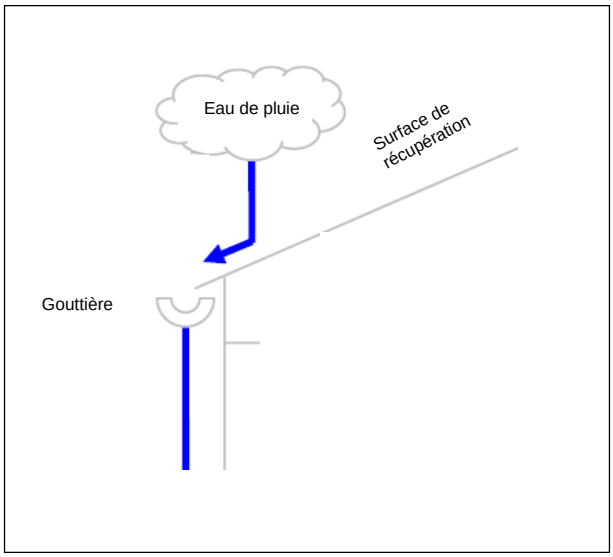


Figure 3. Captage et de récupération de l'eau de pluie. Source : adapté de [Roebuck 2007].

L'eau de pluie d'un événement pluvieux tombe sur le toit d'un bâtiment (Surface de récupération), elle ruisselle par la suite sur cette surface vers les gouttières et les descentes qui assurent son transport en bas du bâtiment.

1.2.2. La déviation de rinçage

L'eau de pluie issue de la phase précédente passe ensuite par un dispositif de « *déviation* » utilisé pour rincer la surface de récupération et pour éviter de stocker et d'utiliser les premières pluies après une longue période sèche. En effet, après une telle période les toitures des bâtiments (surfaces de récupération) sont deviennent contaminées par des polluants : particules atmosphériques, fientes d'oiseaux, feuilles des arbres et autres débris [Cunliffe 1998, Fewkes 2006].

C'est-à-dire que, quand il pleut une grande partie de ces contaminants est transportée avec l'eau de pluie qui rince les toitures. C. Wu a montré que la première vague de ruissellement est plus polluée que les flux ultérieurs et que la concentration des contaminants est décroissante dans le temps au cours d'un même événement pluviométrique et croît avec le temps séparant deux événements successifs [Wu et al. 2003].

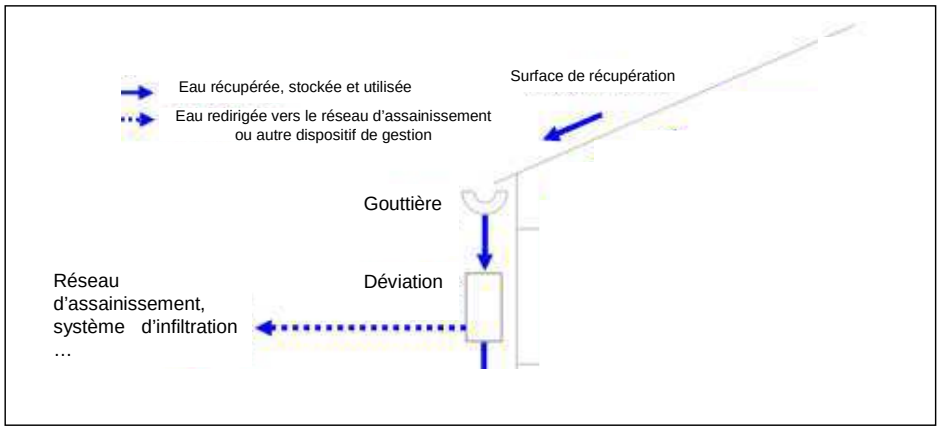


Figure 4. Le composant de rinçage (déviation). Source : adapté de [Roebuck 2007].

Par conséquent et dans le même sens, D.B. Martinson a mis en évidence que si l'eau de pluie de la première vague ne se reverse pas dans la cuve de stockage (elle se reverse dans un autre dispositif de gestion de l'eau tel que : le réseau d'assainissement, puits d'infiltration,…), l'eau stockée a une qualité nettement meilleure [Martinson et Thomas 2005].

Techniquement, il existe plusieurs appareils pour éviter que l'eau de pluie issue de la première vague ne soit pas stockée dans la cuve. Dans la figure ci-dessous, nous donnons quelques exemples de ces appareils.

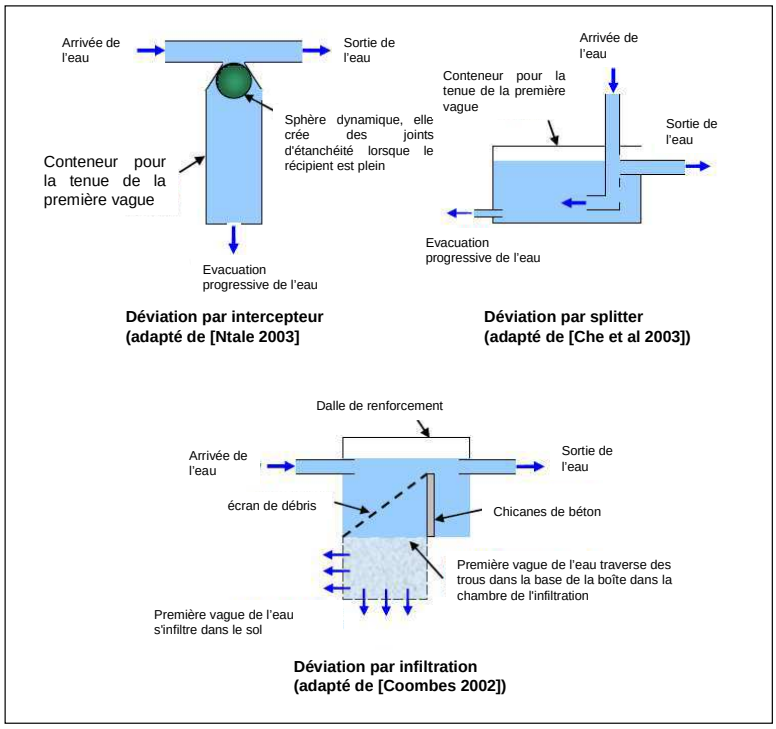


Figure 5. Quelques exemples des appareils de déviation de la première vague de l'eau de pluie.

1.2.3. Filtre externe

Après le rinçage de la surface de récupération grâce aux appareils de déviation, l'eau de pluie qui vient ensuite traverse un premier « filtre externe ». Ce dernier est recommandé pour filtrer l'eau de pluie avant de faire son entrée dans la cuve de stockage.

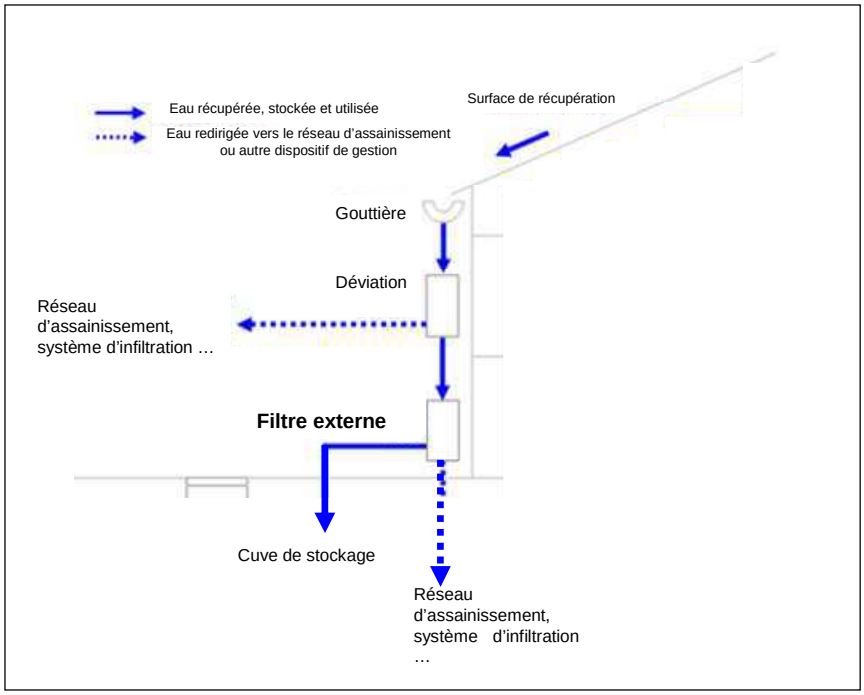


Figure 6. La position du filtre externe dans le dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007]

Ici, le but est d'enlever les débris comme les feuilles des arbres, le sable, la mousse et la terre ou autre qui s'échappent tout de même de la phase précédente. Ces filtres sont à nettoyer par l'utilisateur du dispositif de RUEP ou de type autonettoyant [de Gouvello 2010].

Matériellement, il s'agit d'une grille où l'eau passe à travers et se sépare mécaniquement de tous les débris plus grands que la taille de ses mailles (de 0,2 mm à 1 cm suivant la finesse du maillage). Cette eau est versée directement dans la cuve de stockage, pendant que les débris résiduels sont détournés vers le réseau d'assainissement ou les autres dispositifs de gestion d'eau de pluie [de Gouvello 2010, Roebuck 2007]

Ce type de filtres peut prendre plusieurs formes (plate, cylindrique,…) et peut être placé en différents endroits, à condition qu'il soit en amont de la cuve de stockage.

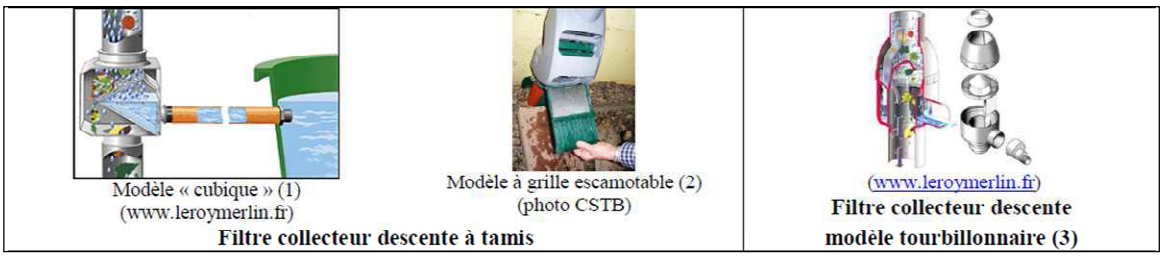


Figure 7. Quelques modèles des filtres externes.

1.2.4. Cuve de stockage

L'eau de pluie qui traverse le filtre externe s'achemine vers « la cuve de stockage », il s'agit d'un espace de stockage et de conservation d'eau récupérée afin de la mettre en sécurité en quantité et en qualité [de Gouvello 2010].

La cuve est utilisée dans la majorité des cas comme espace de stockage, elle varie selon deux critères : son matériau de fabrication et son emplacement.

Selon le premier critère (les matériaux de fabrication) la cuve de stockage peut être en :

- PEHD (Polyéthylène haute densité) ;
- béton (préfabriquée ou construite in-situ) ;
- acier galvanisé ;

Et selon le second critère (emplacement) elle peut être :

- aérienne extérieure ;
- aérienne intérieure ;
- enterrée.

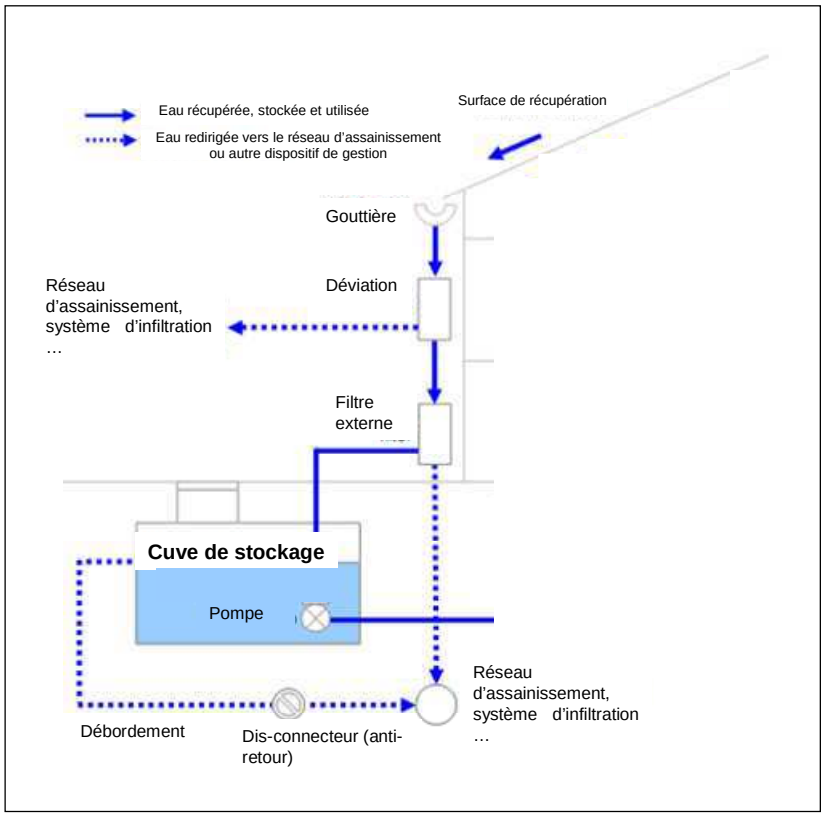


Figure 8. La cuve de stockage d'un dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007]

Dans les pays développés, le dispositif de stockage le plus couramment utilisé est la cuve de type souterraine fabriquée en PEHD [Hassell 2005].

Figure 9. Différents types de cuves de stockage de l'eau de pluie.

En croisant les deux principaux critères de la cuve de stockage. Plusieurs configurations sont possibles et constatées sur le terrain :

- la cuve en PEHD peut être placée dans différents emplacements : aérienne-extérieure, aérienne-intérieure ou enterrée. A noter que dans le cas où elle est placée dans un endroit de passages des piétons et/ ou des véhicules, un renforcement est obligatoire afin qu'elle puisse supporter les charges de ces derniers.
- La cuve en béton est souvent enterrée. Deux cas de figure sont possibles : le modèle préfabriqué ou celui fabriqué sur place (il concerne surtout les cuves de grande capacité).
- La cuve en acier est aussi souvent enterrée. Son utilisation est généralement limitée aux grosses capacités (50 m^3 et plus)

D'autres types de cuves existent, elles ne sont pas aussi diffusées aujourd'hui, car elles répondent à des besoins spécifiques (manque d'espace, …). Par exemple, les cuves souples qui peuvent être installées dans un espace étroit (vide sanitaire) ou encore les cuves de type « MURDEAU » qui peuvent être intégrées comme revêtement mural.

Par ailleurs, une cuve de stockage de l'eau de pluie doit être obligatoirement équipée d'un :

Trop-plein. Il est possible que la cuve de stockage soit totalement remplie, alors qu'elle continue à recevoir l'eau de pluie (un grand évènement pluvieux, par exemple). C'est pourquoi, un dispositif d'évacuation de ce surplus « trop-plein » est obligatoire. Concrètement, il s'agit d'une conduite connectée à un système d'évacuation (réseau d'assainissement ou autre). La section de cette conduite doit être calculée pour absorber la totalité de l'eau rentrant lorsque la cuve est pleine [de Gouvello 2010].

Alors qu'il est simplement recommandé qu'elle soit équipée d'une :

Pompe de distribution. Pour remettre l'eau stockée en pression dans le but de l'acheminer vers les points d'usages. Toutefois, cette mission peut être assurée de deux façons : par gravité (dans le cas d'un réservoir de tête) ou par pompe de distribution. B. de Gouvello a dégagé 4 types de pompes : pompe manuelle, pompe émergée, pompe de surface et pompe sur-presseur [de Gouvello 2010].

Au cours de la distribution de l'eau stockée et avant son arrivée aux points d'usages, elle peut subir de nouveau un traitement. Deux types d'appareils sont recommandés pour assurer cette mission : le filtre interne et l'appareil UV.

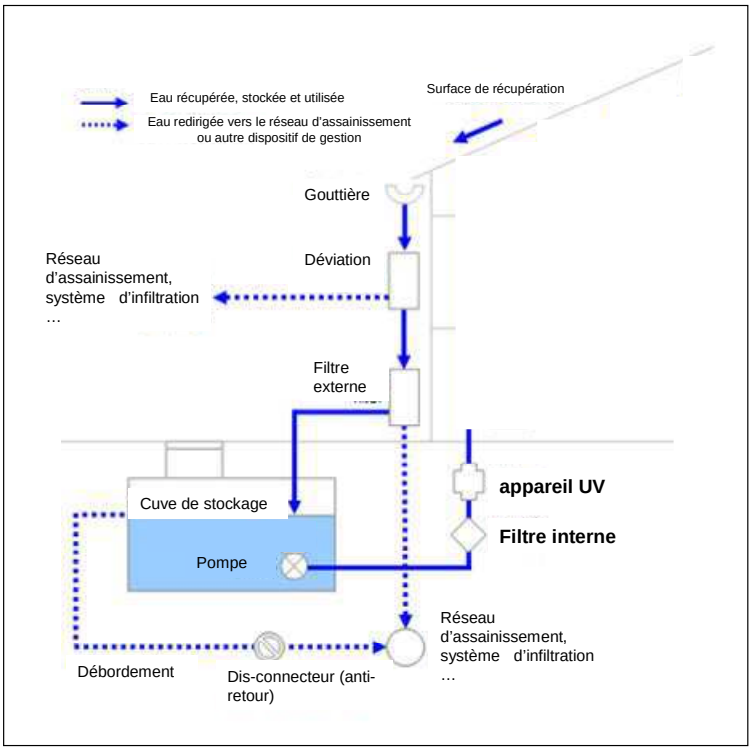


Figure 10. Le traitement par filtre interne et appareil UV. Source : adapté de [Roebuck 2007]

1.2.5. Filtre interne

Ces types de filtres sont placés après la cuve de stockage. Il s'agit d'un micro-filtre « bobine » qui exige le passage de l'eau sous pression. Les micro-filtres ont pour rôle d'assurer une filtration fine afin de répondre aux exigences qualitatives de certains usages (le lave linge, par exemple), leur principe de fonctionnement est comparable : les particules avec taille supérieure à la maille du filtre seront retenues, alors que l'eau traverse le filtre sous l'effet de la pression. Parfois, il existe plusieurs séries de filtres placés dans l'ordre décroissant, c'est-à-dire, l'unité avec la maille la plus grande en premier, ensuite le reste des unités selon la taille de leurs mailles [de Gouvello 2010, Leggett et al. 2001(b)].

Figure 11. Filtre interne « micro-filtre –bobine- ».

1.2.6. Appareils UV

Les rayons Ultra-violets (UV) sont efficaces pour désinfecter l'eau d'éventuels bactéries et virus d'origine hydrique. T. Hall a montré que la désinfection UV de l'eau peut éliminer jusqu'à 99,9% des micro-organismes qui se trouvent dans l'eau [Hall et al. 1997].

Le principe de fonctionnement de ces appareils est le suivant : l'eau passe dans une ou plusieurs gaines de quartz qui contiennent des lampes et l'eau en circulant à leur voisinage en absorbe rapidement les rayons UV. Deux classes de lampes existent : basse pression et haute pression. Leurs durées de vie sont d'environ 3000 heures pour la première classe et 8000 heures pour la seconde [de Gouvello 2010].

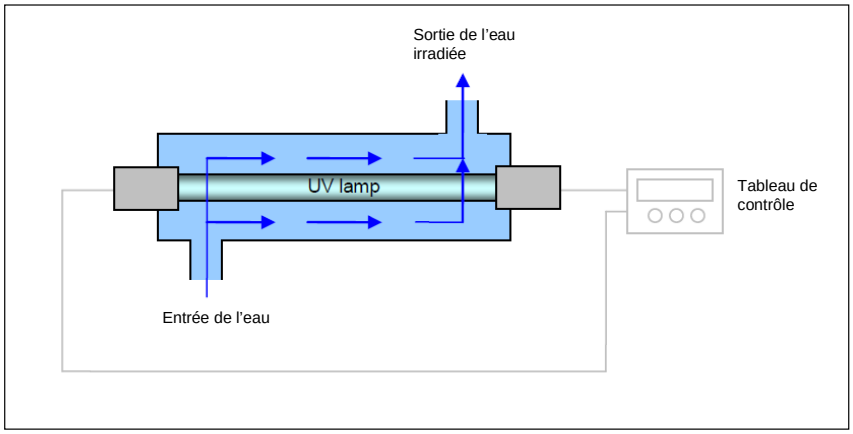


Figure 12. Schéma du traitement de l'eau par UV. Source : adapté de [Leggett et al. 2001 (b)]

1.2.7. Réservoir de tête

Ce type de réservoir se trouve dans les dispositifs de RUEP qui utilisent la gravité comme moyen de distribution de l'eau de pluie. Pour que ce principe fonctionne, le réservoir doit être situé au-dessus de tous les points d'usage.

Le réservoir de tête est aussi équipé par un « trop plein » qui dirige l'eau pompée vers le réseau d'assainissement, bien que celui-ci (réservoir) dispose d'un appareil qui coupe le pompage de l'eau dès son remplissage. Ce trop plein est utilisé seulement dans le cas d'un dysfonctionnement de cet appareil.

1.2.8. Points de puisage

L'eau de pluie est désormais prête à l'utilisation, elle sera transportée vers les points d'usage non potable (chasses d'eau des toilettes, machine à laver, robinet d'arrosage…) à travers un réseau de tuyaux. Ces derniers sont généralement soumis à la même norme que les tuyaux du réseau d'eau

potable, mais parfois, il est nécessaire de les signaler par une étiquette ou une couleur spécifique [Leggett et al. 2001(b)].

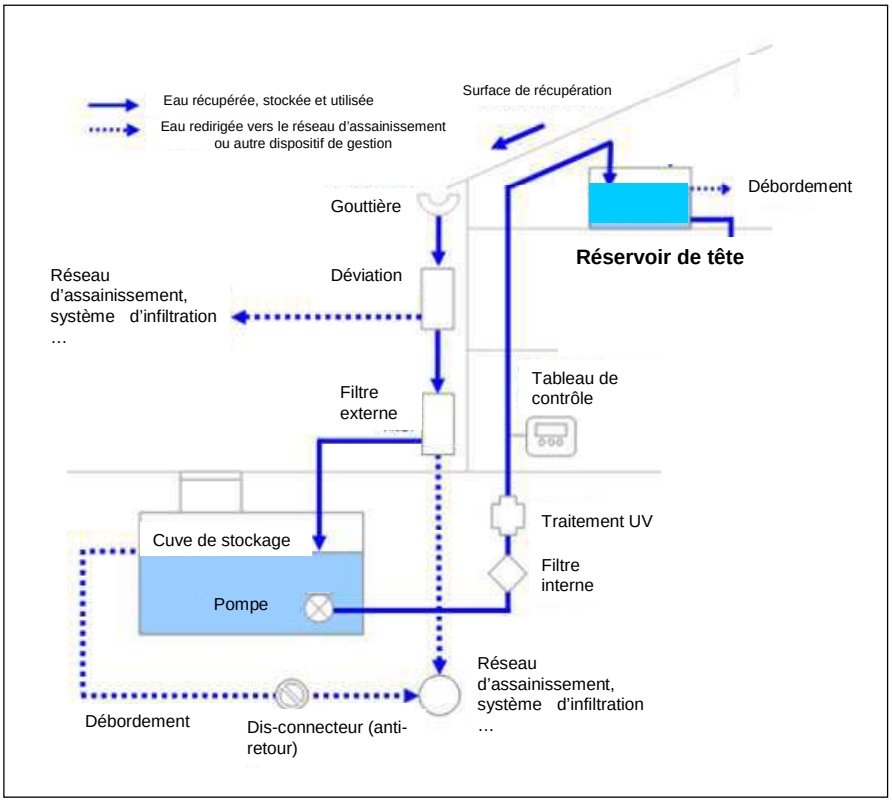


Figure 13. La position du réservoir de tête dans le dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007]

1.2.9. Appoint en eau potable

Dans le cas d'une rupture d'approvisionnement en eau de pluie (cuve de stockage et réservoir de tête vides), il est nécessaire d'assurer la continuité du service (approvisionnement en eau). En conséquence, la réalisation d'un appoint d'eau potable est nécessaire pour garantir cette mission.

1.2.10. Autres composants

Il existe d'autres composants du dispositif de RUEP tels que : les vannes qui isolent une partie du dispositif lors de l'entretien et de la réparation, les compteurs qui estiment le volume d'eau de pluie utilisée (parfois de chaque usage), …

Cependant, les composants les plus importants sont les « dispositifs de sécurisation ». Il s'agit d'un ensemble d'outils et de mesures qui ont pour rôle d'assurer la sécurité et la prévention des usagers.

B. de Gouvello a relevé 3 types de sécurisation d'un dispositif de REUP [de Gouvello 2010].

1. *Signalisation*. Il faut signaler la présence de l'eau non potable à l'aide d'un pictogramme explicite (porte la mention « eau non potable ») placé à côté du point d'accès de l'eau de pluie.
2. *Prévention*. Pour éviter toute utilisation inadaptée, il faut isoler le point de soutirage ou le verrouiller.
3. *Sécurisation*. Qui consiste à sécuriser l'accès à la cuve de stockage et aux autres composants qui constituent un éventuel danger (tableau de contrôle électrique,…).

A ce stade, le dispositif de RUEP est désormais complet et il peut fonctionner correctement en remplaçant l'eau potable par celle de pluie pour les usages non potables.

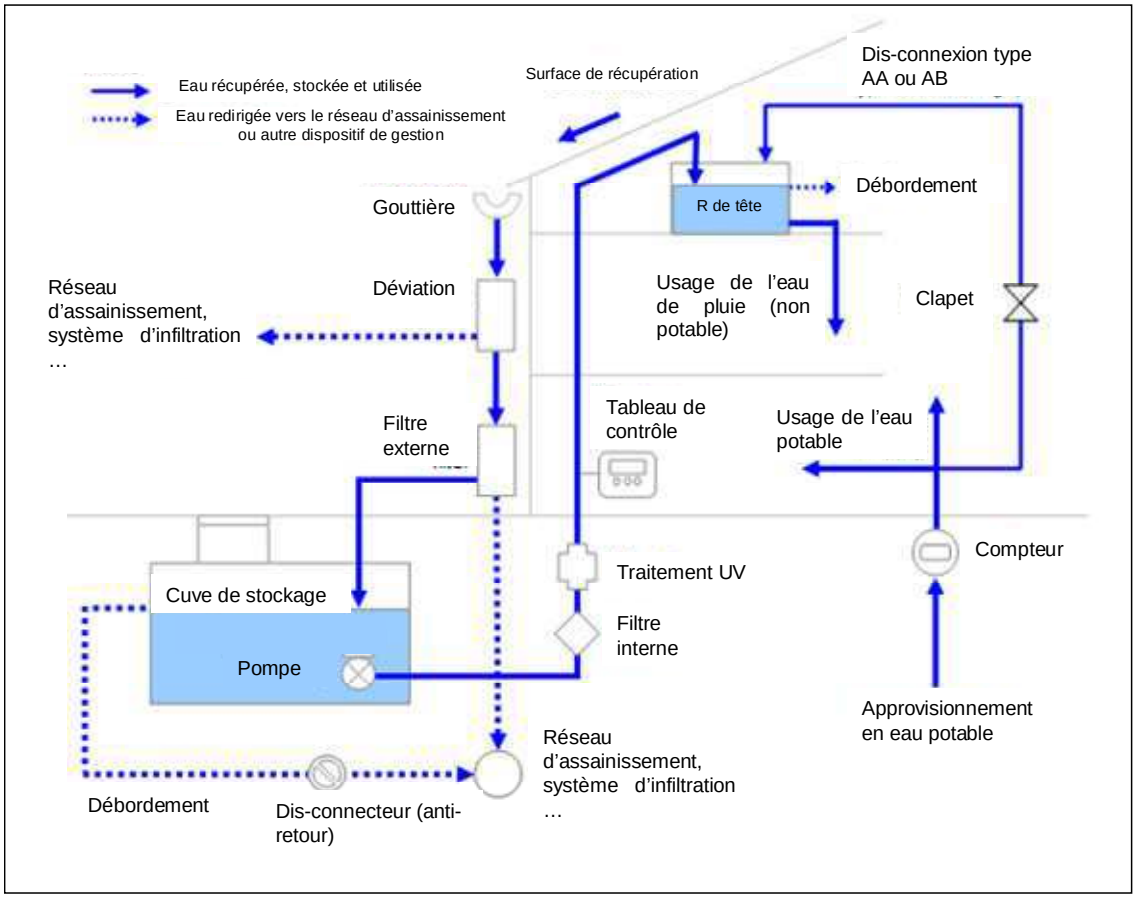


Figure 14. Un dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007]

Nous avons choisi ce schéma pour représenter un dispositif de RUEP car il est le plus complet en termes des composants et d'appareils nécessaires à son fonctionnement. Cependant, dans la littérature, quatre types de dispositifs de RUEP sont repérés. Le critère de classification de ces dispositifs repose sur la méthode de pompage de l'eau vers les points de puisage [Leggett et al. 2001(b), Herrmann et Schmida 1999]. On trouve alors :

- Dispositif où l'eau de pluie est pompée vers un réservoir de tête et la gravité se charge de la distribution. Ce type de dispositif est nommé « dispositif avec système de pompage indirect ».
- Dispositif où l'eau de pluie est pompée directement à l'aide d'une pompe industrielle. Ce type de dispositif est nommé « dispositif avec pompe ».
- Dispositif où l'eau de pluie est pompée en utilisant directement la gravité sans l'aide de la pompe industrielle. Il est nommé « dispositif gravitaire »
- Toutefois, il existe un autre type qui n'utilise pas de pompe industrielle ni la gravité, mais dans lequel l'eau est utilisée directement à partir de la cuve de stockage à l'aide d'un arrosoir ou d'un tuyau même si la pression reste faible. Ce système concerne les dispositifs de RUEP simple de type « cuve aérienne-extérieure » qui sont réservés à l'arrosage du jardin ou encore au lavage des véhicules.

D'autres types et configurations peuvent exister (selon : emplacement de la cuve, les usages visés, les types et les fonctions des bâtiments,…) mais ils gardent, cependant, le même principe de fonctionnement évoqué plus haut.

1.3. La RUEP dans le contexte Français

Les dernières années témoignent d'un développement rapide de la pratique de RUEP en milieu urbain. Nous expliquons ce développement par au moins 3 causes :

- Le développement des nouvelles approches dans le domaine de la construction et de l'urbanisme qui intègrent de plus en plus des préoccupations environnementales dont la RUEP faite partie.
- La mise en place de diverses actions d'encouragement et d'incitation de la part des collectivités locales dont l'aide financière aux particuliers qui souhaitent adopter un dispositif de RUEP.
- L'apparition d'un secteur d'activité spécifique à cette pratique. Ce dernier comporte deux volets : le premier dédié à « l'aide au dimensionnement et au choix des matériaux » et le second dédié à la « vente des matériaux ».

1.3.1. État des lieux du développement de la RUEP

En France, la RUEP été très répondue jusqu'au 19ème siècle. Néanmoins, dès l'arrivée du réseau public d'eau potable, elle a presque disparue, sauf dans certains endroits isolés où l'eau du réseau n'est pas encore parvenue.

Le CSTB a effectué en 2004 un recensement des dispositifs de RUEP en France, il s'est intéressé notamment aux bâtiments à usage collectif. Ce recensement a permis d'identifier environ 70 projets de RUEP distribués sur 25 départements majoritairement du nord, de l'est et de la Bretagne. L'étude a révélé également qu'une grande variété de bâtiments à usage collectif sont concernés (établissements scolaires, immeubles de logements, immeubles de bureaux, espaces culturels,…) [de Gouvello et Khouil 2004].

En 2009 et selon une enquête du C.I.Eau, 15% des français seraient équipés d'un dispositif de RUEP, ce taux augmente à 25% pour ceux qui habitent dans des maisons individuelles [C.I.Eau 2009]. K.W. Konig a expliqué que ces dispositifs sont souvent simples, de type « cuve aérienne-extérieure » utilisée principalement pour l'arrosage du jardin et que les dispositifs compliqués qui utilisent l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment (rinçage des toilettes et/ou lave linge) sont presque inexistants en France [Konig 2001].

1.3.2. Le cadre réglementaire

B. de Gouvello a donné une description détaillée du cadre réglementaire antérieur et actuel spécifique à la pratique de la RUEP en France [de Gouvello 2010]. Nous résumons ce cadre réglementaire en se basant sur cette description :

Avant août 2008, il n'y avait pas de cadre réglementaire spécifique à la RUEP à l'intérieur du bâtiment. L'utilisation de l'eau de pluie se réfère alors à l'article 641 du code civil qui stipule que « tout propriétaire a le droit d'user et de disposer des eaux pluviales qui tombent sur son fonds ». Cependant, cet article n'aborde pas les questions d'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment, et la seule référence qui y répond même partiellement est l'article R. 1321-1 du code de la santé publique qui définit comme qualité d'eau à utiliser à l'intérieur du bâtiment « les eaux destinées à la consommation humaine ». En se référant à cet article et afin d'éviter tout risque sanitaire lié à l'utilisation d'une eau autre que celle potable à l'intérieur du bâtiment, les autorités sanitaires ont conditionné cela par l'obtention d'une autorisation préfectorale. En décembre 2006, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques a prévu un crédit d'impôt pour les bâtiments d'habitation pour les « travaux de récupération et de traitement des eaux pluviales » qui seront réalisés entre le 01/01/2007 et 31/12/2009.

En Aout 2008, le premier arrêté daté du 21 Aout 2008 « relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments » est apparu dans le journal official pour définir les conditions d'utilisation de l'eau de pluie récupérée en aval des toitures inaccessibles dans les bâtiments. L'arrêté peut être synthétisé autour de quatre items : le périmètre d'application, les usages possibles, les bâtiments concernés et les conditions à respecter pour la mise en place.

En Octobre 2008, un deuxième texte portant sur l'application de l'article 200 quater du code général des impôts relatif aux dépenses d'équipements de l'habitation principale et modifiant l'article 18 bis de l'annexe IV à ce code » est apparu dans le journal officiel pour définir les critères techniques que doit respecter une installation pour être éligible à l'octroi du crédit d'impôt.

Actuellement, la RUEP se réfère à l'arrêté du 21 Aout 2008. Cet arrêté détermine les usages de l'eau de pluie à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment, elle décrit aussi les conditions générales et spécifiques liées à ces usages :

- ***Type de bâtiment***. L'arrêté autorise la RUEP dans les bâtiments qui ont une toiture inaccessible, sauf les bâtiments avec toitures en amiante-ciment ou plomb.
- ***Usage à l'extérieur du bâtiment***. L'arrêté ne met aucune restriction à l'utilisation de l'eau de pluie à l'extérieur du bâtiment.
- ***Usage à l'intérieur du bâtiment***. L'arrêté réserve l'utilisation de l'eau de pluie à l'évacuation des excrétas et le lavage des sols. La lave linge n'est autorisée qu'à titre expérimental sous condition de mise en œuvre de dispositifs de traitement d'eau adaptés. Toutefois, l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment est interdit dans les bâtiments suivants : établissements de santé, établissements sociaux (et médicaux-sociaux), hébergement de personnes âgées, cabinets médicaux, cabinets dentaires, laboratoires d'analyse de biologie médicale, établissement de transfusion sanguine, crèches, écoles maternelles et écoles élémentaires.
- ***Usage professionnel***. L'arrêté autorise l'utilisation de l'eau de pluie pour des finalités industrielles, sauf celles qui requièrent l'emploi d'eau destinée à la consommation humaine.

L'arrêté définit aussi les conditions d'entretien et de bon fonctionnement du dispositif, la protection et l'information de l'usager de cette eau, la signalisation de l'existence de l'eau de pluie près de chaque point de soutirage. Il oblige aussi le propriétaire du dispositif à déclarer ce dernier à la mairie de sa domiciliation.

1.3.3. La spécificité française

Afin d'avancer dans la compréhension du contexte Français de la RUEP, nous listons ci-dessous quelques spécificités de ce dernier :

Un domaine en retard par rapport à d'autres pays. Si la RUEP commence à prendre de l'ampleur en France ces dernières années, toutefois, elle reste nettement moins importante que dans d'autres pays (Australie, Allemagne, Belgique,…). A titre d'exemple, en 2004, il a été recensé une soixantaine de projets à l'échelle nationale, alors qu'en Allemagne, en 1999, plus de 100 000 dispositifs étaient déjà installés.

Les aspects réglementaires. Plusieurs aspects réglementaires distinguent la RUEP en France par rapport à d'autres pays :

- *La toiture inaccessible*. La réglementation française exige que la surface de récupération ne puisse pas être accessible au public sauf pour les opérations d'entretien ou de réparation.
- *L'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment*. En France, la réglementation est un peu sévère en ce qui concerne l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment où seuls l'alimentation des chasses d'eau des toilettes et le lavage du sol sont autorisés (le lave linge n'est autorisé qu'à titre expérimental). Cependant, dans d'autres pays (Australie, par exemple), en plus de l'alimentation des chasses d'eau des toilettes et le lavage des sols, d'autres usages de l'eau de pluie sont permis à l'intérieur du bâtiment : nettoyage corporel (bain et douche), lave linge et lavage de la vaisselle.
- *La déconnexion avec le réseau d'eau potable.* La réglementation française interdit toute connexion entre l'eau potable du réseau public et celle issue du dispositif de RUEP. Par ailleurs, il est nécessaire d'assurer la continuité d'approvisionnement en eau en cas d'absence d'eau de pluie, un appoint en eau potable est donc indispensable. Cet appoint doit être assuré par un système de disconnexion par surverse totale (type AA) ou par surverse totale avec trop-plein (type AB) [Plaquette d'informations 2009].
- *Autres spécificités réglementaires.* On note aussi d'autres spécificités réglementaires, comme, la signalisation, la sécurisation et la déclaration auprès de la mairie.

Le type de dispositif privilégié. Des études et des retours d'expériences ont montré que les français préfèrent le dispositif de type « cuve aérienne-extérieure ». Ce choix est expliqué par la facilité de sa mise en place et par son coût abordable par rapport à d'autres types de dispositifs.

Les aides des pouvoirs publics. Les pouvoirs publics encouragent les particuliers à adopter les dispositifs de RUEP et les aides financières sont les moyens d'incitation les plus utilisés. Il convient de noter que les collectivités locales (municipalité, région,…) participent aussi à cette action.

1.4. Conclusion du chapitre

Grâce à une bref lecture historique nous avons pu constater que :

- La RUEP est une pratique ancienne employée par l'homme dès l'antiquité afin de satisfaire ses besoins en eau (domestique, irrigation,…).
- Cette pratique revient aujourd'hui, même en milieu urbain, mais sous un nouvelle forme : en complément du réseau public afin de répondre à certains besoins adaptés (non potable).
- Elle se développe rapidement, même dans les pays développés où la rareté de l'eau n'est pas un problème posé actuellement, ni dans un futur proche.

Une étude des différents composants et configurations des dispositifs de RUEP montre que :

- Aujourd'hui, il existe une grande variété de dispositifs (simples ou sophistiqués), selon le désir, les besoins et les moyens de l'installateur.
- Cette variété offre l'occasion à tous types de bâtiments d'adopter un dispositif de RUEP adéquat à ses caractéristiques.
- L'installation d'un tel dispositif nécessite une adaptation de la parcelle et de son bâtiment (mise en place de la cuve de stockage, le réseau de distribution …).

Dans le contexte français, la RUEP se caractérise par certaines spécificités : un retard considérable par rapport à d'autres pays, une réglementation exigeante et le fait que les Français préfèrent les dispositifs simples d'utilisation de l'eau de pluie.

Nous concluons que la RUEP est une pratique qui se déroule à l'échelle du bâtiment. En effet, la mise en œuvre du dispositif, son usage et l'exploitation de son eau est spécifique au bâtiment.

Afin de suivre le développement de cette pratique, plusieurs travaux de recherche ont porté sur ce sujet dont « SR-Util » proposé dans le cadre du R2DS. Ce projet vise à élaborer des scenarii de développement de la RUEP dans les années à venir au niveau de la région Ile-de-France, son objectif est d'évaluer leurs impacts sur la gestion d'eau et d'assainissement.

Dans le présent travail de recherche, nous nous positionnons en amont de ce projet (cf. chapitre 3). Pour ce faire, un état de l'art sur les travaux qui s'intéressent à ce domaine (la RUEP) nous semble nécessaire, il fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2. Etude de la Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : de l'échelle du bâtiment à l'échelle urbaine.

Ce chapitre propose une revue des travaux qui s'intéressent à la pratique de RUEP. En effet, plusieurs travaux de recherche ont traité le phénomène de la RUEP. Ils se sont intéressés particulièrement à la *performance hydraulique* des dispositifs de RUEP. Toutefois, d'autres travaux se sont intéressés à la RUEP sous d'autres angles (qualitatif, financier, …) [Vleuten-Balkema 2003; Anderson 2005; Sakellari et al. 2005, Cornut et Marissal 2007].

A cet effet et par souci bibliographique, nous évoquons très brièvement les autres travaux de la RUEP et ensuite nous nous concentrons sur la question de la performance hydraulique de ces dispositifs.

Concernant ce dernier aspect, la littérature est divisée en deux sous-thèmes :

- *La RUEP à l'échelle élémentaire (bâtiment).* Les méthodes d'évaluation hydraulique repérées vont des plus simples aux plus compliqués, telles que les méthodes statistiques qui nécessitent des programmes informatiques. De plus ces méthodes varient entre l'exhaustivité (elles considèrent le dispositif de RUEP dans son ensemble) et la partialité (elles considèrent uniquement une partie du dispositif. Exemple : la cuve de stockage)
- *La RUEP à l'échelle globale (urbaine ou supra-urbaine).* D'autres méthodes d'évaluations de la performance hydraulique des dispositifs de RUEP sont repérées aussi, mais cette fois elles considèrent la performance hydraulique de l'ensemble des dispositifs à différentes échelles urbaines.

2.1. Les thématiques de la RUEP abordées dans la littérature scientifique

La littérature scientifique du domaine de la RUEP se caractérise par la variété des thématiques traitées. Par mesure de simplicité et pour une meilleure compréhension, nous les rassemblons en cinq thématiques : qualitative, sociale, économique, environnementale et performance hydraulique.

La thématique « qualité de l'eau de pluie »

Cette thématique est abordée en masse dans la littérature scientifique internationale [Dérangère et al. 2000, Evans et al. 2006; Nguyen et al. 2011; Sazakli et al. 2007; Theo et al. 1985; …]. Néanmoins, nous n'évoquons ci-après que le cas français à titre d'exemple. Ainsi, l'arrêté du 21 Août 2008 « relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments » n'a pas défini explicitement des critères de la qualité de l'eau de pluie récupérée et stockée. En revanche, et à travers le recours à certains dispositifs et exigences (filtre d'une maille égale ou inférieure à 1 mm, nettoyage et désinfection de la cuve chaque année,…) l'arrêté essaye d'assurer une qualité minimale de l'eau de pluie surtout celle utilisée à l'intérieur du bâtiment [Nguyen et al. 2011].

Pour la qualité physico-chimique et microbienne de l'eau de pluie, une étude de comparaison entre sa qualité et la qualité exigée pour chacun des usages envisagés (WC, arrosage, lave-linge, nettoyage du sol) a montré qu'il est difficile de se prononcer de manière précise sur la qualité de physico-chimique de l'eau de pluie issue des toitures des bâtiments. Néanmoins, pour son usage non potable, cette dernière peut satisfaire facilement les exigences minimales demandées dans chacun de cas [Dérangère et al. 2000].

La thématique « environnementale »

Cette thématique consiste à montrer les avantages environnementaux et écologiques des dispositifs de RUEP tels que : la préservation des ressources en eau, la lutte contre la pollution des eaux qui ruissellent sur les toitures des bâtiments, la réduction de l'énergie nécessaire à la potabilisation, au transport et de distribution de l'eau potable,… [Appan 1999(b); Basinger et al. 2010; Bates et al. 2008; Che et al. 2003; Coombes al. 2004;…]

La thématique « sociale »

Cette thématique traite les mutations sociales causées par la pratique de RUEP. P. Cornut explique qu'une inégalité sociale peut être engendrée dans le cas du développement de cette pratique, car une partie des ménages (de la classe moyenne) ne peut pas adopter un tel dispositif, à cause de son coût relativement élevé et qui n'est pas à portée de certains entre eux (ménages). De plus, le développement des dispositifs de RUEP peut entrainer une augmentation du prix de l'eau potable

(cf. thématique économique) qui se répercute même sur les ménages non équipés de ces dispositifs [Cornut et Marissal 2007].

La thématique « économique »

Cette thématique est abordée par rapport à trois aspects. Le premier aspect considère l'échelle du bâtiment via des études qui portent sur l'évaluation du coût, les bénéfices et la période de retour sur investissement. Elles proposent des solutions qui garantissent une meilleure rentabilité financière des dispositifs concernés [Brewer et al. 2001, Grant 2003, Appan 1999(b),…].

Le second aspect traite cette thématique en montrant son influence sur le prix du m^3 de l'eau potable. Dans ce sens, P. Cornut explique en faisant référence à la région de Wallonie (Belgique) que la généralisation des dispositifs de RUEP peut conduire à une augmentation du prix du m^3 de l'eau potable. En effet, le calcul actuel du prix du m^3 de l'eau potable repose essentiellement sur la partie fixe (indépendamment du volume consommé) dédiée à l'entretien et au maintien du réseau. Toute diminution dans la consommation entraine le report de ces parties fixes sur un nombre réduit du m^3, par conséquent, le prix de ce dernier augmentera systématiquement [Cornut et Marissal 2007].

Le dernier aspect traite les bénéfices économiques sur les infrastructures d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement. P.J Coombes a déduit que la généralisation rationnelle des dispositifs de RUEP à l'échelle de la région Lower-Hunter (Australie) peut retarder la construction des nouvelles infrastructures d'approvisionnement en eau jusqu'à 34 ans [Coombes et al. 2002].

La thématique « performance hydraulique »

C'est la thématique la plus abordée parmi celles décrites précédemment. Par besoin dans la suite du travail, nous l'abordons avec plus de détails, elle constitue le cœur de ce chapitre.

Nous rappelons qu'elle sera abordée en deux temps : d'abord la performance hydraulique à l'échelle du bâtiment et ensuite à l'échelle urbaine.

2.2. Etude de la performance hydraulique à l'échelle du bâtiment

La majorité des travaux scientifiques s'intéressent à la RUEP comme dispositif isolé. Ils l'abordent souvent sous l'angle de la performance hydraulique. L'objectif de ce type de travaux est de montrer les avantages et les limites du dispositif de RUEP.

2.2.1. Faire une étude de la performance hydraulique d'un dispositif de RUEP

Deux méthodes sont généralement sollicitées :

2.2.1.1. Le retour d'expériences

Il s'agit de l'étude d'un dispositif déjà mis en place. Son but est d'évaluer la performance du dispositif, ainsi de détecter ses défaillances et ses limites par rapport aux objectifs du départ. Dans la littérature internationale, beaucoup de retours d'expériences sont repérés, ils portent sur une grande variété de bâtiments. A titre d'exemple, un dôme de stade au Japon [Zaizen et al. 1999], un bâtiment universitaire à Singapore [Appan 1999 (a)], un immeuble commercial en Angleterre [Chilton et al. 1999], une maison individuelle en France [Vialle et al. 2010], …

Ce type de travaux s'appuie sur des modèles empiriques qui utilisent seulement l'observation d'un dispositif de RUEP comme moyen d'analyse du fonctionnement du dispositif, sans fournir des informations sur les lois et les modèles physiques (mathématiques) qui expliquent le processus de fonctionnement. Les observations recueillies sont généralement spécifiques à l'étude du cas concerné et il est souvent difficile de les généraliser puisqu'ils dépendent d'un certains nombre de conditions [Roebuck 2007].

2.2.1.2. La simulation théorique

C'est une étude du dispositif avant sa mise en place. Cette méthode permet de faire une étude à priori sur le dispositif de RUEP : le volume de la cuve, le coût du dispositif, l'économie de l'eau réalisable. Dans ce cas, on note aussi une grande variété des bâtiments repérés. A titre d'exemple, une maison individuelle en Australie [Coombes et al. 1999], un immeuble d'habitation collectif en Espagne [Farrenty et al. 2011], une résidence universitaire en Corée du sud [Mun et Han 2012], un immeuble de bureaux en Australie [Eroksuz et Rahman 2010],…

Ce type de travaux est basé sur des lois et des modèles physiques et mathématiques. Il s'agit d'expliquer le principe de fonctionnement et les notions préconçues de la façon dont le dispositif de RUEP fonctionne (par un modèle hydraulique). Cependant, les résultats obtenus grâce à ces modèles divergent souvent avec ceux observés empiriquement, à cause de la particularité de chaque dispositif et aussi de ses conditions de mise en œuvre et d'exploitation [Wainwright et Mulligan 2004].

Nous nous intéressons dans la suite de cette section à la deuxième méthode (simulation théorique). Cependant, faire une étude théorique d'un dispositif de RUEP nécessite un ensemble des paramètres d'entrée et un modèle (ou une règle de calcul) pour avoir des résultats de sortie permettant de prendre une décision. Nous nous appuyons de cette logique pour faire notre démonstration.

2.2.2. Paramètres d'entrée permettant le calcul de la performance hydraulique

Un grand nombre d'acteurs ont détaillé les paramètres à prendre en compte pour étudier la performance hydraulique d'un dispositif de RUEP [Latham 1983; Fewkes 1999 (b), Coombes al. 2004; Chilton et al. 1999]. Ainsi T. Thomas a listé le nombre minimum de paramètres et de données à préconiser pour étudier la performance hydraulique de RUEP. Il s'agit de la pluviométrie, de la surface de récupération et du besoin en eau de pluie [Thomas 2002].

2.2.2.1. La pluviométrie

Le dispositif de RUEP dépend en premier plan de la pluviométrie de la zone où se trouve l'objet d'étude (le bâtiment). Ainsi la pluie est un phénomène naturel connue par son caractère aléatoire et imprévisible [Zhu et Liu 1998, Coombes et al. 1999; Concha et Conchita 2004; Su al. 2009, Basinger al. 2010].

Dans le calcul de la performance hydraulique des dispositifs de RUEP, la majorité des modèles utilisent aujourd'hui un pas (laps) de temps journalier pour simuler la quantité de l'eau de pluie qui tombe sur la toiture et qui sera ensuite acheminée vers la cuve de stockage [Zhang et Chen 2009, Wu et al. 2003; Fewkes 1999 (a), Fewkes 1999 (b), Su et al. 2009,…]

Afin de minimiser l'effet aléatoire de ce paramètre, l'étude d'une série pluviométrique longue est nécessaire pour couvrir le comportement pluviométrique le plus probable de la zone concernée (nombre des jours de pluie, leurs répartition, quantité, …) [Basinger et al. 2010].

Pour son étude des dispositifs de RUEP du département de l'Hérault, B. de Gouvello a utilisé les données pluviométriques quotidiennes de 10 ans parmi l'ensemble des données (31 ans « 1977-2007 ») mise à sa disposition par le département. Après avoir comparé les résultats obtenus pour cette période (10 ans) avec ceux obtenus par la totalité des données (31 ans), il a pu constater une similitude entre les deux résultats. Le choix de la période de 10 ans est justifié par des critères d'économie du temps de simulation [de Gouvello et al. 2010].

M. Basinger a utilisé de son côté une série de 51 ans de données pluviométriques dans son étude des dispositifs de RUEP à l'Etat de New-York (USA), mais pour des raisons de temps d'exécution du programme de simulation, il a choisi des séquences selon le nombre des jours humides de 25 ans de données pluviométriques. Parmi ces séquences, il y a une « séquence historique » qui contient le même nombre des jours humides que celui de la série de référence (51ans). L'utilisateur peut choisir une des séquences proposée, lors de sa simulation ou bien choisir la séquence moyenne. Le choix d'une séquence avec un nombre de jours humides élevé par rapport celui de la séquence moyenne augmente le risque de récupération d'un volume d'eau de pluie inférieur au volume théorique simulé. Par contre, l'utilisation d'une séquence avec un nombre de jours humides faible

par rapport à celui de la séquence moyenne minimise ce risque. Enfin, l'utilisation de la séquence moyenne engendre un risque acceptable [Basinger et al. 2010].

Toutefois, C-H. Liaw suggère, dans son étude des dispositifs de RUEP de la région de Taipei (Taiwan), l'utilisation d'une série longue de données de précipitation quotidienne d'au moins de 50 ans pour minimiser les aléas dus au caractère aléatoire de la pluie [Liaw et Tsai 2004]

A part ce débat sur le nombre de données pluviométriques à prendre en compte, nous relevons que les modèles du calcul de la performance hydraulique se basent sur l'hypothèse suivante « *l'utilisation des données pluviométriques du passé pour évaluer ce qui pourrait se passer en moyenne dans l'avenir* ».

2.2.2.2. La surface de récupération (Sr)

Dans les dispositifs de RUEP, la surface de toiture du bâtiment est considérée comme « surface de récupération » [Arrêté 2008, Vialle et al. 2010, Gould et Nissen-Petersen 1999; Leggett et al. 2001].

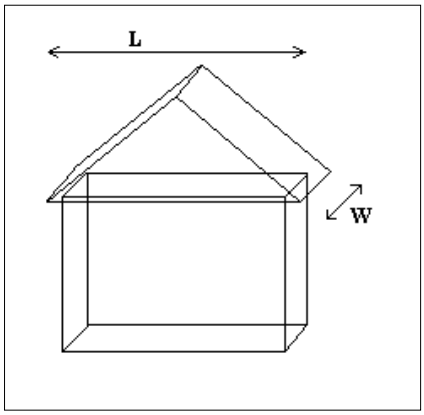


Figure 15. Calcul de la « surface de récupération ». Source : [Environment Agency 2003]

Pour calculer cette surface, il suffit de multiplier la longueur (L) horizontale et la largeur (W) horizontales de la toiture :

$Sr = L \times W$ **(Équation 1)**

Si la toiture est en pente, cette méthode donne la surface projetée en plan et non la surface réelle, ainsi, certains modèles parlent de la surface de l'emprise au sol (sans le débordement de la toiture). On note que tous ces termes constituent une bonne approximation de la surface de récupération. Il convient de signaler aussi que dans le calcul de la quantité de l'eau de pluie, les modèles supposent que la pluie tombe verticalement sur la toiture [Environment Agency 2003].

Cependant, l'élément le plus important dans cette surface de récupération est le « *coefficient de récupération* » qui détermine la quantité de l'eau de pluie collectée en amont de la cuve par rapport

à celle tombée sur la toiture du bâtiment. R. Farreny a défini le coefficient de récupération, comme « une valeur sans dimension utilisée pour estimer la partie de la précipitation qui ruisselle sur la surface de récupération en tenant compte des pertes dues au débordement (ou de fuite), mouillage de la surface et de l'évaporation ». Il a ajouté que le coefficient de récupération est utilisé pour déduire le potentiel de l'eau de pluie qui sera acheminée vers la cuve de stockage [Farreny et al. 2011].

C. Vialle utilise le mot « *coefficient de ruissellement* ». Elle considère que « ce coefficient prend en compte les pertes dues au ruissellement sur le toit, dépendantes du matériau utilisé, ainsi que les pertes qui ont pu avoir lieu avant la cuve, comme par exemple des débordements de gouttières » [Vialle et al. 2010].

J. Gould a exprimé le « coefficient de récupération » par l'équation suivante [Gould et Nissen-Peterson 1999]

$C_r = V_r(t)/V_p(t)$ **(Équation 2)**

Où :

$\boldsymbol{C_r}$ **:** coefficient de récupération.

$\boldsymbol{t}$: la période considérée.

$\boldsymbol{V_r}$ (Volume de ruissellement) : volume de l'eau qui s'écoule sur la « surface de récupération » vers les gouttières et ensuite vers la cuve de stockage pendant la période t considérée.

$\boldsymbol{V_p}$ (Volume des précipitations) : volume de l'eau de pluie qui tombe sur la « surface de récupération » pendant la période t considérée.

Le tableau suivant résume les valeurs coefficients de récupération (Cr), que nous avons repéré dans la littérature nationale et internationale.

Nature de la Surface de récupération	Valeur du « Cr »	Références
Le matériau de la toiture n'est pas spécifie dans ces références	Entre 0.70 et 0.90	[Pacey et Cullis 1989]
	Entre 0.75 et 0.95	[TxDOT 2009, Viessman et Lewis 2003]
	0.85	[Rahman et al. 2010]
	Entre 0.8 et 0.9	[Fewkes 1999 (a)]
	0.8	[Ghisi et al. 2009]
	Entre 0.8 et 0.95	[Lancaster 2006]
Toiture en pente « Béton »	0.90	[Lancaster 2006]
Toiture en pente « Métallique »	0.95	[Lancaster 2006]
	Entre 0.81 et 0.84	[Liaw et Tsai 2004]
Toiture en pente « Aluminium »	0.70	[Ward et al. 2010]
Toiture plate « bitume »	0.70	[Ward et al. 2010]
Toiture plate « gravier »	Entre 0.8 et 0.85	[Lancaster 2006]
Toiture en pente « tuile »	0.8	[Woods-Ballard et Malcolm 2003]
Toiture plate	0.50	
Toiture plate « gravier »	0.40	
Toiture végétalisée	0.30	
Toiture végétalisée « intense »	0.20	
Toiture en pente « tuile »	Entre 0.75 et 0.90	[Environment Agency 2003]
Toiture plate « lisse »	0.50	
Toiture plate « gravier »	Entre 0.40 et 0.50	

Tableau 1. Quelques exemples des « coefficients de récupération » repérés dans la littérature.

Dans le tableau trois types de toitures émergent : les toitures en pente dont leur coefficient de récupération est compris entre 0,70 et 0,95, les toitures plates dont leur coefficient de récupération est compris entre 0,40et 0,70, et enfin les toitures végétalisées dont leur coefficient de récupération est compris entre 0,20 et 0,40.

La notion de la *surface de récupération active (Sr_a)* est utilisée pour mettre en relation les deux grandeurs (surface et coefficient de récupération) et aussi pour designer la capacité réelle de récupération d'un type de toiture donnée. Cette surface est calculée par la formule suivante [Vialle et al. 2010].

$$Sr_a = Sr \times Cr$$ **(Équation 3)**

Où :

Sr_a : surface de récupération active

Sr : surface de récupération

Cr : coefficient de récupération

2.2.2.3. Les besoins en eau de pluie (B)

Il s'agit des besoins à satisfaire en eau de pluie qui remplace l'eau potable utilisée habituellement (avant la mise en œuvre du dispositif de RUEP) [Vialle et al. 2010].

En s'appuyant sur la littérature scientifique, nous avons pu distinguer trois étapes qui permettent de calculer le volume de l'eau de pluie qui remplace l'eau potable :

- D'abord, déterminer les usages de l'eau de pluie envisagés : soit la totalité ou une partie des usages domestiques qui ne nécessitent pas la qualité « potable » et qui sont autorisés par la loi à utiliser l'eau de pluie à la place de l'eau potable.
- Ensuite, définir la quantité de base de chaque usage sous forme d'un *ratio* et ainsi sa *fréquence* (périodicité).
- Et enfin, définir les variables de chaque usage (nombre, la surface,…)

Les usages domestiques de l'eau de pluie

Chacun des pays motionnés ci-dessous possède sa propre réglementation concernant les usages domestiques autorisés de l'eau de pluie récupérée en aval des toitures des bâtiments. Néanmoins, toutes ces réglementations autorisent l'utilisation de l'eau de pluie à l'extérieur du bâtiment, à l'image de l'arrosage des espaces verts, le lavage des véhicules, le nettoyage du sol,…

Pour les usages de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment, nous dressons un panorama des usages autorisés dans les pays qui connaissent un développement des systèmes de RUEP.

- En *Australie*, les usages autorisés à l'intérieur des bâtiments sont : l'alimentation des chasses d'eau des toilettes (WC), le lavage des vêtements, l'eau chaude (chauffage). Ces usages constituent environ 80% d'eau consommée dans un bâtiment résidentiel [Coombes et al. 2002, Coombes et al. 2004, Khastagir et Jayasuriya 2010].
- A *Taiwan*, seule l'alimentation des chasses d'eau des toilettes est autorisée comme un usage de l'eau de pluie. Cela constitue 24% de la consommation domestique de l'eau (250 l / p / j) [Chiu et al. 2009].
- En *Jordanie*, le nettoyage des sols et l'alimentation des chasses d'eau sont les deux usages de l'eau de pluie les plus répandus aujourd'hui à l'intérieur des bâtiments. Cela représente environ 19.7% de la consommation domestique de l'eau (environ 141 l / p / j) [Abdulla et Al-Shareef 2009].
- Au *USA*, l'eau de pluie récupérée est utilisée généralement dans les chasses d'eau des toilettes, l'arrosage du jardin et dans la climatisation (air conditionné) [Basinger et al. 2010].
- Au *Brésil*, l'eau de pluie peut remplacer l'eau potable pour tout usage qui ne nécessite pas la qualité potable tel que : l'alimentation des chasses d'eau des toilettes (WC), le lave linge, le lavage de la voiture. Ces usages représentent environ 42% de la consommation totale en eau potable (une consommation variable selon les régions) [Ghisi et al. 2007].

- En *Belgique*, l'eau de pluie est utilisée à l'intérieur du bâtiment pour les usages : alimentation des chasses d'eau des toilettes (WC), le lave-linge, vaisselle et le nettoyage du sol. Ces usages peuvent représenter 64% de la consommation domestique en eau potable [Cornut et Marissal 2007].
- En *France* l'eau de pluie est utilisée à l'intérieur du bâtiment pour les usages : alimentation des chasses d'eau des toilettes (WC), le lavage du sol et le lave-linge qui est autorisé qu'à titre expérimental (cf. §1.3.2).

<u>Estimer le volume des usages de l'eau de pluie</u>

Il est extrêmement difficile de déterminer avec précision la quantité d'eau utilisée. Le recours à une moyenne générale est la seule issue pour déterminer celle-ci [Butler et Memon 2006].

Les recherches montrent que le niveau de consommation de l'eau est lié à deux facteurs : le *type du bâtiment et ses fonctions* (habitation, bureau …) et la *taille du bâtiment et ses occupants* (la taille du ménage, l'âge de l'usager et la période de l'année …) [Gato et al. 2004, Sim et al. 2005].

Pour le premier facteur, les dispositifs de RUEP sont installés dans plusieurs type de bâtiments tels que : les maisons et les immeubles d'habitation, les immeubles à grande hauteur, les établissements d'enseignement (écoles, lycée,…), les immeubles de bureaux, les équipements sportifs (salles et stades), les aéroports, les centres commerciaux, les parc d'exposition [Coombes et al. 2003, Thomas 1998, Lau et al. 2005, Bray 2003, Stephenson 2002, Hills et al. 1999; Lodge 2000,Smith et al. 2000].

A l'échelle nationale, B. de Gouvello a fait un travail de recensement des bâtiments dotés d'un dispositif de RUEP à travers le territoire national. Ce travail a permis de dégager les types de bâtiments suivants : les établissements scolaires, les immeubles de logements, les immeubles de bureaux, les espaces culturels (comme les salles polyvalentes, les bibliothèques et les centres d'expositions) [de Gouvello et Khouil 2004]. En France, chaque bâtiment possédant une toiture inaccessible peut récupérer l'eau de pluie pour des finalités non potable sauf les bâtiments sensibles (cabinets médicaux, crèche …) où l'utilisation de l'eau de pluie n'est autorisée qu'à l'extérieur de ces derniers [Arrêté 2008].

Pour le second facteur (la taille du bâtiment et ses occupants), S. Gato a mené une étude sur l'utilisation de l'eau pour l'alimentation des chasses d'eau des toilettes dans les ménages de la région de Melbourne (Australie). Pour expliquer le caractère variable de cet usage de l'eau, elle a relevé plusieurs constats [Gato 2006].

- la taille des ménages s'est révélé un indicateur important dans l'usage de l'eau dans les toilettes. Une augmentation d'environ 0,7% de l'utilisation de l'eau pour les toilettes a été constatée pour chaque augmentation de 1% de la taille des ménages.
- l'étude a montré aussi que l'utilisation de l'eau pour les toilettes augmente avec la taille de la maison. En moyenne, il été constaté qu'une personne habite dans un bâtiment collectif (locatif) utilise environ 10% de plus l'eau pour les toilettes qu'une personne habite dans une maison individuelle. La seule explication plausible qui a été donnée, réside dans le fait que ces bâtiments destinés à la location ne sont pas rénovés avec et donc continuent à utiliser des chasses d'eau non économes.
- la nature de la maison et le niveau de confort joue un rôle dans l'utilisation de l'eau dans les toilettes. En effet, il a été constaté que les ménages qui ont un jardin et une piscine utilisent plus d'eau pour les toilettes que les autres ménages. Là, encore l'explication de ce constat est formulée sous une hypothèse qui suppose que les ménages qui arrosent leur jardin et qui utilisent leur piscine passent plus de temps à la maison que les autres ménage sans jardin et/ou piscine.
- le dernier constat, concerne la période de construction des bâtiments où il été constaté que les bâtiments construits dans les années 1950-1960 sont plus consommateurs de l'eau des toilettes que les bâtiments construits dans les années 1990, à cause des types des chasses d'eau utilisés (plus grands dans les bâtiments 1950-1960).

Une compréhension plus approfondie du niveau de consommation de l'eau nécessite une analyse fine du type de bâtiment et de sa fonction, de la nature de ses occupants et leurs besoins, les types des appareils et leurs fréquences d'utilisation [Downing et al. 2003]

Nous présentons ci-dessous quelques exemples internationaux des quantités de bases exprimées sous forme de « ratios », de certains usages de l'eau qui pourront être satisfaits par l'eau de pluie.

Pays	Le volume par usage				Références
	WC	Jardin	Lave-linge	Nettoyage sol	
Australie	16 l /p / j	1,90 l /m^2/ j	4,0 l / p/ j	*	[Khastagir et Jayasuriya 2010]
Brésil	32,8 l/p/j	*	3,7 l/p/j	1,9 l/p/j	[Ghisi et Ferreira 2007]
Royaume U	20,6 l/p/j	1,2 l/m^2/j	0,2 l/p/j	0,8 l/p/j	[Roebuck 2007]
USA	33 l p /j	5.7 l / m^2/j	*	*	[Basinger et al. 2010]
Taiwan	48 l/ p / j	3 l /m^2 / j	*	*	[Chiu et al. 2009]
Jordanie	27 l / p / j	*	*	*	[Abdulla et Al.-Shareef 2009]
** donnée non repérée dans la littérature parcourue.*					

Tableau 2. Exemples des ratios internationaux des usages de l'eau domestique.

Ce qui attire notre attention dans ces exemples est la grande variabilité entre les ratios des différents pays. Par exemple, pour le WC : le ratio à Taiwan est estimé à 48 l/p/j et celui de l'Australie à 16 l/p/j.

2.2.3. Modélisation de la performance hydraulique

Plusieurs modèles ont été développés afin d'étudier les systèmes de RUEP. L'objectif de ces modèles est de calculer le volume de la cuve de stockage, le taux de recouvrement des besoins en eau déclaré comme des paramètres d'entrée et le potentiel de l'eau potable économisée grâce à l'eau de pluie (PPWS : Potential for Potable Water Savings). Nous détaillons ci-après certains de ces modèles :

2.2.3.1. Principe de modélisation

A. Appan a développé une équation simple (input/output) du comportement d'une cuve de stockage [Appan 1999].

$$Q_i = Ar_i - \{(E_i + b_i)A + D_i\}$$ **(Équation 4)**

Où :

i : la durée (selon les données disponibles)

Q_i : la quantité d'eau disponible (m^3)

r_i : précipitation (m)

E_i : évaporation (m^2)

b_i : absorption (m^2)

D_i : soutirage (m^3)

A : surface de récupération (m^2)

Il tient compte de la quantité d'eau de pluie restante une fois qu'un soutirage soit effectué. La formule « Ar_i » représente la quantité d'eau maximale qui peut être récupérée mais d'un point de vue théorique, car le coefficient de récupération n'est pas pris en compte. Ce dernier est exprimé par « $(E_i + b_i)A$ » qui représente la quantité d'eau qui s'évapore et qui a été absorbée par la toiture de récupération. Le « D_i » représente le soutirage effectué pour répondre aux besoins en eau de pluie.

Ce principe est adaptatif par rapport au temps (minute, heure, jour…) en fonction des données de précipitations disponibles.

2.2.4.3. Le modèle du comportement hydraulique

A. Fewkes a repris le modèle de D. Jenkins pour étudier la performance du dispositif de RUEP décrit par le rapport « le volume de l'eau de pluie consommé / volume de l'eau de pluie demandé ». Ce rapport est appellé « Water-saving efficiency », noté $E_{T,d}$ (%), nous l'appellerons « taux de recouvrement des besoins ». A. Fewkes utilise par la suite ce rapport pour définir le volume de le cuve de stockage ainsi que l'économie d'eau à réaliser pour un intervalle de temps donné. [Fewkes 1999 (a), Fewkes 1999 (b), Jenkins 1978]

Afin de calculer ce rapport, il a développé deux modèles qui reposent sur des données pluviométriques journalières :

- un premier modèle qui considère que le soutirage est effectué avant que l'eau de pluie du jour même s'achemine vers la cuve de stockage. Il s'agit du modèle YBS « Yield Before Spillage » (ou soutirage avant remplissage). Ce modèle est décrit par l'algorithme suivant :

$$Y_t = \min\begin{cases} D_t, \\ V_{t-1}, \end{cases}$$

$$V_t = \min\begin{cases} V_{t-1} + Q_t - Y_t, \\ S - Y_t \end{cases}$$

Équation 5

Où :

t : jour (de 0 à 24 heures) considéré (entier naturel).

S : Volume du récupérateur (« store capacity ») (m^3).

R_t : Pluviométrie pour l'intervalle de temps considéré t (« rainfall ») (mm).

Q_t : Volume d'eau de pluie collecté pendant le temps t (« rainwater runoff ») (m^3).

V_t : Volume dans la cuve à la fin de l'intervalle de temps t (m^3).

Y_t : Volume soutiré à la cuve durant l'intervalle de temps t (« Yield from store ») (m^3).

M_t : Appoint en eau potable pendant le temps t (« mains supply make-up ») (m^3).

D_t : Besoin de l'utilisateur pendant l'intervalle de temps t (« demand ») (m^3).

O_t : Volume évacué par le trop-plein pendant l'intervalle de temps t (m^3).

La figure suivante présente une schématisation de la récupération d'eau grâce à ce modèle et présente ses différents paramètres.

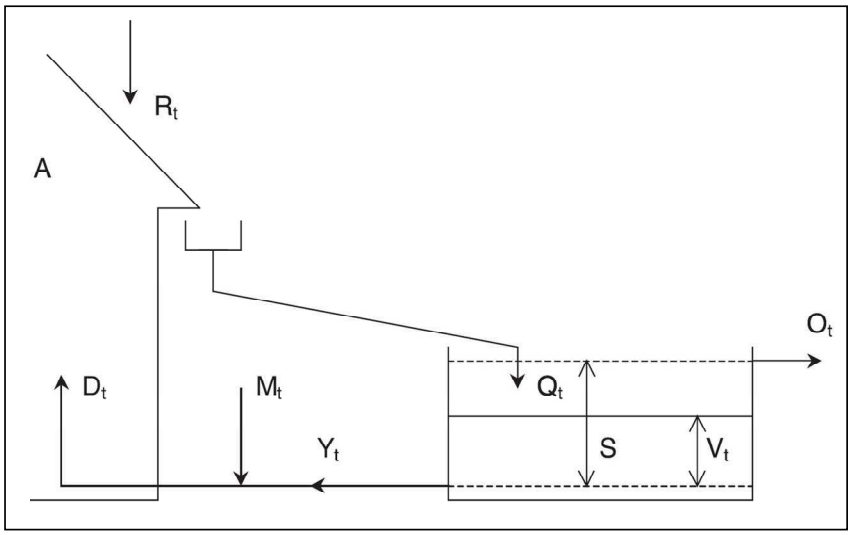


Figure 16. Principe de fonctionnement d'une cuve de RUEP. Source [Fewkes 1999]

Ce modèle présente un risque d'avoir une cuve vide, car le soutirage est censé être avant l'acheminement de l'eau de pluie du même jour vers la cuve.

- A l'opposé du précédent, le deuxième modèle considère que le soutirage s'effectue après que l'eau de pluie du jour même soit acheminée vers la cuve de stockage. Il s'agit du modèle YAS « Yield After Spillage » (soutirage après remplissage). Ce modèle est décrit par l'algorithme suivant :

$$Y_t = \min\begin{cases} D_t, \\ V_{t-1}+Q_t \end{cases}$$
$$V_t = \min\begin{cases} V_{t-1}+Q_t-Y_t, \\ S, \end{cases} \quad \textbf{(Équation 6)}$$

Dans ce modèle l'eau de pluie récupérée le jour même sera ajoutée à celle déjà stockée, issue du jour précédent. [Fewkes 1999 (a), [Fewkes 1999 (b)]

B. Latham a proposé de son côté un modèle plus générique, décrit par l'algorithme suivant :

$$Y_t = \min\begin{cases} D_t, \\ V_{t-1}+\theta Q_t \end{cases}$$
$$V_t = \min\begin{cases} (V_{t-1}+Q_t-\theta Y_t)-(1-\theta)Y_t, \\ S-(1-\theta)Y_t, \end{cases} \quad \textbf{(Équation 7)}$$

Où θ est un paramètre entre 0 et 1. Si θ = 0, l'algorithme exprime le modèle YAS et si θ = 1, l'algorithme exprime le modèle YBS [Latham 1983].

Cependant, les deux modèles (YAS et YBS) ne représentent pas vraiment la réalité d'un système de RUEP. En effet, le soutirage de l'eau pour un usage (WC, par exemple) est variable et il se fera généralement durant toute la journée, comme la récupération et le stockage d'eau de pluie, qui est aussi variable. Le laps journalier est adopté alors par les deux modèles.

2.2.4. Dimensionnement de la cuve de stockage

Le résultat principal de l'étude et du calcul d'un système de RUEP est *le volume de la cuve de stockage.* Fewkes et Butler affirment que le volume de la cuve de stockage d'un système de RUEP est un élément important à la fois hydrauliquement et économiquement, car il influe sur les résultats suivants [Fewkes et Butler 2000] :

- Le volume d'eau économisé
- Le volume d'eau vers le réseau d'assainissement qui déborde après le trop plein de la cuve.
- La durée de conservation de l'eau de pluie dans la cuve, ce qui affecte sa qualité.
- Le coût de l'installation (la cuve de stockage représente environ 2/3 du coût total du dispositif de RUEP).
- Le taux de recouvrement des besoins en eau de pluie.
- Le volume d'eau potable qui couvre le reste des besoins, si le taux de recouvrement n'attient pas le 100%.

Nous expliquons ci-après, les méthodes utilisées afin de déterminer le volume de la cuve d'un bâtiment donné.

2.2.4.1. Principe de « période critique »

Cette méthode consiste à identifier des périodes critiques où la différence entre le cumul des données de précipitations (offre) et les besoins en eau de pluie (demande) est à son maximum. Cette différence représente le volume maximum disponible (ou en réserve) et donc, il s'agit du volume de la cuve de stockage nécessaire pour maximiser le taux de recouvrement des besoins [McGhee 1991].

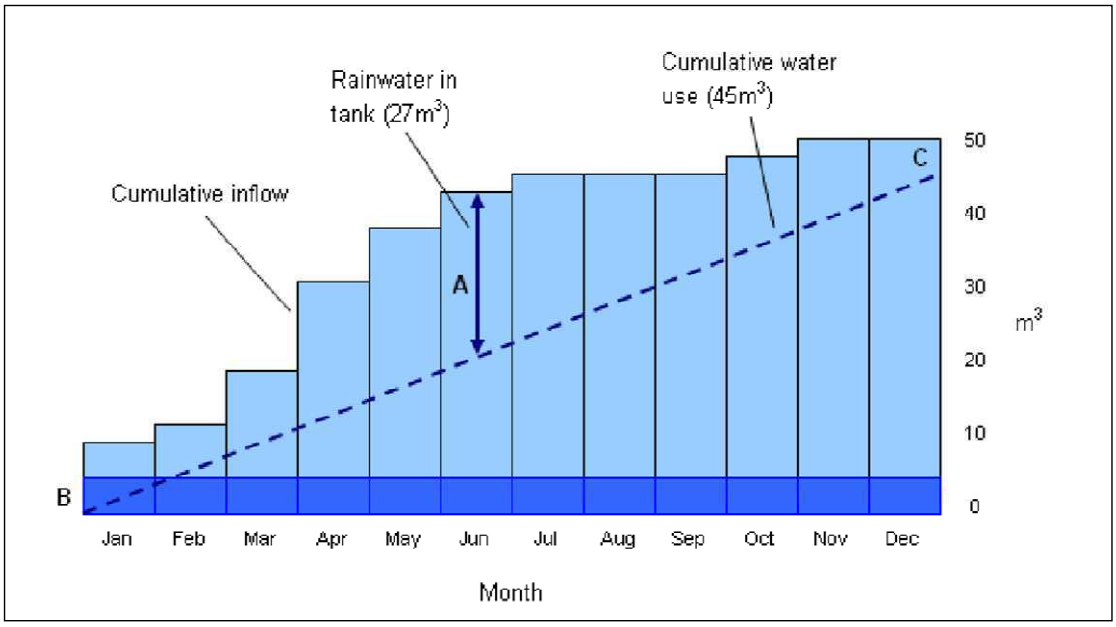


Figure 17. Exemple de la méthode « période critique » de détermination du volume de la cuve de stockage de l'eau de pluie. Source : [Gould et Nissen-Petersen 1999]

Dans la figure :

A : le volume minimal requis pour un taux de recouvrement maximal (c'est à dire de stocker et d'utiliser 100% de l'eau récupérée, ce qui dans cet exemple correspond à $27m^3$)

B = Le volume déjà stocké dans la cuve au début de la période d'analyse ($5m^3$ dans cet exemple).

C = le volume resté stocké dans la cuve à la fin de la période d'analyse ($5m^3$ dans cet exemple).

Cette méthode est modélisée mathématiquement par l'équation suivante [Fewkes 2006]

$$S \geq \max\left\{\int_{t_1}^{t_2}[D_t - Q_t]dt\right\}$$ **(Équation 8)**

Où :

$t_1 < t_2$

S : volume de la cuve de stockage

D_t : le volume des besoins en eau de pluie pour l'intervalle t

Q_t : le volume d'eau de pluie récupérée pendant l'intervalle t

L'avantage de cette méthode c'est son caractère qui maximise le stockage et l'utilisation de l'eau de pluie récupérée. Cependant, cette méthode présente une limite majeure qui est la conséquence

directe de la maximisation totale de l'utilisation de l'eau de pluie et qui engendre des volumes de stockage gigantesque, parfois irréalisable à cause de leur taille [Gould et Nissen-Petersen 1999].

2.2.4.2. Principe de taux de recouvrement souhaité par l'usager

En Allemagne, T. Herrmann propose à l'usager plusieurs courbes : volume de la cuve (tank volume) en fonction de l'efficacité du système (system efficiency : c'est le taux de recouvrement des besoins). Les courbes sont construites pour des intervalles de surface de toitures et des intervalles de consommations quotidiennes de l'eau potable (cf. Figure 18).

L'usager est invité ensuite à choisir le volume de la cuve qui lui convient selon sa consommation, la surface de toiture de son bâtiment et le taux de recouvrement qu'il souhaite obtenir grâce au système de RUEP [Herrmann et Uwe 1999].

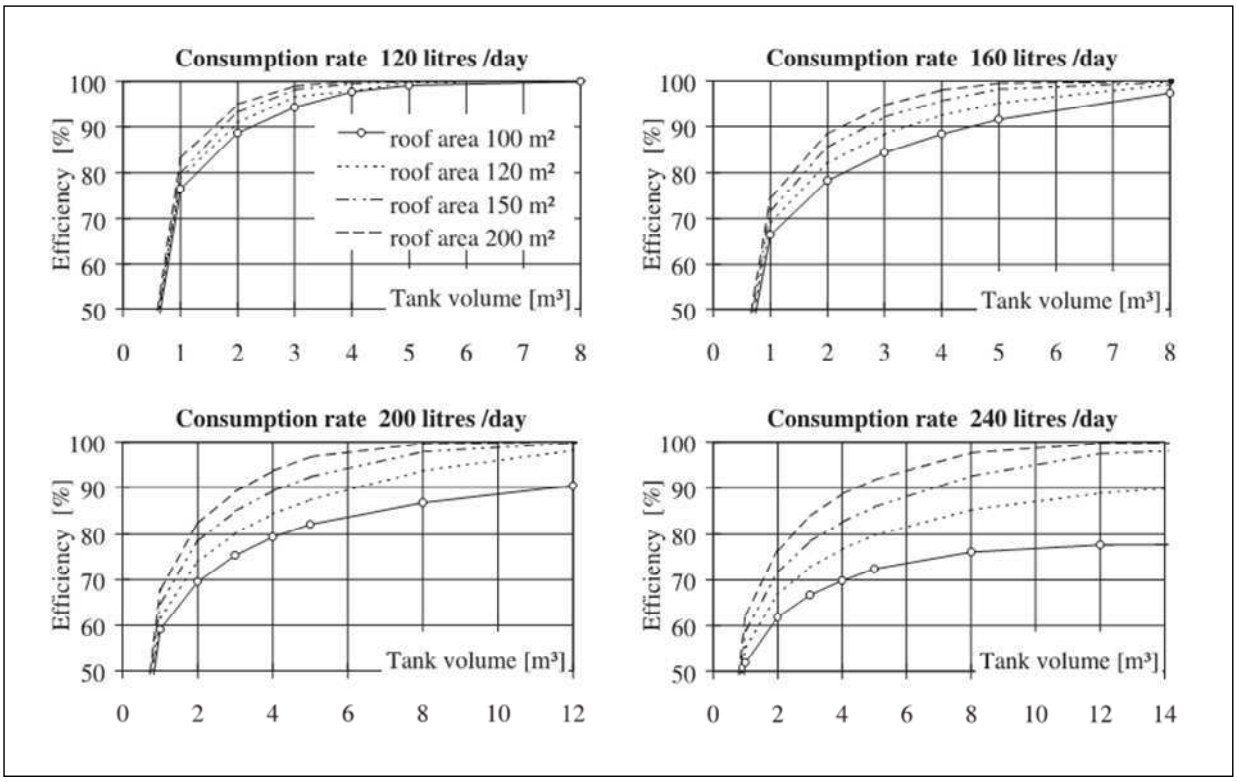


Figure 18. Courbes tracées pour aider l'usager à choisir le volume de sa cuve de stockage. Source : [Herrmann et Uwe 1999]

L'avantage de ce principe est d'offrir un outil simple et directement utilisable par un usager (individu ou bureau d'étude) qui suivant les caractéristiques de son projet doit se référer à une courbe déjà tracée.

2.2.4.3. Principe du taux de recouvrement fixe

Cette méthode est utilisée par Khastagir à Melbourne (Australie) pour déterminer des cuves typiques pour chaque zone couverte par une station métrologique de la région de Melbourne (dans les stations sélectionnées la pluviométrie est varie entre 450 mm et 1050 mm).

Il a fixé un taux de recouvrement qui varie entre 85% et 95% pour exprimer le volume de la cuve à installer. Il a tracé ensuite la courbe qui met en relation le volume de la cuve et le rapport : demande « eau de pluie » / (surface de toiture * pluviométrie) [Khastagir et Jayasuriya 2010].

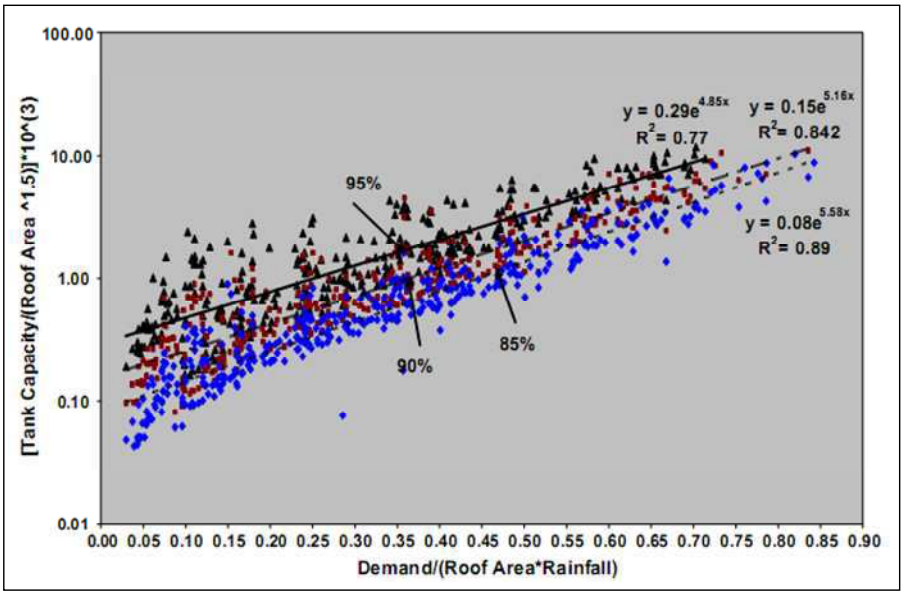


Figure 19. La courbe qui permet de déterminer le volume de la cuve selon les paramètres du bâtiment. Source : [Khastagir et Jayasuriya 2010].

L'usager choisit ensuite le volume de sa cuve qui correspond à un taux de recouvrement compris entre 85% et 95% en suivant les caractéristiques de son projet.

2.2.4.4. Principe du demande fixe

Cette méthode développée par Gould et Nissen-Petersen suppose de calculer le volume de la cuve en fixant les besoins en eau de pluie à 100 l/j. La méthode offre une garantie allant de 80% à 99% à l'usager pour la satisfaction de ses besoins (100 l/j) selon la précipitation annuelle et la surface de toiture de récupération de son bâtiment [Gould et Nissen-Petersen 2009].

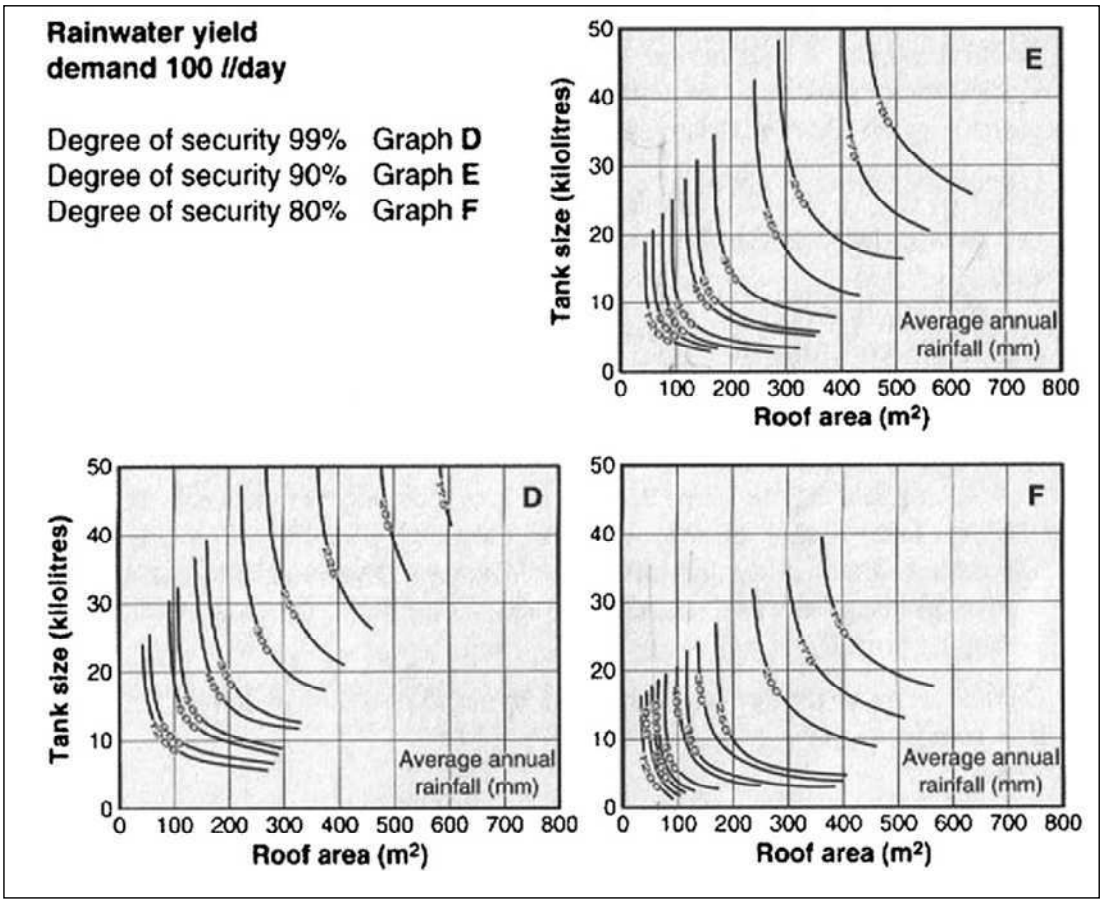


Figure 20. Détermination du volume de la cuve pour un besoin de 100 l /j selon la précipitation annuelle et la surface de toiture de récupération. Source [Basinger et Montalto 2010]

L'avantage de ce principe est son usage facile car il donne directement les abaques, néanmoins ces derniers sont liés à un territoire donnée (localisé), leur usage dans un autre territoire suppose la détermination d'un autre jeu d'abaques.

2.2.4.5. Principe du taux de recouvrement optimal

Dans ce principe, on trace tout d'abord la courbe « volume de la cuve » en fonction du « taux de recouvrement »[11]. Ensuite, l'analyse de cette courbe, de sa forme et son évolution permet la déduction d'un point pour exprimer le volume optimal de la cuve et le taux de recouvrement réalisé. Nous avons repéré deux méthodes qui utilisent ce principe :

E. Ghisi repose la simulation du volume de la cuve en fonction du potentiel d'économie de l'eau potable (Potential for Potable Water Savings « PPWS ») à l'aide d'un programme informatique « Neptune » [Ghisi et Ferreira 2007], en déterminant les données d'entrée suivantes : la surface des toitures (m^2), le coefficient de récupération, le nombre de résidents (personnes), la consommation quotidienne de l'eau potable (litres/personne/jour) et le pourcentage de la quantité d'eau potable à remplacer par l'eau de pluie.

[11] Ghisi exprime ce taux en Potential for Potable Water Savings « PPWS ». Cf. Figure 21

Le programme trace ensuite la courbe : « volume de la cuve » en fonction du « PPWS » en utilisant les données de précipitation quotidiennes (période 2001 – 2003) et en estimant le PPWS de 1000 à 60 000 litres avec un intervalle de 1000 litres (cf. Figure 21). Le choix du volume de la cuve est fait en fonction du PPWS obtenu à chaque ajout de 1000 litres d'intervalle. E. Ghisi à fixé la règle suivante : le volume idéal est celui obtenu quand on ajoute 1000 litres de volume de stockage, mais le PPWS augmente de moins de 0.5%.

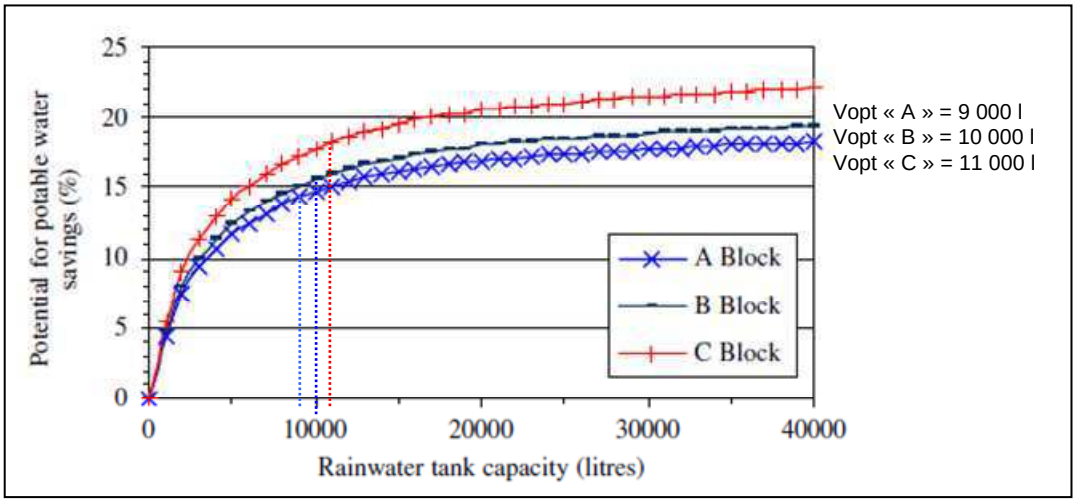


Figure 21. La courbe : volume de stockage en fonction du PPWS tracée par le programme « Neptune ». Source : [Ghisi et Ferreira 2007].

De son côté B. de Gouvello a analysé la forme de la courbe pour déduire dans un premier temps une zone « zone optimale » (en hachure dans la Figure 22) dans laquelle le volume optimal de la cuve est compris entre les valeurs V_- et V_+. Il a expliqué que cette zone trouve sa légitimité car en dessous de V_- on assiste à une perte considérable du taux de recouvrement des besoins, tandis qu'au delà de V_+ on obtient un gain légèrement sur le taux de recouvrement des besoins, même si on augmente considérablement le volume de la cuve. B. de Gouvello a rappelé que c'est cette méthode qui est utilisée aujourd'hui par les bureaux d'étude pour déterminer le volume de la cuve de stockage d'un système de RUEP [de Gouvello et al. 2010].

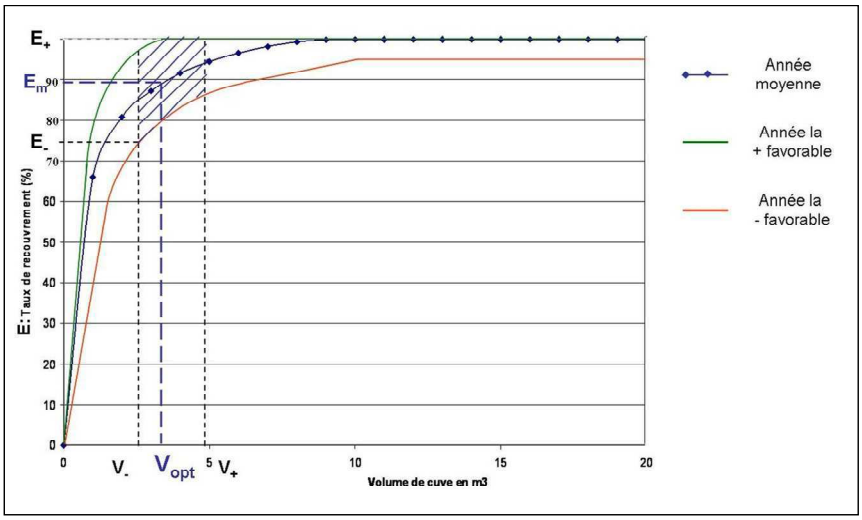


Figure 22. Zone optimale. Source [de Gouvello et al. 2010]

Dans un second temps il s'est attaché à déterminer un seul point à l'intérieur de la zone optimale pour exprimer un bon compromis entre le volume de la cuve choisie et le taux de recouvrement. Partant de cette idée, il a réussi à définir un point « U4 » pour lequel la valeur de la tangente de la courbe en ce point est égale à la pente du segment de la droite définie par les deux extrémités de la zone optimale (U2 et U3).

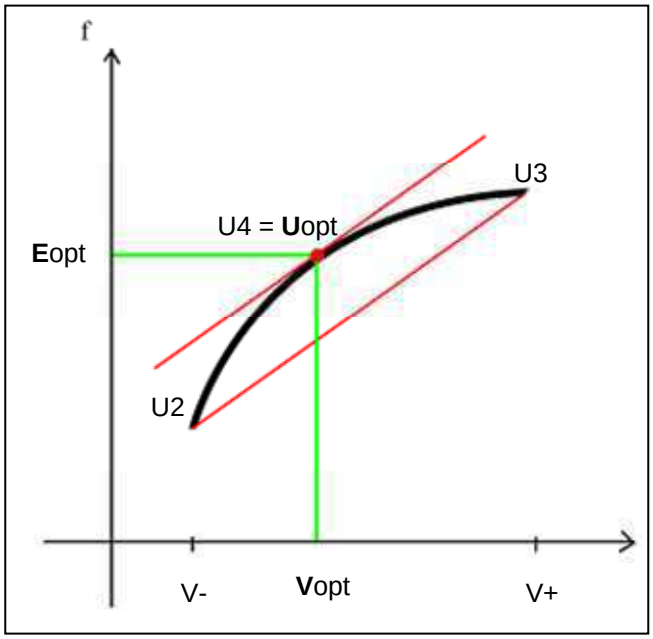


Figure 23. Volume optimum choisi. Source : adaptée d'après [Rivron 2009].

B. de Gouvello rappelle qu'il est impossible d'expliquer mathématiquement le choix de ce point, mais il constitue toujours un bon compromis entre les deux variables (volume de la cuve et taux de recouvrement). Il ajoute que, du point de vue pratique, le point U4 est donné à titre indicatif et le maître de l'ouvrage peut décider de s'en écarter selon ses objectifs et ses intérêts.

Il convient de signaler que l'avantage principal de cette méthode est la détermination automatique du volume de la cuve choisie.

2.2.4.6. D'autres principes simplifiés

Cependant, il existe d'autres principes simples et opérationnels pour dimensionner une cuve de stockage de RUEP. Nous listons quelques exemples :

Le CSTB en s'appuyant sur la norme allemande (DIN 1989) a proposé un modèle qui repose sur une consommation en eau de pluie de quatre semaines, durant laquelle la cuve doit avoir une autonomie de 28 jours. Son modèle est décrit par l'équation suivante [Cahier CSTB 2005].

$$S = D \times \frac{28}{365}$$ **(Équation 9)**

Où :

S : le volume de la cuve de stockage recommandé.

D : la demande en eau de pluie (par jour)

La norme Française propose une méthode de dimensionnement de la cuve appelée méthode de référence destinée aux maisons individuelles, elle est divisée en deux composantes :

<u>Pour usage d'arrosage</u>

La méthode suggère un volume de stockage au moins égale aux besoins d'arrosage de la période de temps sec. La méthode suggère aussi que dès lors que l'arrosage constitue un enjeu significatif, il est préférable de recourir à une simulation « ad hoc »[12].

<u>Pour l'usage intérieur ou mixte</u>

Cette méthode considère les données pluviométriques mensuelles. Elle introduit un coefficient (C_m) qui vise à intégrer le caractère irrégulier et imprévisible de la pluie. La figure suivante explique le principe de dimensionnement adopté par cette méthode [Norme Française 2011].

[12] « La méthode de dimensionnement *ad hoc* identifie deux entrants (apport d'eau de pluie et le cas échéant l'appoint en eau potable) et deux sortants (soutirages journaliers et trop plein le cas échéant). Il s'agit donc de faire le bilan journalier des entrants et des sortants sur une période de 5 ans pour déterminer le volume utilisable de stockage d'eau de pluie le plus approprié en fonction des caractéristiques du projet » [Norme Française 2011].

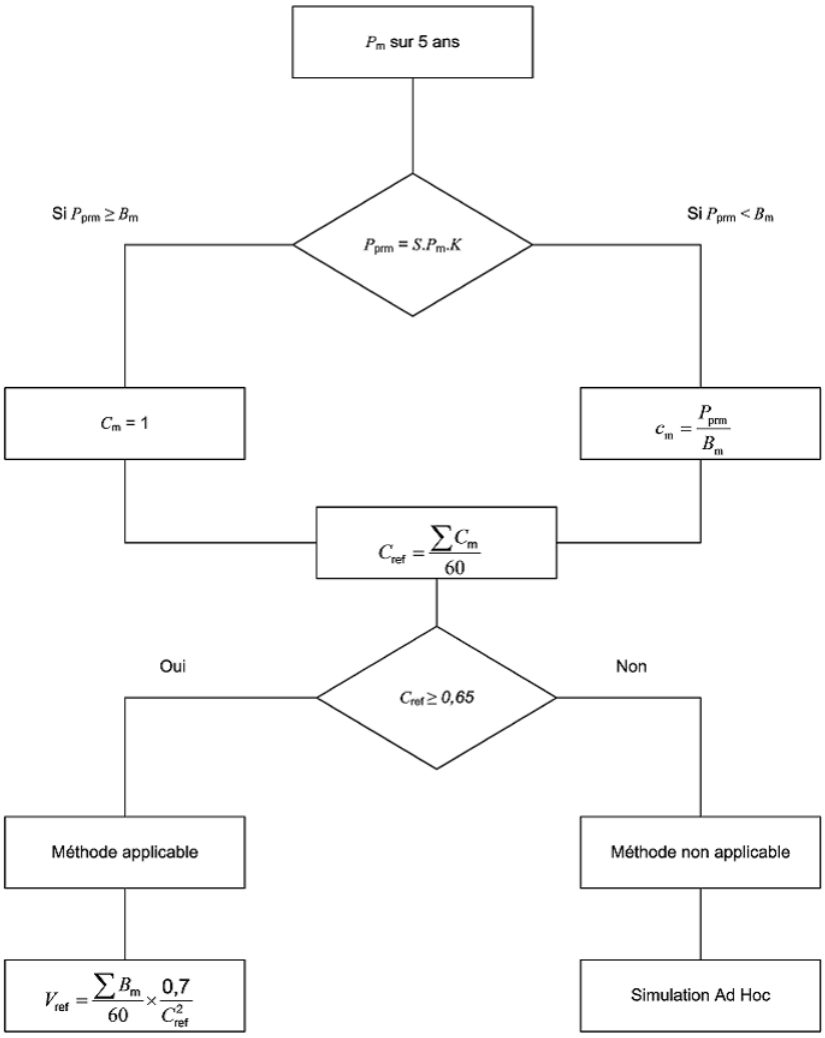


Figure 24. Principe de la méthode de référence. Source : [Norme Française 2011]

Où :

B_m : le besoin en eau de pluie pour le mois m (exprimé en mètres cubes),

P_m : la pluviométrie pour le mois m (exprimée en mètres),

P_{prm} : le volume mensuel d'eau de pluie potentiellement récupérable (mètres cubes),

C_m : coefficient mensuel (sans dimension),

C_{ref} : coefficient de référence (sans dimension),

V_{ref} : volume de référence (exprimé en mètres cubes),

S : la surface utile de collecte en mètres carrés,

K : le coefficient global de rendement

L'avantage de cette méthode réside dans l'introduction du coefficient (C_{ref}) pour faire face à l'irrégularité de la pluie. En effet, l'irrégularité est le caractère principal de la pluie durant ces

dernières années à cause des problèmes de changements climatiques qui a touché principalement la pluie en termes de quantité et aussi en nombre de jours humides et leurs répartitions sur les saisons.

Par ailleurs, C. Rivron a fait une recherche internet sur les méthodes et les modèles utilisés par les fabricants et les vendeurs des cuves de stockage de l'eau de pluie. Il a constaté qu'il y a un modèle souvent utilisé décrit par l'équation suivante [Rivron 2009]

$$S = \frac{P \times A \times K}{2} \times \frac{N_{jour}}{365}$$ **(Équation 10)**

Où :

S : le volume de la cuve de stockage recommandé

P : la moyenne annuelle des précipitations

A : surface de récupération

K : coefficient de récupération

N_{jour} : nombre de jours d'autonomie souhaité.

A l'échelle internationale, A. Fewkes a identifié une série d'autres méthodes et modèles comme : la méthode « semi-infinite reservoir method », la méthode « Hurst « s » procedure », le modèle « sequent peak algorithms » [Fewkes 2006]. Une analyse plus exhaustive de ces méthodes est effectuée dans le livre de McMahon et Mein [McMahon et Mein 1978]

2.2.5. Logiciels de simulation

Dans la majorité des références scientifiques que nous avons pu parcourir durant ce travail, nous avons relevé que chaque auteur utilise son outil spécifique et répond à ses besoins, à son point de vue et à aux données qu'il dispose. Il s'agit des mini-programmes développés grâce au logiciel Microsoft « Excel » et son application de programmation informatique « VBA[13] »

Nous présentons ci-dessous plusieurs exemples de ces outils plus particulièrement intéressants en raison des fonctionnalités qu'ils proposent (déclaration des différents usages, demande en eau…) :

2.2.5.1. L'outil de simulation « SARET[14] » [Basinger et al. 2010]

Cet outil est développé à l'université Drexel (Philadelphia -USA-). Il est développé sur le logiciel « Microsoft Excel » en utilisant des macros de type VBA.

Principe de fonctionnement. L'outil repose sur le modèle remplissage-soutirage développé par Fewkes (Yield Before Spillage » ou modèle YBS) en considérant un laps de temps journalier [Fewkes 2006].

[13] Visual Basic for Applications

[14] Storage and Reliability Estimation Tool

Fonctionnement de modèle du calcul. Après que l'utilisateur charge les données historiques des précipitations de sa région (représentée par une ou plusieurs stations métrologiques), les données doivent être journalières pour que l'outil fonctionne correctement. Le programme ensuite, classe les jours de la plage historiques en deux catégories : les jours humides (il y a de la pluie au moins durant une partie de la journée) et les jours secs (pas de pluie durant toute la journée). Dans un troisième temps et en s'appuyant sur les statistiques de la plage historique de données, le programme calcule la probabilité du deuxième jour de la plage:

- Le deuxième jour est un jour humide et qui était précédé par un jour humide.
- Le deuxième jour est un jour humide et qui était précédé par un jour sec.
- Le deuxième jour est un jour sec et qui était précédé par un jour humide.
- Le deuxième jour est un jour sec et qui était précédé par un jour sec.

Le programme calcule les mêmes probabilités pour tous les jours de la plage historique des données. Il convient de signaler que le premier jour de la plage a une seule probabilité (jour humide ou pas).

L'outil choisit ensuite 365 jours à partir d'une date de départ du calcul aléatoire. Ensuite le deuxième jour sera déterminé grâce aux probabilités décrites plus haut pour choisir s'il est un jour humide ou sec.

L'interface utilisateur. Nous n'avons pas pu télécharger l'interface de cet outil, mais l'utilisateur doit spécifier les paramètres habituels : surface de récupération, demande en eau… En retour, l'utilisateur aura une courbe qui décrit le volume de la cuve en fonction de taux de recouvrement de sa demande, comme il pourra consulter le comportement journalier d'une cuve donnée (décrite par son volume qui va être choisi par l'utilisateur) et il pourra consulter l'intégralité des données utilisées par l'outil.

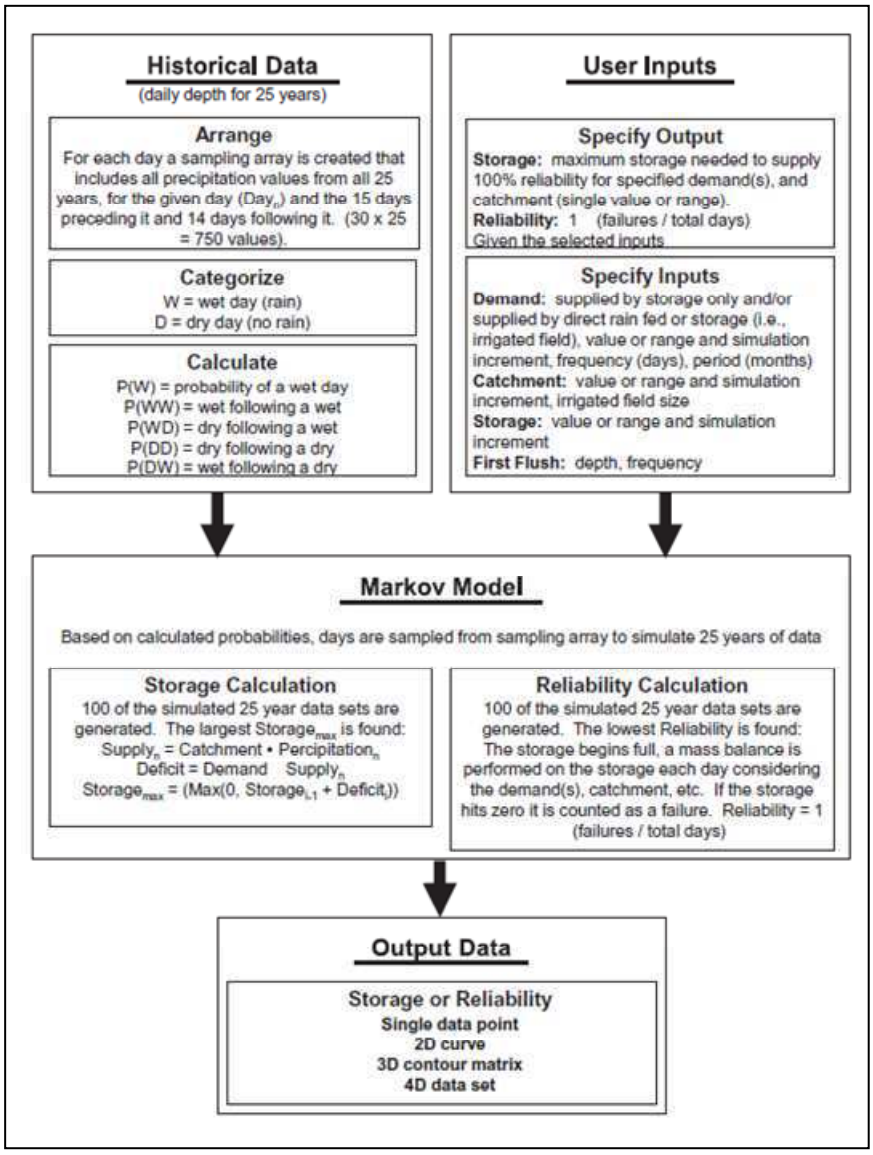


Figure 25. Schéma explicatif du principe de fonctionnement du « SARET ». Source [Basinger et al. 2010]

2.2.5.2. L'outil de simulation « arrosage du jardin » [Guillon et al. 2008]

L'outil développé par C. Roux[15] est destiné à simuler l'usage de l'arrosage du jardin, mais peut être utilisé pour d'autres usages avec une fréquence quotidienne. L'outil est développé sur le logiciel Microsoft « Excel » et en se basant sur les opérations mathématiques qu'il offre.

Principe de fonctionnement

L'outil est basé sur le principe « remplissage-soutirage » en considérant un laps de temps journalier.

Fonctionnement du modèle du calcul

[15] Ingénieur du service eau et assainissement du département Hauts-de-Seine (92)

L'utilisateur doit disposer des données journalières des précipitations de sa région d'au moins un an. Ensuite, l'outil vérifie si l'eau de pluie stockée dans la cuve peut satisfaire totalement ou partiellement la demande indiquée par l'utilisateur.

L'interface utilisateur

Dans l'interface utilisateur, il existe deux types de cases :

- Les cases qui comportent des *données à renseigner* par l'utilisateur qui sont eux aussi divisées en deux catégories les paramètres généraux (surface de récupération –surface active-, volume de la cuve que l'usager souhaite installer, la surface d'arrosage et les autres usages quotidiens) et les paramètres qui concernent particulièrement les besoins d'arrosage (RFU, profondeur explorée par les racines des plantes, la période d'arrosage et le plafond d'arrosage).
- Les cases qui affichent *le résultat*. Celle-ci sont divisées en deux catégories aussi : les résultats qui concernent le volume d'eau de pluie récupérée et stockée (total d'eau de pluie collectée, demande totale d'arrosage et/ou d'autres usages quotidiens, demande satisfaite et le taux de recouvrement de la demande) et les résultats qui concernent le trop-plein et le débordement vers le réseau d'assainissement (volume total rejeté, taux de rejet et le maximum journalier observé).

Fiche de saisie des paramètre et de synthèse des résultats			Données à renseigner	
			Résultat	
Paramètres généraux			**Paramètres de détail concernant les besoins d'arrosage**	
Surface active de collecte (toitures, terrasses...) en m	1470		RFU unitaire (mm/m) (35 à 90 mm/m)	70
Volume cuve réservée au recyclage en m3	20		Profondeur explorée par les racines (0,2 à 0,8 m)	0,4
Surface à arroser en m2	0		RFU résultante en mm	28
Autre consommation d'eau quotidienne en l/j	500		Mois début saison arrosage	5
			Mois fin saison arrosage	9
			Plafond arrosage en mm/j	3,5
Moyenne annuelle des volumes en jeu				
Total d'EP collecté en m3/an	946,5			
Demande totale annuelle d'arrosage ou d'eau recyclée	182,6			
Demande satisfaite grâce à l'eau recyclée en m3/an	182,4			
Taux de recouvrement de la demande	99,9%			
Statistique des rejets par trop-plein				
Volume total rejeté en m3/an	763,5			
Taux de rejet	80,7%			
Maximum journalier observé en m3	152,7			

Figure 26. Interface utilisateur de l'outil de simulation

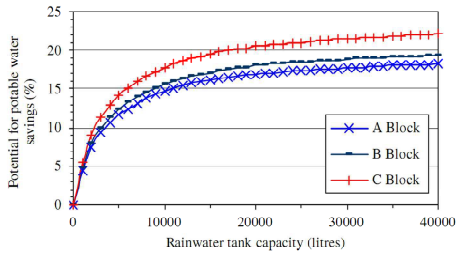
2.2.5.3. L'outil de simulation « NEPTUNE » [Ghisi et Ferreira 2007, Ghisi et al. 2007, Ghisi et al. 2009]

C'est un outil pour simuler le potentiel d'utilisation d'eau de pluie « PPWS » en fonction du volume de stockage compris entre 1000 l et 60 000 l avec un intervalle de 1000. Ensuite, il estime le volume de stockage idéal en se basant sur la règle suivante « le volume de stockage idéal est celui qui assure une économie d'eau potable d'au moins de 0.5% si on ajoute 1000 l de stockage ».

Nous n'avons pas pu récupérer le programme ni son interface, mais l'utilisateur doit déposer d'au moins un an de données journalières de précipitations de sa région ou de la plus proche station métrologique de son bâtiment. Il doit ensuite indiquer sa demande en eau de pluie, pour que le programme puisse afficher le graphe PPWS en fonction du volume de stockage.

Input data	A block	B block	C block
Roof area (m^2)	324.0	324.0	324.0
Runoff coefficient (non-dimensional)	0.85	0.85	0.85
Number of residents per flat	2.25	2.67	2.33
Daily potable water consumption (litres/capita per day)	179.1	133.3	141.4
Number of flats per block	16.0	17.0	16.0
Percentage of potable water that can be replaced by rainwater (toilet flushing, clothes washing and cleaning)	39.2	40.1	42.7

Données d'entrée du programme



Résultat affiché par le programme

Figure 27. Données d'entées et résultats affichés par « NEPTUNE ». Source [Ghisi et Ferreira 2007]

2.2.5.4. L'outil de simulation développé au LEESU [de Gouvello et al. 2010, Rivron 2009]

A l'issue de son stage C. Rivron a développé un outil sur le logiciel Excel permettant de calculer et d'afficher (numériquement et graphiquement) le volume de la cuve de stockage en fonction du taux de recouvrement ($S \mapsto E_T$) de l'eau de pluie selon la méthode déjà expliquée plus haut.

Principes de fonctionnement. Le modèle de fonctionnement de l'outil de simulation considère :

- un laps de temps *journalier*, ce choix est décrit par la nature des données possédées.
- un échantillon de données pluviométriques d'une durée égale ou inférieure à la plage de base[16].
- le soutirage est effectué après avoir rempli la cuve avec la pluie tombée le jour même (« Yield Before Spillage » ou modèle YBS). Il s'agit d'un modèle « pessimiste »[17].
- au début du calcul la cuve est vide. Concrètement, le modèle considère que la date de départ de l'échantillon est la même que la date du premier soutirage journalier.

<u>Fonctionnement du modèle de calcul</u>

Pour tracer un point de la courbe ($S \mapsto E_T$), l'outil de simulation choisit une date de départ aléatoire parmi toutes les dates de la plage de données pluviométriques, il applique ensuite

[16] Par exemple, pour la région parisienne, nous disposons d'une plage de 25 ans (1976 – 2005) de données pluviométriques journalières.

[17] Dans ce modèle le risque d'avoir une cuve vide, et donc un taux de recouvrement plus bas est plus important que le modèle « optimiste » qui considère que le soutirage s'effectue avant le remplissage de la cuve par la pluie journalière (« Yield After Spillage » ou modèle YAS)

l'algorithme décrivant le principe « remplissage / soutirage » sur un volume de cuve fixe. Comme il utilise un laps de variation de volume de 0.1 m^3, le premier point tracé correspond à un volume de cuve de 0.1 m^3. Afin d'assurer une meilleure fiabilité, il sera représenté par le point moyen (taux de recouvrement moyen) après avoir fait un grand nombre de tirages en choisissant une date de départ aléatoire à chaque tirage.

Pour tracer le deuxième point, il utilise les mêmes étapes précédentes, mais en variant le volume de la cuve (un volume de cuve de 0.2 m^3 pour le second point).

Ainsi, il trace tous les points de la courbe, en s'arrêtant au volume de la cuve qui peut contenir la quantité maximale d'eau de pluie récupérée (de telle façon qu'il soit 0 m^3 de débordement)

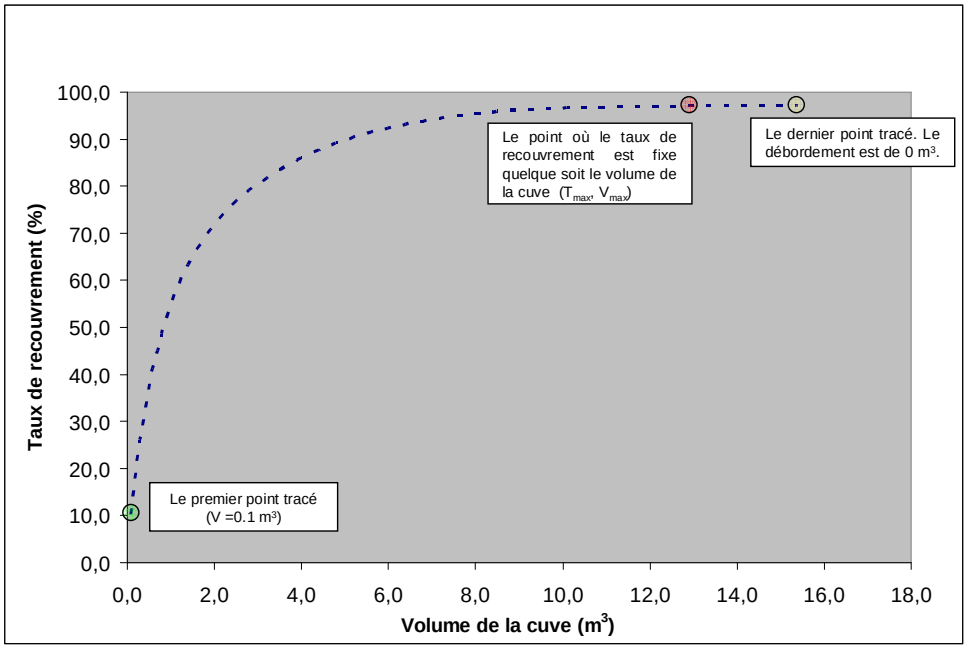


Figure 28. La courbe ($S \mapsto E_T$). Source : adaptée depuis [Rivron 2009]

Les autres points sont ensuite déterminés sur cette courbe : les deux points U2 et U3 de la « zone optimale », le point optimal « Uopt »,…. .

<u>Fonctionnement de l'interface « utilisateur »</u>

La première version de ce logiciel est « destinée au calcul d'un seul bâtiment ». Dans ce paragraphe, nous expliquons comment l'utilisateur manipule le logiciel de simulation afin de pouvoir obtenir la courbe $S \mapsto E_T$ et les points qui l'intéressent.

- *Etape 1 « données pluviométriques » :* l'utilisateur doit charger les données pluviométriques journalières de la ville ou de la zone où se trouve le bâtiment objet du calcul**.**

- *Etape 2 « données de la méthode de calcul » :* ces données doivent être modifiées par un utilisateur qui a un certain niveau de connaissances du mode de fonctionnement de la méthode et du modèle de l'outil. Il s'agit du « nombre de données aléatoires » qui exprime le nombre de tirages à faire pour construire un point de la courbe, « imprécision de la méthode (Monte-Carlo)[18] » et le « laps de variation du volume » pour un intervalle entre deux points de la courbe.

- *Etape 3 « données du bâtiment » :* il s'agit de renseigner la « surface de récupération » et le « coefficient de récupération ».

- *Etape 4 « choisir le scénario d'usage de l'eau de pluie »:* il s'agit de choisir les usages de l'eau de pluie visés. Dans cette première version, seuls deux usages de l'eau de pluie sont considérés (WC et arrosage). Il convient aussi de renseigner les paramètres de ces usages, le ratio (27,4 l par exemple) pour l'usage WC[19] et le ratio (5 mm) la périodicité (de mai à septembre par exemple) et la fréquence d'arrosage pour l'usage arrosage (chaque jour par exemple).

- *Etape 5 « Le renseignement des variables » :* il s'agit de renseigner le nombre d'usagers (4 habitants par exemple) pour l'usage WC et la surface à arroser (50m^2 par exemple).

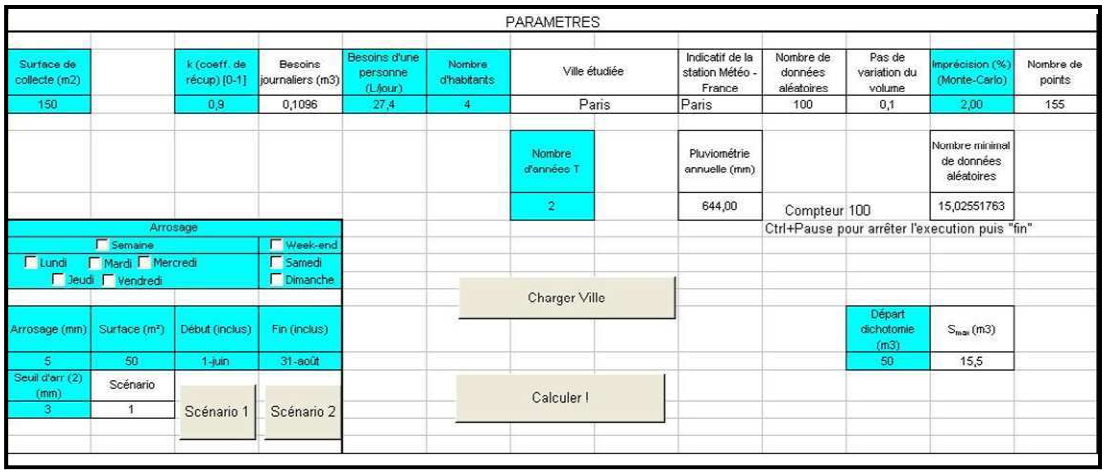


Figure 29. L'interface utilisateur de l'outil de simulation. Source : [Rivron 2009]

L'outil affiche ensuite les résultats graphiquement (sur le courbe volume de la cuve en fonction du taux de recouvrement) et numériquement (dans un tableau) :

[18] La méthode de « Monte-Carlo » pour calculer une valeur moyenne pour un nombre important de données. Pour plus d'information : http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_de_Monte-Carlo

[19] La fréquence est journalière par défaut.

- le volume optimal[20] de la cuve de stockage et son taux de recouvrement correspondant.
- les deux points (U2 et U3) de la zone optimale.
- le volume de cuve minimal pour un taux de recouvrement maximal et son taux de recouvrement correspondant.

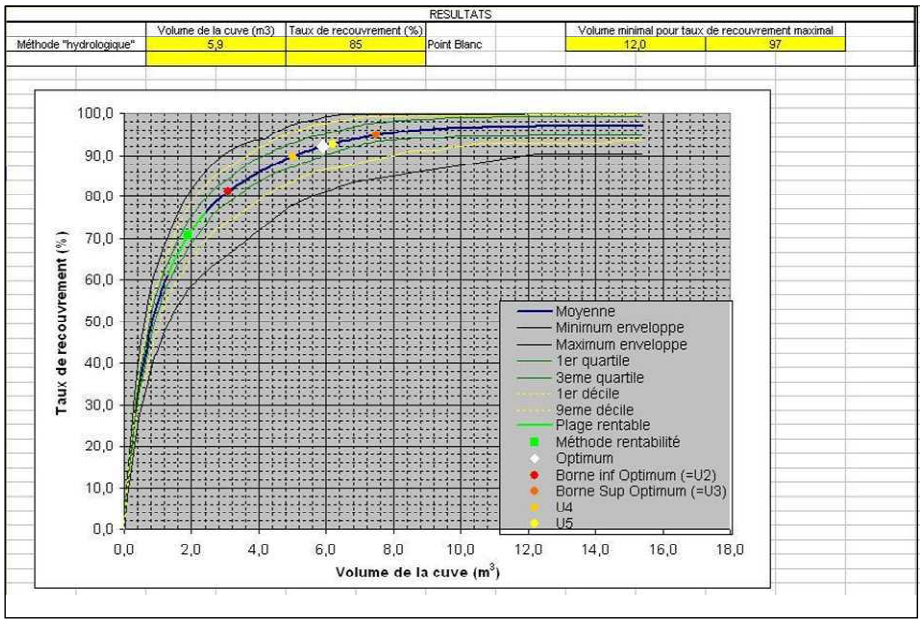


Figure 30. Résultats affichés par l'outil de simulation. Source : [Rivron 2009]

Une deuxième version de l'outil a été proposée, destinée au calcul d'un nombre de bâtiments restreint, dans laquelle des améliorations à notre demande et ont été apportées par P. Sennhauser dans le cadre de son stage scientifique [Sennhauser 2010]. Cette nouvelle version permet :

- d'intégrer les autres usages possibles de l'eau de pluie (lavage du sol, lave linge,…)
- d'afficher le volume de l'eau de pluie utilisé par chaque bâtiment calculé.
- d'afficher numériquement tous les points importants de la courbe (U2, U3, U_{max},…)

A ce stade, nous avons constaté qu'à chaque calcul du bâtiment, nous devrons renseigner manuellement ses variables. Afin de gagner du temps et de donner plus d'autonomie à l'outil, nous avons pensé à automatiser le renseignement des variables de chaque ensemble de bâtiments qui ont le même « scénario d'usage », de telle façon que l'utilisateur charge une fois la liste qui contient les variables de l'ensemble des bâtiments et l'outil prend la main ensuite pour calculer et afficher les informations décrites ci-dessus.

[20] Uopt du point de vue hydraulique (le point situé entre les deux extrémités de la zone optimale)

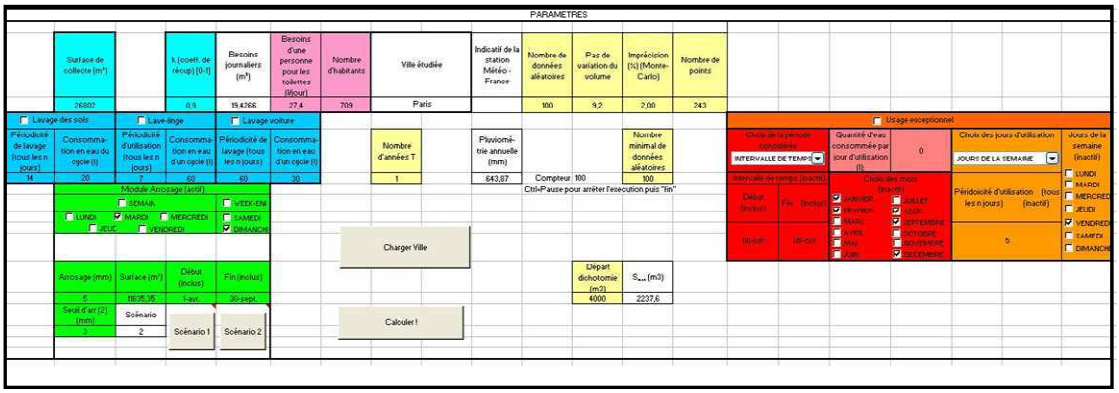


Figure 31. Nouveau interface utilisateur de l'outil de simulation. Source [Sennhauser 2010]

Cette étape est considérée comme une première approche vers le calcul du volume de l'eau de pluie utilisé à une échelle plus grande que le bâtiment (ensemble de bâtiments).

Nous reviendrons sur ce logiciel ultérieurement dans ce rapport, car il sera utilisé dans la suite du travail.

2.3. Etude de la performance hydraulique à l'échelle urbaine.

Dans plusieurs pays du monde, les systèmes d'approvisionnement en eau potable commencent à présenter un certains nombre de problèmes, comme la surexploitation, la pollution, la diminution des ressources en eau. Seulement la moitié des usages de cette eau nécessite la qualité potable et ils peuvent être satisfaits directement par l'eau de pluie grâce aux systèmes de RUEP. Afin que ces systèmes soient efficaces face aux problèmes précédents, une généralisation à grande échelle est recommandée [Howarth 2006].

En Allemagne, la généralisation des systèmes de RUEP dans le secteur résidentiel a prouvé sa capacité de traiter même partiellement ces problèmes, ce qui pousse les pouvoirs publics à encourager le recours à ce type d'approvisionnement en eau dans les autres types de bâtiments [Konig 2001]

En Suède, l'urbanisation croissante et le recours au système actuel d'approvisionnement en eau ont participé à la détérioration de la ressource en eau surfacique comme souterraine. Certaines recherches montrent que le recours aux systèmes de RUEP à une grande échelle peut réduire la quantité d'eau requise par le système d'approvisionnement centralisé et participant par conséquent à la conservation de la ressource en eau [Villarreal et Dixon 2005].

En Australie, qui adopte une politique de gestion intégrée de l'eau en milieu urbain, la décision a été prise de généraliser les systèmes de RUEP. Aussi, les recherches ont montré que la RUEP a un potentiel considérable dans le cas de sa généralisation à une grande échelle (réduire le volume de

l'eau potable consommé, réduire la pollution par ruissellement surfacique et réduire le volume rejeté dans le réseau d'assainissement) [Argue 2001, Coombes et al. 2002]

Peu de travaux abordent ce type d'étude. Ils l'abordent pour montrer la capacité à économiser l'eau potable du réseau public en utilisant l'eau de pluie issue des systèmes de RUEP à une échelle urbaine. Seule la méthode de simulation théorique permet d'étudier l'impact qui peut avoir un tel phénomène. En effet aucun retour d'expérience n'est constaté aujourd'hui concernant l'impact de la généralisation des systèmes de RUEP à une échelle urbaine et tous les modèles et les méthodes restent théoriques.

Dans la littérature scientifique, nous avons repéré quelques méthodes qui s'intéressent à l'étude de la performance hydraulique de la généralisation des systèmes de RUEP à une échelle urbaine. Dans cette section, nous allons présenter ces méthodes :

2.3.1. Calcul du PPWS par le potentiel de l'eau de pluie issue des toitures.

Il s'agit de la méthode la plus utilisée pour estimer le PPWS à une échelle urbaine (ville, région, pays). Voici quelques exemples de son application :

2.3.1.1. Exemple 1 : Etat du Texas (USA)

Cette méthode est utilisée par l'Etat du Texas (USA) pour montrer les économies d'eau qu'il peut faire en généralisant la RUEP comme système d'approvisionnement complémentaire à celui du réseau public. Concrètement, l'Etat du Texas a estimé son potentiel d'économie d'eau potable en utilisant l'eau de pluie (PPWS) en se basant sur sa pluviométrie annuelle et sur la surface de ses bâtiments construits, comme suit :

- Une étude sur la pluviométrie de l'Etat a été effectuée. Une moyenne annuelle en a été déduite (711 mm)
- Une estimation des toitures de l'ensemble des bâtiments de l'Etat a été obtenue aussi (686 millions m^2).
- Une hypothèse basée sur une estimation que 10% de toitures de l'Etat sont en mesure de récupérer l'eau de pluie.

En se basant sur ces trois éléments, le comité d'évaluation a évalué le PPWS de l'Etat à plus de 14 millions m^3/an [Krishna et al. 2005].

2.3.1.2. Exemple 2 : région Santa Catarina (Brésil)

Elle est aussi utilisée par E. Ghisi pour calculer le PPWS à l'échelle de 62 villes de la région Santa Catarina (62 villes au Brésil). En se basant sur les informations de l'Institut Brésilien de la géographie et de la statistique [Ghisi et al. 2006] :

La pluviométrie

Les données de précipitation quotidiennes ont été obtenues grâce à EPAGRI (the Santa Catarina agency for research on agriculture). Ces dernières ne couvrent pas parfois la même période pour toutes les villes et dans certains cas elles ne sont pas complètes. Les données disponibles sont donc traitées afin d'obtenir une moyenne mensuelle pour chaque ville.

La surface globale des toitures

91.1% des logements situés dans l'Etat de Santa-Catarina sont des maisons individuelles et 8.6% sont des logements collectifs. Comme il n'y a aucune donnée officielle sur les surfaces de toitures, une surface moyenne de 85 m^2 a été retenue pour chaque maison individuelle et une surface de 3.75 m^2 par personne, pour les habitants des logements collectifs (cela donne 15 m^2 de toiture pour chaque appartement). Le calcul de la surface des toitures de chaque ville est donné par l'équation suivante :

$$RA = (H \times 85.00) + (F \times PD \times 3.75)$$ **(Équation 11)**

Où :

RA : surface des toitures pondérée dans chaque ville

H : le pourcentage de maisons individuelles dans chaque ville

F : le pourcentage d'appartement dans chaque ville

PD : le nombre d'habitant par logement dans chaque ville

Volume d'eau de pluie récupérée

Le volume mensuel d'eau de pluie qui pourrait être récupéré dans chaque ville a été calculé en considérant des données de précipitation mensuelle et la surface de toiture (avec un coefficient d'écoulement de 0.80, ce coefficient indique une perte de 20% d'eau de pluie et qui sera utilisée pour le nettoyage des toitures et aussi de la vaporisation.

$$VR = \frac{R \times TRA \times Rc}{1000}$$ **(Équation 12)**

Où :

VR : le volume d'eau de pluie qui pourrait être récupérée dans chaque ville

R : la précipitation mensuelle dans chaque ville

TRV : la surface de toitures dans chaque ville

Rc : le coefficient d'écoulement

Le potentiel d'économie d'eau potable

Il s'agit de calculer l'économie potentielle en matière d'eau potable pour chacune des 62 villes comme suit :

$$PPWS = 100\frac{VR}{PWD}$$ **(Équation 13)**

Où :

PPWS : le potentiel d'économie d'eau potable pour chaque ville

VR : le volume mensuel d'eau de pluie qui pourrait être récupérée dans chaque ville

PWD : la consommation mensuelle d'eau potable dans chaque ville.

Le tableau suivant résume les données d'entées et les résultats du calcul du PPWS de la ville Florianópolis

Month	Average roof area per dwelling (m^2)	Number of dwellings supplied with potable water	Total roof area (m^2)	Volume of rainwater (m^3/month)	Water demand (m^3/month)	Potential for potable water savings (%)
January	80	64,928	5,194,271	732,184	1,135,326	64
February	80	65,169	5,213,519	824,570	1,132,058	73
March	80	65,297	5,223,741	778,546	1,171,927	66
April	80	65,423	5,233,834	404,471	1,193,158	34
May	80	65,707	5,256,549	407,488	1,181,492	34
June	80	65,905	5,272,372	317,186	1,179,262	27
July	80	65,926	5,274,077	399,142	1,098,445	36
August	80	65,905	5,272,420	390,159	1,135,580	34
September	80	66,132	5,290,554	536,674	1,162,905	46
October	80	66,239	5,299,160	534,155	1,094,367	49
November	80	66,456	5,316,509	549,089	1,237,191	44
December	80	66,660	5,332,824	623,727	1,260,527	49

Tableau 3. Le PPWS de la ville Florianópolis (Brésil). Source [Ghisi et al. 2006]

2.3.1.3. Exemple 3 : plusieurs régions Santa (Jordanie)

En Jordanie, Abdulla a calculé le APPWS (Annual Potential for Potable Water Savings –le potentiel annuel d'économie d'eau) à l'échelle de plusieurs régions du pays [Abdulla et Al.-Shareef 2009].

Le « APPWS » est donné par la formule suivante :

$$APPWS = 100 \times \frac{VR}{PWD}$$ **(Équation 14)**

Où :

APPWS : le potentiel annuel d'économie d'eau (Annual Potential for Potable Water Savings) (%)

VR : le volume annuel d'eau de pluie qui pourra être récupéré dans chaque région (annual volume of rainwater) (m^3 / an).

PWD : la demande en eau potable annuelle dans chaque région (annual potable water demand) (m^3/an)

Le VR est calculé par la formule suivante :

$$VR = (R \times A \times C / 1000)$$ **(Équation 15)**

Où :

R : la moyenne annuelle des précipitations dans chaque région (average annual rainfall) (mm/an)

A : la surface totale des toitures dans chaque région (total roof area) (m^2)

C : le coefficient de ruissellement (run-off coefficient)

Le tableau suivant résume les données d'entées et les résultats du calcul du APPWS des différentes régions [Abdulla et Al-Shareef 2009]

Governorate	Total roof area (m^2)	Annual rainfall (mm)	Volume of harvested rainfall ($10^6 \times m^3/y$)	Water demand $10^6 \times (m^3/y)$ (2004)	Potential for potable water savings (%)	Population (10^6)	Per capita water use (2004) (L/d/capita)
Middle region							
Amman	16,769,552	480.6	6.45	115.64	5.6	1.939	163.4
Balqa	3,513,970	530.4	1.49	19.59	7.6	0.345	155.6
Zarqa	4,984,442	144.1	0.575	37.69	1.5	0.775	133.2
Madaba	1,455,396	320.3	0.373	6.05	6.2	0.130	127.5
Northern region							
Irbid	10,787,060	427.3	3.69	32.75	11.3	0.923	97.2
Jarash	1,826,738	436.7	0.64	4.3	14.9	0.154	76.5
Ajlun	1,312,606	582.2	0.61	3.1	19.7	0.119	71.4
Mafraq	3,785,706	161.3	0.49	16.46	3.0	0.241	187.1
Southern region							
Karak	3,085,244	349.7	0.86	11.03	7.8	0.204	148.1
Tafiela	978,275	242.3	0.19	3.07	6.2	0.0753	111.7
Ma'an	1,306,400	42.8	0.045	7.06	0.6	0.0927	208.6
Aqaba	918,150	31.8	0.023	8.49	0.27	0.102	228.0
Total			15.44	265.2	7.056		

Tableau 4. APPWS des régions jordaniennes. Source : [Abdulla et Al-Shareef 2009].

2.3.1.4. Exemple 4 : région Ile-de-France (France)

De notre côté, nous avons testé cette méthode pour décrire la capacité de récupération en eau de pluie de la région Ile-de-France. Elle considère la totalité des bâtiments d'une échelle urbaine donnée et elle ne met aucune contrainte de stockage (pas de cuve de stockage). Nous avons nommé l'indicateur qui calcule cette capacité le « Potentiel de Captage et de Récupération (PCR) » [Belmeziti et de Gouvello 2009]. Ce dernier est donné par la formule suivante :

$PCR = Sr \times Cr \times Pl / 1000$ **(Équation 16)**

Où :

*PCR (*Potentiel de Captage et de Récupération) : il s'agit de calculer la quantité de l'eau de pluie qui tombe sur toutes les toitures des bâtiments (m^3/an).

Sr (surface de récupération) **:** il s'agit de la somme de toutes les toitures des bâtiments à l'échelle urbaine considérée (m^2).

Cr (Coefficient de récupération) : c'est le coefficient qui prend en compte les pertes dues au ruissellement sur le toit, dépendant du matériau utilisé, ainsi que les pertes qui ont pu avoir lieu avant la cuve.

Pl (pluviométrie) : il s'agit de la moyenne annuelle et souvent de plusieurs années pour assurer une certaine fiabilité du résultat obtenu (mm).

L'application de cette méthode à l'échelle de la région Ile- de-France est faite comme suit :

- *surface de récupération*[21] : Cette donnée correspond à la surface de toitures, elle est obtenue directement d'après l'enquête "Utilisation du territoire - TERUTI-LUCAS", réalisée par le ministère de l'agriculture.
- *coefficient de récupération* : un coefficient moyen de 0.85
- *pluviométrie* : la moyenne de 30 années (1976-2005) de données quotidiennes de précipitation sur Paris été prise (une moyenne de 644 mm/an).

Le calcul du PCR est basé sur les hypothèses suivantes :

- tous les bâtiments de l'échelle urbaine considérée sont aptes à récupérer l'eau de pluie qui tombe sur leurs toitures.
- il y a les moyens nécessaires pour stocker toute l'eau de pluie récupérée.

[21]Disponible sur le site : http://eider.ifen.fr/Eider/tables.do#

Les résultats de l'application de ce modèle sont les suivants :

	PCR (m^3/an)	%
Ile-de-France	**301 853 881**	**100%**
Paris (75)	19 265 488	6,38%
Hauts-de-Seine (92)	24 893 174	8,25%
Seine-Saint-Denis (93)	32 304 463	10,70%
Val-de-Marne (94)	34 042 993	11,28%
Seine-et-Marne (77)	67 068 624	22,22%
Yvelines (78)	40 449 798	13,40%
Essonne (91)	44 680 221	14,80%
Val-d'Oise (95)	39 149 120	12,97%

Tableau 5. Le PCR de la région Ile-de-France et ses département. Source : [Belmeziti et de Gouvello 2009]

A l'échelle de la région, un potentiel maximal de plus de 300 millions m^3/an est possible grâce à la récupération de l'eau de pluie. En comparaison avec la consommation en eau potable qui dépasse les 790 millions m^3/an, la région francilienne serait capable de couvrir 38% de ses besoins en eau grâce à l'utilisation de la totalité de son eau de pluie qui tombe sur les toitures de ses bâtiments. Cette situation va générer une baisse de prélèvement de 31% d'eau destinée à l'usage domestique.

A l'échelle des départements, Paris et les Yvelines présentent des taux de recouvrement les plus faibles. En effet les deux départements présentent des tissus urbains différents : la majorité du tissu urbain de Paris est un habitat collectif, aussi le taux de recouvrement en eau de pluie est relativement faible par rapport aux besoins d'alimentation des chasses d'eau des toilettes, car un bâtiment collectif se caractérise par sa faible surface de collecte, pour une grande consommation en eau destinée à l'alimentation des chasses d'eau des toilettes. En revanche, le tissu urbain des Yvelines est composé essentiellement de l'habitat individuel, caractérisé par une grande surface de jardin à arroser, d'où un taux de recouvrement relativement faible par rapport aux besoins d'arrosage.

2.3.2. La méthode du bâtiment représentatif

Cette méthode repose sur l'analyse du tissu urbain et de la densité d'occupation des bâtiments (les bâtiments d'habitation en particulier). Il s'agit de déterminer un ou plusieurs bâtiments représentatifs de l'échelle urbaine afin d'étudier le PPWS pour chacun de ces bâtiments et de le généraliser ensuite à toute l'échelle urbaine. Nous avons repéré quelques exemples de son application :

2.3.2.1. Exemple 1 : Sao-Paulo (Brésil)

E. Ghisi a évalué le PPWS de la région Sao-Paulo en étudiant des bâtiments représentatifs. Il a choisi un bâtiment pour chacune des 9 villes qui composent la région. Chaque bâtiment représente

une situation fictive d'utilisation de l'eau de pluie avec des caractéristiques qui représentent la moyenne constatée dans chaque ville de la région.

City	Potable water demand		Roof area (m^2)	Number of people per dwelling	Rainfall (mm/year)
	(litres/capita per day)	Classification			
Itaquaquecetuba	94	Low	82	3.97	1340
Alumínio	106	Low	85	3.79	1541
Paulistânia	114	Low	83	3.54	1255
Jales	161	Medium	84	3.32	1166
Espírito Santo do Pinhal	166	Medium	83	3.61	1524
São Paulo	176	Medium	66	3.54	1363
Indaiatuba	238	High	81	3.66	1243
Jundiaí	244	High	74	3.50	1140
Santos	255	High	38	3.19	3395

Figure 32. Les situations (bâtiments) représentatives pour les 9 villes de la région Sao-Paulo (Brésil). Source [Ghisi et al. 2007]

Le choix de la cuve de stockage et du PPWS est faite ensuite selon la règle : le volume de stockage idéal est celui obtenu quand on ajoute 1000 litres de volume de stockage, mais le PPWS augmente de moins de 0.5% (cf. §2.2.4.5) [Ghisi et al. 2007].

Le calcul du PPWS à l'échelle de chaque ville de la région Sao-Paulo est calculé en multipliant celui calculé à l'échelle de la situation représentative (moyenne) et le nombre total des logements d'habitation de la ville.

2.3.2.2. Exemple 2 : Lower-Hunter (Australie)

P.J. Coombes a évalué le PPWS de la région « Lower Hunter » (Australie). Le passage à cette échelle est effectué sur trois étapes [Coombes et al. 1999, Coombes et al. 2002] :

- afin de faciliter la modélisation, la région est divisée en 9 zones dont chacune a ses propres caractéristiques (nombre d'habitants, mode d'occupation de logements …)
- les zones de la région ont été représentées par 7 bâtiments selon le nombre d'occupants (5 bâtiments pour représenter les maisons individuelles de 1 à 5 habitants et deux bâtiments pour représenter les immeubles collectifs).
- une simulation est effectuée dans un premier temps à l'échelle de chaque bâtiment représentatif afin de déterminer le volume de la cuve de stockage adéquat et le PPWS obtenu en conséquence.

Item	Occupants	Dwellings	Roof area (m^2)	Tank size (kl)
H1	1	1	100	10
H2	2	1	135	10
H3	3	1	175	10
H4	4	1	215	10
H5	5+	1	250	10
C1	11	4	415	20
C2	24	9	600	30

Tableau 6. Les bâtiments représentatifs et leurs caractéristiques. Source [Coombes et al. 2002]

- Un calcul du PPWS est effectué ensuite à l'échelle de chaque zone en tenant compte de la population et de sa répartition sur les maisons et les logements. Il faut signaler que P.J. Coombes a exprimé le PPWS par le pourcentage de réduction d'utilisation de l'eau potable (% of Mains water use).

Zone	Reduction (%) Mains water use
Inner SE Newcastle	50.3
Hamilton Mayfield	54.3
Lambton Jesmond	54.6
NW Wallsend	44.7
Lake Macquarie East	50.4
Lake Macquarie West	50.0
Maitland	40.9
Cessnock	40.3
Port Stephens	49.1

Tableau 7. Le calcul du PPWS à l'échelle de chaque zone de la région « Lower Hunter ». [Coombes et al. 2002]

A la fin, il convient de signaler que le calcul du PPWS de la région est s'effectué en additionnant ceux des 9 zones.

2.3.2.3. Exemple 3 : San-Francisco (USA)

Une autre méthode de généralisation vers l'échelle urbaine (région) est utilisée par P. James. Elle consiste à choisir un bâtiment représentatif, qui sera sélectionné comme étant le modèle le plus répandu au niveau de l'échelle urbaine considérée ou comme un modèle moyen qui assure un bon compromis entre plusieurs modèles qui composent cette échelle. Une étude sur la RUEP est effectuée sur ce bâtiment et son PPWS obtenu grâce à cette étude (exprimé en % par rapport consommation globale de l'eau potable) sera projeté directement sur l'échelle urbaine considérée. [James et al. 2009]

P. James a utilisé une parcelle (située dans la région de San Francisco) de 930 m^2, avec un bâtiment individuel de 140 m^2, un garage de 37 m^2 un espace de circulation de 74 m^2. Le modèle propose de

fixer le taux de récupération à 80%. L'eau récupérée est stockée dans un réservoir de 5,4 m^3 qui assure un taux de recouvrement de 100% par rapport aux besoins d'arrosage (464 m^2 de jardin). Les besoins d'arrosage sont évalués en se basant sur un modèle ETP (Evapotranspiration).Cette étude est étendue à plusieurs bâtiments dans d'autres villes du pays en déterminant une cuve de stockage typique pour chaque ville [James et al. 2009].

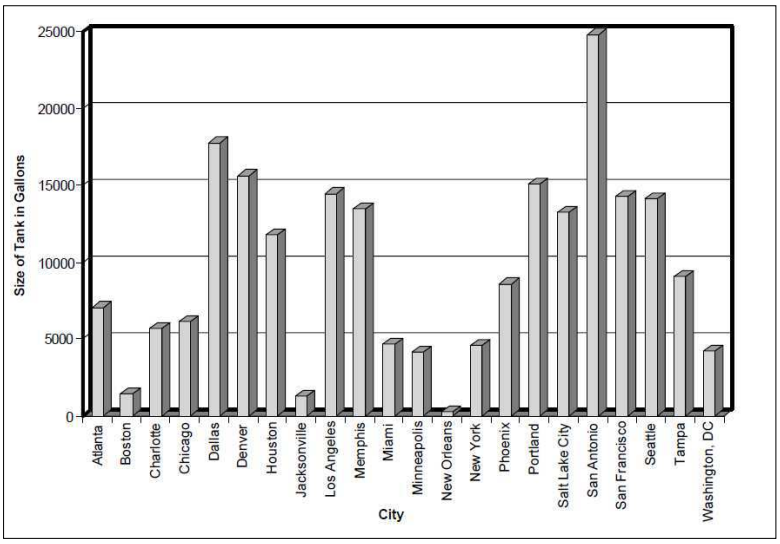


Figure 33. Les cuves de stockage typique par ville [James et al. 2009].

On constate d'après la figure ci-dessus la grande variabilité des tailles des cuves de stockage entre les villes étudiées.

Ensuite, les résultats des cas étudiés sont directement projetés à l'échelle régionale où le taux de recouvrement de chaque cas est applicable à l'échelle de la région correspondante.

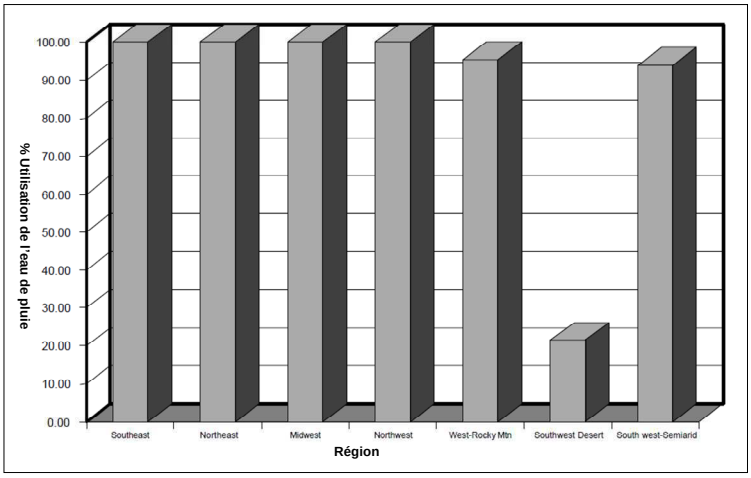


Figure 34. Utilisation de l'eau de pluie par région [James et al. 2009].

2.3.3. La méthode de l'usager représentatif

Dans cette méthode l'usager de l'eau de pluie (particulièrement l'habitant) est considéré comme une unité de base de calcul du PPWS. Une étude sur ses besoins domestiques en eau de pluie doit être

réalisée. La surface de récupération moyenne qui peut lui être allouée et la pluviométrie de l'échelle urbaine en question est estimée afin de déterminer le PPWS correspondant [Kellagher et Maneiro Franco 2005]

Coombes a étudié la RUEP par usager et par ensemble d'usagers afin de calculer le PPWS de chacun entre eux. L'objectif de cette étude est de déduire un ratio qui sera utilisé ensuite pour le calcul du PPWS à l'échelle de la région [Coombes et Kuczera 2003].

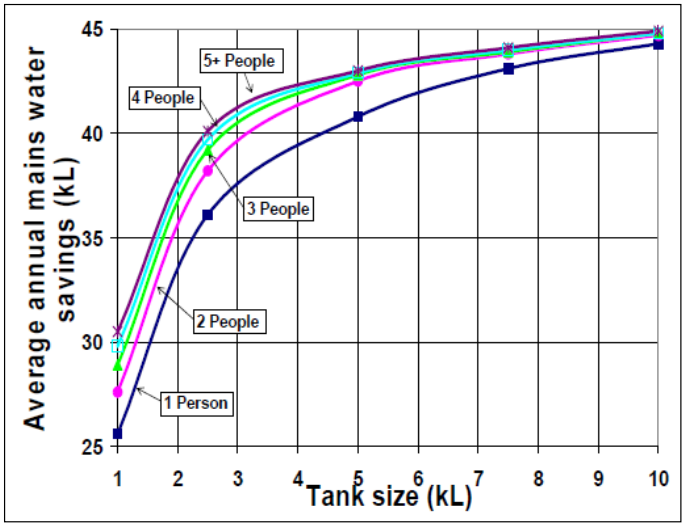


Figure 35. Le calcul du PPWS par usager de l'eau de pluie. Source [Coombes et Kuczera 2003]

Le PPWS de l'échelle urbaine (région) est calculé en multipliant le PPWS de l'usager représentatif et le nombre total des usagers de potentiel de l'eau de pluie de l'échelle urbaine étudiée.

2.3.4. La méthode de ratio d'arrosage

A. Guillon a proposé une méthode pour évaluer l'impact de généralisation des dispositifs de RUEP à l'échelle du département Hauts-de-Seine sur la limitation des rejets d'eau de pluie dans le réseau d'assainissement [Guillon et al. 2008].

Pour ce faire, une série de simulations a été effectuée grâce au logiciel de simulation développé par C. Roux (cf. § 2.2.5.2) en prenant un laps de temps journalier sur des enregistrements de plus de 30 ans (du 1er janvier 1976 au 31 décembre 2005). Les paramètres pris en compte et leurs variables sont les suivants :

- Volume de la cuve. Les valeurs testées sont : 0.2 m^3, 0.8 m^3, 1.6 m^3, 3.2 m^3 et 5 m^3.
- Surface de récupération. Les valeurs testées sont : 50 m^2, 100 m^2, 150 m^2 et 200 m^2.
- Surface d'arrosage. Les variables testées sont : 50 m^2, 100 m^2, 150 m^2 et 200 m^2.

D’autres paramètres sont également pris en compte, tels que : les pertes initiales (coefficient de récupération de 1), la profondeur des racines des plantes à 0.5 m et le coefficient de la végétation à 1.

Plusieurs cas ont été examinés, chaque cas comporte une surface de récupération, une surface d’arrosage, un volume de cuve, une valeur de pertes initiales, une profondeur des racines, une période d'arrosage et un coefficient de végétation. Les calculs ont permis de déterminer :

- Le taux de recouvrement de la demande en eau, ce qui correspond au rapport de la quantité d’eau de pluie utilisée sur les besoins totaux d’arrosage.
- Le taux moyen de débordement annuel correspondant au rapport du volume total débordé de la cuve de stockage (vers le système d'assainissement) sur le volume total d’eau de pluie collecté en aval de la surface de récupération.

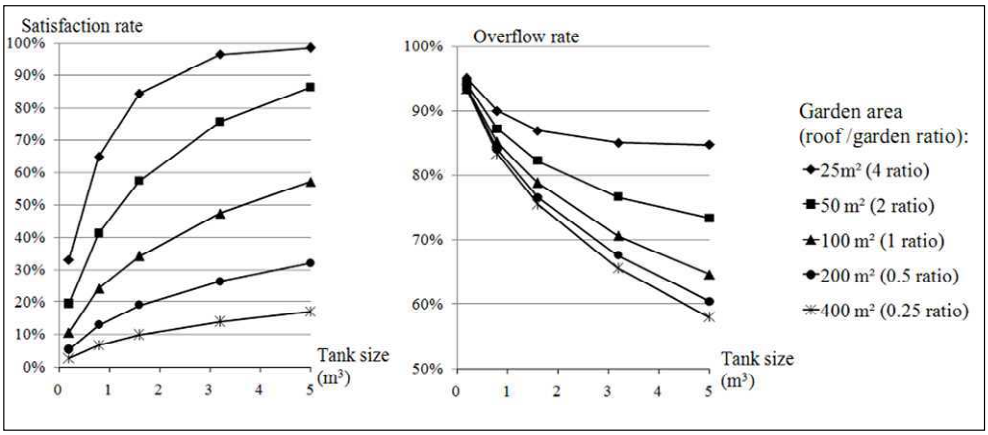


Figure 36. Les résultats de la série de simulation : Le taux de recouvrement de la demande en eau et le taux de débordement. Source [Guillon et al. 2008]

Afin d’étudier l’impact de la généralisation des dispositifs de RUEP sur le réseau d’assainissement, A. Guillon a considéré que tous les bâtiments de type « maison individuelle » utilise l’eau de pluie pour arroser leur jardin. Il a ensuite obtenu des informations de la part de l’IAU-IDF sur le mode d’urbanisation du département de Hauts-de-Seine :

- 22% de sa superficie est constituée par du bâti.
- 41% de sa superficie est constituée d’espaces verts.
- Et 37% de sa superficie est constituée d’autres espaces (routes, autres bâtis …)

A partir de ces données, elle a pu définir un ratio de surface de récupération sur la surface du jardin égal à 0,5 ; autrement-dit pour 100 m² de surface bâtie, une moyenne d’environ 200 m² est consacrée aux jardins. Il a ensuite extrapolé les résultats (taux de débordement) à partir des simulations faites plus haut et qui correspondent à un ratio : surface de récupération/ surface jardin

égal à 0,5. A cet effet, il a considéré que tous les espaces verts peuvent être arrosées avec l'eau de pluie potentiellement récupérée en aval partir des toitures de tous les bâtiments.

Elle a également estimé que les bâtiments de type « maisons individuelles » participent à 40% du volume d'eau pluie rejeté dans le réseau d'assainissement du département.

A la base de ces données, elle a conclu que si tous les bâtiments seraient équipés d'une cuve de stockage de 5 m^3, l'impact serait une réduction d'au moins de 20% d'eau annuellement dans le réseau d'assainissement du département.

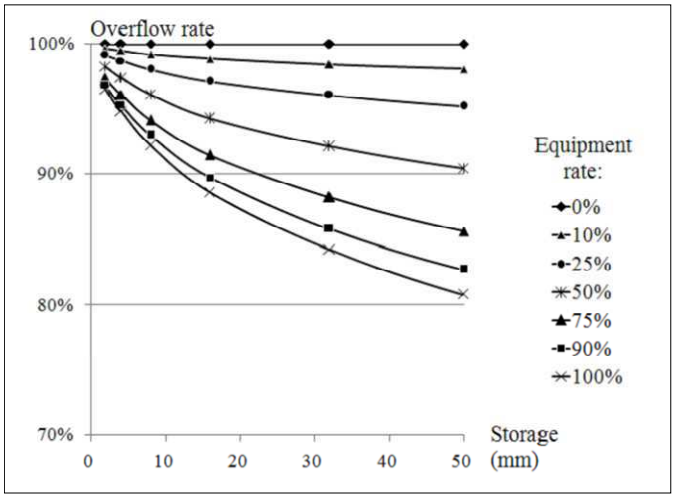


Figure 37. Le débordement de l'eau de pluie par rapport au volume de stockage et le nombre de bâtiments équipés par un dispositif de RUEP. Source : [Guillon et al. 2008]

Du point de vue pratique, Guillon a choisi une hypothèse plus modeste qui limite le nombre des bâtiments de type « maison individuelle » aptes à être équipés d'un dispositif de RUEP à 50% par rapport à l'ensemble du même type du département Hauts-de-Seine. Cela engendre une réduction d'au moins de 10% d'eau annuellement dans le réseau d'assainissement du département.

2.4. Conclusion du chapitre

Le présent chapitre a fait une synthèse sur la littérature scientifique sur le thème « RUEP en milieu urbain ». nous pouvons en tirer les conclusions suivantes :

- Tous d'abord, du point de vue étude des systèmes de RUEP, la littérature est divisée en deux sous-thème : la RUEP à l'échelle élémentaire (bâtiments) et la RUEP à l'échelle globale (échelle urbaine : ville, agglomération …).
- En ce qui concerne la RUEP à l'échelle élémentaire, il a été relevé une multitude de méthodes d'étude et de modèles du calcul au niveau international comme au niveau national. Cette multitude montre que l'étude de la RUEP doit être étudiée dans son

contexte particulier, selon l'objectif de l'étude, le point de vue adopté et les conditions naturelles, urbaines et sociales.

- En ce qui concerne la RUEP à l'échelle urbaine, il a été relevé que le thème est timidement abordé jusqu'à maintenant. En effet, sauf quelques méthodes simples avec pour objectif de calculer le potentiel de récupération, le thème est encore vierge, ce qui ouvre un champ exploratoire pour la communauté scientifique.

Pour la suite du travail, nous retiendrons les éléments suivants :

- Pour l'étude du comportement hydraulique d'un dispositif de RUEP à l'échelle d'un bâtiment, nous nous appuierons sur le modèle développé par A. Fewkes (d'après les travaux de D. Jenkins). Et pour le dimensionnement de la cuve de stockage, nous choisissons le principe du « taux de recouvrement optimal », développé par E. Ghisi et aussi par B. de Gouvello, mais en adoptant notre propre point optimal (Cf. Chapitre 4).
- Pour l'étude du comportement hydraulique à l'échelle urbaine, aucune méthode parmi celles présentées n'est capable de décrire avec précision une acceptable ce comportement. Nous reviendrons dans le chapitre suivant sur ces méthodes avec un recul critique (en montrant leurs avantages et leurs limites).

Chapitre 3. Un enjeu central de la problématique de recherche : le changement d'échelles

Nous avons vu dans les précédents chapitres (chapitre 1 et chapitre 2) que la pratique de RUEP se développe rapidement ces dernières années. Un phénomène qui nécessite de comprendre ses impacts et ses effets à différentes échelles urbaines. Nous avons constaté que l'échelle urbaine est explorée moins finement que l'échelle élémentaire (bâtiment).

Le présent chapitre est consacré à la définition de la *problématique de recherche* qui va animer ce travail de recherche.

Pour ce faire, nous effectuons tout d'abord une comparaison entre le système d'approvisionnement en eau de pluie et celui de l'eau potable du réseau public, dans le but d'identifier les spécificités de ce nouveau service urbain.

La seconde étape consiste à décrire le contexte particulier dans lequel nous nous trouvons et qui définit le choix du sujet de recherche et de son angle de traitement.

Ensuite, nous revenons rapidement sur les thématiques scientifiques (étude de la RUEP à une échelle élémentaire et à une échelle urbaine) qui traitent le même sujet mais cette fois avec un recul critique.

Enfin, nous définissons notre position au regard de l'ensemble de ces éléments, dans l'objectif de préciser les questions que nous allons traiter dans le cadre de ce travail de recherche.

3.1. Spécificité de la pratique de RUEP

Il nous semble nécessaire de dégager les spécificités de la pratique de RUEP afin de concevoir une idée précise de sa particularité par rapport au service d'approvisionnement en eau potable du réseau public :

- Le système de RUEP est un *service complémentaire* au réseau public d'eau potable. En effet, l'utilisation de l'eau de pluie n'est autorisée que pour des usages domestiques restreints, alors que l'eau du réseau public peut être utilisée pour tous les usages domestiques possibles.
- La RUEP se caractérise par sa *variabilité,* dont la disponibilité est liée à plusieurs facteurs : les précipitations, la capacité de récupération, le volume de stockage et la demande en eau non potable.
- La *gestion intégrée* du dispositif de RUEP. Effectivement, cette mission revient au propriétaire du bâtiment qui a la charge de gérer son dispositif (fonctionnement, entretien,…), alors qu'habituellement ce rôle dépend du gestionnaire du réseau public : le propriétaire du bâtiment n'étant responsable que du réseau intérieur (à l'intérieur de son bâtiment) qui se résume souvent à un ensemble de tuyaux d'approvisionnement et d'évacuation.
- La *gratuité de la ressource* est aussi un caractère distinctif du système de RUEP. L'eau de pluie qui tombe sur la toiture du bâtiment est un bien du propriétaire du bâtiment et elle est totalement gratuite (dans son état brut), alors que dans le système d'approvisionnement classique, le propriétaire n'est qu'un simple bénéficiaire qui paie une redevance en échange de ce service.
- Le *contrôle de qualité* caractérise aussi l'eau de pluie par rapport à l'eau potable du réseau public, alors que la première ne subit aucun contrôle de qualité, la seconde est soumise à des contrôles multiples afin de garantir sa potabilité.
- Le *degré de traitement* distingue également l'eau de pluie par rapport à celle du réseau public. En effet, l'eau de pluie ne subit aucun traitement, ou un traitement léger (filtre ou UV), tandis que l'eau potable du réseau public passe par plusieurs étapes de traitement avant sa distribution dans le réseau public.

3.2. Les enjeux de la pratique de RUEP

3.2.1. À l'échelle élémentaire

Dans cette section, nous détaillons les enjeux de la pratique de RUEP à l'échelle de sa mise en œuvre (bâtiment).

3.2.1.1. Du point de vue économie de l'eau

Dans le contexte français (climatique et réglementaire), un bâtiment d'habitation peut satisfaire en moyenne 40% de ses besoins en eau grâce à l'eau de pluie récupérée en aval de sa toiture, mais ce taux de satisfaction reste variable car il est lié à des paramètres divers :

- La pluviométrie et sa répartition sur toute l'année du site d'implantation du bâtiment.
- La capacité de récupération du bâtiment.
- Le volume de la cuve de stockage
- Les usages domestiques susceptibles être remplacés par l'eau de pluie.

De ce point de vue, le propriétaire du dispositif de RUEP cherche toujours à trouver un bon compromis entre tous ces éléments en jouant sur les deux derniers afin d'assurer un taux de recouvrement des besoins raisonnable par le choix d'un volume de cuve adapté.

3.2.1.2. Du point de vue rentabilité économique

De ce point de vue, le propriétaire du dispositif de RUEP cherche à rembourser ce qu'il a dépensé pour faire fonctionner son dispositif grâce aux économies réalisées sur sa facture d'eau. L'indicateur utilisé pour exprimer cela est le nombre d'années nécessaires pour le retour sur investissement [de Gouvello et al. 2008].

3.2.1.3. Du point de vue gestion du réseau d'eau et d'assainissement

L'enjeu par rapport au réseau d'eau potable est d'assurer l'absence d'interconnexion entre les deux réseaux, celui de l'eau potable et celui de l'eau de pluie [de Gouvello et al. 2007]. En effet, l'approvisionnement en eau de pluie doit être complété par l'eau potable, en cas de non disponibilité. En cas d'interconnexions, l'eau de pluie risquerait de s'introduire dans le réseau d'eau potable, provoquant ainsi un risque sanitaire pour les usagers.

Par rapport au réseau d'assainissement, l'enjeu réside dans le calcul de la taxe d'assainissement. Dans le cas d'un seul réseau d'approvisionnement en eau (réseau public), cette taxe est calculée sur la base du volume d'eau potable consommé, alors que dans le cas d'un double système d'approvisionnement, il y a une partie de l'eau de pluie qui sera déversée dans le réseau

d'assainissement, mais il n'y a pas de moyen précis pour la comptabiliser. Dans cette situation, le propriétaire du dispositif paie un montant forfaitaire qui risque d'être injuste.

3.2.1.4. Du point de vue sanitaire

A l'échelle du bâtiment, le propriétaire du dispositif doit prendre toutes les mesures nécessaires pour que l'usager de l'eau de pluie ne se trompe pas entre les eaux des deux systèmes d'approvisionnement afin de ne pas utiliser l'eau de pluie pour des usages interdits et qui nécessitent une eau potable.

3.2.2. À l'échelle urbaine

Dans cette section, nous allons détailler les enjeux de cette pratique, mais cette fois à l'échelle urbaine :

3.2.2.1. Du point de vue économie de l'eau potable

Les premières études montrent que la quantité d'eau de pluie récupérée en aval des toitures des bâtiments d'une échelle urbaine donnée est importante par rapport à la quantité d'eau potable consommée. Par exemple, à l'échelle du département Seine-et-Marne (77), cette quantité d'eau de pluie est estimée à 76% de la quantité de l'eau potable consommée à cette échelle. Cela signifie que l'eau de pluie récupérée dans son intégralité peut couvrir plus des ¾ des besoins domestiques de ce département, dans le cas où on arrive à utiliser la totalité de cette eau qui tombe sur les toitures des bâtiments [Belmeziti et al. 2009].

Ce constat dévoile qu'à une grande échelle, il y a des enjeux environnementaux, financiers et stratégiques importants liés à cette ressource d'approvisionnement en eau, soit sans traitement pour les usages « non potables », ou après traitement pour les usages qui nécessitent la « qualité potable ».

3.2.2.2. Du point de vue de la gestion du service d'eau et d'assainissement

L'enjeu par rapport au service d'eau et d'assainissement réside dans le caractère instable de l'utilisation de l'eau de pluie (cette utilisation dépend de la pluviométrie qui est un phénomène irrégulier). En effet, le gestionnaire du réseau d'eau public ne pourra pas déterminer précisément le temps pendant lequel le client va utiliser l'eau de pluie comme complément à celle du réseau et le temps pendant lequel il va utiliser l'eau du réseau seule. Ceci va engendrer des perturbations au niveau de la production et de la distribution de l'eau potable. Ainsi, si le gestionnaire du réseau d'eau potable fournit la même quantité d'eau potable que celle produite avant l'installation des dispositifs de RUEP, il sera surpris par une baisse de la demande due à l'utilisation de l'eau de

pluie. Dans ce cas, le prix du m^3 d'eau potable risque d'augmenter, afin que le gestionnaire couvre le coût de la quantité d'eau potable produite mais non distribuée. Le consommateur risque de se retrouver avec une facture similaire à l'ancienne facture (avant installation du dispositif de RUEP) ou peut être plus élevée, alors que celle-ci est censée diminuer, car il consomme moins d'eau potable [de Gouvello et al. 2008].

3.2.2.3. Du point de vue juridique

Actuellement, il existe l'arrêté du 21 Août 2008 qui définit les usages de l'eau de pluie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. Cependant, la diffusion de la pratique de RUEP à une large échelle nécessite un cadre juridique plus adapté que le cadre existant aujourd'hui au moins pour les éléments suivants :

- *Le mode de calcul de la taxe d'assainissement*. Aujourd'hui, elle est basée sur le paiement d'une somme forfaitaire, alors que la quantité de l'eau de pluie utilisée et versée ensuite dans le réseau d'assainissement peut varier selon la consommation de l'abonné.
- *Le renforcement du contrôle.* Ni les travaux de mise en place du dispositif, ni son entretien ne subissent aujourd'hui de contrôle de la part d'un service compétent. Cependant dans le cas d'une généralisation massive, ce contrôle est nécessaire afin d'éviter un risque sanitaire (interconnexion avec le réseau potable, qualité dégradée de l'eau de pluie stockée à cause du manque d'entretien,…).

3.2.2.4. Du point de vue architectural et urbanistique

La diffusion de la RUEP à l'échelle urbaine est un enjeu pour l'urbanisme qui doit prendre cela en compte et revoir sa politique de gestion d'eau en ville, comme le dimensionnement du réseau d'assainissement, mais aussi par rapport aux autres techniques alternatives au réseau. En effet, dans le cas d'une large diffusion de la RUEP, les urbanistes et les aménageurs doivent prendre cela en compte du point de vue quantitatif, car une quantité d'eau importante sera retenue, alors qu'actuellement cette même quantité d'eau rentre dans le calcul des modèles hydrologiques. Du point de vue du paysage, ils doivent aussi étudier les éventuels effets causés par la généralisation des dispositifs surtout par les cuves de stockage apparentes qui sont mises généralement devant les façades des bâtiments.

3.2.2.5. Du point de vue organisation des acteurs de l'eau

L'apparition de cette pratique nécessite une adaptation de la part des différents acteurs de l'eau. Les architectes doivent penser à intégrer cette technique dans leurs projets dès les phases en amont, le gestionnaire de réseau d'eau potable doit s'adapter au développement d'une telle pratique, les pouvoirs publics doivent prendre d'autres mesures pour assurer la santé des usagers contre d'éventuelles contaminations et ils doivent assurer le contrôle des dispositifs. Aussi, la large diffusion de la pratique de RUEP nécessite un dialogue entre ces différents acteurs de la ville, qui n'ont pas forcément l'habitude de travailler ensemble, afin d'adopter un point de vue commun sur la diffusion de cette pratique.

3.2.2.6. Du point de vue économique

La large diffusion de la RUEP nécessite le développement et le renforcement de la filière actuelle. En effet, depuis quelques années nous constatons l'apparition de nouvelles entreprises et de bureaux d'étude spécialisés dans le secteur. Ces derniers sont invités à s'adapter à la hausse des demandes causée par cette diffusion et aussi à répondre aux éventuelles exigences dues au développement des réglementations. Par ailleurs, ce phénomène participe à la création d'une dynamique intéressante sur le marché du travail, car il faut assurer la fabrication, l'installation et l'entretien d'un nombre important de dispositifs.

3.2.3. Comparaison entre les enjeux de la pratique de RUEP à l'échelle élémentaire et à l'échelle urbaine.

Nous comparons ci-dessous les enjeux de la pratique de RUEP aux deux échelles (bâtiment et urbaine). Le but de cette opération est d'appréhender la différence entre les enjeux de la RUEP en tant que dispositif isolé et ceux de la même pratique mais en tant que pratique généralisée sur une échelle urbaine.

Du point de vue opérationnel et pour plus de simplicité et de visibilité, nous l'effectuons à l'aide du tableau suivant :

Nature de l'enjeu	A l'échelle élémentaire	A l'échelle urbaine
Economies d'eau	Combien de m^3 peut récupérer et utiliser le bâtiment ?	Combien de milliers de m^3 peut économiser la ville ?
Financier	Le dispositif de RUEP est-il rentable ?	Comment le gestionnaire des réseaux peut-il faire face à la perturbation de la demande ?
Economie	Le propriétaire de bâtiments peut-il faire des économies significatives sur sa facture d'eau ?	Le gestionnaire du réseau d'eau, peut-il subir une perte significative de sa recette ?
Gestion de l'eau potable	Peut-on assurer la déconnexion entre les deux réseaux ?	Le gestionnaire du réseau potable peut-il estimer la quantité d'eau de pluie utilisée par ses abonnés ainsi que la période de son utilisation ?
Gestion du réseau d'assainissement	Le propriétaire peut-il calculer la quantité d'eau de pluie versée dans le réseau d'assainissement ?	Le gestionnaire du réseau d'assainissement peut-il avoir une estimation de la quantité d'eau stockée dans les cuves, surtout par temps de pluie ?
Réglementations	/	Comment le cadre réglementaire appréhende-t-il cette large diffusion ?
Architecture et Urbanisme	/	Comment le service d'urbanisme intègre-t-il ce nouvel enjeu urbain dans ses différents schémas de gestion de la ville ?
Organisationnel	/	Les différents acteurs de la ville, peuvent-ils travailler ensemble autour de ce sujet ?
Sanitaire	L'usager a-t-il pris toutes les mesures contre un éventuel usage non adapté de l'eau de pluie issue du dispositif ?	Comment le service sanitaire fait-il face aux éventuels risques sanitaires liés au développement massif des dispositifs ?

Tableau 8. Comparaison entre les enjeux de la RUEP à l'échelle élémentaire et à l'échelle urbaine

Le tableau montre les différences entre les enjeux et les attentes à l'échelle élémentaire (le bâtiment) et à l'échelle urbaine. Nous pouvons classer ces différences en trois catégories :

- *L'apparition de certains enjeux :* certains enjeux sont apparus à l'échelle urbaine et ils ne sont pas associés à un enjeu spécifique à l'échelle élémentaire. Par exemple, à l'échelle élémentaire (bâtiment), le service d'urbanisme ne prend aucune mesure spécifique envers la pratique de RUEP, en revanche, dans le cas d'un développement massif des dispositifs de RUEP à l'échelle urbaine, ce dernier est invité à adapter ses actions (en ce qui concerne la gestion de l'eau en ville) en prenant en compte ce nouveau service urbain.

- *Le changement dans l'ampleur de certains enjeux :* les enjeux de la pratique de RUEP à l'échelle élémentaire restent locaux et ils ne dépassent pas généralement le bâtiment (par exemple, à cette l'échelle, nous parlons de quelques m^3 récupérables et utilisables). Par contre, à l'échelle urbaine, l'impact est considérable avec des économies de l'ordre de milliers voire de millions de m^3 récupérables et utilisables.

- *Les acteurs concernés* : les acteurs sollicités ne sont pas les mêmes dans les deux échelles, alors qu'on note le propriétaire du bâtiment et les utilisateurs de l'eau de

pluie comme principaux acteurs à l'échelle élémentaire, nous trouvons un nombre d'acteurs plus important et de nature différente à l'échelle urbaine (gestionnaire du réseau, service d'urbanisme,…).

3.3. Rappel sur les thématiques de recherche traitant le même sujet

Nous avons vu dans le chapitre précédent que du point de vue de la littérature scientifique, les travaux qui traitent de la performance hydraulique de la RUEP sont classés en deux catégories :

Étude de la performance hydraulique à l'échelle du bâtiment.

Ce type de travaux s'intéresse au cas individuel (isolé), il montre essentiellement les avantages qui génèrent l'adoption d'un dispositif de la RUEP (économie de l'eau potable, rentabilité financière, période de retour sur investissement,…) [Appan 1999, Chilton et al. 2006, Fewkes 1999, Hermann et al. 1999; Zaizen et al. 1999, …]. Ces travaux sont fondés sur deux démarches : soit l'analyse des retours d'expériences sur ce type d'opérations, soit le recours à des simulations théoriques basées sur des modèles physiques.

Etude de la performance à l'échelle urbaine.

Peu de travaux ont adopté cet angle pour traiter la performance hydraulique de la RUEP. L'objectif de ce type de travaux est d'évaluer les impacts sur l'infrastructure d'approvisionnement de l'eau potable et sur le réseau d'assainissement [Coombes et al. 2002, Ghisi et al. 2006; Ghisi 2006, Krishna et al. 2005, …]. Un modèle apriori (prévisionnel) est désormais nécessaire dans ce cas de figure.

3.4. Un recul critique sur ces thématiques

Durant la phase d'étude de la littérature, nous avons constaté qu'il existe de nombreuses références qui traitent de la RUEP à l'échelle élémentaire (échelle du bâtiment). Cette quantité des références indique que les questions à cette échelle sont plus ou moins approfondies sur les différents angles possibles.

Cependant, très peu de travaux scientifiques s'intéressent à la même pratique ramenée à une échelle plus grande que celle du bâtiment (supra-bâtiment). Le nombre et le contenu de ces références montrent que nous avons trouvées sur cet aspect, seul l'angle « performance hydraulique » est évoqué mais superficiellement. Dans la suite de cette section, nous listons les points faibles repérés dans les méthodes existantes (cf. § 2.3) :

- *Certaines étapes sont ignorées*. Ces méthodes prennent en compte l'eau de pluie issue de l'étape « captage -récupération- ». Alors que d'autre étapes sont aussi essentielles dans

une opération de RUEP, il s'agit de l'étape de « stockage » (choix de la cuve de stockage adéquate) et l'étape « d'utilisation ». Ces deux dernières étapes sont absentes dans certaines méthodes d'analyse de la RUEP à une échelle urbaine (cf. § 2.3.1.1, § 2.3.1.2 et § 2.3.1.4).

Pour illustrer ce constat, nous prenons l'exemple d'un bâtiment analysé par Vialle dans le cadre du suivi hydraulique d'un système de RUEP. Le bâtiment est situé à Tarn à environ 40 Km de Toulouse. Il se caractérise par une pluviométrie annuelle moyenne de 766 mm, une surface de toiture de 204 m^2, 4 habitants qui occupent le bâtiment et une cuve de stockage de 5 m^3 [Vialle et al. 2010].

Selon les méthodes évoquées plus haut, le bâtiment a un potentiel d'eau de pluie d'environ 133 m^3/an. Cependant, le suivi hydraulique a montré que l'eau de pluie effectivement utilisée est d'environ 42.5 m^3/an, donc une erreur de 312% est générée si nous utilisons ce modèle. Une telle erreur à une échelle urbaine nous semble importante car il s'agit de plusieurs millions de m^3 d'eau de pluie à récupérer et à utiliser à cette échelle.

- *Certains types de bâtiments sont ignorés*. En effet, dans la plupart des méthodes d'étude de la RUEP à une échelle urbaine (cf. § 2.3.1, §2.3.2, § 2.3.3) le seul secteur étudié par ces méthodes est le secteur résidentiel, alors que l'échelle urbaine est toujours composée d'autres types de bâtiments (industriels, commerciaux, services,…) qui pourront être potentiellement plus intéressants que le secteur résidentiel (selon la nature et la composition de l'échelle urbaine considérée).
- *Méthodes qui ignorent certains aspects de la RUEP*. Dans toutes les méthodes d'étude de la pratique de RUEP à l'échelle urbaine repérées, seul le point de vue hydraulique (technique) est évoqué, tandis que la RUEP est une pratique qui dépend de plusieurs dimensions (urbaine, économique, politique, sociale…)
- *Méthodes qui ignorent certains détails de la RUEP*. Ces méthodes d'étude de RUEP à l'échelle urbaine font l'hypothèse que tous les bâtiments (résidentiels) sont aptes pour installer une cuve de RUEP et, de la même façon, sans aucune étude approfondie sur leur attitude (méthodes) envers cette pratique urbaine (en termes d'espace disponible pour installer la cuve, des besoins des bâtiments en eau de pluie…).
- *Méthodes qui ignorent le changement d'échelles*. Tous les principes de modélisation des méthodes précédentes consistent à passer directement de l'échelle élémentaire (bâtiment) à l'échelle globale (de la ville, de la région…) alors que la réalité urbaine et sociale de

ces échelles urbaines montre que tout changement d'échelles nécessite une étude plus fine afin de prendre en compte un ensemble de paramètres spécifiques à l'échelle globale.

Le tableau suivant compare les méthodes d'étude de la RUEP à l'échelle urbaine repérées dans la littérature scientifique et les points faibles qui définis dessus.

	ignore certaines étapes de RUEP ?	ignore certains secteurs de bâtiments ?	ignore certains aspects de la RUEP ?	ignore certains détails de la RUEP ?	ignore le changement d'échelles ?
Calcul du PPWS par le potentiel de l'eau de pluie issue des toitures	**Oui**	**Non**	**Oui**	**Oui**	**Oui**
Méthode du bâtiment représentatif	**Non**	**Oui**	**Oui**	**Oui**	**Oui**
Méthode de l'usager représentatif	**Non**	**Oui**	**Oui**	**Oui**	**Oui**
La méthode de ratio d'arrosage	**Oui**	**Oui**	**Oui**	**Oui**	**Oui**

Tableau 9. Les limites de chaque méthode d'étude de la RUEP repérées dans la littérature scientifique.

Il est évident que l'étude de la RUEP à l'échelle urbaine n'est pas encore suffisamment explorée par rapport à la RUEP à l'échelle élémentaire (bâtiment). En effet, d'après la littérature scientifique que nous avons pu repérer, très peu de références abordent ce thème, de plus, les méthodes exposées dans ces références présentent des limites (cf. tableau plus haut).

Nous pensons qu'un renforcement de ces méthodes est nécessaire, au même titre que l'étude de la RUEP à l'échelle élémentaire.

Par ailleurs, en plus de ces éléments de contextualisation, le présent travail de recherche est inscrit dans un projet particulier nommé « SR-Util ».

3.5. Le projet « SR-Util » (pour Scenarii de Récupération - Utilisation)[22]

Ce projet a été proposé dans le cadre du R2DS (Réseau de Recherche sur le Développement Soutenable) de la région Ile-de-France « Il vise à élaborer puis à tester auprès des professionnels de la ville en Ile de France plusieurs *scenarii* de diffusion possible des installations de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie. Ces *scenarii* seront élaborés à travers l'étude de terrains communs représentatifs de différents modes de vie urbaine. Ils intégreront les analyses des enjeux sanitaires, sociétaux et les impacts économiques relatifs au développement des pratiques de récupération et d'utilisation de l'eau pluviale, observables en région francilienne.

[22] Pour plus d'information : http://www.r2ds-ile-de-france.com/spip.php?article200

Le projet poursuit deux objectifs principaux spécifiques à la récupération et à l'utilisation de l'eau de pluie.

1. *Elaborer des scenarii de diffusion des dispositifs de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie à l'échelle de l'Ile-de-France dans les années à venir*. Ces scenarii intègrent les dimensions technico-économiques (adéquation des dispositifs au contexte local, coût des installations,…), mais également politico-économiques (mise en place et réceptivité de politiques d'incitation spécifique,…). Ces scenarii feront l'objet d'une validation de la part de professionnels de la ville (urbanistes, gestionnaires de réseaux, élus,…).

2. Evaluer les impacts de ces différents scenarii sur la gestion des services d'eau et d'assainissement, des points de vue technique, économique et organisationnel.

Le projet poursuit également un objectif complémentaire plus général, relatif à *l'évolution de la perception de l'eau* (en tant que *ressource* et en tant que *service*). En décryptant les pratiques de récupération et d'utilisation de l'eau pluviale et les motivations qui les sous-tendent, tant de la part des usagers individuels que des maîtres d'ouvrage et des collectivités qui les encouragent, c'est également l'occasion d'approfondir la question de l'émergence d'un nouveau rapport à l'eau de la part de ces acteurs. »

3.6. Notre positionnement

À ce stade d'avancement, nous pouvons résumer les éléments de contexte comme suit :

- L'existence de deux thématiques liées à ce domaine : l'échelle élémentaire et l'échelle urbaine. Le premier thème est plus souvent traité que le second.
- La différence relevée entre les deux thématiques. En effet, chaque thématique à ses propres enjeux et objectifs. Cela signifie que chaque thème doit être traité de façon spécifique.
- Les limites constatées dans les méthodes d'étude de la RUEP à l'échelle urbaine repérées dans la littérature.
- L'existence de plusieurs dimensions pour étudier la RUEP à l'échelle urbaine : quantitatif, social, économique,…
- Le contexte particulier du « projet SR-Util » qui vise l'étude de la diffusion de la RUEP dans le contexte francilien.

Face à ce contexte, nous avons décidé que notre contribution porterait sur l'angle, « *quantitatif* ». Nous justifions ce choix, d'une part le fait que l'angle quantitatif représente la base de toutes les autres études et d'autre part par le fait les méthodes existantes qui abordent cet angle présentent des limites. Nous souhaitons proposer une nouvelle méthode permettant de dépasser ces limites. Il s'agit d'effectuer une étude quantitative permettant de concevoir précisément l'ampleur du phénomène de diffusion de la RUEP et permettant également d'améliorer les résultats proposés par les méthodes existantes.

Cependant, pour réaliser nos travaux, une approche interdisciplinaire nous semble indispensable, afin de profiter des différents outils et théories issus des autres domaines. Nous analyserons ce que nous apportent les autres disciplines et leur potentiel d'application à notre domaine particulier.

3.7. Conclusion du chapitre : la définition de nos problématiques de recherche.

Concrètement, la suite de ce travail de recherche consiste à proposer un modèle innovant qui s'intéresse particulièrement à la diffusion de la pratique de RUEP comme une innovation urbaine.

Nous présentons ci-dessous les deux problématiques qui serviront de fil conducteur pour concrétiser l'objectif déterminé plus haut :

Problématique 1 : déterminer un potentiel d'utilisation de l'eau de pluie à une échelle urbaine

Il s'agit d'une étude quantitative sur le potentiel d'utilisation de l'eau de pluie à une échelle urbaine. En effet, ce potentiel sera utilisé comme un indicateur permettant de mesurer l'ampleur de l'impact de la RUEP sur le réseau d'eau potable.

Cependant, le calcul de cet indicateur à l'échelle urbaine pose le problème du passage entre les deux échelles, d'une part l'échelle de la mise en œuvre « bâtiment » et d'autre part, l'échelle de l'évaluation « urbaine ».

Pour illustrer ce constat, nous nous appuyons sur les éléments suivants :

- Plusieurs travaux ont montré que la pratique de RUEP est une technique qui se déroule au niveau du bâtiment. Il existe plusieurs outils de calcul qui sont spécifiques à cette échelle et qui s'appuient sur les caractéristiques du bâtiment pour dimensionner et choisir la cuve de stockage adéquate et ses accessoires nécessaires [Appan, 1999; de Gouvello et al. 2005; de Gouvello 2008; Hermann et al. 1999; Zaizen et al. 1999].
- En revanche, peu de travaux ont abordé cette même pratique à une échelle plus grande (urbaine) que celle du bâtiment. Ces travaux adoptent des outils de calcul simplifiés qui

reposent sur le regroupement direct des bâtiments pour évaluer leur potentiel d'utilisation de l'eau de pluie à une échelle urbaine donnée (commune, agglomération,…) [Coombes et al. 2002; Ghisi et al. 2006; Guillon et al. 2008]. Une telle évaluation engendre des erreurs qui peuvent déformer la réalité.

Nous répondrons dans cette problématique aux questions suivantes :

- Quels outils utilise-t-on pour assurer une fiabilité maximale du résultat de l'évaluation quantitative de la RUEP à une échelle urbaine ?
- Comment étudier un phénomène qui se déroule à une échelle élémentaire (mise en œuvre de la RUEP) et à une échelle globale (urbaine) donnée ?

Problématique 2 : le système d'acteurs et le potentiel de la RUEP à une échelle urbaine.

Le calcul du potentiel annoncé ci-dessus suppose que tous les bâtiments de l'échelle urbaine sont ou seront équipés d'un dispositif de RUEP, alors que la réalité montre que ce n'est pas le cas puisque certains d'entres-eux ne sont pas équipés d'un tel système.

Il ne s'agit pas de quantifier les bâtiments susceptibles d'être équipés par des dispositifs RUEP, mais d'étudier le processus conduisant à l'adoption d'un tel dispositif et les acteurs qui peuvent participer au développement massif des dispositifs à l'échelle urbaine.

Dans cette problématique, nous répondons aux questions suivantes :

- Quels sont les acteurs intervenants et concernés par la pratique de RUEP ? Comment leurs intérêts s'articulent-ils autour de cette pratique ?
- Parmi cet ensemble d'acteurs, quels sont ceux qui peuvent avoir un effet de « levier » sur le développement des dispositifs de RUEP ?

Partie II. Une approche renouvelée du calcul du PPWS aux échelles urbaine et supra-urbaine

Introduction. Méthodologie générale de calcul du PPWS

Chapitre 4. Calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment

Chapitre 5. Calcul du PPWS à l'échelle urbaine (commune)

Chapitre 6. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine (agglomération)

Conclusion de la partie

Introduction. Méthodologie générale de calcul du PPWS

Cette introduction est consacrée à l'explication de la méthode générale de changement d'échelle permettant le calcul du PPWS à une échelle urbaine[23] donnée. Tout d'bord, nous présentons le cadre théorique de cette méthode qui consiste à créer des liens entre l'échelle de la mise en œuvre et l'échelle de l'évaluation. Ensuite, nous évoquons l'une des problématiques majeures qui nous a conduit à proposer cette méthode de changement d'échelle ; il s'agit de l'« information à l'échelle urbaine » où nous allons proposer des méthodes pour l'adapter selon nos besoins. Enfin, nous annonçons quelques principes permettant d'alléger le modèle du calcul de l'indicateur « PPWS » à l'échelle urbaine considérée.

I. Méthode théorique

Dans cette section, nous allons expliquer la méthode théorique qui permet de calculer le PPWS à différentes échelles urbaines. Nous avons vu précédemment l'intérêt de calculer le PPWS à l'échelle du bâtiment (cf. § 2.2). Avant d'aborder la méthodologie de calcul à différentes échelles urbaines, nous allons montrer l'intérêt de calculer le PPWS à une autre échelle que celle du bâtiment, tandis que plusieurs travaux ont montré que la RUEP est une pratique spécifique au bâtiment [Appan 1999; de Gouvello et al. 2005; Herrmann et Uwe 1999; Zaizen et al. 1999].

I.1. Intérêt du calcul PPWS aux différentes échelles urbaines

Si le calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment présente un intérêt particulier selon le propriétaire du dispositif de RUEP, son calcul à d'autres échelles urbaines présente un intérêt qui varie selon plusieurs critères :

- La nature de l'échelle urbaine considérée.
- La nature de l'acteur demandeur de l'information.
- L'objectif associé à la demande de l'information.

Le tableau suivant illustre ce constat, en donnant 3 exemples de différents intérêts de calculer le PPWS à une échelle urbaine donnée :

[23] Dans ce travail, le terme « échelle urbaine » désigne toute échelle supra-bâtiment (quartier, zone, ville …) qui comporte un nombre de parcelles qui ne peuvent être étudiées (par rapport à la RUEP) de manière individuelle (parcelle par parcelle), soit à cause de leur nombre important et/ou de la difficulté de renseigner leurs variables de manière individuelle.

	L'échelle urbaine considérée	L'acteur demandeur de l'information	Objectif
Exemple 1	Zone urbaine « secteur résidentiel »	Municipalité	Adapter sa politique d'incitation et de sensibilisation de l'économie de l'eau
Exemple 2	Ensemble de communes	Gestionnaire du réseau d'eau potable.	Connaitre l'impact des systèmes de RUEP en cas de généralisation au sein du territoire dont il est prestataire.
Exemple 3	Unité urbaine « Agglomération »	Région	Estimer l'économie de ressource en eau dans la partie urbaine de son territoire.

Tableau 10. Exemples de l'intérêt du calcul du PPWS pour les différentes échelles urbaines.

I.2. Difficulté du calcul du PPWS à une échelle urbaine

Il convient de signaler que le calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment est une opération relativement simple. En effet, il suffit de renseigner quelques variables qui caractérisent le bâtiment (surface de récupération, nombre d'usagers,…) pour avoir le PPWS équivalent. Cette opération se complexifie lorsque le nombre de bâtiments à prendre en compte augmente.

Nous relevons ci-dessous les principales difficultés qui nous ont conduits à proposer une méthode spécifique du calcul du PPWS à l'échelle urbaine au lieu de procéder à un calcul simple comme celui de l'échelle du bâtiment :

- Le nombre d'unités de calcul. Le calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment repose sur un seul calcul, car le bâtiment est l'unité de base de calcul, alors qu'à l'échelle urbaine le nombre d'unités est important, ce qui complique systématiquement le calcul.
- Le renseignement des variables. Comme le nombre d'unités de base de calcul est important, le renseignement de leurs variables est une opération qui s'avère compliquée et coûteuse. Par exemple, avoir la surface de la pelouse à arroser de tous les bâtiments de la commune est une donnée qui n'existe pas à l'état brut et son calcul pour chaque bâtiment est aussi une opération coûteuse (en termes de temps et de moyens déployés).
- La variabilité de l'utilisation de l'eau de pluie. Les bâtiments qui composent une échelle urbaine donnée n'ont pas le même comportement au regard de l'eau de pluie, dont l'usage est différent quantitativement (les besoins en eau de pluie) et qualitativement (les usages de l'eau de pluie visés), car les bâtiments n'ont pas la même taille et ne remplissent pas les mêmes fonctions.
- La variabilité des caractéristiques des bâtiments. Les bâtiments qui composent une échelle urbaine donnée sont différents en termes de variables nécessaires au calcul du PPWS dû au fait que le bâtiment est un prototype unique, tandis que la production en

série reste très limitée dans le domaine de construction. Par exemple, la « surface de récupération » est une variable nécessaire pour le calcul du PPWS, mais il n'existe pas de méthodes pour appréhender cette surface à une échelle plus grande que le « bâtiment ».

- La complexité urbanistique. L'échelle urbaine est une notion complexe, en termes de secteurs d'activités et de services urbains (bâtiments, voirie, espace vert public, espace vide, stade, etc.), ce qui rend difficile d'extraire le « secteur des bâtiments »[24] seul, afin de l'étudier au regard de la pratique de RUEP en tant qu'entité globale.

Nous pouvons constater que le problème du calcul du PPWS à l'échelle urbaine consiste dans le nombre important de bâtiments et leur hétérogénéité par rapport à la pratique de RUEP. Ce problème peut être divisé en deux :

- D'un côté, il s'agit du *grand écart* entre l'échelle élémentaire (bâtiment) et l'échelle urbaine ou supra-urbaine d'évaluation du PPWS.
- Et de l'autre, le bâtiment ne pourra être utilisé comme unité de calcul (à cause à ses caractéristiques), car le nombre de ces derniers est important à une échelle urbaine ; par exemple, la région Ile-de-France compte plus de 3 millions de parcelles bâties[25].

Face à ce problème nous proposons les deux solutions suivantes :

I.3. Solution 1 : une échelle intermédiaire pour réduire l'écart « logique de subdivision »

Comme il s'agit d'un passage entre échelles, il convient que l'élément ajouté soit de même nature. Et comme son rôle est de faire la liaison entre les deux échelles de base, il s'agit naturellement d'une *« échelle intermédiaire »* [Belmeziti et de Gouvello 2010 (a)].

Cependant, il existe plusieurs logiques de subdivision qui peuvent se situer entre l'échelle élémentaire et l'échelle urbaine (ou supra-urbaine) de l'évaluation du PPWS :

- logique administrative : commune, départements…
- logique urbanistique : zones industrielles, zone résidentielles…
- logique historique : centre ville historique, lotissements après guerre…
- logique fonctionnelle : bâtiments d'habitation collective, bâtiments de service tertiaire…

[24] Il est le seul secteur concerné par la pratique de RUEP.
[25] D'après l'IAU-IDF

Parmi toutes ces logiques de découpages[26] de l'échelle urbaine (ou supra-urbaine), l'échelle de la « commune » nous semble la plus adaptée pour jouer le rôle d'intermédiaire entre l'échelle du bâtiment et l'échelle urbaine (ou supra-urbaine), car la commune :

- est un niveau où certaines données sont produites. Plusieurs informations nécessaires au calcul du PPWS sont agrégées à cette échelle. Par exemple, le nombre des élèves (usagers potentiels de l'eau de pluie dans les établissements scolaires) est une donnée agrégée à l'échelle communale.
- est une échelle de prise de la décision. Plusieurs décisions de la gestion de l'eau sont prises à cette échelle. Par exemple, certaines communes ont mis en place des mécanismes d'incitations afin d'encourager la diffusion des dispositifs de RUEP.
- est une échelle cohérente. Elle présente une cohérence au niveau des réglementations urbanistiques. Par exemple, chaque commune à son propre PLU[27] qui garantit une réglementation cohérente au niveau de la gestion de l'eau de pluie.
- est une échelle bien délimitée. En effet, les autres échelles posent le problème de leurs frontières. Par exemple, le centre ville peut parfois être délimité de plusieurs façons (centre ville historique : cela pose un problème de l'époque considérée, …)

L'utilisation de la *commune* comme échelle intermédiaire implique le calcul du PPWS à son niveau, cela offre un autre avantage pratique, en dehors de celui méthodologique (échelle intermédiaire). En effet, du point de vue « méthode de changement d'échelles », le calcul du PPWS à l'échelle de la commune facilite ensuite l'agrégation vers les autres échelles urbaine (ou supra-urbaines) telle que le département, l'agglomération ou encore la région ; mais ce calcul peut offrir aussi un intérêt particulier pour la collectivité locale (municipalité) car celle-ci s'intéresse sans doute à une telle information pour diriger sa politique locale de sensibilisation et d'incitation envers la pratique de RUEP et de gestion de l'eau de manière plus générale [de Bellaing et al. 2009].

I.4. Solution 2 : changement de l'unité de calcul « logique de regroupement »

Nous avons vu plus haut que le « bâtiment » est l'unité de calcul de l'échelle élémentaire. Cependant, cette dernière n'est plus valable dans le cas d'une échelle urbaine en raison du grand nombre de bâtiments à étudier. Cela implique, le remplacement de cette unité par une autre plus grande, afin de surmonter la problématique du nombre de bâtiments. La seule façon de réduire le nombre important de bâtiments est de les regrouper en un nombre maitrisable. A cet effet, deux

[26] Ces découpages sont à titre d'exemple, cependant, d'autres peuvent exister.
[27] Plan Local d'Urbanisme

unités de calcul seront donc dégagées, l'une concerne l'évaluation au niveau de l'échelle intermédiaire « commune » et l'autre l'évaluation au niveau des autres échelles urbaines (ou supra-urbaine) qui sont logiquement plus grandes que la commune (département, agglomération,…).

Cependant, le regroupement des bâtiments sous forme d'une unité de calcul implique une classification des bâtiments selon un ou plusieurs critères. Une étude *typologique* est nécessaire afin de dégager les classes-de-bâtiments formant les unités de calcul du PPWS de l'eau de pluie à l'échelle urbaine.

I.4.1. Etude typologique

Avant d'exposer les différentes études typologiques que nous comptons effectuer, il convient de définir la notion du « typologie ».

Dans le dictionnaire le mot « typologie » signifie «classification, étude des différents types» [TLFI 2011] :

Cette définition renvoie à deux concepts : la *classification* qui renvoie à son tour aux « distributions méthodiques en diverses catégories » [TLFI 2011]. Le *type* qui renvoie lui aussi au « modèle idéal qui représente une catégorie déterminée» [TLFI 2011].

Donc, dans notre cas, la notion de la « *typologie* » signifie la classification en plusieurs types, appelés « *classes* ». Elle sera associée à un objet : bâtiment par exemple pour signifier le classement des bâtiments en « classes-de-bâtiments » ou la commune pour signifier le classement des communes en « classes-de-communes »

I.4.2. Typologie de bâtiments : « passage entre l'échelle élémentaire du bâtiment et l'échelle urbaine de la commune »

Afin de réduire le nombre important de bâtiments qui composent l'échelle de la commune, nous procédons à un regroupement des bâtiments en « classes-de-bâtiments ». Une étude sur la « typologie-de-bâtiments » est nécessaire afin de dégager ces « classes-de-bâtiments » dont chacune contient un ensemble de bâtiments qui a le même comportement vis-à-vis de la pratique de RUEP.

Cette interprétation nous paraît en concordance avec celle adoptée dans le projet TABULA[28], qui a pour objectif de créer une structure harmonisée pour des typologies européennes de bâtiments à travers leurs caractéristiques énergétiques. Dans ce projet, la typologie de bâtiments est définie comme suit « une typologie de bâtiments est définie à travers des caractéristiques communes à un ensemble de bâtiments » [Loga et al. 2005].

[28] Typology Approach for Building Stock Energy Assessment

La méthodologie de dégagement de cette typologie de bâtiments et les résultats obtenus sont rapportés dans le chapitre 5 de ce rapport.

I.4.3. Typologie de communes : « passage entre l'échelle urbaine de la commune et l'échelle supra-urbaine de l'agglomération »

Une autre étude typologique s'impose naturellement si notre échelle urbaine (ou supra-urbaine) contient un nombre important de communes et que l'étude de chacune d'elle à part s'avère difficile. Un regroupement par « classes-de-communes » dont chacune contient un ensemble de communes avec des caractéristiques comparable au regard de la RUEP.

La méthodologie de dégagement de cette typologie de communes et les résultats obtenus sont rapportés dans le chapitre 6 de ce rapport.

II. Source de l'information

Le regroupement des bâtiments en « classes-de-bâtiments » et ensuite en « classes-de-communes » nécessite d'avoir l'information agrégée à ce niveau. Cependant, le regroupement en classes est une proposition qui nous est propre et elle est faite selon nos propres critères, et aucune information n'est agrégée à ce niveau. La nécessité d'avoir l'information agrégée au niveau de l'unité de base est nécessaire pour le calcul du PPWS à l'échelle urbaine souhaitée.

Afin de réaliser cet objectif, nous avons procédé à la recherche de l'ensemble des informations en relation avec notre thème d'étude et ensuite nous les avons adaptées pour qu'elles deviennent des données d'entrées utilisables par le modèle de calcul du PPWS.

II.1. Source de l'information brute

Nous nous sommes basés sur deux sources principales pour obtenir les informations nécessaires au calcul du PPWS à différentes échelles urbaines.

La première source d'information est l'INSEE[29], à travers ses bases de données en libre service sur Internet. Par exemple, pour avoir le nombre d'élèves et d'étudiants, nous avons utilisé la base des données : « Élèves, établissements et enseignants », tableau « Population de 2 ans ou plus par scolarisation, sexe, âge et lieu d'études »[30].

[29] Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. http://insee.fr/fr/
[30] Téléchargeable sur : http://insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=7&sous_theme=1&nivgeo=0&type=2

La deuxième source d'information est l'IAU-IDF[31] dans le cadre d'une collaboration mutuelle entre l'IAU-IDF et le LEESU[32]. Deux types d'informations nous ont été fournis :

- les informations issues des différentes bases de données de l'IAU. Par exemple, le découpage des communes de la région Ile-de-France en MOS-IAU[33].
- Les informations issues du croisement de deux ou de plusieurs bases de données. Par exemple, l'évaluation de la couverture végétale (indice de végétation) des communes de la région Ile-de-France a été fournie après avoir croisée la base « indice de végétation » avec la base MOS.

II.2. Adaptation de l'information à nos besoins

Comme nous l'avons évoqué plus haut, les informations obtenues grâce à ces différents organismes ne sont pas adaptées ni à nos besoins spécifiques ni au niveau de regroupement souhaité (classe-de-bâtiments ou de communes). Un traitement de chaque information est nécessaire afin de la rendre utilisable dans notre cas.

Afin d'illustrer cela, nous prenons l'exemple de la donnée « nombre d'usagers du WC » dans le secteur de l'enseignement. Cette donnée existe comme une information à l'état brut dans un tableau Excel « Population de 2 ans ou plus par scolarisation, sexe, âge et lieu d'études » à l'échelle de la commune. Pour rendre cette information comme donnée d'entrée utile, nous avons procédé à son adaptation comme suit :

Dans un premier temps, nous avons créé les groupes par sexe et suivant les niveaux scolaires comme suit :

- maternelle, qui regroupe les élèves de 2 à 5 ans
- élémentaire (1er degré), qui regroupe les élèves de 6 à 10 ans
- collège, qui regroupe les élèves de 11 à 14 ans
- lycée : contient les élèves entre l'âge de 15 à 17 ans
- supérieur, qui regroupe les élèves de 18 et plus.

[31] Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France. http://www.iau-idf.fr/
[32] Deux équipes ont travaillé sur cette collaboration : Manuel Pruvost-Bouvattier et Sophie Foulard de l'IAU-IDF, Bernard de Gouvello et Ali Belmeziti du LEESU.
[33] Mode d'Occupation du Sol au sens de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme. http://www.iau-idf.fr/cartes/base-de-connaissance/mos.html

Ensuite nous avons éliminé les deux groupes « maternelle » et « 1er degré », car ils ne font pas partie de cette classe-de-bâtiment (ils font partie de la classe-de-bâtiments « enseignement 1er degré »)[34].

Nous avons agrégé les deux groupes qui nous restent, pour obtenir le nombre d'élèves de la classe-de-bâtiments pour l'échelle d'une commune et ensuite de la classe-de-communes pour l'échelle de l'agglomération.

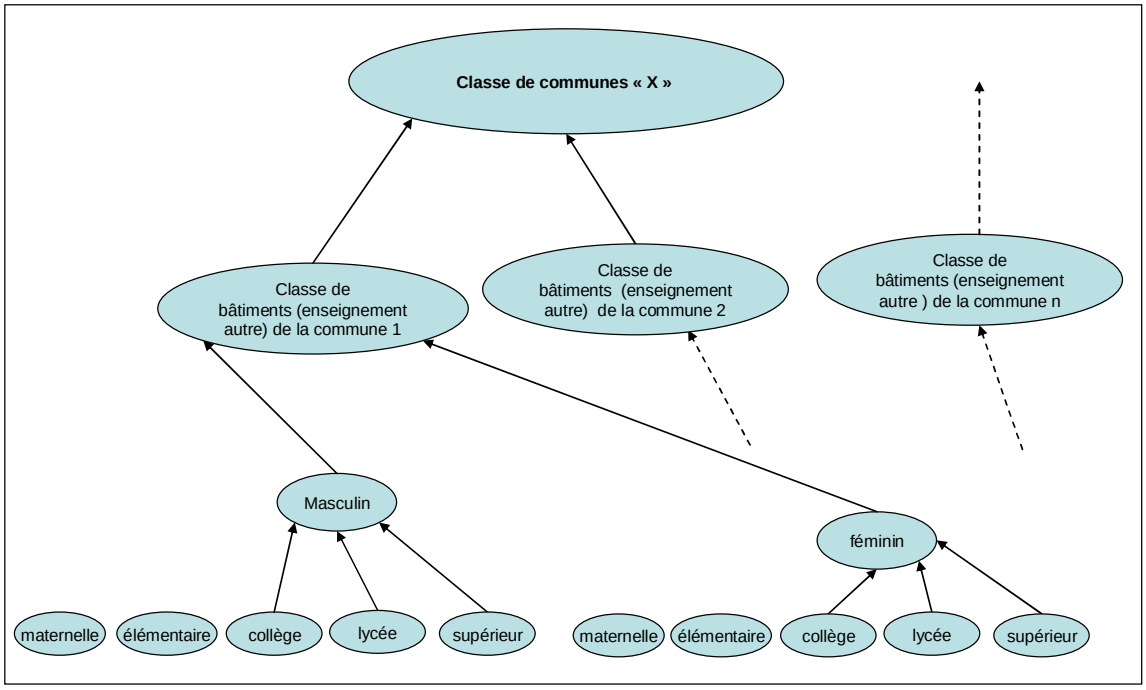


Figure 38. Adaptation de l'information « Population de 2 ans ou plus par scolarisation, sexe, âge et lieu d'études » de l'INSEE à une donnée utile pour le calcul du PPWS.

II.3. Les données et les informations obtenues

Grâce à ces deux sources d'informations, nous avons pu obtenir quatre types d'informations qui nous permettent de déduire une partie des données d'entrées nécessaires à notre modèle du calcul du PPWS à une échelle urbaine donnée.

- Le nombre d'occupants et d'usagers des différentes catégories de bâtiments. Cette information sera utilisée pour déduire la donnée « nombre d'usagers des toilettes -WC-».
- La surface des bâtis. Cette information sera utilisée pour déduire la donnée « surface de récupération ».
- La surface globale par MOS-IAU[35]. Cette information sera utilisée pour déduire la donnée « surface de la pelouse à arroser »

[34] Nous avons mis les deux groupes « maternelle » et « 1er degré » dans une classe séparée, car la réglementation actuelle n'autorise pas l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur de ces types de bâtiments.

- L'indice de végétation. Cette information sera utilisée pour construire la donnée « surface de la pelouse à arroser ».

Il convient de signaler que chaque information est agrégée à une échelle ou à un niveau différent. Cet aspect est détaillé postérieurement dans ce rapport (cf. chapitre 5 et chapitre 6)

II.4. Absence de certaines informations

Pour certains secteurs de bâtiments, nous n'avons pas pu trouver l'intégralité des informations nécessaires au calcul du PPWS de ces catégories de bâtiments. Par exemple, pour le secteur tertiaire (bureau…), nous n'avons pas trouvé d'informations sur le nombre d'usagers du WC de type « visiteur »[36] dans ces bâtiments. Face à ce problème de manques de certaines informations nécessaires à la création des données d'entrées du modèle, nous avons adopté plusieurs méthodes.

II.4.1. Echantillonnage

Dans cette méthode, nous avons choisi un certain nombre de bâtiments, qui sont soumis à une analyse fine pour extraire l'information nécessaire pour l'extraction de la donnée d'entrée du modèle ou encore extraire directement la donnée. Par exemple, pour estimer la surface de la pelouse au niveau de l'unité de base de calcul « classes-de-bâtiments », l'information qui nous manque est la « surface-autre »[37], nous avons analysé un certain nombre de bâtiments pour avoir une estimation de cette surface (cf. § 5.3.1.3, 6.3.3.2).

II.4.2. Utilisation de « moyennes »

Dans cette méthode, nous avons utilisé les moyennes constatées ou déduites dans les diverses autres études. Par exemple, pour la donnée « quantité d'eau utilisé dans les toilettes domestiques -WC- », nous avons pris la moyenne de 27,4 litres/jour/habitant (moyenne constatée en 2007 par le C.I.Eau[38]).

II.4.3. Entretiens et enquêtes de terrain

Nous avons eu recours à cette méthode pour renseigner certaines données ou pour éclairer certains aspects importants pour le fonctionnement de notre modèle. Par exemple, nous avons effectué une enquête de terrain pour appréhender le comportement d'arrosage (ratio et fréquence d'arrosage du jardin domestique) dans le secteur d'habitation [Moulin 2011, Nimes et al. 2011].

---

[35] C'est un découpage du sol selon son mode d'occupation adopté par l'IAU-IDF.
[36] Certains bâtiments de ce secteur reçoivent du public. Par exemple : compagnies d'assurance.
[37] C'est la surface de l'espace autre que l'espace bâti et l'espace vert. Cet espace est généralement destiné à la circulation et au stationnement des véhicules.
[38] Centre d'Information sur l'Eau (C.I.EAU). http://www.cieau.com/

II.4.4. Retours d'expérience

Au même titre que la méthode précédente, cette méthode de « retour d'expérience » est utilisée pour déduire quelques données et informations nécessaires au fonctionnement de notre modèle, car nous ne pouvons pas mener des enquêtes ou des entretiens pour toutes les données qui nous manquent. Par exemple, pour classer les catégories de bâtiments selon leur comportement vis-à-vis de l'utilisation de l'eau de pluie, nous nous sommes appuyés sur des retours d'expérience (cf. § 5.2.1.3).

II.4.5. Approximation

Nous avons eu recours à cette méthode si la donnée est importante et si elle ne peut être ni obtenue directement ni en utilisant l'une des deux méthodes précédentes. Par exemple, pour le coefficient de récupération (le coefficient qui exprime le rapport l'eau de pluie qui tombe sur la surface de récupération et l'eau de pluie effectivement récupérée en aval de cette surface (cf. § 4.4.1) aucune méthode parmi celles évoquées plus haut ne pourra fixer sa valeur à une échelle urbaine; cependant, la majorité des bâtiments ont une valeur qui varie entre 0.8 et 0.9, nous avons pris 0.85 comme valeur approximative à appliquer dans notre modèle de calcul du PPWS à différentes échelles urbaines.

III. Principes de calcul

Dans cette section, nous allons préciser quelques principes de calcul adoptés, afin de mieux appréhender notre modèle de calcul : son objectif, sa précision, sa nature et sa spécificité.

Principe de « distinction ». Il s'agit de la séparation entre les paramètres de nature physique et ceux de nature organisationnelle (acteurs). C'est-à-dire, nous nous intéressons dans un premier au modèle du PPWS strictement physique : précipitation, surface de toiture, nombre d'usagers… (cf. les chapitres 4, 5 et 6). Ensuite, dans un second temps, nous abordons le système d'acteurs et ses influences sur PPWS (cf. les chapitres 7 et 8).

Principe « d'agrégation ». Nous réutilisons durant la phase de calcul du PPWS à une échelle urbaine (ou supra-urbaine), le même modèle utilisé dans le calcul du PPWS à l'échelle élémentaire sous certaines conditions liées essentiellement au « regroupement » des bâtiments qui composent l'échelle urbaine.

Principe de « majoration ». Comme notre intention porte particulièrement sur le calcul des économies d'eau potable grâce à l'eau de pluie, nous favorisons celle-ci. C'est-à-dire, dans toutes les situations que nous rencontrons durant notre application de la méthodologie de changement

d'échelles (modèle de calcul du PPWS) et qui nécessitent un choix entre une situation qui favorise l'économie d'eau et une autre moins satisfaisante, nous choisissons celle qui favorise plus l'économie d'eau ; il s'agit d'un modèle *majorant*.

Principe de « hiérarchisation ». Comme l'application d'un modèle de calcul du PPWS rigoureux à des échelles urbaines importantes (commune, départements, …) est une tâche relativement lourde et comme notre attention porte aussi sur l'économie de temps et de moyens déployés pour effectuer cette tâche, nous concentrons nos efforts (affinement de l'analyse : recherche des données, calage du modèle…) aux endroits où il y a un enjeu de RUEP considérable, tandis que nous portons moins d'attention aux endroits où cet enjeu est limité. Il s'agit de *hiérarchiser* les enjeux de RUEP de l'échelle urbaine considérée.

Ces principes seront utilisés en fur et à mesure du processus de calcul du PPWS. Nous signalerons le principe concerné à chaque fois que nous y aurons recours.

VI. Synthèse

Le schéma suivant explique notre méthodologie de changement d'échelles qui a pour objectif de calculer le PPWS à différentes échelles urbaines. Le schéma met en évidence trois échelles (bâtiment, commune et agglomération), et deux unités de base de calcul : « classe-de-bâtiments » pour calculer le PPWS à l'échelle de la commune et « classe-de-communes » pour calculer le PPWS à l'échelle de l'agglomération. Il convient de signaler que l'unité de base de calcul à l'échelle du bâtiment est le bâtiment lui-même.

Toutefois, cette méthodologie reste valable pour toutes autres combinaisons d'échelles. C'est-à-dire, nous pouvons nous arrêter seulement à l'échelle de la commune ou une partie de cette échelle, ou encore, changer l'échelle de l'agglomération par une autre échelle supra-urbaine (département, région…).

Nous rappelons aussi que dans le cas d'une partie de l'échelle de la commune (une zone particulière ou un secteur de bâtiments donné), il y a toujours la possibilité d'utiliser la méthode d'étude individuelle (chaque bâtiment à part) si le nombre de ces bâtiments est limité (en termes d'informations nécessaires au calcul du PPWS et aussi en termes de temps nécessaires aux simulations numériques). De même, par rapport à l'échelle supra-urbaine qui contient un nombre limité de communes, l'étude de chaque commune à part est aussi envisageable si les conditions précédentes sont vérifiées (la maitrise de l'information et temps nécessaires au calcul du PPWS).

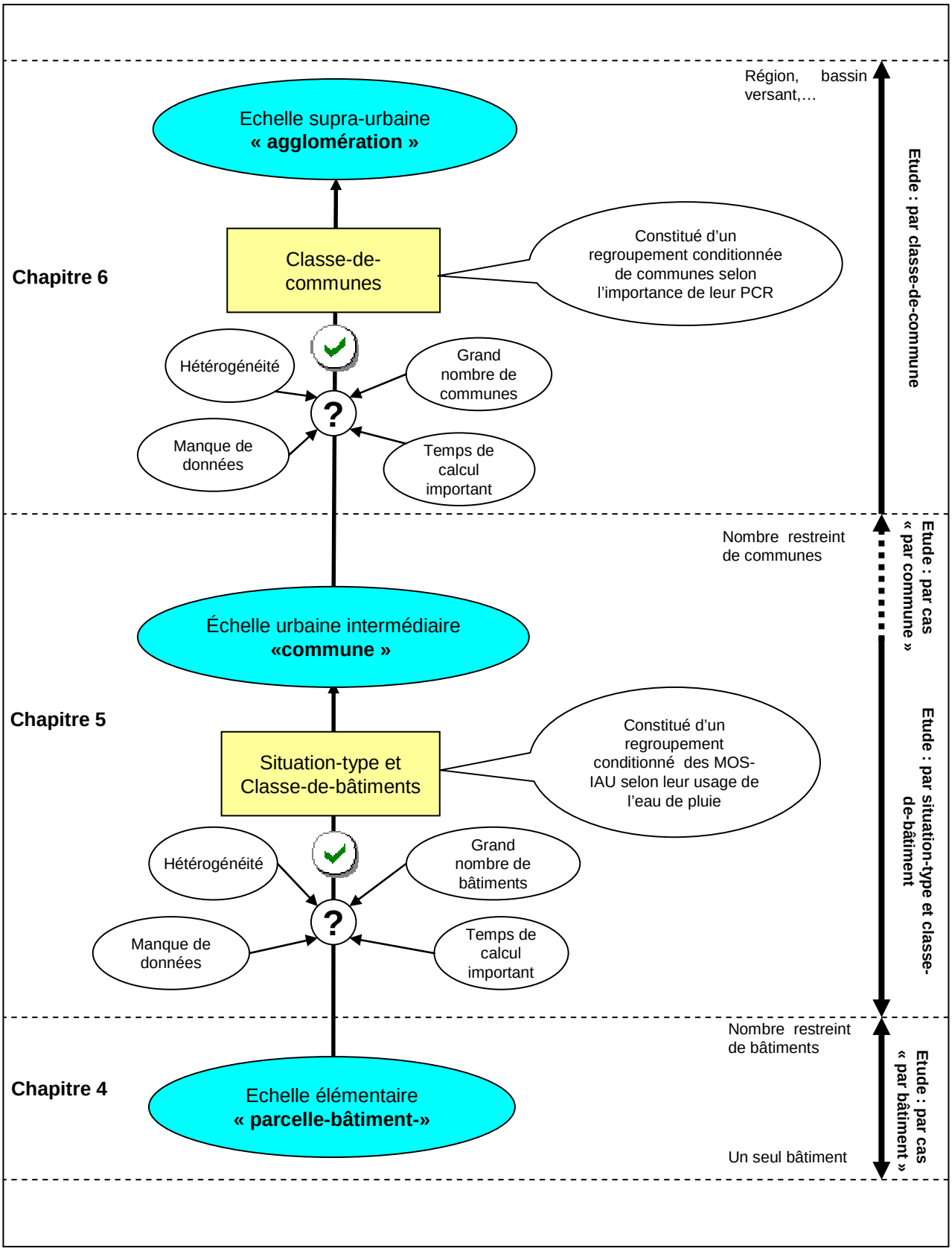


Figure 39. Schéma de notre méthode de changement d'échelles

Dans ce chapitre, nous proposons un nouvel indicateur (Potentiel de Stockage et d'Utilisation -PSU-) qui représente l'économie potentielle de l'eau potable (PPWS) susceptible d'être remplacée par l'eau de pluie à l'échelle du bâtiment. Nous expliquons ainsi, le modèle que nous avons choisi pour calculer ce nouvel indicateur parmi ceux exposés auparavant en faisant un certain nombre de modifications pour répondre aux objectifs de cette étude.

En un second temps, nous détaillons un exemple du calcul du PPWS pour un bâtiment donné.

Enfin nous menons une étude de comparaison entre les résultats obtenus grâce à la méthode proposée et ceux de la méthode de référence consistant à procéder au calcul individuel (bâtiment par bâtiment) du PPWS.

4.1. Choix de la méthode de calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment

Parmi toutes les méthodes qui étaient exposées dans la première partie de ce rapport, la méthode développé par de Gouvello et Rivron [de Gouvello et al. 2010, Rivron 2009], nous semble la méthode la plus adaptée pour calculer le PPWS, car c'est une méthode qui :

- repose sur le modèle de Fewkes qui décrit le comportement journalier de la cuve de stockage ; cela nous semble le modèle le plus réaliste utilisé aujourd'hui en comparaison à d'autres modèles (exemple : le modèle PCR qui considère que le PPWS est le volume maximal récupérable en aval de la toiture).
- s'intéresse à la forme de la courbe « volume de la cuve en fonction des taux de recouvrement des besoins » et donc analyse chaque cas différemment selon son contexte (paramètres, pluie …), alors que la méthode utilisée par Ghisi [Ghisi et Ferreira 2007] par exemple, fixe une règle générale qui dit que le volume de la cuve idéal est celui obtenu quand on ajoute 1000 litres de volume de stockage, le PPWS augmente de moins de 0.5% ».
- donne la « zone optimale » et le « volume optimal » automatiquement sans que l'usager intervienne pour choisir un point sur la courbe, comme le cas de la méthode utilisée par Herrmann [Herrmann et Uwe 1999].
- s'accompagne d'un programme informatique[39] qui permet de faire des simulations.
- Facile à adapter d'autres fonctionnalités propres à notre problématique (cf. § 2.2.5.3).

4.2. Choix du point qui correspond à nos objectifs

Nous avons vu que la méthode développée par de Gouvello et Rivron donne une « zone optimale » du point de vue hydrologique (elle maximise le taux de recouvrement mais avec un volume de stockage qui reste dans le raisonnable). Cette zone est délimitée par un point bas « U2 » et un point haut « U3 ». Chaque point de cette fourchette [U2, U3] peut être considéré comme un point de compromis acceptable pour le choix du volume de la cuve.

La méthode privilégie, ensuite, le choix d'un seul point, car nous avons besoin d'un seul volume de cuve. Ce point est obtenu à l'intérieur de la « zone optimale ». Il est déterminé de façon purement mathématique, mais le maître de l'ouvrage est libre de choisir un autre point dans la fourchette pour exprimer le volume et le taux de recouvrement souhaités.

[39] Nous possédons ce programme de simulation

Partant de ce constat et suivant notre principe méthodologique de « majoration » (cf. introduction de la partie III), nous choisissons le point U3 (la borne supérieure de la « zone optimale ») pour exprimer le volume de la cuve et le taux de recouvrement que nous utilisons dans cette étude. Il s'agit de favoriser au maximum l'utilisation de l'eau de pluie, tout en restant dans une fourchette de volume de cuve acceptable.

Le choix de ce point nous permet ensuite de déduire facilement le PPWS d'un bâtiment donnée, mais comme ce choix est propre à notre étude, nous appelons le potentiel engendré PSU (Potentiel de Stockage et d'Utilisation) de l'eau de pluie. autrement-dit le PSU représente le PPWS du point U3.

Mathématiquement, le PSU est calculé par l'équation suivante :

$PSU = E_{U3} \times D$ **(Équation 17)**

Où :

E_{U3} : est le taux de recouvrement qui correspond au point U3.

D : la demande (besoins en eau de pluie déclaré au départ).

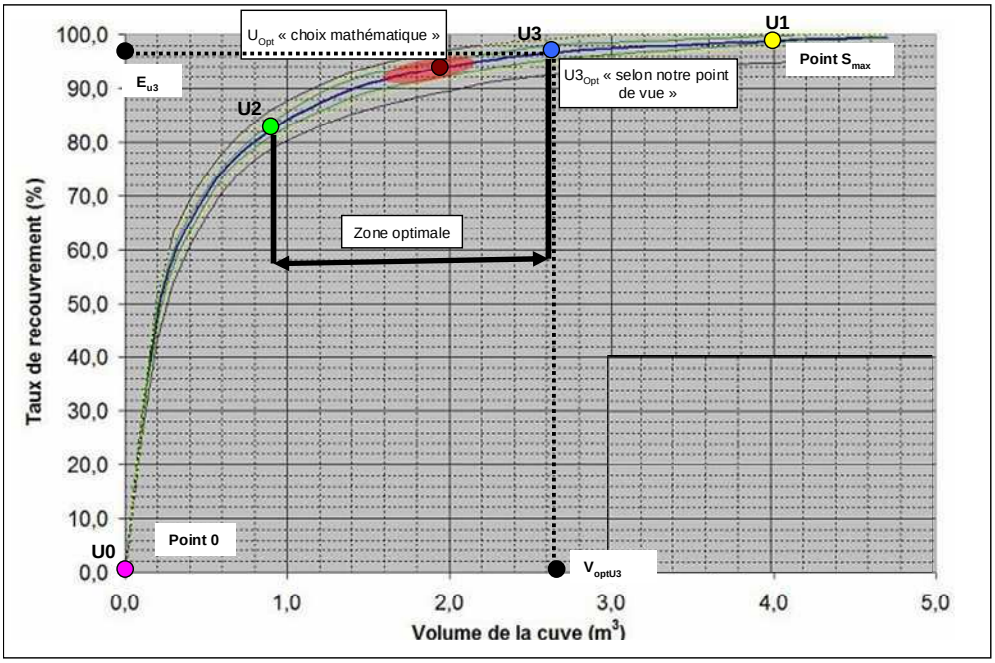


Figure 40. Volume optimal ($U3_{opt}$). Source : adaptée de [de Gouvello 2010]

4.3. Le calcul du Potentiel de Stockage et d'Utilisation (PSU) de l'eau de pluie

Le PSU est défini comme étant la quantité de l'eau de pluie récupérée, stockée et utilisée afin de remplacer celle du réseau d'eau potable. Cette quantité est exprimée en mètre cube sur une période de un an (m^3/an) et elle correspond au point U3 de la courbe.

Dans la première partie, nous avons expliqué la méthode et le modèle liés à cet indicateur (PPWS). Cependant, cette section sera consacrée au calage des paramètres d'entrée utilisés spécifiquement dans notre contexte d'étude.

4.3.1. Les données pluviométriques « précipitation »

Elles sont nécessaires pour calculer la quantité captée et récupérée en aval des toitures des bâtiments. Ces données peuvent être exprimées selon différentes formes selon la période considérée : annuelle, mensuel, hebdomadaire, quotidienne,…

Dans notre cas nous possédons les données de 30 années (1976-2005) de données quotidiennes de précipitations issues de la station métrologique « Paris-Montsouris ».

4.3.2. Les besoins en eau de pluie

La définition des besoins en eau de pluie passe par le choix d'un « scénario d'usage » d'utilisation de l'eau de pluie. Comme nous l'avons expliqué, ce choix comporte : les usages envisagés, le ratio et la fréquence de chaque usage.

Afin de définir le volume de nos besoins en eau de pluie, nous devrons renseigner un certain nombre de paramètres :

Volume des besoins pour un seul usage de l'eau de pluie, est décrit par l'équation suivante

$Vb_u = R_u \times F_u$ **(Équation 18)**

Où :

Vb_u : le volume des besoins d'un usage donné de l'eau de pluie

R_u : le ratio de l'usage considéré

F_u : la fréquence de l'usage considéré

Tandis que le volume des besoins globaux est calculé généralement sur une période de un an en raison de la différence entre des fréquences des différents usages. Ce volume est décrit par l'équation suivante :

$$Vb_g = \sum_{u=1}^{u=n} Vb_u$$ **(Équation 19)**

Où :

Vb_g : le volume des besoins globaux annuels

Vb_u : le volume des besoins d'un usage donné

n : le nombre des usages de l'eau de pluie considérés

Nous avons mené une étude spécifique pour déterminer les volumes de bases « ratios et fréquences » des différents usages de l'eau qui sont susceptibles de faire appel à l'eau de pluie.

4.3.2.1. L'usage « alimentation des chasses d'eau des toilettes –WC- »

Ce volume est différent selon la nature de l'usager et du bâtiment. Nous décrivons ci-dessous les volumes de base selon la nature de l'usager et sa manière d'occuper le bâtiment.

Volume alimentation des toilettes « domicile »

Ce ratio concerne l'usager du statut « habitant ». Plusieurs valeurs sont relevées pour ce ratio volume

Volume alimentation des toilettes « domicile » (WC_{dom})		
Valeur	**Organisme**	**Méthode et hypothèse de calcul**
27.4 l/hab/j	C.I.Eau (www.cieau.com)	Une consommation moyenne de l'eau potable estimée à 137 l/hab/j 20% de cette consommation est dédiés au WC_{dom}
30 l/hab/j	CSTB [François et Hilaire 2000]	Un habitant tire la chasse d'eau 25 fois par semaine (3 fois par jour en semaine et 5 fois par jour pour week-end) La capacité des chasses d'eau est de 9 litres Un habitant occupe son domicile 340 jours /an
24 l/hab/j	Eau de Paris (www.eaudeparis.fr)	Une consommation moyenne de l'eau potable estimée à 120 l/hab/j 20% de cette consommation est dédié au WC_{dom}

Tableau 11. Différents volumes estimés dans le WC domestique.

Nous constatons que l'on dispose d'une fourchette comprise entre 24 et 30 l/hab/j et d'une moyenne de 27.1 l/hab/j. Cette moyenne est proche de la valeur indiquée par le C.I.Eau (27.4 l/hab/j).

Nous utilisons alors un volume de base moyen pour l'alimentation des toilettes « domicile » (R_{wcd}) équivalent à *27.4 l/ habitant/jour*, en basant sur les hypothèses suivantes :

- un habitant tire la chasse d'eau des toilettes 3 fois par jour pendant la semaine.

- il tire la chasse d'eau des toilettes 2 fois de plus (5 fois) par jour pour le week-end.

- il occupe son domicile 340 jours par an (20 jours de vacances par an en moyenne) [François et Hilaire 2000].

- 90% des chasses d'eau utilisées ont une capacité de 9 litres

- 10% chasses d'eau utilisées ont d'autres capacités (6 et 3/6 litres).

Volume alimentation des toilettes « professionnel » (Vwcp)

Ce volume est lié essentiellement par le temps passé par l'usager à l'intérieur du bâtiment. À cet effet, nous avons relevé deux types de ratio d'utilisation de l'eau pour l'alimentation des toilettes dans les lieux de travail [Grant 2003].

- volume employé (V_{wce}) : nous avons expliqué plus haut qu'un usager tire la chasse d'eau 3 fois en : moyenne par jour pendant la semaine, en revanche il la tire 5 fois par jour pendant le week-end. On considère que l'usager tire la chasse d'eau 2 fois sur son lieu de travail, cela donne une moyenne de 5 fois par jour (3 fois dans son domicile et 2 fois dans son lieu de travail) [Guide méthodologique 2008]. Si on considère des chasses d'eau de capacité de 9 litres, cela donne un volume de 18 litres par jour pendant 220 jours (la majorité des bâtiments de travail sont fermés le week-end, et chaque employé prend entre 5 à 7 semaines de vacances par an). Cela donne une moyenne annuelle *de 11 litres par employé et par jour.*
- volume visiteur (V_{wcv}) : les visiteurs sont les publics qui viennent comme clients ou comme simple visiteur, ils passent un temps relativement court dans le bâtiment. La seule information que nous possédons est celle d'un exemple d'immeuble de bureaux, où il est considéré qu'un visiteur sur cinq utilise les toilettes une fois par jour. Comme ce type de bâtiments est ouvert pendant 250 jours par an [Guide méthodologique 2008]. Cela donne une moyenne annuelle de *2 litres par visiteur et par jour*.

Volume scolaire (R_{wcs})

Ce ratio concerne les élèves collégiens et lycéens. Le CSTB a suivi la consommation de l'eau dans 70 établissements scolaires, il a conclu que l'usage de l'eau pour tirer les chasses d'eau des toilettes est en moyenne de 3 à 4 litres par élèves et par jour pendant 175 jours par an (35 semaines d'enseignement) [Gestion de l'eau 2004]. Cela donne une moyenne annuelle est de *2 litres par élève et par jour*.

Volume nuitée (R_{wcn})

Ce ratio concerne les usagers de l'eau qui passe des nuits dans des hôtels, des auberges,…. On considère le ratio d'utilisation de l'eau par personne pour chaque nuit passé dans ce type d'habitat. La seule information qu'on possède, concerne l'exemple d'un hôtel où il est estimé que chaque personne passe une nuit dans un hôtel, utilise les toilettes 3 fois [Guide méthodologique 2008]. Cela donne une moyenne annuelle est de *27 litres par personnes par nuit.*

4.3.2.2. L'usage arrosage de la pelouse

Pour déterminer les besoins d'arrosage on utilise un modèle basé sur l'évapotranspiration potentielle des plantes (ETP)[40] [Guillon et al. 2008 ; Herrington 1996]. L'arrosage est censé remplacer cette quantité d'eau évaporée. Cet objectif ne peut être atteint qu'en évitant de laisser l'humidité du sol s'abaisser en dessous de la limite des réserves facilement utilisables (RFU)[41]. On arrose la plante s'il n'y a pas une quantité suffisante de l'eau dans la terre. Autrement dit :

Si RFU > ETP : cela signifie il y a une quantité suffisante d'eau dans la terre donc on n'arrose pas.

Si RFU = 0 : cela signifie qu'il n'y pas d'eau dans la terre donc la quantité d'eau nécessaire pour l'arrosage est équivalente à celle de ETP.

Si RFU<ETP : cela signifie qu'il y une quantité d'eau dans la terre mais cette quantité n'est pas suffisante, donc il faut ajouter une quantité grâce à l'arrosage qui est équivalente au (ETP – RFU).

Cette technique de vérification du RFU par rapport à l'ETP nécessite des détecteurs qui sont liés à un système d'arrosage automatique. Cependant, l'arrosage manuel effectué par un arrosoir ou un simple tuyau, repose généralement sur le comportement de l'arroseur qui évalue visuellement les besoins de ses plantes en eau [Nimes et al. 2011].

Afin de comprendre le comportement d'arrosage des usagers, nous avons effectué une enquête sous forme d'un questionnaire semi-directif (cf. annexe1)

Nous avons posé essentiellement des questions qui concernent :

- le moyen d'arrosage.
- la période d'arrosage.
- la fréquence d'arrosage
- le volume d'eau utilisé pour arroser son jardin
- et le rapport entre l'arrosage artificiel (arrosage manuel ou automatique) et l'arrosage naturel (pluie).

L'analyse des réponses obtenues, nous ont permis de déduire les comportements d'arrosage suivants :

[40] ETP : C'est la quantité d'eau évaporée par un couvert végétal continu et régulier. Il s'agit d'une évaluation de la quantité d'eau évapotranspirée par une prairie en pleine croissance, saine et bien alimentée en eau). http://www.smegreg.org/

[41] La notion de réserve facilement utilisable (RFU) correspond à la quantité d'eau du sol en dessous de laquelle une plante flétrit. Les doses d'irrigation sont calculées à partir de la RFU et on irrigue dès que celle-ci est épuisée. La RFU est exprimée en mm. http://www.smegreg.org/

En ce qui concerne le moyen d'arrosage

76% un arrosage de type manuel, seulement 16% de type semi-automatique et 8% de type automatique.

En ce qui concerne la période d'arrosage

La période d'arrosage s'étale d'Avril à Octobre (52%) pour certains et de Mai à Septembre. (44%) pour d'autres.

En ce qui concerne le volume d'arrosage

42% des personnes interrogées pratiquent leur arrosage au tuyau pendant environ 20 à 30 minutes. Ce qui représente environ 3 mm.

En ce qui concerne la relation avec la pluie

Les personnes interrogées ont déclaré qu'ils arrosent chaque jour sauf les jours de pluies (72%).

Suite à tout cela, le scénario d'arrosage que nous avons adopté pour notre étude est basé sur les paramètres suivants :

- Une période d'arrosage de 7 mois par an : avril, mai, juin, juillet, août et septembre, octobre.
- Un ratio de 3 mm/ jour d'arrosage
- Une fréquence d'arrosage quotidien sauf s'il a plu 3 mm ou plus le jour de l'arrosage.

4.3.2.3. Volume « lavage du sol »

Ce ratio dépend de plusieurs paramètres comme : le type de revêtement, le matériel de nettoyage et la fréquence de nettoyage. Deux types de lavage du sol sont dégagés :

Lavage du sol intérieur ($R_{sol/int}$)

Le nettoyage se fait soit à la main (balai et serpillière -pour les petits espaces- : blocs sanitaires, couloirs,…), soit à l'aide d'une auto-laveuse pour les espaces de superficie importante (hall, surface d'accueil,…). Nous ne disposons pas des volumes fixes, mais nous avons pu repérer quelques exemples :

- *Hôtel :* surface à nettoyer : 200 m^2 (réception, entrée). Type de nettoyage : manuel, fréquence de nettoyage 7jours/7. Consommation en eau : 30 litres. Cela donne un *volume de 0.15 l/m^2/jour.*

- *Immeuble de bureaux :* surface à nettoyer : 2400 m^2 (hall, réception, entrée). Type de nettoyage : auto laveuse. Consommation en eau : 250l/U. Fréquence de nettoyage 2jours/semaine. Cela donne un ratio de *0.21 l/m^2/semaine (0.03l/m^2/jour).*
- Une recherche internet sur les consommations de l'eau révèle que les autos laveuses consomment entre (0.1 l/m^2) pour le modèle Wetrok Laser 65 / 75. (0.08 l/m^2) pour le modèle BR 601 et (0.1 l/m^2) pour le modèle CV 85/2 RS.

A partir de cela, nous avons adopté les ratios moyens suivants :

- on considère que le lavage des sols intérieurs pour les classes (habitat individuel, habitat collectif et habitat autre) se fera *manuellement avec une fréquence de nettoyage moyenne de 4 fois par semaine et 0.15l/m^2***.**
- pour le reste des classes nous ferons l'hypothèse que le lavage des sols se fera avec *une auto laveuse avec une fréquence de 2 fois par semaine et 0.1 l/m^2*.

<u>Lavage du sol extérieur</u>

Il concerne généralement les voiries et les parkings (associés du bâtiment). Ce type de nettoyage est fait généralement à l'aide de l'auto-laveuse. *Le volume moyen connu aujourd'hui est de 5 l/m linéaire soit 0.15 l/m^2* [Haniquaut 2005].

4.3.2.4. Volume « lavage des véhicules »

<u>CIEau</u> **:** 6% (8.2 litres en moyenne) pour l'arrosage du jardin et le lavage de la voiture), entre 150 à 200 litres pour un lavage d'un véhicule à domicile.

<u>CSTB</u> **:** 6 lavages dans l'année à 200 litres chacun.

<u>Etude SIEE</u> **:** Nettoyage des véhicules : 100 à 250 l/véhicule (suivant l'état de propreté du véhicule et la fréquence de nettoyage). La fourchette haute correspond plus aux camions, il faut compter 150 litres en moyenne pour une voiture.

<u>Eléphant Bleu</u> **:** considéré comme leader du marché du lavage (avec 13,9%), l'éléphant bleu, nous donne les ratios suivants :

- la fréquence de lavage moyenne par véhicule est de 12 fois par an.
- en termes de consommation d'eau 3 ratios sont donnés :
  - lavage haute pression : 50 à 60 litres par véhicule
  - lavage aux rouleaux : 150 à 350 litres par véhicule
  - lavage à domicile : 100 à 500 litres par véhicule

Finalement, on distingue deux types de lavage des véhicules

Lavage à domicile ($R_{véhd}$)

La plupart des estimations sont comprise entre 100 et 300 litres par lavage, mais en termes de fréquence de lavage nous possédons qu'une estimation (celle du CSTB) qui estime la fréquence du lavage à 6 fois chaque année. Donc nous déterminons notre ratio comme suit : *6 lavages par an, chaque lavage consomme au moyen 200 litres***.** Cela signifie *un volume de 2.8 litres par jour et par véhicule***.**

Lavage à la station ($R_{véhs}$)

Si on prend les deux systèmes de lavage (lavage haute pression -50 à 60 litres /véhicule- et lavage aux rouleaux -150 à 350 litres /véhicule-) on déduit qu'en moyenne une voiture consomme 150 litres par lavage avec une fréquence de 11.5 fois par an. *Un ratio de 144 litres/véhicule/mois est déduit***.** Cela signifie *un ratio de 4.8 litres par jour et par véhicule***.**

4.3.2.5. Volume « lave-linge »

CSTB : 1 utilisation /semaine/personne (65 litres par machine)

Agence de l'Eau Adour-Garonne **:** 4 lavages/semaine/100 L par lavage (ancien modèle) pour une famille de 4 personnes.

CIEau **:** 16.44 l/j/per sur la base de 12% de la consommation moyenne (137 l/j/per)

Guide méthodologique **:** pour un lave-linge de 5 kg, le volume consommé est compris entre 40 à 120 litres. La fourchette haute correspond aux très anciens modèles (120 l/cycle), les laves linge ayant une dizaine d'années consomment entre 80 à 100 litres par cycle et la fourchette basse correspond aux modèles les plus récents qui ont en général une consommation de 40 à 50 litres/cycle.

Les deux premières références (CSTB et Agence de l'eau Adour-Garonne) nous confirment qu'en moyenne une personne utilise le lave-linge une fois par semaine. Par contre les deux autres références nous donnent une idée sur la consommation de l'eau par cycle et par personne. Selon le CIEau chaque personne consomme au moyen 16.44 litres par jour (12%) donc une moyenne de 115 litres par semaine, en revanche le guide méthodologique, nous dresse une fourchette de 40 à 120 litres par semaine et donc par personne. On peut déduire que le C.I.Eau a utilisé la fourchette haute pour définir la consommation de l'eau pour le lave-linge. Pour notre étude, nous gardons le ratio que chaque personne utilise en moyenne une fois (un cycle) le lave-linge chaque semaine. Par contre et comme la fourchette de consommation de l'eau est comprise ente 40 à 120 litres par cycle,

nous prenons la moyenne, donc 80 litres par cycle. Cela signifie *un volume pour la lave linge de 80 litres/par personne (cycle) et par semaine.*

Le tableau suivant récapitule les différents ratios que nous allons utiliser dans notre étude

Usage	**Spécificité**	**Volume de base**	
		Ratio	**Fréquence**
WC	Domicile	27,4 l/jour/hab	Jour (30 l/hab/340jour)
	Professionnel (employé)	11 l/jour/emp	Jour (18l/emp/220jour)
	Professionnel (visiteur)	1.25 l/jour/vis	Jour (1.8 l/vis/250jour)
	Elève	2 l/jour/élè	Jour (4 l/élè/175jours)
	Nuitée	27 l/jour/nuitée	Nuit passée (hôtel,…)
Arrosage	arrosage	3 l/m2	Chaque jour de la période (avril-octobre) sauf les jours de pluie
Lavage sol	Intérieur (manuel)	0.15 l/m^2	4 fois par semaine
	Intérieur (auto laveuse)	0.1 l/m^2	2 fois par semaine
	Extérieur	0.15 l/m^2	1 fois par semaine
Lavage véhicule	Domicile	200 l /véh	6 fois par an
	Station lavage	150 l/véh	11.5 fois par an
Lave linge	Lave linge	80 l/cycle (per)	1 cycle par semaine

Tableau 12. Volume de base d'utilisation de l'eau.

4.3.3. La disponibilité de l'espace pour la mise en place de la cuve de stockage

Avant de décider d'installer une cuve de stockage d'un certain volume, il faut penser à sa mise en place. En effet selon son volume et son emplacement la cuve de stockage occupe un espace plus ou moins important soit à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment, soit en surface ou sous la terre. Il convient au maître de l'ouvrage de vérifier s'il a suffisamment d'espace disponible pour mettre en place sa cuve de RUEP.

En absence d'une norme qui fixe l'espace nécessaire pour l'installation d'une cuve de stockage de l'eau de pluie, nous nous basons sur la méthode utilisée aujourd'hui par les installateurs de ce type de cuves, notamment, les cuves utilisées dans l'assainissement individuel [Guide pratique 2010]. Cette méthode prévoit un espace minimal nécessaire avec des dimensions comparables à ceux de la cuve plus une marge, afin d'assurer la sécurité de la cuve dans le cas d'une installation en surface et permettant de manipuler la cuve en cas d'une installation souterraine.

Le tableau suivant résume les règles de calcul de l'espace minimal nécessaire pour la mise en place selon le type de la cuve.

Type de la cuve	Les dimensions de l'espace		
	Longueur (lon)	**Largeur (lar)**	**Hauteur (hau)**
Cuve type « aérien extérieur »	$lon_{espace} \geq lon_{cuve} + lon_{marge}$ [42]	$lan_{espace} \geq lan_{cuve} + lan_{marge}$	Il n'y a pas d'exigence particulière, car la cuve est installée à l'air libre.
Cuve type « aérien intérieur »	$lon_{espace} \geq lon_{cuve} + lon_{marge}$	$lan_{espace} \geq lan_{cuve} + lan_{marge}$	$hau_{cuve} \leq hau_{espace} - hau_{visite}$
Cuve type « enterré »	$lon_{espace} \geq lon_{cuve} + lon_{marge}$	$lan_{espace} \geq lan_{cuve} + lan_{marge}$	Il n'y a pas d'exigence particulière, car la cuve est enterrée[43.]

Tableau 13. Les règles qui permettent le calcul de l'espace nécessaire à la mise en œuvre de la cuve.

Maintenant, nous supposons que le maître d'ouvrage ne dispose pas suffisamment d'espace pour mettre en place la cuve choisie. Devant une telle situation, deux solutions sont envisageables : soit, il change les dimensions de la cuve en gardant le même volume, car il existe une large gamme de cuves sur le marché qui ont le même volume mais pas les mêmes dimensions (en jouant sur la longueur, la largeur et la hauteur), mais dans certains cas cette solution ne suffit pas et le maitre d'ouvrage est obligé dans ce cas de choisir une autre cuve avec un volume de stockage inférieur à celui de son premier choix ce qui engendre la réduction des dimensions de l'espace nécessaire à son installation. Il existe aujourd'hui sur le marché des cuves de stockage de l'eau de pluie avec des volumes étagés en 100 litres. Cet intervalle peut être utilisé par le maitre d'ouvrage pour choisir le volume de la cuve en fonction de l'espace disponible.

4.3.1. Enquête de terrain

Afin d'approfondir cet aspect, nous avons mené une enquête (cf. annexe 1) pour connaitre la disponibilité physique[44] de l'espace dans les bâtiments (et les parcelles associées). L'enquête a été effectuée sur 50 maisons individuelles décomposée en deux catégories : 25 maisons de ville[45] et 25 maisons pavillonnaires[46]. Cette étude a été menée en deux phases :

- phase 1 « l'enquête de terrain ». Cette phase à été effectuée par G. Nimes [Nimes et al. 2011] dans le cadre de son stage de master. L'objectif était de déterminer les surfaces et les fonctions de chaque espace qui compose la parcelle (espace bâti, espace de circulation, espace vert,….) en utilisant un questionnaire destiné aux propriétaires des

[42] La grandeur de la marge exprime la dimension nécessaire permettant la mise en place correcte de la cuve (manipulation). Cette grandeur sera définie suivant les règles de l'art utilisées dans des cas similaires.

[43] Dans certains cas on ne peut pas dépasser certaine profondeurs à cause de l'existence des roches ou des nappes phréatiques. Dans ces cas il faut prendre ces contraintes de la terre comme contraintes de la mise en œuvre de la cuve de récupération.

[44] La disponibilité physique de l'espace : il s'agit de vérifier à l'intérieur (local technique, cave, garage,…) comme à l'extérieur du bâtiment (jardin, cours,…) d'un espace disponible (vide) et capable d'accueillir (ses dimensions sont adéquate avec les dimensions da cuve correspondante ») une cuve de stockage de l'eau de pluie.

[45] Pour cette enquête nous avons défini « la maison de ville » comme une maison dont le reste de la parcelle associée ne dépasse pas 150 m^2.

[46] De la même façon nous avons défini « la maison pavillonnaire » comme une maison dont le reste de la parcelle associée dépasse 150m^2.

maisons et l'estimation visuelle comme moyen pour déterminer la composition des parcelle et leurs bâtiments ainsi que la surface de chaque composant.

- Phase 2 « calcul théorique ». dans cette phase, nous avons calculé le volume optimal « $V3_{opt}$ » (correspond au point « U3 ») de chaque bâtiment suite aux données collectées dans la phase précédente. Ensuite nous avons affecté à chaque volume « $V3_{opt}$) des dimensions de cuve de stockage de même volume et qui existent aujourd'hui sur le marché (annexe 2). Dans un dernier temps nous avons comparé les dimensions des cuves et les dimensions des espaces susceptibles d'accueillir une cuve (cf. Tableau 13).

4.3.3.2. Analyse des réponses

De manière générale

- Nous avons constaté que l'ensemble des bâtiments analysés ont un espace « physique » vide et avec des dimensions suffisantes pour installer une cuve de volume correspond au volume optimal déterminé plus haut ($V3_{opt}$).
- Nous avons relevé 4 endroits qui peuvent accueillir une cuve de stockage de l'eau de pluie, deux endroits à l'extérieur du bâtiment (cours et jardin) et à l'intérieur du bâtiment[47] (garage et abris jardin). D'autres endroits peuvent aussi accueillir des cuves de stockage principalement à l'intérieur du bâtiment (local technique, cave,…) [de Gouvello et Noeuvéglise 2007]. Ceux-ci ne sont pas mentionnés dans l'enquête, car il est difficile d'accéder à ce type d'endroit. De plus l'objectif de l'enquête était de vérifier l'existence d'au moins un espace capable d'accueillir une cuve, donc l'enquêtrice s'est contentée des endroits facilement accessibles (jardin, garage,…) où il existe ou moins un endroit parmi eux qui peut contenir la cuve, elle n'a pas tenté d'aller plus loin[48].

[47] Ou dans une annexe du bâtiment
[48] Par économie du temps de la personne interrogée, car l'enquête comporte un autre volet « comportement de l'arrosage ».

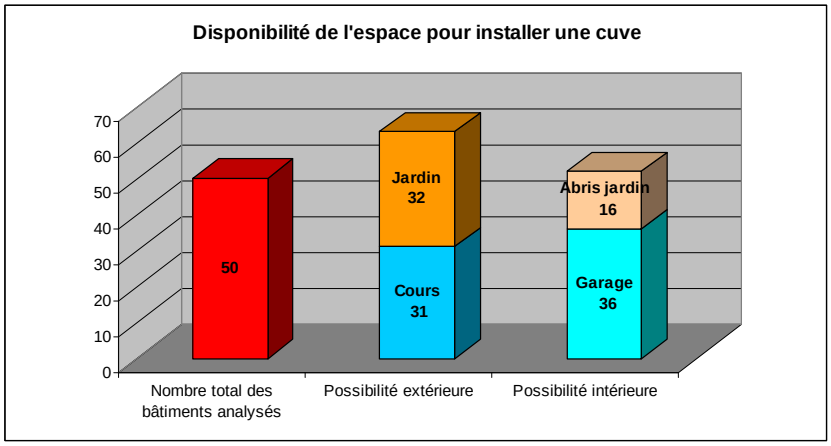


Figure 41. Les possibilités de la mise en place d'une cuve

- Le graphe (cf. Figure 41) montre le nombre des endroits repérés comme des endroits capable d'accueillir une cuve de stockage, il est supérieur au nombre total des bâtiments analysés, cela signifie que pour chaque bâtiment il y a un endroit ou plus qui peuvent être destinés à la mise en place de la cuve de stockage.

<u>En ce qui concerne les « maisons de ville »</u>

Dans cette catégorie, nous avons constaté que les « cours » (disponibles dans 19 bâtiments) et les « garages » (disponibles dans 15 bâtiments) sont les endroits les plus disponibles pour accueillir une cuve, par contre peu de « jardins » (disponibles dans 7 bâtiments) et très peu « d'abris de jardin » (disponibles dans 3 bâtiments) qui peuvent accueillir de cuves. Cela, nous semble normal, vu les caractéristiques urbanistiques de cette catégorie « maisons de ville » où la densité des bâtis est élevée par rapport au reste non bâti de la parcelle.

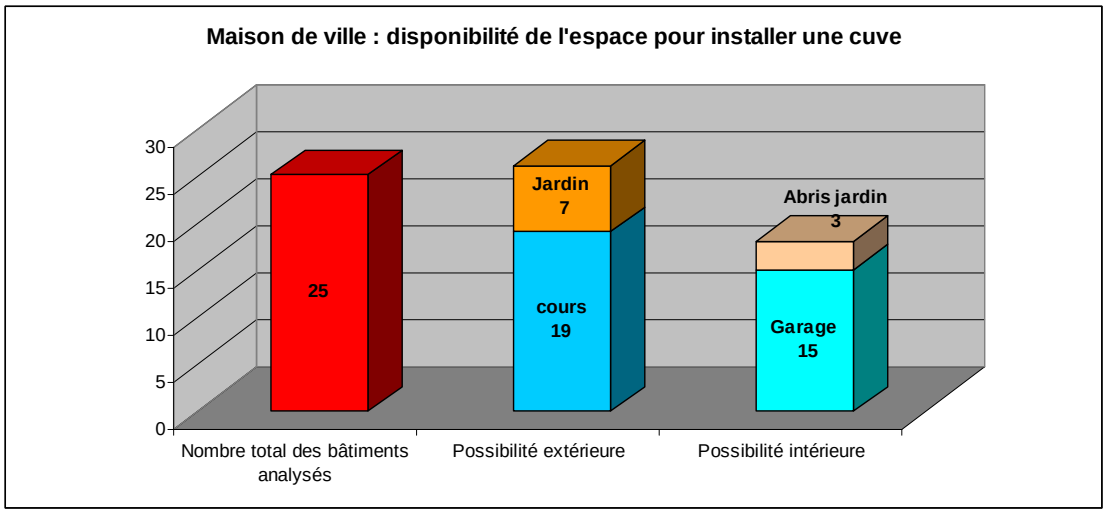


Figure 42. Les endroits aptes à la mise en place d'une cuve pour la catégorie « maison de ville »

<u>En ce qui concerne les « maisons pavillonnaires »</u>

Par rapport à cette catégorie, nous constatons qu'elle dispose plus d'espace disponible capable d'accueillir une cuve de stockage par rapport aux 4 endroits relevés. Nous constatons que l'ensemble des bâtiments peuvent accueillir une cuve dans leurs jardins et la majorité de ces bâtiments peuvent aussi accueillir une cuve dans leurs garages (21 /25 bâtiments), en ce qui les deux autres endroits (cours et abris jardin), près de la moitie des bâtiments peuvent accueillir des cuves dans ces endroits. Tout cela colle avec la réalité urbanistique de la catégorie qui se caractérise par une grande superficie de parcelle et une densité de bâtis faible, ce qui favorise l'existence d'endroits vide et de grande superficie apte à la mise en place des dispositifs tel qu'une cuve de stockage de l'eau de pluie.

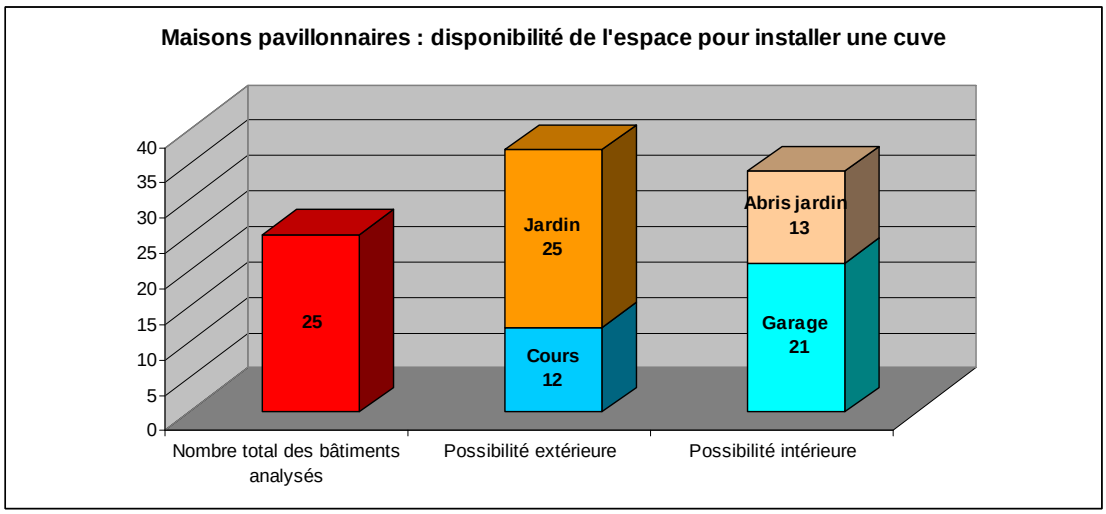


Figure 43. Les endroits aptes à la mise en place d'une cuve pour la catégorie « maison pavillonnaire »

4.3.3.3. Résultats de l'enquête

Nous pouvons faire l'hypothèse suivante : chaque bâtiment est capable *physiquement* (dispose d'un *espace physique* et apte « vide et avec des dimensions compatibles ») à la mise en place d'une cuve de stockage de l'eau de pluie d'un volume correspond au volume optimal « $V3_{opt}$ » tel qu'il est défini dans le paragraphe précédente (cf. § 4.2). Nous justifions le choix de cette hypothèse par :

- Les résultats de notre enquête. qui montre clairement que pour chaque bâtiment analysé, il y a au moins un espace physique capable d'accueillir une cuve de stockage « $V3_{opt}$ ». même l'enquête présente quelques limites (nombre des bâtiments analysés, type de bâtiments analysée « habitat individuel »,…).
- La large gamme des cuves. Aujourd'hui, il existe au marché une variété de cuves qui s'adapte à l'emplacement de mise en place (enterré, surfacique, béton, PEHD, souple, …) et aux dimensions de l'espace disponible où on note qu'ii existe des cuves du même

volume mais avec des dimensions différentes ce qui permet aisément de choisir la cuve dont les dimensions qui s'adaptent à la spécificité de l'espace de mise en place.

- Le développement technologique. En plus de la variété du marché des cuves observée aujourd'hui, nous constatons aussi un développement technologique de la filière et spécifiquement la cuve de stockage qui est considérée comme la pièce principale dans un dispositif de RUEP. En effet, entre la cuve enterrée renforcée permettant la circulation des véhicules (donc la possibilité de l'installer dans l'espace dédié à l'accès des véhicules à l'intérieur la parcelle) et la cuve type « MURDEAU® »[49] qui peut être encastrée dans le mur du bâtiment (elle occupe un espace très réduit par rapport à une cuve ordinaire), la technologie travaille dans le sens de réduction de l'espace nécessaire pour la mise en place de la cuve de stockage afin de diminuer cette contrainte.
- Notre propre « retour d'expérience ». Durant toute la période de ce travail et d'après notre expérience du terrain (enquête ci-dessus, travaux des stages scientifiques : T. Moulin et S. Fofol,…) et théorique (les articles et les ouvrages spécialisés dans le domaine à l'échelle nationale et internationale) nous n'avons pas trouvé d'exemple où il est fait référence à une difficulté d'installation d'une cuve de taille raisonnable à cause de l'espace disponible pour sa mise en place.

4.4. Exemple de calcul du PSU à l'échelle du bâtiment

Nous détaillons ici un exemple de calcul du PSU à l'échelle d'un bâtiment donné. Nous avons choisi un des bâtiments qui sont utilisés dans notre enquête « disponibilité de l'espace » décrite plus haut.

4.4.1. Description du bâtiment

Le bâtiment est situé : 10 rue des deux communes, 94500 Champigny-sur-Marne, de superficie de 250 m^2 et une surface bâtie de 80 m^2, avec une toiture en pente et une couverture en tuile (coefficient de récupération de 0.9). Il possède aussi un garage de 10 m^2, une terrasse de 80 m^2 (carrelage) et un chemin d'accès de 7 m^2 (bitume), tandis que le reste de la parcelle est un espace vert de superficie de 73 m^2. Enfin, elle est habitée en permanence par 3 personnes.

[49] www.murdeau.eu

4.4.2. Choix du scénario d'usage de l'eau de pluie

Nous définissons le « scénario d'usage » comme l'usage ou la combinaison d'usages de l'eau de pluie pour un bâtiment ou un ensemble de bâtiments donné. Cette notion implique trois sous-notions : *les usages, les ratios et la fréquence* d'utilisation d'eau de pluie.

- Les usages *:* il s'agit des usages de l'eau de pluie considérés dans une opération de récupération et utilisation de l'eau de pluie. Ils contiennent au moins un usage de l'eau de pluie. Par exemple : un usage comme « l'alimentation des toilettes (WC) » ou plusieurs usages comme « l'arrosage de la pelouse + WC »
- Les ratios *:* dans le dictionnaire, la notion du ratio signifiée « rapport entre deux grandeurs »[50]. nous utilisons le ratio pour désigner la quantité de base de l'eau de pluie consommée par rapport à un usage donné. Par exemple, 3 l/m^2, pour l'usage arrosage de la pelouse.
- La fréquence *:* Il s'agit de la périodicité du *ratio* (combien de fois le ratio se répète dans une unité de temps donné). Par exemple, pour l'usage WC, la fréquence est le « jour ».

Le scénario d'usage adopté pour une opération de RUEP, nous permet de définir les besoins en eau de pluie de ce bâtiment.

Dans notre exemple, nous avons adopté le scénario d'usage suivant : l'eau de pluie sera utilisé pour les usages : à l'intérieur du bâtiment seul l'usage « alimentation des chasses d'eau des toilettes – WC- » sera considéré. Par ailleurs, nous avons écarté le lave-linge, car il n'y est autorisé qu'à titre expérimental dans le règlement en vigueur. À l'extérieur du bâtiment, nous avons considéré, l'arrosage du jardin, le nettoyage du sol (terrasse) et le lavage du véhicule[51].

Usages	**Variable**	**Ratio**	**Fréquence**
WC	3 personnes	27.4 l / j	quotidien
Arrosage pelouse	73 m^2	3 l / m^2 (avril - octobre)	quotidien, sauf les jours de pluie.
Nettoyage sol	80 m^2	0.15 l / m^2	hebdomadaire
Lavage véhicule	Une voiture	200 l	6 fois par an

Tableau 14. Scénario d'usage de l'eau de pluie

[50] http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/ratio/
[51] Nous avons fait l'hypothèse que la famille à une voiture et qu'elle sera lavée à domicile.

4.4.3. Résultats du calcul

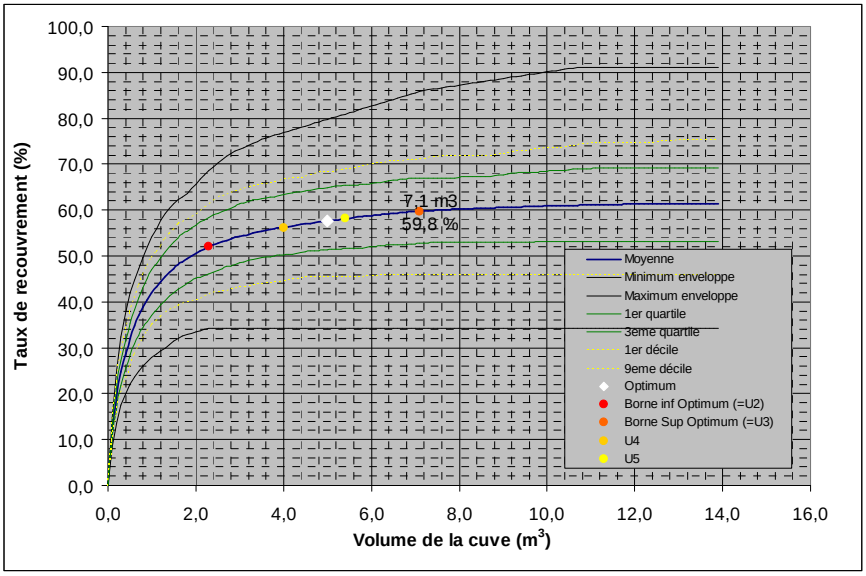


Figure 44. Résultats graphique de la simulation

Calcul du PSU

Les résultats affichés (concernant le point U3) sont :

- Le volume de la cuve ($Vopt_{U3}$) : 7.1 m^3
- Le taux de recouvrement (E_{U3}) : 59.8 %
- Les besoins (demande) en eau de pluie (D) : 72.60 m^3/an

A partir de ces données, nous pouvons calculer le PSU de ce bâtiment :

$$PSU = E_{U3} \times D \ = 59.8\% \ x \ 72.60$$

PSU = 43.40 m^3/an

Possibilité de mise en place de la cuve

Nous avons comparé la cuve issue de la simulation afin de la comparer avec les cuves du même volume qui existe aujourd'hui dans le marché. L'objectif de cette comparaison est de déduire les dimensions qui correspondent au volume de cette cuve ($Vpot_{U3}$=7.1 m^3) et ensuite voir si nous nous possédons suffisamment de place dans notre bâtiment pour sa mise en place.

La comparaison montre qu'il existe deux types de cuves pour un volume équivalent à celui obtenu grâce à la simulation. :

- Une cuve de type « aérien-intérieur » (à mettre à l'intérieur du bâtiment : garage cave …) avec les dimensions : l x L x H= 2.70 x 2.60 x 2.20 (m^3)
- Une cuve de type « enterrée » (à enterrer dans le jardin, par exemple) avec les dimensions) : l x L x H = 4.05 x 1.60 x 1.55 (m^3)

Type de cuve	Dimensions propres (m x m x m)	Dimensions avec la marge [52](m x m x m)	Surface nécessaire (m x m)	Endroit et surface (m x m) disponible
Aérien-intérieur	2.70 x 2.60 x 2.20	3.00 x 2.90 x 2.20	8.70	Garage (10 m^2)[53]
Enterré	4.05 x 1.60 x 1.55	4.35 x 1.90 x 1.55	8.26	Jardin (73 m^2) Terrasse (80m^2)

Tableau 15. Possibilité de la mise en place de la cuve de stockage de l'eau de pluie.

Il est clair que le meilleur emplacement pour la cuve est d'être enterrée dans le jardin ou sous la terrasse. En effet, car l'espace nécessaire à sa mise en place représente environ 10% de la superficie totale du jardin (ou de la terrasse), et après l'enterrement la surface de l'emplacement pourra être réutilisée. Contrairement à la cuve de type « aérien-intérieur » qui occupe pratiquement la totalité du garage (87% de sa superficie). Ce dernier sera condamné et il ne sera pas possible qu'il remplisse une autre fonction.

4.4.4. Analyse des résultats

L'analyse des résultats obtenus montre qu'environ la moitié (48.4%) de la consommation totale de l'eau potable[54] du bâtiment est considérée comme consommation qui ne nécessite pas la qualité potable, donc elle pourra être remplacée par l'eau de pluie issue du dispositif de RUEP. Les résultats montrent aussi qu'à l'aide du PSU environ 60% de ces besoins « non potable » pourra être satisfait par l'eau de pluie au lieu de celle potable. De même le PSU représente 29% de la consommation totale en eau du bâtiment.

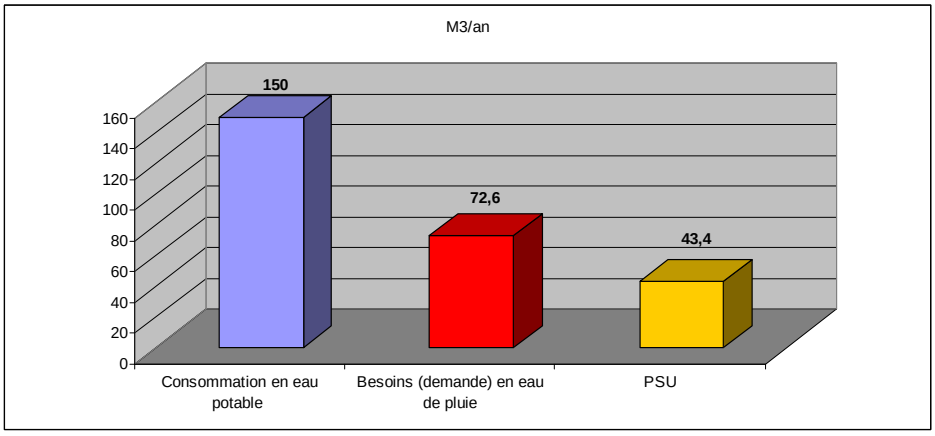


Figure 45. Comparaison entre la consommation totale en eau potable, les besoins susceptibles être remplacés par l'eau de pluie et le PSU du bâtiment étudié.

4.4.5. Calcul du PSU d'un ensemble de bâtiments

Nous résumons dans le tableau suivant les études du PSU effectuées en se basant sur les bâtiments utilisés dans notre enquête « disponibilité de l'espace »

[52] Nous avons ajouté 15 cm pour chaque côté (langueur et largeur)
[53] S'il est vide.
[54] Calculer sur la base de 137 l / j / habitant. Source [L'eau en chiffre 2003]

bâtiments	Caractéristiques techniques des bâtiments					Résultats de simulation : PSU			Vérification de la mise en place « Emplacement »
	S parcelle (m^2)	*S bâtiment (m^2)*	*S jardin (m^2)*	*S terrasse (m^2)*	*Habitants*	***PSU (m^3/an)***	*E_{U3} (%)*	*$Vopt_{U3}$ (m^3)*	
B1	63	34	0	17	3	**18.33**	58.45	1.3	terrasse ou garage
B2	77	37	0	40	2	**17.72**	86.73	2.1	terrasse
B3	87	44	23	5	1	**16.62**	84.96	3.4	jardin
B4	93	49	0	40	2	**19.00**	92.36	1.8	terrasse ou garage
B5	370	90	250	0	4	**46.91**	33.64	8.8	jardin
B6	500	97	344	15	2	**45.61**	26.09	9.0	jardin
B7	500	150	320	10	2	**66.36**	44.75	9.7	jardin
B8	600	186	379	0	1	**80.85**	47.63	24.6	jardin
B9	1010	300	660	20	2	**47.71**	12.88	16.8	jardin

Tableau 16. Calcul du PSU

Le tableau montre la divergence entre les résultats de simulations obtenus. En effet, nous constatons que le PSU est variable selon les caractéristiques des bâtiments, il varie entre 16.62 m^3/an et 80.85 m^3/an selon la demande en eau de pluie. Une grande variété est aussi constate au niveau de taux de recouvrement de la demande (entre 12.88% et 92.36%), mais aussi au niveau du volume de la cuve de stockage (entre 1.3 m^3 et 24.6 m^3).

4.5. Le calcul du PSU global d'un ensemble de bâtiments

Pour avoir le PSU équivalent de l'ensemble des 10 bâtiments décrits plus haut (les 9 bâtiments du Tableau 16 et le bâtiment détaillé un peu plus haut), la seule méthode que nous disposons consiste à calculer chacun à part et ensuite faire l'addition mathématique comme suit

$$PSU_{10bâtiments} = \sum_{i=1}^{i=10} PSU_{P_i} \quad \textbf{(Équation 20)}$$

Donc :

$PSU_{10bâtiments}$ = 402.81 m^3/an

Dans le souci d'un gain de temps, nous avons essayé de traiter l'ensemble des 10 bâtiments comme un bâtiment unique qui hérite des caractéristiques des 10 bâtiments qui le compose. Nous appelons cette dernière *« bâtiment équivalent »*.

Chaque caractère technique de la « bâtiment équivalent » est la somme des caractéristiques de l'ensemble des bâtiments composants.

Bâtiments	Caractéristiques techniques des bâtiments				
	S parcelle (m^2)	*S bâtiment (m^2)*	*S jardin (m^2)*	*S terrasse (m^2)*	*Habitants*
B1	63	34	0	17	3
B2	77	37	0	40	2
B3	87	44	23	5	1
B4	93	49	0	40	2
B5	370	90	250	0	4
B6	500	97	344	15	2
B7	500	150	320	10	2
B8	600	186	379	0	1
B9	1010	300	660	20	2
B10	250	80	73	80	3
B_équivalente	**3550**	**1067**	**3116**	**227**	**22**

Tableau 17. Caractéristiques techniques des 10 bâtiments et de leur bâtiment équivalent.

Nous avons ensuite calculé le PSU de la « bâtiment équivalent ». Les résultats sont :

	Résultats de simulation : PSU		
	PSU (m^3/an)	*E_{U3} (%)*	*$Vopt_{U3}$ (m^3)*
B1	18.33	58.45	1.3
B2	17.72	86.73	2.1
B3	16.62	84.96	3.4
B4	19.00	92.36	1.8
B5	46.91	33.64	8.8
B6	45.61	26.09	9.0
B7	66.36	44.75	9.7
B8	80.85	47.63	24.6
B9	47.71	12.88	16.8
B10	43.40	59.80	7.1
B1+B2+...+B10	**402.81**	**54.73**	**74.9**
B_équivalent	**400.08**	**50.54**	**70.4**

Tableau 18. Comparaison entre les résultats de l'ensemble des 10 bâtiments calculés chacun à part et les résultats de leur bâtiment équivalent.

La comparaison entre le PSU issu du « bâtiment équivalent » ($PSU_{B_équivalent}$) et le PPWS issu de la somme des PPWSs des 10 bâtiments ($PSU_{\sum 10bâtiments}$) calculé chacun à part est très proche (400.08 m^3/an et 402.81 m^3/an respectivement). Le calcul du PSU en s'appuyant sur les caractéristiques technique du « bâtiment équivalent » donne une différence de 99,32% ($PSU_{B_équivalent}$ /$PSU_{\sum 10\ bâtiments}$ = 99.32%).

Cette différence des résultats du PSU, nous semble satisfaisante vu les économies considérables du temps réalisées. Néanmoins, il est clair que le nombre de 10 bâtiments ne suffit pas pour conclure que le PSU issu de l'étude d'un bâtiment équivalent est identique à celui déduit à partir de l'étude de chaque bâtiment à part.

Afin de vérifier ce résultat, nous effectuons une étude qui comporte un nombre plus grand de bâtiments et dans différentes conditions d'utilisation de l'eau de pluie.

4.6. Comparaison entre le $PSU_{B_équivalent}$ et le $PSU_{\sum\ bâtiments}$

Cette comparaison a pour objectif de vérifier la fiabilité du résultat du PSU en utilisant la méthode de calcul « bâtiment équivalent » décrite plus haut et la méthode de référence qui consiste à calculer le PSU de chaque bâtiment à part et ensuite les additionner afin d'obtenir le PSU global.

Il s'agit de vérifier la fiabilité de la méthode « bâtiment équivalent » par rapport au nombre de bâtiments qui l'ont engendrée. Pour réaliser cela, nous avons procédé comme suit :

- Calculer de façon individuelle le PSU des 4000[55] bâtiments fictifs représente essentiellement les bâtiments de type « habitat individuel »[56]. Ces bâtiments sont constitués en prenant en compte les caractéristiques urbanistiques et architecturales de ce type de bâtiments.
- Calculer le PSU du « bâtiment équivalent » de chaque ensemble de bâtiments.
- Comparer les deux PSUs : celui issu de la méthode « bâtiment équivalent » avec celui issu de la méthode de référence (addition des PSUs calculés individuellement).

4.6.1. Constitution des bâtiments

Les 4000 bâtiments que nous avons proposés à cette étude répondent à la taille des bâtiments du type de bâtiments que nous avons constaté dans nos différentes études de terrains, notamment lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage » (cf. annexe 3). Ainsi, nous avons choisi les paramètres techniques suivants :

- La surface bâtie[57] (surface de récupération) comprise entre [40 m^2 et 300 m^2]. Avec un intervalle de 1 m2 entre les surfaces comprises entre [40 m^2 et 200 m^2] et ensuite un intervalle de 5 m2 pour les surfaces comprises entre [200 m^2 et 300m^2].
- La surface de la pelouse (surface à arroser) comprise entre [0 m^2 et 1000 m^2]. Avec un intervalle de 5 m2 pour les surfaces comprises entre [0 m^2 et 100 m^2], ensuite un intervalle de 50 m2 pour les surfaces comprises entre [100 m^2 et 500 m^2] et enfin un intervalle de 100 m2 pour les surfaces comprises [500 m^2 et 1000 m^2].
- Le nombre d'habitants (usagers du WC) comprise entre [1 et 5 personnes]. En utilisant le nombre entier (1, 2, 3, 4, et 5).

Une répartition aléatoire de ces trois paramètres est effectuée pour désigner chaque bâtiment. Un numéro compris entre [1 et 4000] est ajouté pour identifier les bâtiments engendrés.

[55] Il s'agit du nombre des bâtiments dont nous avons pu calculer leur PSU dans un temps acceptable.
[56] Nous avons choisi ce type de bâtiments (habitat individuel), car il est majoritaire dans notre terrain d'application (cf. chapitre 5 et 6).

4.6.2. Calcul du PSUs individuels des bâtiments « méthode de référence »

Un calcul du PSU de chaque bâtiment est effectué de la même façon que celui expliqué précédemment (cf. 4.4). Il convient de signaler que, le scénario d'usage de l'eau de pluie adopté dans ce calcul est composé des deux usages « WC et arrosage » de l'eau de pluie.

4.6.3. Calcul du PSUs des « bâtiments équivalents »

Le groupement des bâtiments en « bâtiments équivalents » est effectué de la façon suivante :

- Le choix aléatoire d'un certain nombre de bâtiments pour composer le « bâtiment équivalent » hérite leurs caractéristiques techniques (additionner les caractéristiques individuelles des bâtiments). Ce choix aléatoire est répétitif, c'est-à-dire, un bâtiment peut être choisi une ou plusieurs dans la composition du même « bâtiment équivalent ».
- Le nombre de bâtiments est déterminé en utilisant un intervalle de 100 bâtiments pour composer des « bâtiments équivalents » qui contiennent entre [100 et 4 000 bâtiments] et ensuite un intervalle de 1 000 bâtiments pour composer ceux qui contiennent entre [

4 000 et 20 000 bâtiments].

En tout, 56 « bâtiments équivalents » sont créés. Le calcul du PSU de chacune d'entre eux est effectué de la même façon que celui du cas individuel et en utilisant le même scénario d'usage « WC + arrosage ».

4.6.4. La Comparaison entre le PSU de la méthode de référence ($PSU_{\sum bâtiments}$) et le $PSU_{B_équivalent}$

Le PSU de chaque « bâtiment équivalent » sera donc comparé avec celui obtenu en additionnant les PSUs des bâtiments qui composent ce dernier et qui était calculés chacun à part.

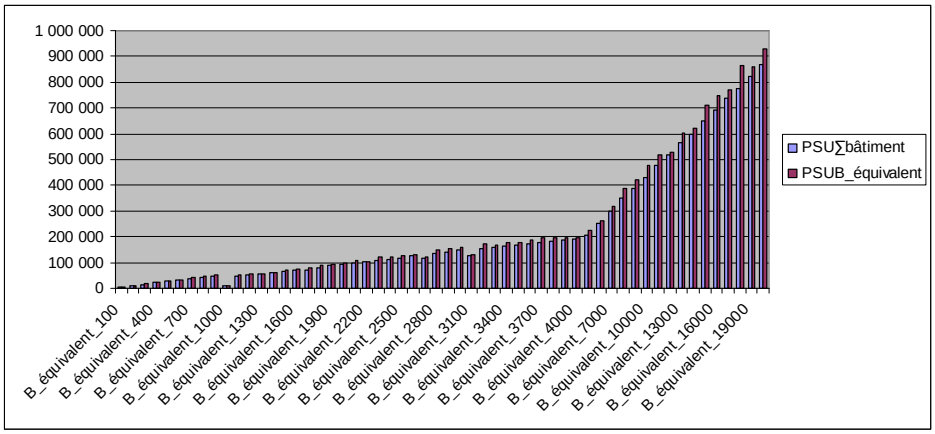


Figure 46. Comparaison entre $PSU_{\sum bâtiments}$ et le $PSU_{B\text{-}équivalent}$

Globalement nous constatons que dans tous les cas de étudiés, le $PSU_{P\text{-équivalente}}$ est toujours supérieur du $PSU_{\sum \text{ bâtiments}}$.

La figure ci-dessous montre le rapport entre comparaison $PSU_{\sum \text{ bâtiments}}$ et le $PSU_{B\text{-équivalent}}$

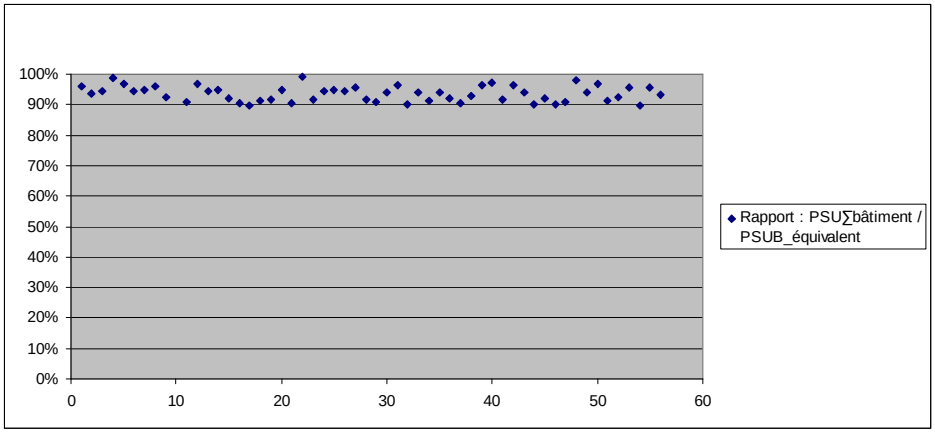


Figure 47. Rapport $PSU_{\sum \text{ bâtiments}}$ et $PSU_{B\text{-équivalent}}$

Ce rapport est compris entre 90% et 100% dans les 56 cas étudiés, c'est-à-dire il y a une différence de 0% à 10%. Donc la méthode de calcul du PSU en utilisant la notion de « bâtiment équivalent » donne des résultats majorants dans une fourchette de [0% à 10%].

4.7. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons proposé un nouvel indicateur « PSU » permettant la quantification la quantité d'eau potable qui pourra être économisée. Nous avons vu aussi que notre modèle de calcul du PSU repose sur le choix d'un point « U_3 » qui se situé à l'extrême de la « zone optimale » pour exprimer le PSU. Ce point garantit un bon compromis entre un volume de cuve acceptable (nous l'avons appelé « optimal ») et un taux de recouvrement des besoins. Nous avons montré ainsi que ce point peut être défini et interprété selon différents points de vue.

Nous avons effectué en dernière analyse, une étude de comparaison pour connaitre la stabilité du PSU à l'échelle urbaine en utilisant un grand nombre de bâtiments. Cette étude a montré que le calcul du PSU pour un grand nombre de bâtiments donne un résultat égal ou supérieur de 10% par rapport au résultat du calcul de chaque bâtiment à part.

Chapitre 5. Calcul du PPWS à l'échelle urbaine (commune)

Ce chapitre est consacré à la deuxième partie de notre méthode de changement d'échelles « le passage entre le bâtiment et la commune. Il est organisé autour de 4 sections :

Nous commençons tout d'abord par une section générique sur l'intérêt apporté par le calcul du PPWS à une échelle plus grande que celle du bâtiment (particulièrement celle de la commune). Nous ferons ensuite un rappel rapide sur les méthodes qui existent aujourd'hui et qui permettent le calcul du PPWS ou d'un autre indicateur du même genre.

Nous présentons dans la deuxième section, la méthode théorique qui permet le passage entre l'échelle du bâtiment et l'échelle de la commune, en utilisant le regroupement des bâtiments en « classe-de-bâtiments » et en « situation-type » de bâtiments grâce à une étude typologique effectuée à une échelle communale.

Ensuite, dans la troisième section nous détaillons la méthode pratique qui permet le calcul du PPWS à l'échelle de la commune en détaillant particulièrement le renseignement des variables nécessaires au calcul de ce PPWS. Pour illustrer nos propos, nous calculons ce dernier pour deux communes de l'agglomération de Paris.

Et enfin, dans la quatrième section, nous analysons les résultats obtenus dans la section précédente en comparant les PPWS calculés (des deux communes) avec d'autres indicateurs d'économies de l'eau.

5.1. Le PPWS à l'échelle de la commune « changement d'échelles : de l'échelle du bâtiment à l'échelle de la commune »

L'objectif de cette section est d'expliquer la méthode du calcul du PPWS à l'échelle d'une commune donnée. Avant de détailler cette méthode, il convient dans un premier temps d'expliquer l'intérêt de calculer le PPWS à une échelle plus grande que celle du bâtiment et particulièrement à l'échelle de la commune.

5.1.1. L'intérêt de calculer le PPWS à une échelle plus grande que celui du bâtiment

Le calcul du PPWS à une échelle plus grande (un ensemble de bâtiments, une zone urbaine, un lotissement,…) que celle du bâtiment à pour objectif de connaitre l'économie globale d'eau potable en la remplaçant par de l'eau de pluie récupérée. Par exemple, un lotisseur a tout intérêt à connaitre les économies d'eau potable qu'il peut faire à l'échelle de son lotissement (évaluation des coûts, sensibilisation des locataires,…), s'il se dote d'un ou de plusieurs systèmes de RUEP. Un autre exemple, à l'échelle d'une zone urbaine donnée, la municipalité a aussi tout intérêt à connaitre ces économies en eau traduites par le PPWS de la zone afin d'évaluer l'impact des installations de RUEP qu'elle finance (le cas de Champigny [Deroubaix et Petrucci 2009]).

5.1.2. L'intérêt de calculer le PPWS, particulièrement à l'échelle de la commune

Le calcul du PPWS à l'échelle de la commune a une importance particulière dans notre travail. Il est justifié par les deux volets suivants :

Volet 1. Dans notre méthode de changement d'échelles la commune est utilisée comme une « échelle intermédiaire » afin de réduire l'écart entre l'échelle élémentaire « bâtiment » et l'échelle supra-urbaine « l'agglomération » (cf. introduction de la partie II).

Volet 2. De façon générale, le calcul du PPWS à l'échelle de la commune peut être utile, dans :

- La production des divers documents d'aménagement et gestion de l'eau (PLU, SAGE,…).
- L'élaboration de la politique locale de la gestion de l'eau (aide locale, sensibilisation, …)
- L'identification des secteurs de bâtiments pour lesquels l'enjeu de la RUEP est important.

5.1.3. Méthode existante pour calculer le PPWS à l'échelle de la commune

Il existe plusieurs méthodes possibles pour calculer le PPWS à l'échelle de la commune ou pour donner simplement une estimation approximative de sa valeur. Nous rappelons dans cette section les méthodes que nous connaissons :

Méthode bâtiment par bâtiment. Comme nous l'avons expliqué précédemment (cf. 4.6.2), cette méthode fait le calcul individuel de chaque bâtiment. L'avantage de cette méthode réside dans sa précision mais à une échelle qui comporte un nombre important de bâtiments, cette dernière risque d'être longue et coûteuse, en termes de moyens pour renseigner les variables d'entrées nécessaires.

Cette méthode est donc utile dans le cas d'un nombre limité de bâtiments et qui seront renseignées individuellement (en termes de variables d'entrées nécessaires au calcul du PPWS).

Méthode d'approximation « PCR ». Cette méthode est une approximation de l'économie d'eau que nous pouvons faire, car il s'agit de la quantité d'eau de pluie captée et ce n'est pas celle stockée et utilisée ensuite. Cette méthode est simple et rapide dans son calcul et dans son renseignement des variables, mais elle reste une approximation et elle ne traduit pas le PPWS réel (cf. 2.3.1.4).

Méthode proposée. Elle se situe entre les deux méthodes précédentes. Elle repose sur la création d'unités de calcul (chacune regroupe un ensemble de bâtiments d'une façon particulière). Nous expliquons cette méthode dans la suite de ce chapitre.

5.2. Le passage de l'échelle du bâtiment à l'échelle de la commune « la construction d'une typologie de bâtiments »

L'objectif de la typologie de bâtiments est de créer des types de bâtiments qui contiennent des bâtiments avec un comportement comparable face à la RUEP. Il s'agit de chercher des caractéristiques permettant de rassembler un ensemble de bâtiments sous le même type.

Nous avons vu dans le chapitre précédent le système de RUEP est décomposé en trois étapes clés (récupération, stockage et utilisation). En effet, les deux premières étapes ne permettent pas la discrimination des bâtiments sous le même type pour les raisons suivantes :

- Pour l'étape « récupération », les bâtiments captent et récupèrent l'eau de pluie de la même façon (grâce à leurs toitures) et la seule différence entre les bâtiments est la surface de cette toiture. Cette surface est très variable et elle ne pourra pas discriminer un nombre limité et maitrisable de bâtiments sous le même type.

- De même, le « stockage » (le volume de la cuve) ne peut pas être un critère discriminant, car il est aussi variable et sensible à cause de plusieurs paramètres (usage envisagé, usagers, ratio,…).

Cependant, pour l'étape « utilisation », nous constatons que les bâtiments peuvent utiliser l'eau de pluie de manière comparable. Par exemple, nous pouvons discriminer un ensemble de bâtiments par rapport à l'usage envisagé de l'eau de pluie (arrosage du jardin par exemple). Nous construisons ainsi notre typologie de bâtiment par rapport à l'utilisation de l'eau de pluie.

Cette étape se caractérise essentiellement par le « scénario d'usage » (cf. 4.3.2). Ce dernier sera utilisé pour construire notre typologie de bâtiments dont chaque type (classe) comporte un ensemble de bâtiments qui ont le même « scénario d'usage » de l'eau de pluie.

5.2.1. Le regroupement des bâtiments en classes-de-bâtiments

Afin de classer les bâtiments d'une commune donnée par leur « scénario d'usage », il est nécessaire de :

- avoir la liste des bâtiments de cette commune.
- pouvoir identifier le scénario d'usage de l'eau de pluie de chacun de ces bâtiments.

Suite à cela, il est possible de dégager des types de bâtiments qui se caractérisent par le même « scénario d'usage » de l'eau de pluie. Cette méthode est schématisée par le schéma ci-dessous.

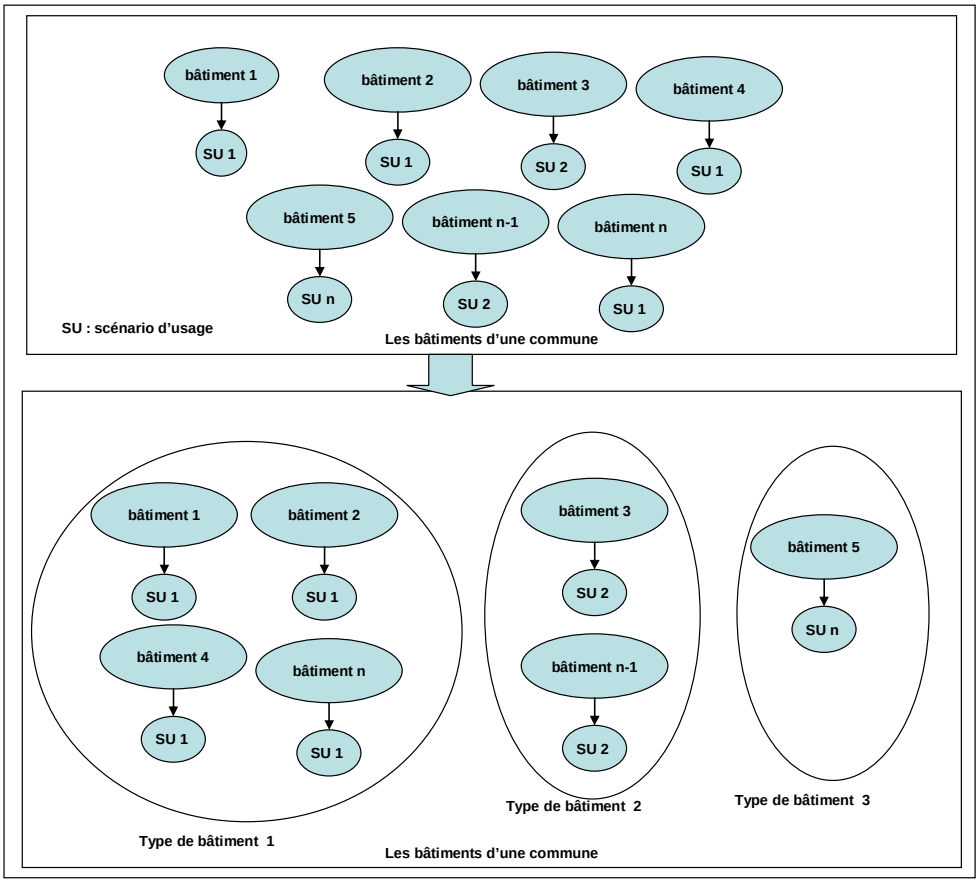


Figure 48. Méthode de regroupement des bâtiments de la commune en type de bâtiments selon leur scénario d'usage de l'eau de pluie.

Néanmoins, cette méthode pose problème, car nous ne possédons pas la liste de tous les bâtiments d'une commune donnée, et de plus l'attribution d'un scénario d'usage à chaque bâtiment demeure difficile.

Pour surmonter cette difficulté, il existe d'autres typologies de bâtiments qui regroupent les bâtiments de la commune, mais avec un autre objectif et selon d'autres critères que les nôtres. L'idée est d'utiliser ces regroupements pour dégager nos types de bâtiments en les adaptant avec nos besoins et selon nos critères.

Il convient maintenant de trouver une base de données des bâtiments afin de les réorganiser selon notre critère de regroupement. Cette base doit remplir au moins les deux conditions suivantes :

- l'exhaustivité. Elle doit contenir tous les bâtiments de notre échelle urbaine (agglomération de Paris).
- homogénéité minimale. Les bâtiments doivent être regroupés selon un critère donné (pas nécessairement le nôtre)

Une base de données qui répond assez bien à nos exigences : celle de l'IAU-IDF[58]. Cette base nommée base « MOS »[59] a été créée avec l'objectif de suivre l'urbanisation du sol de l'Ile-de-France. Cette base telle qu'elle est définie aujourd'hui contient 81 postes (chaque poste représente un mode d'occupation des sols)[60], qui sont les résultats de 5 niveaux hiérarchiques.

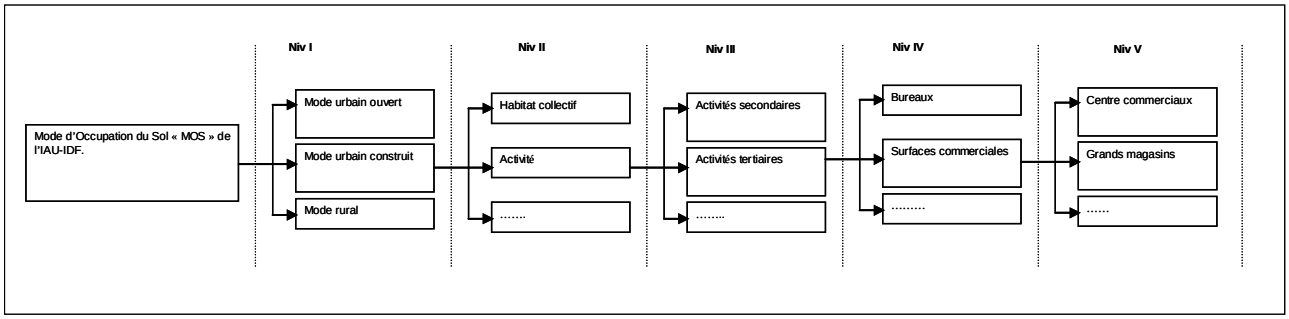


Figure 49 . Exemple des 5 niveaux hiérarchiques de la base MOS de l'IAU-IDF.

5.2.1.1 La réorganisation de la base « MOS » : du MOS à la catégorie des bâtiments

Afin de réorganiser la base « MOS » selon nos besoins, nous avons mené deux opérations comme suit :

- Comme nous l'avons déjà expliqué, la pratique de RUEP ne concerne que les bâtiments. Alors que la base MOS contient tous les modes d'occupation des sols, c'est pourquoi nous avons gardé le Mode Urbain Construit (MUC), car il est le seul mode qui contient des MOS sous forme « MOS-bâtiment ».
- Nous avons supprimé certain nombre de ces « MOS-bâtiment » qui présentent un impact très marginal sur la diffusion de la pratique de récupération de pluie au niveau de l'agglomération de Paris, car ce sont des « MOS-bâtiment » spécifiques (exemple : cimetières,…) et de plus ils sont très limités par rapport aux autres MOS (en surface d'occupation des sols).

Mode d'Occupation du Sol « MOS »	Mode Urbain Construit « MUC »	Niveau	Nombre de MOS « bâtiments »
L'IAU –IDF a dégagé 81 modes d'occupation du sol	Il contient 54 (parmi les 81 du MOS) modes réparties sur 5 niveaux	Niveau I	1 (MUC)
		Niveau II	5
		Niveau III	11
		Niveau IV	21
		Niveau V	**38 (choisis parmi les 54 du MUC)**

Tableau 19 . Les MOS retenus parmi ceux qui sont proposés par la base l'IAU-IDF.

Nous appelons « *catégories-de-bâtiments* », les 38 « MOS-bâtiments » qui résultent à l'issue de cette étape.

[58] Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France
[59] Mode d'Occupation des Sol : http://www.iau-idf.fr/basemos/
[60] La mise à jour de la base se fait chaque 5 an, la dernière date de 2008

5.2.1.2. La réorganisation des catégories de bâtiments : de la « catégorie-de-bâtiments » à la « classe-de-bâtiments »

Ces « catégories-de-bâtiments » sont regroupées en se basant sur le critère « occupation des sols », alors que notre attention porte sur le regroupement des bâtiments au regard de l'utilisation de l'eau de pluie « scénario d'usage ».

Nous testons l'homogénéité des « catégories-de-bâtiments » entre-elles. A travers cette opération, nous regrouperons les catégories qui ont le même « scénario d'usage » de l'eau de pluie. Nous nommons les types résultant de cette opération « Classes-de-bâtiments ».

Par exemple, les trois catégories-de-bâtiments, « habitat collectif continu bas », « habitat collectif continu haut » et « habitat collectif discontinu »[61] seront regroupées sous la même classe-de-bâtiments « habitat collectif », car elles pourront utiliser l'eau de pluie de la même façon, autrement-dit elles pourront avoir le même « scénario d'usage » de l'eau de pluie.

Par contre, les deux catégories-de-bâtiments, « enseignement 1er degré » et « enseignement secondaire » ne pourront pas être dans la même classe-de-bâtiments, car leurs « scénarios d'usage » de l'eau de pluie sont différents. En effet, la première catégorie ne peut pas utiliser l'eau de pluie à l'intérieur des bâtiments [Arrêté 2008]. En revanche, la deuxième est autorisée à l'utiliser à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment.

Du point de vue pratique, nous avons évalué les catégories de bâtiments en regardant le scénario d'usage comme suit :

- Nous avons simplifié le scénario d'usage. Pour l'*usage* de l'eau de pluie, nous avons regardé la possibilité d'utilisation de l'eau de pluie pour chaque catégorie de bâtiments par type d'usage (à l'extérieur, à l'intérieur, extérieur-intérieur, spécifiques -industriels). Pour le *ratio*, nous avons regardé la possibilité d'utilisation de l'eau de pluie pour chaque catégorie de bâtiments par type usager (habitant, employé, visiteur, élève).
- Dans un premier temps, les catégories qui sont concernées par cette évaluation sont celles qui appartiennent au niveau V (les 41 catégories sélectionnées). Nous vérifions si les catégories de ce niveau (V) qui appartiennent à la même catégorie du niveau supérieur (IV) ont un comportement analogue vis-à-vis l'eau de pluie ou non. Trois cas de figure ont été relevés :

[61] La définition de chaque catégorie est donnée par l'IAU-IDF (cf. annexe 4).

1. toutes les catégories d'un niveau V donné, donne le même résultat à l'évaluation. Dans ce cas, elles seront rassemblées sous leur catégorie mère (laquelle appartient au niveau IV).

Niveau IV	Niveau V	Résultat de l'évaluation (R1)
Catégorie A	Catégorie A.1	R1
	Catégorie A.2	R1
	Catégories A.3	R1
	Catégorie A.4	R1

2. chaque catégorie d'un niveau V donné, donne un résultat différent à l'évaluation. Dans ce cas, elles seront remontées au niveau IV telle qu'elles sont au niveau V.

Niveau IV	Niveau V	Résultats de l'évaluation (R1, R2, R3, R4)
Catégorie B	Catégorie B.1	R1
	Catégorie B.2	R2
	Catégorie B.3	R3
	Catégorie B.4	R4

3. certaines catégories d'un niveau V donné, donne le même résultat à l'évaluation, tandis que le reste donne un autre résultat. Dans ce cas, on fait remonter au niveau IV, chaque ensemble de catégories qui donne les mêmes résultats à l'évaluation sous une seule catégorie.

Niveau IV	Niveau V	Résultat de l'évaluation (R1, R2, R3)
Catégorie C	Catégorie C.1	R1
	Catégorie C.2	R1
	Catégorie C.3	R2
	Catégorie C.4	R2
	Catégorie C.5	R3

- nous répétons cette opération entre les deux niveaux (III et IV), ensuite les deux niveaux (II et III) et enfin les deux niveaux (I et II) (cf. annexe 4).

A l'issue de cette étape treize classes-de-bâtiments sont dégagées :

1. Habitat Individuel « HI »
2. Habitat Collectif « HC »
3. Habitat Autre « HA »
4. Activité Secondaire « AS »
5. Surfaces Commerciales « SC »
6. Bureaux « Bu »
7. Sport construit « SCon »
8. Enseignement de premier degré « E1 »
9. Enseignement Autres « EA »
10. Equipements de santé « ES »
11. Autres équipements locaux, administrations « EAdm »
12. Grands équipements « GE »
13. Transport « Tr »

Tableau 20 : les treize « classes-de-bâtiments » dégagées

5.2.1.3. La réorganisation des classes-de-bâtiments : de la « classe-de-bâtiments » à la « situation-type » d'utilisation de l'eau de pluie.

L'étape précédente est considérée comme un premier pas vers la création d'une typologie de bâtiment au regard de la RUEP. Néanmoins, son résultat (les treize classes-de-bâtiments) est contestable par rapport aux objectifs du départ, pour les raisons suivantes :

- certaines classes-de-bâtiments restent trop générales. Par exemple, la classe « Transport » reste une classe générale au regard de la REUP, car il y a plusieurs possibilités d'utiliser l'eau de pluie dans les bâtiments de cette classe (dépôt de bus, gares,…).
- la réalité observée dans ce domaine montre que les bâtiments de même classe réagissent parfois différemment. Par exemple, la classe «Bureau» pourra comporter des bâtiments qui reçoivent du public (exemple : compagnie d'assurance) ou non (exemple : siège social d'une entreprise) et donc le ratio « WC » qui est fondamental dans ce cas est totalement différent dans les deux situations possibles (avec ou sans public).

A cet effet, nous avons adopté une seconde étape avec pour objectif de décrire les différentes situations d'utilisation de l'eau de pluie que pourront prendre les bâtiments d'une même classe- de-bâtiments.

Mais, d'un autre côté, décrire les situations d'utilisation de l'eau de pluie pour une classe-de-bâtiments donnée en considérant les détails du scénario d'usage de l'eau de pluie, engendre un grand nombre de situations possibles. Pour éclairer ce constat, nous détaillerons ci-dessous l'exemple des situations possibles d'utilisation de l'eau de pluie pour la classe-de-bâtiments «bureau» :

- Au regard du « type d'usage » : les situations possibles d'utilisation (S_u) de l'eau de pluie sont les suivantes : S_{u1} « WC », S_{u2} « arrosage », S_{u3} « lavage des sols »,…..mais aussi la combinaison de toutes ces utilisations comme : S_{u4} « WC + arrosage », S_{u5} « WC + lavage des sols »,…
- Au regard du « ratio d'utilisation », la situation possible S_{u1} « WC » est divisée en deux situations-possibles : S_{u11} « $WC_{employé}$ » dans le cas où seulement les employés du bâtiment bureau utilisent les toilettes et S_{u12} « $WC_{employé + visiteur}$ » dans le cas où le bâtiment reçoit du publics pouvant accéder aux toilettes du bâtiment.
- Le croisement de toutes ces situations possibles, donne environ 25 situations possibles pour la classe-de-bâtiments « bureau ».

Cependant, cette solution qui consiste à décrire les classes-de-bâtiments par leurs situations possibles d'utilisation de l'eau de pluie est aussi contestable pour les raisons suivantes :

- Il y a un grand nombre de situations possibles à gérer quand on compte les treize classes-de-bâtiments (plus de 200 situations possibles)
- Certaines de ces situations possibles d'usage de l'eau de pluie ne sont jamais constatées dans la réalité. Par exemple, pour la classe-de-bâtiments « habitat individuel », la situation possible S_u « arrosage du jardin + lave linge» n'est jamais constatée.
- Et enfin pour certaines de ces situations possibles, la mise en place d'un dispositif de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie n'est intéressante ni du point de vue volume récupérable et utilisable, ni en termes de rentabilité économique du dispositif. Par exemple, la situation possible S_u « lavage des sols » pour la classe-de-bâtiments « bureau » est considérée comme une situation peu rentable au regard du volume utilisable et du coût d'investissement.

L'enjeu est donc double : d'un côté décrire la réalité d'utilisation de l'eau de pluie dans chaque classe-de-bâtiments et de l'autre, réduire ces situations afin qu'on puisse les gérer par rapport à une échelle urbaine. Pour concrétiser cela, nous avons adopté une méthodologie qui repose sur les opérations de *retour d'expérience* des bâtiments dotés d'un dispositif de RUEP.

A travers le recours aux opérations de retour d'expérience, nous voulons déterminer concrètement les *scénarios des usages* les plus réalistes parmi les usages possibles de l'eau de pluie au sens de l'arrêté d'Août 2008. Nous avons repéré plus de 80 opérations utilisant l'eau de pluie dans les bâtiments. Elles couvrent 10 classes-de-bâtiments parmi les 13 classes dégagées (nous n'avons pas

repéré des opérations pour les trois classes-de-bâtiments : activité secondaire, grands équipements et transport).

Concrètement, chaque opération repérée doit nous fournir comme renseignement de base, les deux caractéristiques suivantes :

- La vocation du bâtiment, afin de pouvoir le classer sous l'une de nos classes dégagées.
- Le scénario de l'usage qui est l'objectif de cette démarche.

Nous avons dégagé d'autres caractéristiques afin de mieux appréhender l'opération de retour d'expérience et leur condition mise en œuvre telles que : la localisation, la pluviométrie locale, la surface de collecte,… (cf. annexe 5).

Pour effectuer cette étude, nous avons procédé en plusieurs phases, à savoir :

1. définir tous les usages possibles de l'eau de pluie
2. délimiter un périmètre d'étude restreint
3. décrire les usages possibles par classe-de-bâtiments.
4. déduire parmi les postes utilisant l'eau de pluie, ceux qui ont un impact important sur le choix de la solution technique de récupération, en se basant sur les opérations de retour d'expérience.
5. Et enfin, déduire les situations d'utilisation de l'eau de pluie résultantes.

Phase 1. Les usages possibles de l'eau de pluie

L'eau de pluie peut être utilisée en milieu urbain dans plusieurs domaines. Dans cette section, nous dressons un panorama des usages possibles de l'eau de pluie récupérée en aval des toitures des bâtiments.

En ce qui concerne les usages possibles de l'eau de pluie, l'Arrêté du 21 août 2008 « relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments » a défini les usages possibles de l'eau de pluie comme suit [Arrêté 2008] :

- *usages domestiques extérieurs au bâtiment*.
- *à l'intérieur des bâtiments*, uniquement pour l'évacuation des excrétas, le lavage des sols et le lavage de linge à titre expérimental.
- *L'utilisation de l'eau de pluie est interdite à l'intérieur des bâtiments suivants* : des établissements de santé, sociaux et médicaux-sociaux, d'hébergements des personnes âgées,

des cabinets médicaux, des cabinets dentaires, des laboratoires d'analyses de biologie médicale, des établissements de transfusion sanguine, ainsi que dans des crèches, des écoles maternelles et élémentaires.

- *Les usages professionnels et industriels*, à l'exception de ceux qui requièrent l'emploi d'eau destinée à la consommation humaine.

Pour expliquer ces usages en détails, nous adoptons la division suivante :

Usage domestique **:** c'est l'utilisation de l'eau de pluie dans des bâtiments d'habitation. Les utilisations de l'eau de pluie liées à cet usage domestique sont :

- *à l'intérieur des bâtiments* : alimentation des toilettes, lavage des sols et lavage de linge (à titre expérimental).
- *à l'extérieur des bâtiments* : arrosage des jardins, lavage des sols, lavage des véhicules.

Usage dans le cadre professionnel **:** c'est l'utilisation de l'eau de pluie dans des bâtiments tertiaires ou industriels (sauf les utilisations industriels spécifiques de l'eau de pluie). Les utilisations de l'eau de pluie liées à cet usage professionnel sont :

- *à l'intérieur des bâtiments :* alimentation des toilettes, lavages des sols et lavage de linge
- *à l'extérieur des bâtiments :* arrosages des espaces verts, lavage des sols, réserve incendie, lavage des véhicules.

Usage public **:** c'est l'utilisation de l'eau de pluie sur le domaine public. Ce type d'usage est généralement *à l'extérieur des bâtiments* : lavage (voiries, trottoirs, marchés, caniveaux,…), arrosage des jardins et des espaces verts publics, réserve incendie.

Pour cet usage, on remarque que le problème qui se pose est que les bâtiments (ou les endroits) de l'utilisation de l'eau de pluie n'ont pas une toiture associée suffisante (dans la majorité des cas). On remarque aussi que ces usages publics concernent la collectivité locale.

Face à ce problème, deux solutions s'offrent à la collectivité locale, afin de répondre à ces besoins en eau de pluie :

- soit elle utilise les toitures des bâtiments environnants. Dans ce cas les cuves seront installées dans les parcelles qui contiennent ces bâtiments ou dans les espaces concernés par l'utilisation de l'eau de pluie.
- soit elle transporte l'eau de pluie dans des citernes mobiles en cas d'impossibilité de collecter l'eau de pluie à partir des bâtiments environnants (absence des bâtiments,

bâtiments n'appartenant pas à la collectivité -dans ce cas, la collectivité peut établir des contrats de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie avec les propriétaires de ces bâtiments-).

Usage industriel : c'est un usage spécifique de l'eau de pluie, cette eau rentre dans les processus industriels, comme le refroidissement des machines,…. Généralement, cet usage ne dépend pas du bâtiment (intérieur ou extérieur), mais dépend de la nature du processus industriel.

Phase 2. Périmètre d'étude pour notre thèse

Nous avons décidé de limiter le champ d'intervention de notre étude aux deux premiers usages possibles (l'usage domestique et l'usage professionnel) de l'eau de pluie. Ce choix du périmètre d'étude est guidé essentiellement par la contrainte du temps de l'étude.

On résume les usages possibles de l'eau de pluie récupérée en aval des toitures incessibles des bâtiments par le schéma suivant :

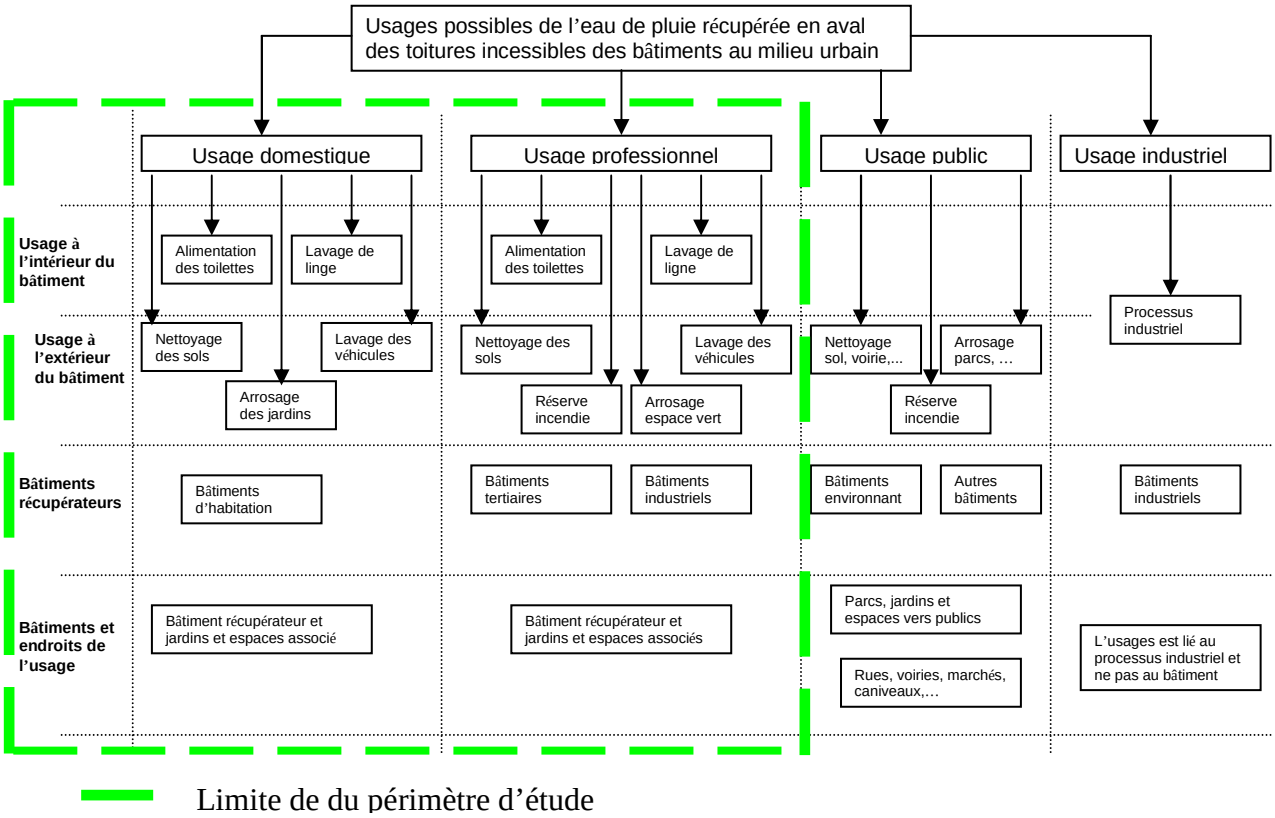


Figure 50 . Les limites de notre périmètre par rapport aux usages possibles de l'eau de pluie

Phase 3. Possibilité d'utiliser l'eau de pluie pour chaque classe-de-bâtiments

Nous avons pris appui sur les éléments précédents afin de décrire les différentes possibilités d'utilisation de l'eau de pluie pour chaque classe-de-bâtiments. Il convient dans un premier temps de rappeler ces éléments d'appui :

- Le point de vue juridique décrit plus haut (Arrêté du 21 Août 2008)
- Délimitation de notre périmètre d'étude
- Les opérations de retour d'expérience

Le tableau ci-après décrit ces possibilités :

Classe-de-bâtiments	Sanitaire (WC)	Arrosage de la pelouse	lavage du sol	lavage du véhicule	lave linge	autre usage spécifique
Habitat individuel						
Habitat collectif						
Habitat autre						
Activité secondaire						Processus industriel
Surfaces commerciales						Réserve incendie
Bureaux						Réserve incendie
Sport (construit)						
Enseignement autre						
Autre équipements loc						Autres pelouses
Grands équipements						Réserve incendie
Transport						
Enseignement 1er degré						
Équipement de santé						

Usage possible
Usage à titre expérimental
Usage interdit

Tableau 21. Les usages possibles de l'eau de pluie.

Phase 4. Usages importants de l'eau de pluie

Nous qualifions comme usage important tous les usages qui déterminent le choix de la solution technique. Ils se caractérisent par leur consommation importante par rapport aux autres usages. De plus ces usages importants sont toujours constatés dans les retours d'expériences.

Le tableau suivant résume ces usages importants par classe-de-bâtiments.

Classe-de-bâtiments	Sanitaire (WC)	Arrosage de la pelouse	lavage du sol	lavage du véhicule	lave linge	autre usage spécifique
Habitat individuel						
Habitat collectif						
Habitat autre						
Activité secondaire						Processus industriel
Surfaces commerciales						Réserve incendie
Bureaux						Réserve incendie
Sport (construit)						
Enseignement autre						
Autres équipements loc						Autre pelouse,…
Grands équipements						Réserve incendie
Transport						
Enseignement 1er degré						
Équipement de santé						

Usage possible important
Usage possible non important
Usage à titre expérimental
Usage interdit

Tableau 22. Les usages importants de l'eau de pluie

Phase 5. Situations-types de bâtiment au regard d'utilisation de l'eau de pluie

La réalité urbaine observée montre qu'au sein de la même classe-de-bâtiments, il existe pour certains cas des usages (parmi ceux qui sont définis précédemment comme des usages importants) qui deviendront non importants ou totalement éliminés suivant la nature urbaine, architecturale et suivant les besoins fonctionnels des bâtiments.

Pour expliquer cela, nous prenons l'exemple de la classe-de-bâtiments « habitat individuel » où nous remarquons que pour certains cas il n'y a pas d'espace consacré au jardin ou cet espace est tellement petit qu'il sera négligeable en terme d'utilisation de l'eau de pluie, cela signifie que l'usage « arrosage de la pelouse » est éliminé dans ce cas.

Nous appelons « *situation-type* » de bâtiments chaque manière différente d'utilisation de l'eau de pluie au sein de la même classe-de-bâtiments.

Nous avons identifié pour chaque classe-de-bâtiments, les différentes situations-types où l'usage de l'eau de pluie (l'usage identifié comme usage important) varie en raison des contraintes annoncées plus haut (urbaine, architecturale et fonctionnelle). Nous aboutissons au tableau suivant :

Classe-de-bâtiments	**Eléments déterminants l'usage important de l'eau de pluie**	**Situations-type de bâtiments**
Habitat individuel	L'existence ou l'absence du jardin	Maison individuelle avec jardin
		Maison individuelle sans jardin
Habitat collectif	L'existence ou l'absence du jardin	Immeuble d'habitation collectif avec jardin
		Immeuble d'habitation collectif sans jardin
Habitat autre	L'existence ou l'absence du jardin	Habitat temporaire avec jardin
		Habitat temporaire sans jardin
Activité secondaire	L'existence ou l'absence du jardin	Bâtiment d'activité secondaire avec jardin
		Bâtiment d'activité secondaire sans jardin
Surfaces commerciales	L'existence ou l'absence des stations de lavage L'importance de la surface des sols à laver	Grande surface commerciale avec station lavage
		Grande surface commerciale sans station lavage
		Petite surface commerciale
Bureaux	L'existence ou l'absence du jardin La réception ou non du public	Immeuble de bureaux reçoit du public avec jardin
		Immeuble de bureaux ne reçoit pas du public avec jardin
		Immeuble de bureaux reçoit du public sans jardin
		Immeuble de bureaux ne reçoit pas du public sans jardin
Sport (construit)	L'existence ou l'absence du jardin	Equipement sportif avec espace vert
		Equipement sportif sans espace vert
Enseignement	L'âge des usagers (enfant –élève- ou adulte –étudiant-)	Etablissement d'enseignement avec espace vert
		Etablissement d'enseignement sans espace vert
		Etablissement d'enseignement supérieur avec espace vert
		Etablissement d'enseignement supérieur sans espace vert
Autres équipements loc	L'existence ou l'absence du jardin L'existence ou l'absence du local technique	Equipement administratif avec espace vert
		Equipement administratif sans espace vert
		Lavage des sols des locaux techniques
Grands équipements	Pas d'élément spécifique	Grands équipements
Transport	Pas d'élément spécifique	Lavage des locaux et des moyens de transport (bus,…)
Enseignement 1er degré	Pas d'élément spécifique	Etablissement d'enseignement 1er degré avec jardin
Équipement de santé	Pas d'élément spécifique	Equipement de santé avec jardin

Tableau 23. Les situations-types de bâtiments

A partir de cela nous pouvons redistribuer les usages importants mais cette fois par situation-type de bâtiments, comme suit :

Classe-de-bâtiments	Situations-types de bâtiment	WC	Arro-sage	Lav sol	Lav véh	Lav linge	Aut usag
Habitat individuel	Maison individuelle avec jardin						
	Maison individuelle sans jardin						
Habitat collectif	Immeuble d'habitation collectif avec jardin						
	Immeuble d'habitation collectif sans jardin						
Habitat autre	Habitat temporaire avec jardin						
	Habitat temporaire sans jardin						
Activité secondaire	Bâtiment d'activité secondaire avec jardin						
	Bâtiment d'activité secondaire sans jardin						
Surfaces commerciales	Grande surface commerciale avec station lavage						
	Grande surface commerciale sans station lavage						
	Petite surface commerciale						
Bureaux	Immeuble de bureaux reçoit du public avec jardin						
	Immeuble de bureaux ne reçoit pas du public avec jardin						
	Immeuble de bureaux reçoit du public sans jardin						
	Immeuble de bureaux ne reçoit pas du public sans jardin						
Sport (construit)	Equipement sportif avec espace vert						
	Equipement sportif sans espace vert						
Enseignement	Etablissement d'enseignement avec espace vert						
	Etablissement d'enseignement sans espace vert						
	Etablissement d'enseignement supérieur avec espace vert						
	Etablissement d'enseignement supérieur sans espace vert						
Autres équipements loc	Equipement administratif avec espace vert						
	Equipement administratif sans espace vert						
	Lavage des sols des locaux techniques						
Grands équipements	Grands équipements						
Transport	Lavage des sols des locaux de transport						
Enseignement 1er degré	Etablissement d'enseignement 1er degré avec jardin						
Équipement de santé	Equipement de santé avec jardin						

Tableau 24. Les situations-types et leurs usages importants correspondants

Ces « classes-de-bâtiments » et ces « situations-types » de bâtiments composent la typologie de bâtiment au regard de l'utilisation de l'eau de pluie. Elles remplaceront le bâtiment dans le calcul du PPWS à l'échelle de la commune. Pour éclairer ce remplacement, nous détaillons ci-après un exemple du calcul du PPWS en utilisant la méthode remplacement par situations-types de bâtiments comme unité de calcul.

5.3. Calcul du PPWS à l'échelle d'une commune

Dans cette section, nous allons détailler deux exemples de calcul du PPWS à l'échelle de la commune. Le premier exemple (la commune de « Drancy ») détaille l'application pratique de la méthode théorique de calcul du PPWS décrite ci-dessus et le deuxième exemple (la commune de « Colombes ») vient pour appuyer le premier et pour assurer que la méthode de calcul est identique pour toutes les communes[62].

Le choix des deux communes (Drancy et Colombes) est fondé sur des critères de taille. En effet, elles sont considérées comme des communes de taille moyenne en termes de superficie et de densité de population.

[62] A condition qu'elles soient décrites par MOS comme dans le cas des communes de la région Ile-de-France.

5.3.1. Exemple 1 : la commune de Drancy (93029) « application »

Avant de détailler notre méthode de calcul du PPWS pour la commune de Drancy, nous consacrons le présent paragraphe comme sorte de définition générique de Drancy. « La commune de Drancy se situe dans le département de la Seine-Saint-Denis. La commune s'étend sur 7,8 km² et compte 66807 habitants depuis le dernier recensement de la population. Avec une densité de 8 6091 habitants par km², Drancy a connu une hausse de 9,2% de sa population par rapport à 1999. Entourée par les communes de Bobigny, Le Blanc-Mesnil et Le Bourget, Drancy est située à 4 km au Sud-Ouest d'Aulnay-sous-Bois »[63].

En ce qui concerne la méthode de calcul du PPWS et afin de faciliter sa compréhension, nous la décomposons en plusieurs étapes :

5.3.1.1. Etape 1 : rappel de la méthode théorique

Il s'agit du 1er passage d'échelle (entre celle du bâtiment et celle de la commune). Comme nous l'avons déjà expliqué (cf. introduction de la partie II) ce passage est assuré par l'intermédiaire d'un regroupement des bâtiments de la commune en classes-de-bâtiments dont chacune contient un ensemble de bâtiments homogènes par rapport à l'utilisation de l'eau de pluie.

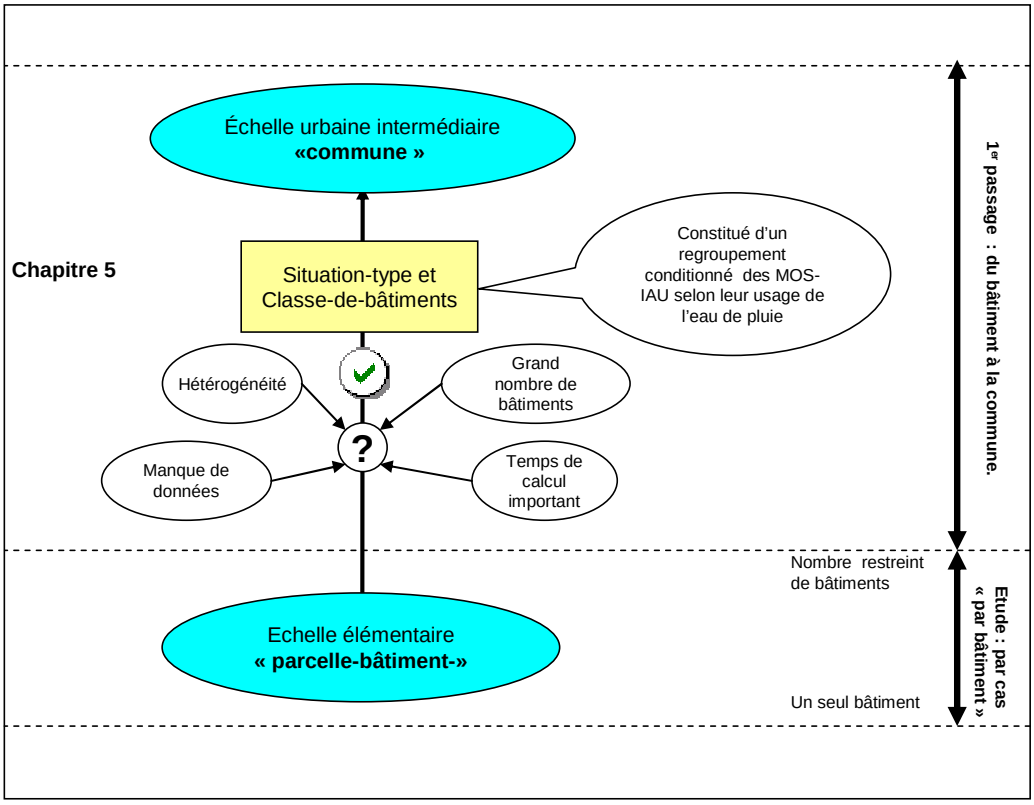


Figure 51. Schéma du 1er changement d'échelles (bâtiment→ commune).

[63] http://www.annuaire-mairie.fr/ville-drancy.html

Nous utilisons par la suite certains aspects évoqués dans la méthode théorique de changement d'échelles (cf. Introduction de la partie II) pour faciliter le calcul du PPWS. Nous faisons particulièrement recours au :

- Principe de « hiérarchisation » pour repérer les endroits où la RUEP constitue un enjeu important.
- Principe de « majoration » pour choisir la situation est favorise plus l'utilisation de l'eau de pluie.
- Les méthodes directes et indirectes de renseignement des variables.

5.3.1.2. Etape 2 : utiliser le principe méthodologique de « hiérarchisation » pour dégager les classes importantes et des classes marginales

La commune, peut être décrite par 13 classes-de-bâtiments[64]. Cependant, certaines de ces classes ne constituent pas un enjeu majeur par rapport à l'utilisation de l'eau de pluie à l'échelle de cette commune. La participation de ce type de classes-de-bâtiments est marginale par rapport aux autres classes. Le calcul du PPWS de ces classes marginales engendre un effet marginal sur le PPWS global de la commune, alors renseigner leurs variables et effectuer le calcul de leurs PPWS requièrent des moyens et du temps considérables que nous ne possèdons pas dans la majorité des cas.

Afin d'apprécier l'importance d'une classe-de-bâtiments donnée au sein de la commune, nous nous basons sur leur PCR, qui nous semble un bon indicateur pour l'exprimer. Si le PCR d'une classe révèle que sa participation est marginale par rapport au PCR de la commune, cela signifie que son PSU est aussi marginal par rapport au PPWS global de la commune.

Du point de vue pratique, nous considérons comme *classes-de-bâtiments marginales*, l'ensemble des classes d'une commune donnée dont la somme de leur PCR ne dépasse pas les 10% du PCR global de la commune en commençant par la classe la plus faible en PCR. Le reste des classes sont considérées comme *« classes-de-bâtiments » importantes*.

Dans le calcul du PPWS de la commune, nous ne calculons pas le PSU de ces classes-de-bâtiments marginales, il sera remplacé par leur PCR, car dans tous les cas, la participation de ce type de classes reste marginale. Cette situation (le PCR à la place du PSU) engendre une légère majoration par rapport au PPWS de la commune, car dans tous les cas le PCR est supérieur au PSU. Cela colle parfaitement avec le principe de « majoration » adopté dans la méthode théorique.

[64] ou peut être moins car parfois, certaines classes sont absentes

Le résultat du calcul du PCR et la qualification des classes-de-bâtiments pour la commune de Drancy est reporté dans le tableau suivant :

Classe-de-bâtiments	PCR (m^3/an)	% par rapport PCR commune	% de la somme du PCR (par le plus bas)	Type de classe
Habitat autre	665	0,06%	0.06%	Marginale
Grands équipements	580	0,06%	0.12%	Marginale
Bureaux	981	0,09%	0.21%	Marginale
Sport construit	2 024	0,19%	0.40%	Marginale
Surfaces commerciales	2 228	0,21%	0.61%	Marginale
Equipements de santé	3 049	0,29%	0.90%	Marginale
Equipements administratifs	15 662	1,50%	2.40%	Marginale
Activités secondaires	19 791	1,89%	4.29%	Marginale
Enseignements autres	22 422	2,14%	6.43%	Marginale
Enseignements 1 degré	27 419	2,62%	9.05%	Marginale
Habitat collectif	164 582	15,72%	24.77%	Importante
Habitat individuel	787 641	75,23%	100%	Importante
Commune "Drancy"	**1 047 045**	**100,00%**		

Tableau 25. classes-de-bâtiments importantes et marginales de la commune de « Drancy »

Nous constatons que la somme des PCR de 10 classes-de-bâtiments ne dépasse pas les 10%, elles sont alors considérées comme « marginales » par rapport à la RUEP. Dans le calcul du PPWS de la commune, nous nous contentons de leur PCR. En revanche, les deux classes-de-bâtiments « habitat individuel » et « habitat collectif » sont considérées comme classes importantes et elles nécessitent un calcul de leurs PSU afin de déduire le PPWS de la commune.

5.3.1.3. Etape 3 : Le renseignement des variables des classes-de-bâtiments importantes

Comme, il est indiqué dans le tableau des classes et des situations-types de bâtiments (cf. Tableau 24), chaque classe-de-bâtiments importante a besoin d'un certain nombre de variables pour calculer son PSU.

Pour notre cas, nous résumons les variables dans le tableau suivant :

Classe-de-bâtiments	**Usage de l'eau de pluie**	**Variables nécessaires**
Habitat individuel	WC + arrosage + lave linge	Surface bâtie +Nombre d'habitants + surface de la pelouse à arroser
Habitat collectif	WC + arrosage + lave linge + lavage du sol	Nombre d'habitants + surface de la pelouse à arroser
Enseignement 1 er degré	Arrosage + lavage du sol	Surface de la pelouse à arroser

Tableau 26. Variables des classes-de-bâtiments importantes

Pour donner une valeur à ces variables, deux méthodes sont possibles :

- Méthode directe. Elle concerne dans ce cas la « surface bâtie » et le « nombre d'habitants » : ces données sont fournies directement[65].
- Méthode indirecte. Elle concerne dans ce cas « l'arrosage de la pelouse » : cette donnée n'est pas fournie directement. Nous l'avons calculée de manière indirecte en étudiant les composants des parcelles qui forment une classe-de-bâtiments donnée. L'équation suivante décrit ces composants :

$S_{pl} = S_p - (S_b + S_a)$ **(Équation 21)**

Où :

S_{pl} : c'est la surface de la pelouse à arroser (c'est la donnée cherchée)

S_p : c'est la surface de la parcelle (c'est une donnée disponible)

S_b : c'est la surface bâtie (c'est une donnée disponible)

S_a : c'est la surface autre, consacrée à la circulation et au stationnement à l'intérieure de la parcelle (c'est une donnée non disponible)

Pour déduire la surface de la pelouse recherchée, nous avons étudié un certain nombre de parcelles pour chaque classe-de-bâtiments afin d'estimer la « surface autre » par rapport à la surface globale de la parcelle. Cette étude est effectuée avec la base de « Google Earth » en extrayant les données nécessaires à partir d'un ensemble de parcelles choisies aléatoirement (cf. annexe 8, § 1).

Le tableau suivant résume les résultats de cette étude.

Classe-de-bâtiments	**Nombre de bâtiments étudiés**	**Fourchette de la « surface autre » (en % de la parcelle)**	**La moyenne de la « surface autre » (en % de la parcelle)**
Habitat individuel	30	[13%, 32%]	20%
Habitat collectif	10	[12%, 60%]	33%

Tableau 27. Méthode d'extraction de la donnée « surface autre Sa »

Pour faciliter le calcul, nous prenons la moyenne comme référence dans la déduction de la surface de la pelouse à arroser.

Le tableau suivant rapporte les variables nécessaires pour le calcul du PSU des trois classes-de-bâtiments importantes :

Classe-de-bâtiments	**La surface bâtie (m^2)**	**Le nombre d'habitants (hab)**	**La surface de la pelouse (m^2)**	**La surface autre (m^2)**
Habitat individuel	1 223 291	34 674	2 191 679	853 742
Habitat collectif	255 614	30 320	336 445	291 611

Tableau 28. Valeurs des variables nécessaires au calcul du PPWS de la commune de « Drancy »

[65] Il s'agit de données directement extractibles de la base de données fournie par l'IAU-IDF

5.3.1.4. Etape 4 : Calcul du PSU au niveau des situations-types

Pour chaque classe-de-bâtiments importante, nous calculons les PSU des situations-types correspondantes en utilisant les scénarios d'usage de l'eau de pluie décrits plus bas (cf. tableau ci-dessous).

Classe-de-bâtiments	**Situation-type**	**Scénario d'usage correspondant**
Habitat individuel	Habitat individuel avec jardin	WC + arrosage+ lave linge
	Habitat individuel sans jardin	WC + lave linge
Habitat collectif	Habitat collectif avec jardin	WC + arrosage+ lave linge+ lavage des sols
	Habitat collectif sans jardin	WC+ lave linge+ lavage des sols

Tableau 29. situation-type des classes-de-bâtiments importantes et leurs scénarios d'usage de l'eau de pluie.

Comme nous l'avons annoncé précédemment (cf. § 4.1), nous utilisons la méthode et l'outil de simulation développé au LEESU par B. de Gouvello.

Dans le calcul du PSU, chaque situation-type est considérée comme un « bâtiment-équivalent » dont les variables sont celles qui résultent de l'addition des variables unitaires de chaque bâtiment réel (qui compose le bâtiment virtuel).

Classe-de-bâtiments	**Situation-type**	**PSU correspondant (m^3/an)**
Habitat individuel	Habitat individuel avec jardin	623 500
	Habitat individuel sans jardin	465 598
Habitat collectif	Habitat collectif avec jardin	138 419
	Habitat collectif sans jardin	139 892

Tableau 30. Résultats du PSU par situation-type.

5.3.1.5. Etape 5 : Choix de la situation-type de chaque classe-de-bâtiments importante

En ayant recours au principe de « majoration », nous choisissons pour chaque classe-de-bâtiments une seule situation-type qui correspond au PSU le plus grand. Autrement dit, nous considérons comme situation-type adaptée d'une classe-de-bâtiments donnée par rapport à la pratique de RUEP celle qui favorise le plus l'utilisation de l'eau de pluie.

En suivant cette logique, le tableau ci-dessous rapporte les situations-types choisies pour nos classes-de-bâtiments importantes :

Classe-de-bâtiments	**Situation-type**	**PSU correspondant (m^3/an)**
Habitat individuel	Habitat individuel avec jardin	623 500
Habitat collectif	Habitat collectif sans jardin	139 892

Tableau 31. Situations-types choisie et leurs PSU correspondant

5.3.1.6. Etape 6 : Le PPWS de la commune de « Drancy »

Le PPWS de la commune « Drancy » est calculé en additionnant les PSU des situations-types choisies et le PCR des classes marginales

Classes-de-bâtiments	PSU (m^3/an)
Habitat individuel	623 500
Habitat collectif	139 892
Le reste des classes (PCR)	94 821
PPWS de la commune « Drancy »	**858 213**

Tableau 32. Le PPWS de la commune de « Drancy »

5.3.2. Exemple 2 : la commune de Colombes (92025) « application »

La commune de Colombes est la 3ème commune du département des Hauts-de-Seine ; elle compte plus de 83 000 habitants[66]. Colombes est entourée de 5 communes du département (Gennevilliers au nord, Nanterre au sud-ouest, Asnières et Bois Colombes au sud-est, Bois-Colombes et la Garenne Colombes au sud) et d'une commune du Val d'Oise (Argenteuil à l'ouest)»[67].

En ce qui concerne le calcul du PPWS de cette commune et comme nous avons suivi les mêmes étapes, nous nous contentons des principales, afin de ne pas être redondant par rapport à l'exemple précédent. Il s'agit des étapes : 2, 4 et 6 (cf. § 5.3.1).[68]

Le dégagement des classes importantes et des classes marginales

Nous dégageons les classes-de-bâtiments importantes et marginales de la même façon et dans les mêmes conditions que l'exemple précédent. Le résultat à l'échelle de la commune de « Colombes » est reporté dans le tableau suivant :

Classe-de-bâtiments	PCR (m^3/an)	PCR classe / PCR commune	% de la somme du PCR (par le plus bas)	Importance de la classe
Grands équipements	804	0,09%	0.09%	Marginale
Habitat autre	1 298	0,14%	0.23%	Marginale
Surface commerciale	1 606	0,17%	0.40%	Marginale
Sport construit	4 734	0,50%	0.90%	Marginale
Equipement administratif	12 498	1,33%	2.23%	Marginale
Equipement de santé	15 745	1,67%	3.90%	Marginale
Enseignement d'autre	23 992	2,55%	6.45%	Marginale
Bureau	30 243	3,21%	9.66%	Marginale
Enseignement 1er degré	42 711	4,54%	14.20%	Complémentaire
Activité secondaire	60 295	6,41%	20.61%	Complémentaire
Habitat collectif	322 731	34,30%	54.92%	Importante
Habitat individuel	424 139	45,08%	100%	Importante
Commune de « Colombes »	**940 795**	**100,00%**		

Tableau 33. classes-de-bâtiments importantes et marginales de la commune de « Colombes »

Calcul du PSU au niveau des situations-types

Nous utilisons le même principe de « majoration » (la borne supérieure (U3) de la zone optimum), afin de maximiser le PSU (cf. introduction de la partie II, § III).

[66] Au 1er janvier 2009
[67] http://www.colombes.fr/fr/decouvrir-colombes/colombes-et-ses-villages/index.html
[68] Par exemple, pour l'étape 1 « principe de calcul », nous adoptons les mêmes principes dans les deux exemples.

Classe-de-bâtiments	Situation-type	PSU correspondant (m^3/an)
Habitat individuel	Habitat individuel avec jardin	278 236
	Habitat individuel sans jardin	230 159
Habitat collectif	Habitat collectif avec jardin	210 974
	Habitat collectif sans jardin	211 800
Activité secondaire	Activité secondaire avec jardin[69]	0
	Activités secondaire sans jardin	30 425
Enseignement 1er degré	Enseignement 1er degré	12 674

Tableau 34. Résultats du PSU par situation-type pour la commune de « Colombes »

Pour chaque classe-de-bâtiments, nous choisissons les situations-types qui assurent un PSU plus élevé :

Classe-de-bâtiments	Situation-type choisie	PSU correspondant (m^3/an)
Habitat individuel	Habitat individuel avec jardin	278 236
Habitat collectif	Habitat collectif sans jardin	211 800
Activité secondaire	Activités secondaire sans jardin	30 425
Enseignement 1er degré	Enseignement 1er degré	12 674

Tableau 35. Situations-types choisie et leurs PSU correspondent de la commune de « Colombes »

Le PPWS de la commune de « Colombes »

Le PPWS de la commune « Colombes » est calculé en additionnant les PSU des situations-types choisies et le PCR des classes marginales

Classe-de-bâtiments	Situation-type	PSU correspondant (m^3/an)
Habitat individuel	Habitat individuel avec jardin	278 236
Habitat collectif	Habitat collectif sans jardin	211 800
Activité secondaire	Activités secondaire sans jardin	30 425
Enseignement 1er degré	Enseignement 1er degré	12 674
Le reste des classes (PCR)	Le reste des classes-de-bâtiments	90 920
PPWS de la commune « Colombes »		**624 057**

Tableau 36. Le PPWS de la commune de « Colombes »

5.4. Analyse et interprétation du PPWS des deux communes (Drancy et Colombes)

Dans cette section, nous effectuons une comparaison entre les résultats de calcul du PPWS des deux communes (Drancy et Colombes) et d'autres indicateurs du même type :

- Dans un premier temps, nous comparons les résultats du PPWS avec l'indicateur PCR afin d'évaluer les améliorations dans les estimations du potentiel d'eau de pluie réalisée grâce à la méthode proposée.
- Dans un second temps, nous comparons le PPWS obtenu avec l'indicateur « volume d'eau global distribué » afin d'évaluer l'ampleur du PPWS par rapport à la

[69] Pour cette classe, nous n'avons pas trouvé d'espaces verts (espace vert trop marginal)

consommation global de l'eau potable et par rapport aux besoins non potable utilisés dans les simulations (WC + arrosage + lave-linge).

- Enfin, nous comparons la participation des classes-de-bâtiments dans le PPWS afin de déterminer l'importance de chaque classe dans la pratique de RUEP de la commune concernée.

5.4.1. Comparaison entre le PPWS et le PCR

La comparaison entre le PPWS calculé selon notre méthode proposée dans le présent travail et le PCR comme un indicateur global. Cette dernière montre une différence (PCR/PPWS) de 18% pour la commune de Drancy et de 35% pour la commune de Colombes.

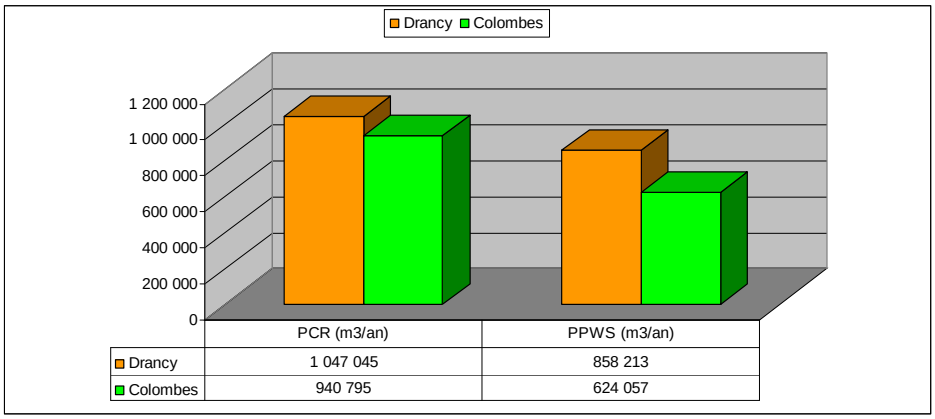


Figure 52. Comparaison entre le PCR et le PPWS des deux communes : Drancy et Colombes

5.4.2. Comparaison entre le PPWS, le volume d'eau global distribué[70] et le volume d'eau non potable

Le PPWS de la commune de Drancy représente 18% du volume d'eau global consommé et il représente 70% du volume d'eau non potable.

Aussi, le PPWS de la commune de Colombes représente 10% du volume d'eau distribué à l'échelle de cette commune et il représente 41% du volume d'eau non potable.

De façon générale, nous constatons que le PPWS ne recouvre qu'une petite partie du volume d'eau consommée (18% pour « Drancy » et 10% pour « Colombes »). En revanche, le PPWS recouvre une partie importante du volume d'eau non potable (70%) pour la commune de Drancy et il recouvre une partie encore considérable du volume d'eau non potable (40%) pour la commune de Colombes.

[70] Ce volume est calculé à la base d'une consommation quotidienne de 200 l / habitant

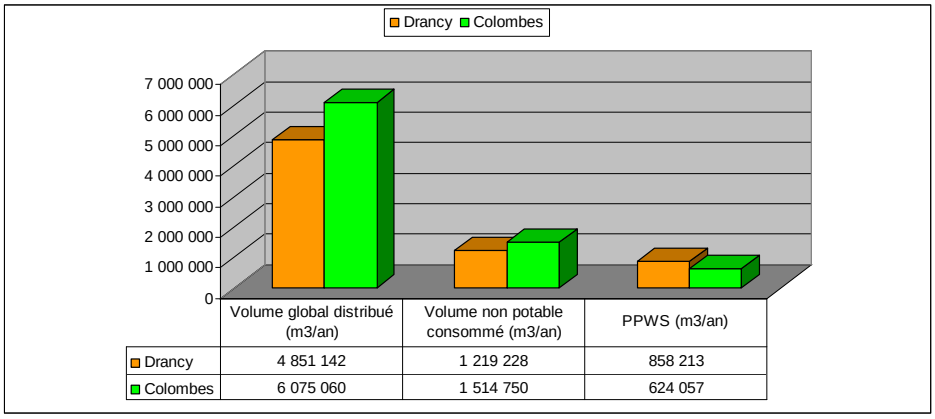


Figure 53. Comparaison entre le PPWS, le volume global distribué et le volume non potable des deux communes : Drancy et Colombes

5.4.3. Comparaison entre les classes-de-bâtiments

Nous constatons la domination du secteur résidentiel « habitat individuel » et « habitat collectif » dans le PPWS des deux communes.

Pour la commune de Drancy. Ce secteur participe à environ 89% du PPWS de la commune où seul « l'habitat individuel » participe à 73% de ce PPWS, tandis que « l'habitat collectif » participe à 16%. Tandis que les autres classes (les 11classes) participent à 11%.

Le rapport PSU/PCR de cette classe-de-bâtiments (habitat individuel) montre un écart de 21% entre la quantité de l'eau récupérée grâce au PCR et celle récupérée grâce au PSU. Ce faible écart entre les deux précédentes grandeurs engendre le faible rapport entre le PCR global de la commune et son PSU, s'ajoutant à son importance (73% du PPWS de la commune) explique l'écart réduit que nous avons constaté entre le PPWS de la commune et son PCR (18%).

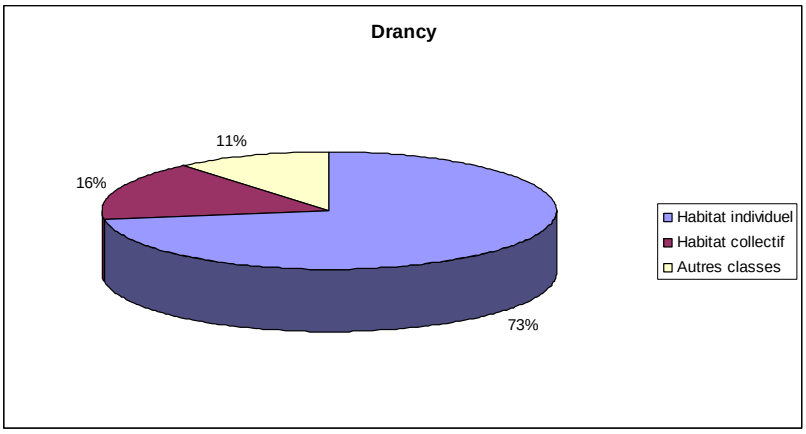


Figure 54. Participation des classes-de-bâtiments dans le PPWS de la commune de « Drancy »

Pour la commune de « Colombes ». La participation du secteur résidentiel s'élève à plus de 78% du PPWS de la commune. En termes de classes-de-bâtiments, nous notons la légère dominance de la classe « l'habitat individuel » qui participe à plus de 45%, par rapport à la classe « l'habitat

collectif » qui participe à plus de 34%, ensuite une participation limitée des deux classes « activité secondaire » et « enseignement 1er degré » qui participent à plus de 5% et 2% respectivement. Le reste des classes partagent environ 15% du PPWS de la commune.

Le rapport PSU /PCR de la classe-de-bâtiments « Habitat individuel » montre un écart de 34% entre la quantité de l'eau récupérée grâce au PCR et celle récupérée grâce au PSU. Ce même rapport (PSU/PCR), mais cette fois de la classe-de-bâtiments « habitat collectif » montre un écart de 33%. Cela explique l'écart de 35% constaté entre le PPWS et le PCR de la commune de Colombes.

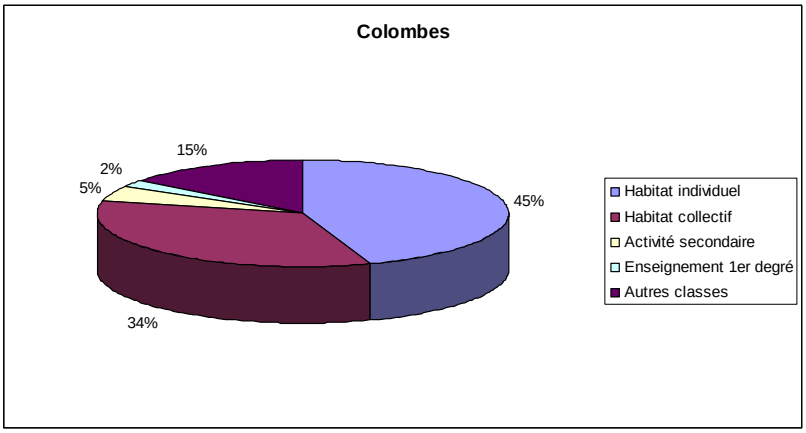


Figure 55. Participation des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires dans le PPWS de la commune de « Colombes »

De façons plus générale, les deux exemples nous ont permet de déduire que :

- Le secteur résidentiel est un secteur « important » dans le PPWS à l'échelle de la commune,
- Ce secteur est « stratégique » dans le cas d'une diffusion large de la RUEP à cette même échelle,
- En termes de modélisation, le renseignement des variables est l'étape la plus délicate dans notre modèle de calcul du PPWS.

5.5. Conclusion du chapitre

Nous avons détaillé dans ce chapitre la première partie théorique et pratique de changement d'échelles qui consiste à passer de l'échelle du bâtiment à l'échelle de la commune, et cela dans l'objectif de calculer la capacité d'une commune donnée à la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie pour à la place de l'eau potable (PPWS).

Nous avons assuré le passage entre le bâtiment et la commune à l'aide d'un regroupement de bâtiments sous forme de « classe-de-bâtiments » qui se décline ensuite sous forme de « situation-type » de bâtiments pour favoriser l'utilisation de l'eau de pluie.

Pour la méthode pratique, nous nous sommes basés sur certains principes méthodologiques afin de faciliter le calcul du PPWS de la commune.

Les résultats de calcul montrent que la capacité des communes à utiliser l'eau de pluie est un indicateur variable d'une commune à une autre. Plusieurs paramètres conditionnent cette variabilité : la taille de la commune, la nature de son tissu urbain, sa densité,…

D'après les deux exemples dont nous avons pu calculer le PPWS, les classes-de-bâtiments du secteur résidentiel ont une capacité importante de récupération et d'utilisation d'eau de pluie à l'échelle de la commune. Ainsi, dans le cas d'une politique locale d'incitation et de mobilisation pour développer et diffuser cette pratique, nous recommandons une prise en compte particulière à ce secteur et particulièrement la classe « habitat individuel ».

Chapitre 6. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine (agglomération)

Ce chapitre est consacré à la deuxième partie de notre méthodologie de changement d'échelles « le passage de la commune à l'agglomération ». Il est organisé autour de 4 sections :

Nous commençons dans la première section par une généralité sur l'intérêt du calcul de l'indicateur « PPWS » à l'échelle supra-urbaine et plus particulièrement à l'échelle de l'agglomération de Paris. Nous verrons aussi les méthodes dont nous disposons pour effectuer ce calcul et nous choisirons par la suite celle qui convient le mieux à notre cas d'étude.

Nous présentons dans la deuxième section, la méthode théorique qui permet le passage entre l'échelle communale et l'échelle supra-urbaine, en utilisant le regroupement des communes en « classe-de-communes » grâce à une étude typologique de l'agglomération parisienne.

Ensuite dans la troisième section, nous détaillons la méthode pratique qui permet le calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine de l'agglomération parisienne en détaillant particulièrement la méthode utilisée pour renseigner les variables nécessaires au calcul de ce PPWS. Nous calculons à la fin de cette section le PPWS de l'agglomération de Paris.

Et enfin dans la quatrième section, nous effectuons une étude d'analyse et d'interprétation des résultats obtenus en comparant le PPWS calculé avec d'autres indicateurs du même genre.

6.1. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine[71] « changement d'échelles : de l'échelle de commune à l'échelle supra-urbaine »

Avant d'exposer les différentes méthodes qui sont à notre disposition à ce stade pour calculer le PPWS à une échelle plus grande que celle de la commune (supra-urbaine), nous expliquons la pertinence du calcul du PPWS à une telle échelle :

6.1.1. L'intérêt de calculer le PPWS a une échelle supra-urbaine (région, agglomération,…).

L'échelle supra-urbaine est une échelle importante dans le domaine de l'eau, d'où la nécessité de calculer le PPWS à son niveau. En effet, la pertinence de cette échelle par rapport à notre thème peut être expliquée par :

- la gestion du réseau d'eau se fera généralement à une échelle supra-urbaine. Par exemple, le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF)[72] assure la gestion de l'eau potable à une échelle urbaine supra-urbaine qui comprend 142 communes de la région Ile-de-France ;
- La gestion du réseau d'assainissement est une compétence qui relève de l'échelle supra-urbaine –départements- (seulement dans la région Ile-de-France) ;
- Certaines décisions du domaine sont prises à l'échelle supra-urbaine. par exemple la région Ile-de-France soutient toute les actions qui envisagent de réaliser des économies d'eau et notamment les systèmes de RUEP[73] ;
- Et enfin, l'échelle supra-urbaine est aussi considérée comme une bonne échelle pour estimer les économies des ressources en eau dans le cas d'utilisation des systèmes de RUEP.

6.1.2. Le choix de l'échelle de l'agglomération de Paris comme échelle supra-urbaine d'application

Le calcul des économies potentielles de l'eau à une échelle supra-urbaine répond à un besoin spécifique (par exemple, estimer l'ampleur d'une généralisation massive des systèmes de RUEP) d'un acteur donné (gestionnaire du réseau d'eau potable, gestionnaire du réseau d'assainissement, autorité publique,…).

[71] Dans ce travail, le terme « supra-urbaine » désigne toute échelle territoriale ou non plus grande que celle de la commune. Exemple : département, agglomération, communauté des communes …
[72] http://www.sedif.com/qui-sommes-nous.aspx
[73] http://www.iledefrance.fr/lactualite/environnement/environnement/energies-renouvelables-aide-aux-particuliers-copie-1/

Pour ce travail de recherche, nous avons choisi l'Agglomération de Paris (AP) comme échelle supra-urbaine pour estimer les économies potentielles de l'eau en cas d'une généralisation massive des systèmes de RUEP.

Nous nous situons donc comme un acteur public (le conseil régional de l'Ile-de-France, par exemple) qui veut connaitre à travers cette étude l'effet d'une généralisation massive des dispositifs de RUEP dans son territoire. Les raisons qui poussent cet acteur à mener une telle étude sont diverses :

- connaitre a priori l'impact de cette technique sur son réseau d'eau potable et d'assainissement ;
- adapter son plan d'action d'aides et d'incitation avec les résultats attendus ;
- estimer l'impact de cette technique sur la préservation des ressources en eau.

D'autres raisons nous ont poussées à choisir particulièrement cette échelle supra-urbaine d'évaluation :

- L'échelle supra-urbaine de l'agglomération parisienne est une échelle qui nous assure un nombre important de communes (415) afin de pouvoir appliquer notre méthodologie de changement d'échelle (le passage de l'échelle communale à l'échelle supra-urbaine). En effet, dans le cas d'une échelle supra-urbaine qui ne contient qu'un nombre limité de communes, nous risquons d'être renvoyés vers une méthodologie de changement d'échelle basée sur une évaluation par cas singulier (évaluation de chaque commune à part. cf § 6.1.3.) ;
- L'échelle de l'agglomération parisienne bien qu'elle contienne un nombre important de communes, reste maitrisable. En effet, avec la contrainte du temps qui nous limite, nous avons cherché une échelle d'évaluation adaptée à cette contrainte, tandis que le choix de la région Ile-de-France complète (avec ses 1300 communes) demande un temps plus important que celui dont nous disposions pour mener ce travail ;
- Elle assure aussi une diversité du tissu urbain, ce qui nous permet de traiter la majorité des cas possibles (la diversité des classes-de-bâtiments). En effet, nous comptons la présence de la totalité des classes-de-bâtiments (les 13 classes-de-bâtiments identifiées, en se basant les la base MOS de l'IAU-IDF) à cette échelle ;
- Enfin, c'est une échelle qui ne contient que des communes urbaines, car la technique de RUEP dans le milieu rural est inscrite dans d'autres problématiques (liées

particulièrement à l'irrigation des champs) que celle que nous traitons dans le présent travail de recherche.

6.1.3. Méthodes existantes pour calculer le PPWS à l'échelle supra-urbaine

Dans cette section, nous exposons les méthodes que nous connaissons et qui sont capables de permettre le calcul du PPWS à une échelle plus grande que l'échelle de la commune.

6.1.3.1. Calcul par PPWS unitaire « commune par commune »

Cette méthode considère le PPWS à l'échelle supra-urbaine comme le résultat du calcul des PPWS de chacune des communes qui composent cette échelle, en utilisant pour chaque commune la méthodologie expliquée dans le chapitre précédent (cf. chapitre 5). L'avantage de cette méthode est qu'il n'y pas d'agrégation, il s'agit d'un calcul unité par unité[74], mais par contre elle risque d'être longue et compliquée, surtout si l'échelle supra-urbaine contient un nombre important de communes. En effet, comme nous l'avons vu précédemment (cf. chapitre 5), même le calcul du PPWS par rapport à une seule commune est parfois compliqué surtout en ce qui concerne le renseignement des variables et les sources d'informations, alors que pour un ensemble important de communes, la tâche risque d'être plus compliquée.

$$PPWSsc = \sum_{i=1}^{i=n} PPWSi \quad \textbf{(Équation 22)}$$

Où :

PPWSsc : le PPWS à l'échelle supra-urbaine considérée.

PPWS : le PPWS d'une commune donnée.

n : le nombre des communes de l'échelle supra-urbaine considérée.

Cette méthode est plus efficace dans le cas d'une échelle supra-urbaine qui comporte un nombre limité de communes.

6.1.3.2. Calcul par PPWS global «agrégation directe »

Cette méthode repose sur la création d'une *commune équivalente* à l'ensemble des communes qui composent l'échelle supra-urbaine. Cette commune équivalente se décompose en classes-de-bâtiments, dont chacune est équivalente aux classes-de-bâtiments correspondantes de l'ensemble des communes (cf. figure ci-dessous).

[74] La commune constitue l'unité de base dans ce cas

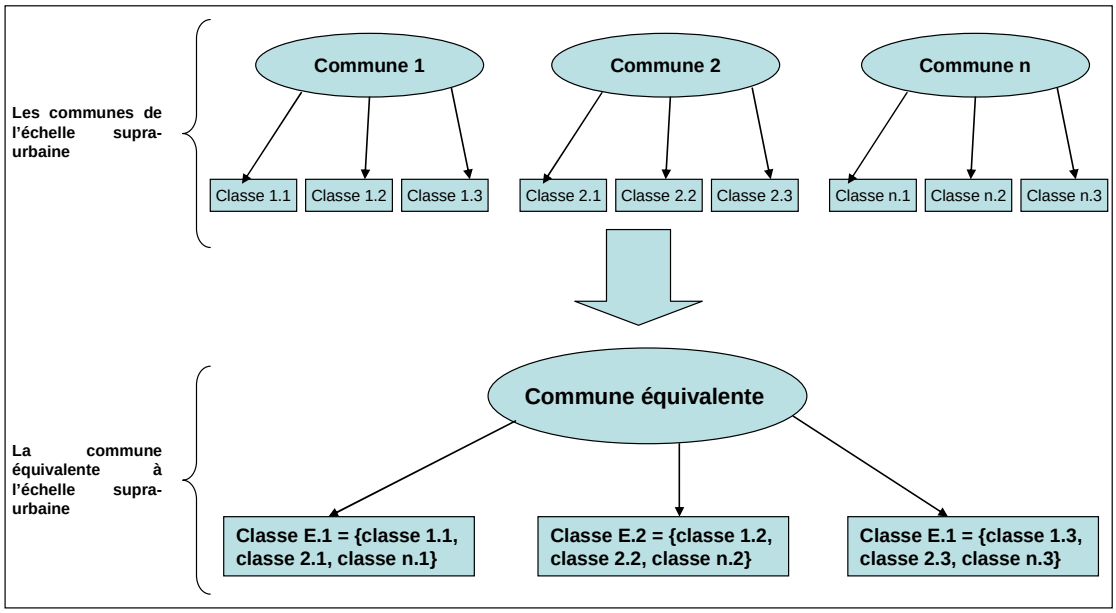


Figure 56. La commune équivalente.

Au contraire de la précédente, cette méthode calcule un seul PPWS, mais le renseignement des variables est sa limite majeure. En effet l'agrégation directe des classes-de-bâtiments de la commune à l'échelle supra-urbaine pose toujours problème dans la mesure où cette agrégation repose sur le renseignement de toutes les variables des différentes classes-de-bâtiments et cela pour toutes les communes importantes et complémentaires qui composent l'échelle supra-urbaine.

A titre d'exemple, si on prend l'agglomération de Paris comme une échelle supra-urbaine, sa classe-de-bâtiments équivalente « enseignements autres » sera évaluée comme une classe-de-bâtiments complémentaires, elle nécessite donc le renseignement des ses variables, une tâche qui nécessite la connaissance des variables de toutes les communes de l'échelle supra-urbaine (415 communes), alors que pour la première méthode, seules 109 communes sont jugées importantes ou complémentaires.

Il convient d'expliquer donc que cette méthode de calcul même si elle suppose de calculer un seul PPWS au final et en termes de paramètres d'entrée (variables), renvoie au même cas individuel (commune par commune) supposé par la méthode précédente.

Cette méthode est plus efficace dans le cas d'une échelle supra-urbaine qui comporte des communes homogène en termes de tissu urbain (qui ont les mêmes classes-de-bâtiments importantes) et donc il n'y pas trop de variables à renseigner ou dans le cas où les sources d'informations sont suffisamment disponibles pour renseigner ces variables.

6.1.3.3. Calcul par PPWS intermédiaire « typologie de communes »

Cette méthode repose sur la création d'une typologie de communes qui a pour objectif de faire la liaison entre l'échelle de la commune et l'échelle supra-urbaine. Il s'agit de regrouper les communes d'une échelle supra-urbaine donnée en plusieurs types que nous appelons « classes de commune » (cf. Figure 57)

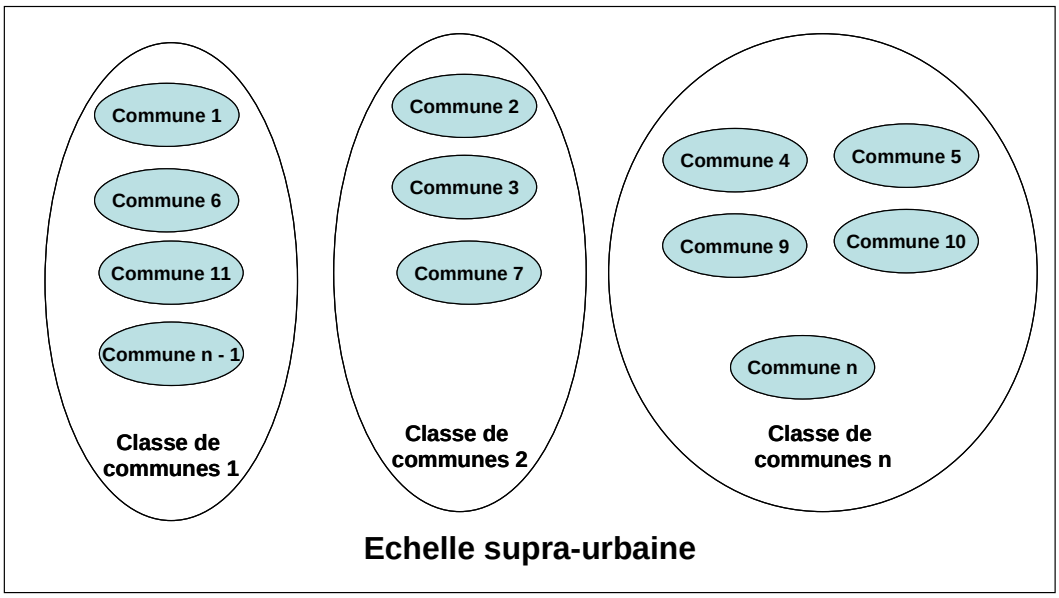


Figure 57. Schéma explicatif de la notion "classe-de-communes"

Les communes de chaque classe-de-communes sont censées être homogènes par rapport à la méthode de calcul du PPWS. Cette homogénéité garantit aussi la simplification de l'opération de renseignement des variables, car l'ensemble des communes de la même classe-de-communes aura le même mode de renseignement des variables.

Cette méthode est efficace dans le cas d'une échelle supra-urbaine qui comporte un grand nombre de communes et avec un tissu urbain divers.

6.1.4. Choix de notre méthode de calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine

Comme nous avons pu le constater précédemment l'obstacle principal vers un changement d'échelles entre l'échelle de la commune et l'échelle supra-urbaine est le renseignement des variables. A cet effet, il nous semble que la dernière méthode « méthode intermédiaire » est la plus adaptée pour le calcul du PPWS dans notre cas (le calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine de l'agglomération parisienne). Nous justifions ce choix par :

1. La complexité liée au calcul du PPWS de chaque commune. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le calcul du PPWS à l'échelle d'une commune est une opération compliquée. Alors qu'à l'échelle supra-urbaine, il est très compliqué

aussi de calculer le PPWS pour chacune de ses communes à part (dans notre cas, nous considérons comme échelle supra-urbaine, l'agglomération parisienne, cette dernière contient 415 communes). Le calcul du PPWS de chacune de ces 415 à part est certainement compliqué, alors que notre travail consiste principalement à simplifier ce calcul.

2. La facilité de renseignement des variables. Dans le cas du calcul du PPWS unitaire, ou dans le cas du calcul du PPWS global, nous nous retrouvons avec l'obligation de renseigner les variables des différentes classes-de-bâtiments importantes et complémentaires pour l'intégralité des communes de l'échelle supra-urbaine considérée. Alors que le passage par la typologie de communes facilite considérablement cette tâche. Par exemple, nous avons renseigné 43 communes pour les variables de la classe-de-bâtiments « enseignements autres » grâce à la typologie de communes, au lieu de 415 communes dans les deux autres cas.

3. La pertinence des données. La déduction de certaines données, engendre une marge d'erreur que nous essayons de minimiser. Comme nous l'avons expliqué plus haut, la typologie des communes minimise le renseignement des variables et donc elle minimise en même temps le recours à ces méthodes de déduction. Par exemple, le renseignement de la surface de jardin de la classe « enseignements autres » pour les 43 communes engendre nettement moins d'erreurs que le renseignement de cette surface pour 415 communes de l'agglomération de paris.

4. Le manque de données pour certaines communes. Certaines données nous manquent : elles sont essentielles pour calculer le PPWS surtout dans le cas du calcul « commune par commune ». Par exemple, nous n'avons pas de données pour la classe-de-bâtiments « transport », alors que cette classe est importante ou complémentaire pour certaines communes.

5. La pertinence des résultats. Le calcul du PPWS en utilisant la typologie des communes garantit un résultat plus pertinent que le cas du calcul de PPWS en utilisant l'échelle supra-urbaine directement. Par exemple, dans le cas de la typologie de communes, nous connaissons le PPWS des différentes classes-de-bâtiments, mais aussi l'ensemble des communes qui engendrent ce PPWS. Par contre dans le cas d'un PPWS unique de l'échelle supra-urbaine, nous connaissons le PPWS des différentes classes, mais nous

ne connaissons pas les communes où le PPWS est important et les communes où le PPWS est marginal.

6.2. Le passage de l'échelle communale à l'échelle supra-urbaine « la construction d'une typologie de communes »

Dans la présente section, nous allons évoquer en détail la méthodologie permettant le changement d'échelle de celle de la commune à celle de l'agglomération de Paris. Il s'agit, comme nous l'avons déjà évoqué, de la création d'une typologie de communes[75]. L'objectif de cette typologie étant double, d'un coté, pour éviter de calculer le PPWS de chaque commune à part et de l'autre faciliter le renseignement des variables nécessaires à ce calcul.

6.2.1. Choix du critère de regroupement des communes en classes-de-communes

Le critère de regroupement doit permettre de regrouper les communes en répondant aux objectifs de la création de la typologie de communes. Dans notre cas, le critère doit permettre de :

- Réduire les 415 communes de l'agglomération de Paris à un nombre maitrisable pour simplifier le traitement et la manipulation.
- Faciliter le renseignement des variables nécessaires au lieu de passer par chaque commune à part.

Les deux caractéristiques qui nous semblent pertinentes pour jouer le rôle d'un critère de regroupement des communes en « classes-de-communes » sont : les classes-de-bâtiments importantes et les classes-de-bâtiments complémentaires. En effet, le renseignement des variables nécessaires au calcul du PPWS dépend de ces deux caractéristiques des communes et aussi nous avons constaté que certaines communes possèdent ces mêmes deux caractéristiques.

Pour en savoir plus, nous avons décidé de confronter les communes de notre échelle d'évaluation (agglomération de Paris) à ces deux caractéristiques. Cette confrontation a pour but de regrouper les communes qui ont les mêmes classes-de-bâtiments importantes et les mêmes classes-de-communes complémentaires. Elle contient les opérations suivantes :

- Calculer le PCR de toutes les classes-de-bâtiments de chaque commune de l'agglomération parisienne.
- Identifier les classes-de-bâtiments importantes et complémentaires de chacune de ces communes.

[75] Il s'agit du regroupement de l'ensemble des communes qui composent une échelle supra-urbaine (agglomération de paris) en plusieurs types que nous l'en nomme « classes-de-communes ».

- Mettre sous la même classe-de-communes, l'ensemble de communes qui ont les mêmes classes-de-bâtiments importantes et complémentaires.

A l'issue de cette confrontation, nous avons dégagé 185 classes-de-communes. Ce nombre est « non maitrisable ». Donc le premier objectif de la création des classes-de-communes n'est pas atteint.

Nous avons opté pour une simplification de ces deux critères de regroupement comme dans la première partie de cette méthodologie de changement d'échelles (cf. chapitre 5), afin d'arriver à un compromis entre la facilité de renseignement des variables et un nombre maitrisable de classes-de-communes.

Cette simplification nous oblige à lisser une seule caractéristique comme critère de regroupement. Dans ce sens et en utilisant le principe de hiérarchisation des enjeux, nous avons laissé la « classe-de-bâtiments importantes » comme seul critère de regroupement des communes en classes de commune.

6.2.2. Application de cette méthodologie sur les communes de l'agglomération de Paris

Nous appliquons la méthodologie de regroupement en classes de commune sur les 415 communes de l'agglomération parisienne.

Etape 1 : calcul du PCR des classes

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le calcul du PCR à l'échelle d'une classe-de-bâtiments est donné par l'équation suivante :

$$PCR_{CB} = Sb_{CB} \times Pl_{moy} \times C_r / 1000$$ **(Équation 23)**

Où :

PCR_{CB} **:** potentiel de captage et de récupération d'une classe-de-bâtiments (m^3/an)

Sb_{CB} **:** surface des toitures de récupération. Cette surface correspond à la surface bâtie (m^2)

Pl_{moy} **:** pluviométrie moyenne en région parisienne, calculée sur 25 ans de données quotidiennes de précipitations (mm).

C_r : cœfficient de récupération lié à la perte de l'eau dans la toiture et dans le réseau.

Le calcul du PCR par classe-de-bâtiments pour toutes les communes de l'agglomération parisienne est reporté en annexe 6.

Etape 2 : dégagement des classes-de-bâtiments importantes

Pour chaque commune, nous dégageons les classes-de-bâtiments qui ont un PCR supérieur ou égal à 10% par rapport au PCR global de sa commune.

Nous constatons la domination des deux classes-de-bâtiments « habitat individuel » et « habitat collectif ». En effet, nous avons relevé, que la classe-de-bâtiments « habitat individuel » est une classes importantes dans 90% (dans 373 communes) des communes de l'agglomération, suivi par la

classe-de-bâtiments « habitat collectif » qui est une classe importante dans 69% (dans 287 communes). Par contre, le reste des classes-de-bâtiments (les 11 classes-de-bâtiments) ont un taux de domination relativement faible, qui est entre 8% (pour la classe-de-bâtiments « activité secondaires ») et 0% (la classe-de-bâtiments transport n'est jamais une classe importante).

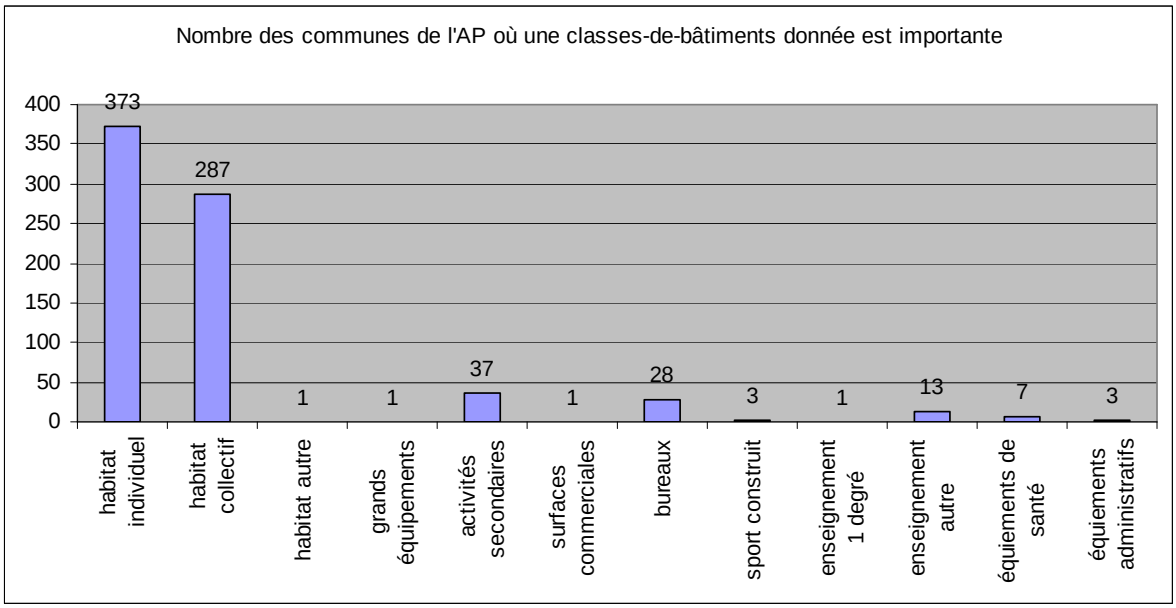


Figure 58. L'importance des classes-de-bâtiments par rapport aux communes de l'agglomération parisienne.

Etape 3 : regroupement des communes en classe-de-communes

Dans cette étape, nous dégageons comme classe-de-communes chaque ensemble de communes qui a les mêmes classes-de-bâtiments importantes. Chaque classe-de-communes est désignée par ses classes importantes, par exemple *« classe-de-communes : habitat individuel/ habitat collectif »* désigne une classe-de-communes avec les deux classes « habitat individuel » et « habitat collectif » comme classes importantes.

A l'échelle de l'agglomération parisienne nous avons dégagé 28 classes-de-communes (cf. figure ci-dessous).

Figure 59. Les 28 classes-de-communes de l'agglomération parisienne (en vert leurs classes-de-bâtiments importantes).

Classe-de-communes	Classes-de-bâtiments												
	HI	HC	HA	GE	AS	SC	Bu	Scon	E1	EA	ES	Eadm	Tr
classe-de-cummunes : "H, Individuel / h, Collectif"	61,12%	23,55%	0,52%	0,11%	3,24%	0,44%	1,26%	0,41%	3,46%	3,00%	1,16%	1,66%	0,06%
classe-de-cummunes : "H, Individuel"	86,79%	3,96%	0,65%	0,11%	2,06%	0,23%	0,27%	0,46%	2,10%	1,36%	0,73%	1,25%	0,03%
classe-de-cummunes : " H. collectif"	2,16%	74,18%	0,53%	0,11%	4,53%	0,42%	4,78%	0,52%	3,50%	3,39%	2,18%	3,58%	0,13%
classe-de-cummunes : " H. collectif/ bureau"	0,86%	62,34%	0,60%	0,09%	3,11%	0,47%	20,41%	0,29%	2,78%	2,96%	1,96%	4,09%	0,04%
classe-de-cummunes : "H. individuel/ H,collectif/ A, secondaire	31,45%	33,69%	0,71%	0,31%	16,38%	0,74%	5,11%	0,41%	4,20%	3,22%	0,82%	2,62%	0,34%
classe-de-cummunes : " H. individuel/ H. collectif/ Bureau"	34,24%	33,05%	0,95%	0,16%	5,30%	0,59%	12,33%	0,37%	3,80%	3,73%	1,51%	3,93%	0,04%
classe-de-cummunes : "H. individuel/ H. collectif/ Enseignement autre"	49,55%	24,42%	0,17%	0,13%	3,21%	0,26%	3,62%	0,24%	3,72%	11,52%	0,77%	2,38%	0,00%
classe-de-cummunes : "H. individuel/ H. collectif/ Equipement de santé"	37,69%	30,67%	0,30%	0,18%	3,80%	0,17%	2,26%	0,43%	5,14%	2,20%	15,71%	1,46%	0,01%
classe-de-cummunes : "H. collectif/ Enseignement autre"	0,10%	65,70%	0,58%	0,00%	0,69%	0,51%	4,84%	0,04%	1,94%	18,28%	2,35%	4,92%	0,07%
classe-de-cummunes : "H. collectif/ a. secondaire/ bureau"	2,86%	52,28%	0,34%	0,85%	13,45%	0,24%	17,95%	0,15%	3,67%	3,21%	2,68%	2,32%	0,00%
classe-de-cummunes : "H. individuel/ H. collectif/ a. Secondaire/Bureau"	14,60%	37,69%	0,08%	1,00%	14,58%	0,47%	13,94%	0,49%	5,33%	5,30%	2,00%	3,06%	1,48%
classe-de-cummunes : Habitat individuel / bureau	70,92%	3,01%	1,17%	0,00%	1,96%	0,30%	17,64%	0,34%	2,09%	0,97%	0,00%	1,60%	0,00%
classe-de-cummunes : "Habitat individuel / activité secondaire"	59,24%	3,82%	1,85%	0,40%	23,60%	0,26%	2,19%	0,11%	2,75%	1,58%	0,18%	1,49%	2,34%
classe-de-cummunes : "H. collectif / A. secondaire"	5,76%	54,53%	0,87%	0,25%	18,42%	0,48%	5,93%	0,51%	4,33%	3,89%	1,62%	3,40%	0,01%
classe-de-cummunes :"Habitat individuel / enseignement autre"	74,73%	4,90%	0,05%	0,38%	2,62%	0,02%	0,03%	0,40%	1,86%	13,42%	0,32%	1,27%	0,00%
classe-de-cummunes :"Habitat collectif / equipement administratif"	0,00%	68,28%	0,47%	0,00%	0,00%	0,88%	7,15%	0,01%	3,09%	4,12%	3,21%	11,84%	0,94%
classe-de-cummunes :"H. Collectif/ bureau/ Equipement administratif"	0,30%	54,64%	1,64%	0,00%	0,00%	4,81%	24,92%	0,00%	0,60%	0,57%	0,40%	12,12%	0,00%
classe-de-cummunes :"H. collectif/ Equipement de santé"	5,73%	56,96%	0,66%	0,29%	3,27%	0,05%	3,47%	0,37%	2,95%	2,44%	20,61%	3,21%	0,00%
classe-de-cummunes :"Habitat individuel / équipement de santé"	75,04%	3,29%	0,57%	0,26%	2,24%	0,29%	0,09%	0,79%	2,13%	1,55%	12,51%	1,23%	0,00%
classe-de-cummunes :"Habitat individuel / sport construit"	69,05%	0,04%	0,85%	0,00%	4,42%	2,10%	1,98%	18,26%	3,12%	0,00%	0,00%	0,19%	0,00%
classe-de-cummunes :"Hindividuel/ habitat autre"	18,53%	6,53%	61,55%	0,04%	0,84%	2,94%	0,29%	0,16%	1,59%	3,47%	2,39%	1,66%	0,00%
classe-de-cummunes : "H. individuel/H ,collectif/ G, équipements"	38,01%	23,82%	0,00%	18,06%	6,33%	0,82%	0,03%	0,61%	5,57%	4,78%	1,39%	0,56%	0,00%
classe-de-cummunes :"Habitat individuel /habitat collectif/ enseignement 1 er degré"	36,39%	30,92%	0,38%	0,00%	7,51%	0,45%	8,44%	1,23%	10,11%	1,71%	0,13%	2,23%	0,51%
classe-de-cummunes: "Habitat indivuduel /habitat collectif/activité secondaire"	42,01%	19,35%	0,00%	0,00%	10,10%	0,23%	0,00%	0,05%	5,21%	22,12%	0,00%	0,93%	0,00%
classe-de-cummunes :"H individuel / a. secondaire / equipements administatifs"	48,84%	8,17%	6,27%	0,00%	12,40%	0,67%	2,41%	0,00%	2,28%	2,57%	0,00%	16,39%	0,00%
classe-de-cummunes :"Habitat individuel/habitat collectif/ activité secondaire"	28,41%	37,68%	0,00%	0,00%	10,59%	0,00%	0,00%	12,69%	0,22%	0,00%	3,94%	6,47%	0,00%
classe-de-cummunes :"Habitat individuel / activité sencodaire"	61,21%	9,27%	0,00%	0,90%	12,29%	0,00%	0,00%	12,65%	3,10%	0,35%	0,00%	0,24%	0,00%
classe-de-cummunes : "H, individuel / S commerciales"	74,31%	0,00%	3,30%	0,00%	3,85%	16,72%	0,00%	0,50%	0,89%	0,00%	0,00%	0,43%	0,00%

6.3. Le calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine de l'agglomération parisienne « application, résultats et interprétation »

A ce stade, nous suivrons les mêmes étapes de calcul du PPWS à l'échelle de la commune. Par analogie, donc, nous remplaçons l'échelle de la commune par l'échelle de l'agglomération de Paris et les unités de calcul « classes-de-bâtiments » par les unités de calcul « classes-de-communes ».

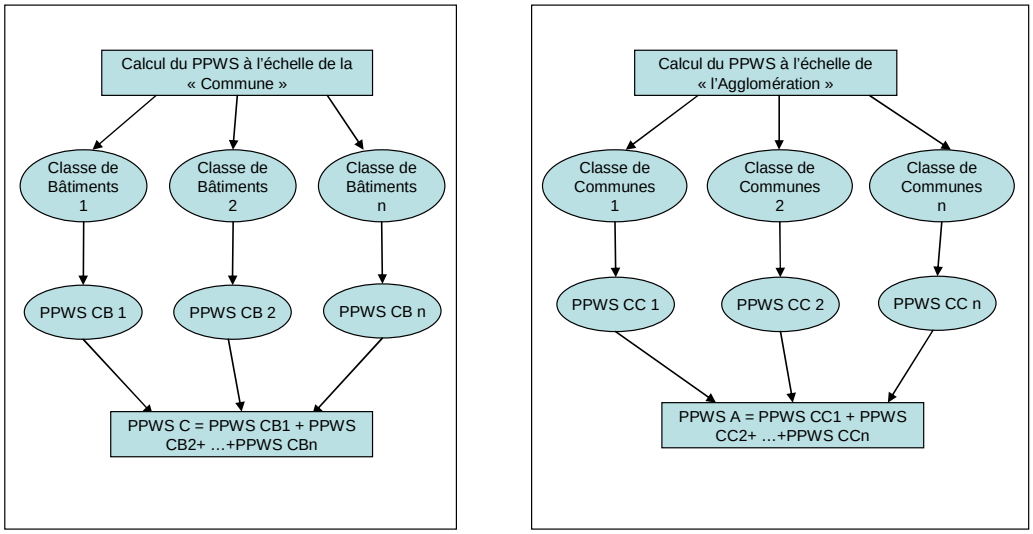


Figure 60. Analogie entre le calcul du PPWS à l'échelle de la commune et son calcul à l'échelle supra-urbaine "agglomération".

6.3.1. Etape 1 : Rappel de la méthode théorique

Il s'agit du 2eme passage d'échelles (entre celle de la commune et celle d'agglomération). Comme nous l'avons déjà expliqué (cf. § introduction de la partie II) ce passage est assuré par l'intermédiaire d'un regroupement des communes de l'agglomération de Paris en classes-de-communes dont chacune contient un ensemble de communes homogènes par rapport à l'utilisation de l'eau de pluie.

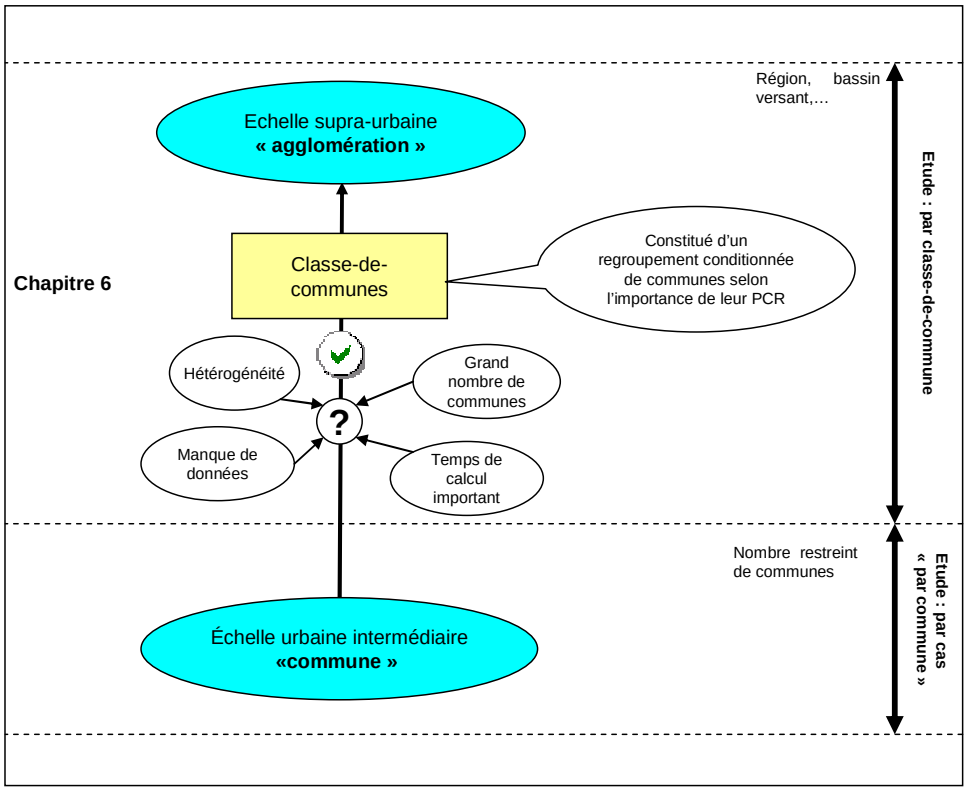


Figure 61. Schéma du 2eme changement d'échelles (commune→ agglomération)

Comme dans le premier passage, nous utilisons certains aspects évoqués dans la méthode théorique de changement d'échelles (cf. Introduction de la partie II) pour faciliter le calcul du PPWS. Nous faisons particulièrement recours au :

- Principe de « hiérarchisation » pour repérer les endroits où la RUEP constitue un enjeu important.
- Principe de « majoration » pour choisir la situation qui favorise le plus l'utilisation de l'eau de pluie.
- Les méthodes (directes, indirectes et approximation) de renseignement des variables.

6.3.2. Etape 2 : Dégagement des classes-de-communes importantes

Nous déterminons comme classes-de-communes importantes celles qui ont un PCR supérieur ou égal à 10% par rapport au PCR global de l'agglomération de Paris.

Le résultat du calcul montre qu'il existe 3 classes-de-communes importantes dans l'agglomération de Paris.

Classes-de-communes importantes	PCR (m^3/an)	% PCR par rapport AP
Classe-de-communes : "Habitat Individuel / habitat Collectif"	68 151 701	53,59%
Classe-de-communes : "habitat Individuel"	14 833 664	11,67%
Classe-de-communes : " Habitat collectif"	13 428 226	10,56%
Total	**96 413 591**	**75.82%**

Tableau 37. Les classes-de-communes importantes de l'agglomération parisienne

Nous constatons que la somme des PCR de ces classes-de-communes importantes est inférieure au seuil de 90%. Il convient donc d'ajouter des « classes-de-communes complémentaires » afin d'atteindre ce seuil. Nous commençons l'ajout par la classe-de-communes la plus grande en PCR parmi le reste et nous répétons cette opération jusqu'à l'arriver au seuil recherché.

Concrètement, nous avons ajouté 4 « classes-de-communes complémentaires » pour arriver au seuil de 90%.

Nature de la CT	Commune-type (CT)	PCR	% PCR_AP
Classes-de-communes importantes	Classe-de-communes : "Habitat Individuel / habitat Collectif"	68 151 701	53,59%
	Classe-de-communes : "habitat Individuel"	14 833 664	11,67%
	Commune-type : " Habitat collectif"	13 428 226	10,56%
Classes-de-communes complémentaires	Commune-type : " Habitat collectif/ bureau"	7 349 775	5,78%
	Commune-type : "Habitat individuel/ H, collectif/ A, secondaire	5 955 939	4,68%
	Commune-type : " Habitat. individuel/ H. collectif/ Bureau"	4 229 681	3,33%
	Commune-type : "Habitat individuel/ H. collectif/ Enseignement autre"	2 011 757	1,58%
Total		**115 960 743**	**91,19%**

Tableau 38. Les communes-types importantes et les communes-types complémentaires de l'agglomération de Paris.

Le reste des classes-de-communes (les 21 classes) ne représente qu'environ 9% du PCR global de l'agglomération. Ces classes-de-communes sont considérées comme des classes-de-communes marginales et leur participation dans le PPWS global de l'agglomération sera représentée par leur PCR.

6.3.3. Etape 3 : Renseignement des variables.

Il s'agit de renseigner les variables des classes-de-communes importantes des classes-de-communes complémentaires. Ce renseignement des variables des classes-de-communes implique le renseignement des variables des classes-de-bâtiments. Dans le cas de l'agglomération de Paris 6 classes-de-bâtiments sont concernées par le renseignement des variables, il s'agit des classes : habitat individuel, habitat collectif, activités secondaires, bureaux, enseignements 1er degré et enseignements autres.

Afin de renseigner les variables des classes-de-bâtiments des différentes classes-de-communes importantes et complémentaires de l'agglomération de Paris, nous devrons définir un scénario d'usage de l'eau de pluie pour chaque classe-de-bâtiments.

Nous avons choisi comme scénario d'usage composé : « arrosage de la pelouse + alimentation des chasses d'eau des toilettes (WC) + nettoyage du sol extérieur », pour toutes nos classes-de-bâtiments. Ce choix est basé sur :

- les usages les plus constatés dans les opérations de retour d'expérience (cf. § 5.2.1.3)
- la possibilité d'avoir les variables nécessaires ou de les déduire à partir d'autres informations.

Il convient de signaler que nous ne disposons que d'une partie des variables nécessaires au calcul du PPWS à l'échelle de l'agglomération de Paris. Devant cette limite, nous avons proposé une méthodologie pour renseigner la totalité des variables nécessaires. Cette méthodologie repose sur trois méthodes

- Méthode directe**.** Le variable est donnée directement par un organisme (exemple : INSEE, IAU-IDF). Dans notre cas (agglomération de Paris), il s'agit de la variable « nombre d'usager » qui concerne l'usage « WC ».
- Méthode de déduction**.** La variable n'existe pas directement ou nous n'avons pas les moyens d'y accéder, mais elle peut être déduite à partir d'une ou plusieurs autres variables. Dans notre cas, il s'agit de la surface de la pelouse qui concerne l'usage « arrosage de la pelouse ».
- La méthode d'approximation**.** La variable n'existe pas directement et elle ne peut pas être déduite à partir d'autres variables dans ce cas une méthode d'approximation sera utilisée. Dans notre cas, il s'agit de la surface du sol à nettoyer qui concerne l'usage « nettoyage du sol ».

Nous détaillerons ci-dessous les sources d'informations auxquelles nous avons recours pour renseigner nos variables et la méthode utilisée pour agréger ces variables au niveau des classes-de-communes (importantes et complémentaires) qui sont les unités de base de calcul du PPWS à l'échelle de l'agglomération de Paris.

6.3.3.1. Le nombre d'usagers du « WC »

Il s'agit du nombre d'usagers des bâtiments. Cette donnée existe directement dans les deux bases de données « INSEE » et « IAU-IDF » :

a. Pour les deux classes « habitat individuel » et « habitat collectif »

Le nombre d'usagers du « WC » correspond au nombre d'habitants. Cette donnée nommée « *Estimation de la répartition de la population de l'INSEE sur les zones d'habitat du Mos* »[76] a été élaborée par l'IAU-IDF suite à notre demande. Elle résulte du « Croisement des IRIS[77] de 2006 avec le MOS 2008 et de la répartition des données de population sur les zones d'habitat. La population a dans un premier temps été ventilée sur les bâtiments de la « BD-TOPO ®» [78] de 2009 puis à travers ce filtre sur l'occupation du sol. La population répartie est la population municipale 2006 issue du dénombrement »[79].

Il convient d'expliquer que les données brutes élaborées par l'IAU-IDF sont agrégées au niveau d'un polygone[80] du MOS-IAU. Pour agréger cette donnée au niveau de la classe-de-communes (unité de base utilisé pour le calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine « agglomération de paris »), nous sommes passés par les niveaux : MOS-IAU, ensuite classe-de-bâtiments de la commune et enfin la classe-de-communes, comme schématisé dans la figure ci-dessous :

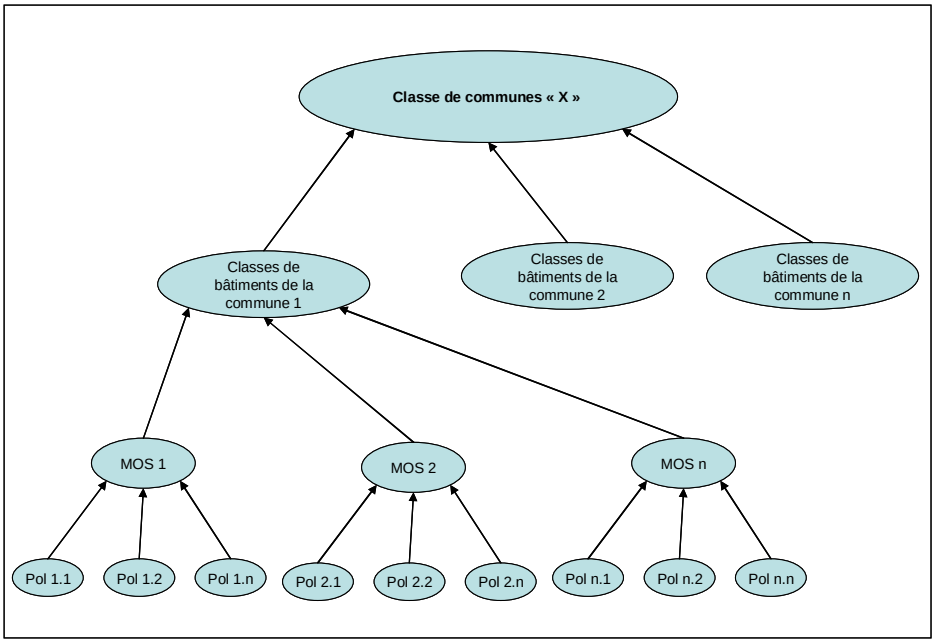


Figure 62. Méthode d'agrégation des données des classes « habitat individuel » et « habitat collectif » : de l'état brut (polygone) jusqu'à l'échelle de la classe-de-communes.

b. Pour la classe-de-bâtiments « activités secondaires »

[76] Suite à la demande de l'IAU-IDF, cette donnée reste confidentielle et non publiable à l'état brut. A cet effet, nous ne publions dans cette thèse que les résultats agrégés.

[77] IRIS : Afin de préparer la diffusion du recensement de la population de 1999, l'INSEE avait développé un découpage du territoire en mailles de taille homogène appelées IRIS2000. Un sigle qui signifiait « Ilots Regroupés pour l'Information Statistique » et qui faisait référence à la taille visée de 2 000 habitants par maille élémentaire. Source : http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/iris.htm

[78] « La Base de Données Topographique « BD-TOPO ®» est l'une des quatre grandes bases d'informations géographiques produites par l'Institut Géographique National « IGN » sur le territoire français. Elle est dans son domaine, le référentiel géométrique. Elle permet des sorties graphiques du 1 : 5 000 au 1 : 25 000. sa précision est de l'ordre du mètre ». Source : ftp://ftp.ign.fr/ign/INSPIRE/DT_BDTOPO_3_1.pdf

[79] Source : IAU-IDF « metadonnees SIGR-IAURIF »

[80] Un polygone est une fraction du MOS-IAU.

Nous considérons comme usagers des « WC » dans cette classe-de-bâtiments, les occupants des bâtiments de la classe ; il s'agit donc des employés du secteur secondaire. Ces derniers sont donnés directement par l'INSEE sous forme d'un tableau détaillé « Emplois au lieu de travail par sexe, catégorie socioprofessionnelle et secteur d'activité économique »[81] de l'année 2007.

Pour l'agrégation de cette donnée au niveau de la « classe-de-communes », il suffit d'agréger les données du tableau qui sont détaillées par sexe et par catégorie socio-professionnelle, sous forme de donnée unique qui représente les employés de la classe-de-bâtiments « activités secondaires » au niveau de la commune et ensuite agréger les données des communes qui appartiennent à la même classe-de-communes.

c. Pour la classe-de-bâtiments « bureaux »

Dans la classe précédente, nous considérons comme usagers des « WC » dans cette classe-de-bâtiments, les occupants des bâtiments de la classe, il s'agit donc des employés de ce secteur. Ces derniers sont donnés directement par l'IAU-IDF, de la même façon que les deux classes « habitat individuel » et « habitat collectif » expliquées plus haut, ainsi que leur agrégation au niveau de la classe-de-communes qui se fera de la même façon.

Il convient de signaler que pour cette classe nous négligeons les visiteurs des bâtiments de classes, bien qu'ils soient eux aussi des usagers « WC » des bâtiments, à cause du manque totale de donnée ou même d'une estimation approximative.

d. pour la classe-de-bâtiments « enseignements autres »

Nous considérons comme usagers des « WC » de cette classe-de-bâtiments l'ensemble des élèves qui occupent ce type de bâtiments. Ces derniers sont donnés directement par l'INSEE, sous forme d'un tableau détaillé « Population de 2 ans ou plus par scolarisation, sexe, âge et lieu d'études » de l'année 2007. Le tableau contient pour chaque commune de la région Ile-de-France, le nombre d'élèves scolarisés distribués par sexe et par âge (entre 2 ans et 15 ans).

Afin de calculer le nombre des élèves qui utilisent les « WC », nous avons suivi la méthode d'agrégation suivante :

Dans un premier temps, nous avons procédé par sexe pour créer les groupes suivant les niveaux scolaires comme suit :

- maternel : regroupe les élèves entre l'âge de 2 à 5 ans

[81] Ce tableau est téléchargeable directement sur le site de l'Insee : http://www.insee.fr

- élémentaire (1er degré) : regroupe les élèves entre l'âge de 6 à 10 ans
- collège : regroupe les élèves entre l'âge de 11 à 14 ans
- lycée : regroupe les élèves entre l'âge de 15 à 17 ans
- supérieur : regroupe les élèves entre l'âge de 18 et plus.

Ensuite, nous avons éliminé les deux groupes « maternel » et « 1er degré », car ils ne font pas partie de cette classe-de-bâtiments (ils font partie de la classe-de-bâtiments « enseignement 1er degré »).

Nous avons agrégé les deux sexes du groupe qui nous reste, pour obtenir le nombre d'élèves de notre classe-de-bâtiments à l'échelle de la commune

Enfin, nous avons agrégé les classes-de-bâtiments « enseignements autres » des communes qui appartiennent à la même classe-de-communes.

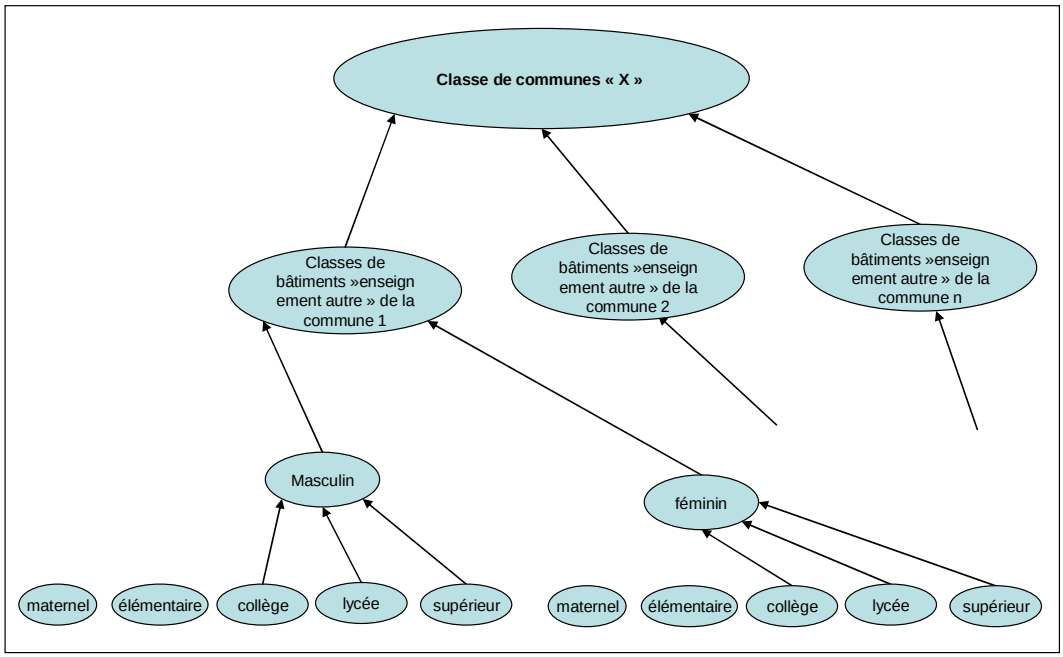


Figure 63. Méthode d'agrégation des données de la classe-de-bâtiments « enseignement autre » : de l'état brut à l'échelle de la classe-de-communes

e. pour la classe-de-bâtiments « enseignements 1er degré »

Nous n'avons pas besoin de quantifier les usagers « WC » de cette classe-de-bâtiments, car comme nous l'avons signalé précédemment, l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur de ce type de bâtiments est interdit [Arrêté 2008].

6.3.3.2. La surface de la pelouse à arroser

Nous n'avons pas trouvé de base de données qui fournit cette donnée directement. Donc, nous avons décidé de la déduire, vu son importance dans la pratique de RUEP où nous avons constaté

que l'usage « arrosage de la pelouse » est présent dans la majorité des opérations de retour d'expérience que nous avons analysé (cf. annexe 5).

Cette section explique la méthode que nous avons utilisée afin de déduire la valeur de cette donnée au niveau de l'unité de base de calcul « classe-de-communes ». Il convient de signaler que nous allons détailler cette méthode par rapport à une seule classe-de-bâtiments « habitat individuel », car nous avons utilisé les mêmes principes et les mêmes étapes pour les autres classes-de-bâtiments où cette donnée est nécessaire à renseigner.

Cependant, cette méthode de déduction nécessite d'autres données et informations afin de déduire la donnée recherchée. Dans le présent cas nous avons utilisé :

- nos précédentes données fournies par l'IAU-IDF : surface MOS, surface bâtie,…
- une nouvelle donnée fournie aussi par l'IAU-IDF : il s'agit de l'Indice de Végétation (NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*)[82].

Nous déterminons cette surface de pelouse « S_p » à l'aide d'un échantillon de bâtiments choisi aléatoirement. Deux méthodes existantes pour généraliser les résultats de l'échantillon à l'échelle supra-urbaine :

La première méthode consiste à analyser un échantillon de bâtiments pour chaque classe-de-bâtiments où la « S_p » est nécessaire pour calculer la « surface de la pelouse à arroser ». Cette méthode est très couteuse en termes de temps. A titre d'exemple, si nous l'utilisons pour la classe-de-bâtiments « habitat individuel », nous sommes amenés à échantillonner 373 communes (où « l'habitat individuel » est considéré comme classe-de-bâtiments importante ou complémentaire et donc la donnée « arrosage de la pelouse » est nécessaire à renseigner).

La deuxième méthode consiste à analyser un échantillon de bâtiments pour une seule commune parmi l'ensemble des communes qui composent la classe-de-communes. Cette méthode, même si elle est plus rapide que la précédente elle est cependant moins précise, car elle ignore la densité de l'espace vert. En effet, les communes qui composent une classe donnée ne sont pas homogènes par rapport à la densité de l'espace vert, et le choix de la généralisation des résultats issus de l'analyse d'une seule commune, risque de donner des résultats moins précis. Par exemple, si nous analysons une commune avec une faible densité de l'espace vert : la surface autre « S_a » sera importante par rapport à la surface de la pelouse « S_p ». Nous risquons alors d'appliquer ce même rapport sur une

[82] Cette donnée nous a être fournie au niveau de polygones (fraction du MOS-IAU)

commune qui appartient à la même classe, mais qui se caractérise par une densité élevée de son espace vert : où « S_a » est sensée être moins importante par rapport à la « S_p ».

Donc cette deuxième méthode sera applicable si nous assurons une homogénéité entre la commune échantillonnée et les communes où le résultat est appliqué. Nous construisons une méthode dans ce sens à l'aide de l'indice de végétation de la région Ile-de-France.

L'indice de végétation est défini comme étant la réponse spectrale des végétaux [Brun et al. 2004]. Selon le « laboratoire de Géosciences du Pacifique Sud (GEPASUD) »[83], le but de cet indice est de détecter la présence ou non de végétation, mais en revanche il ne permet pas de la quantifier directement. Il signale qu'il existe plusieurs types d'indice de végétation : Indice de végétation par différence normalisée (NDVI), Indice de végétation transformé (TVI), Indice perpendiculaire de végétation (PVI), Modèle "Tasseled cap",…

Dans son étude de l'indice de végétation de la région Ile-de-France, l'IAU-IDF a utilisé la méthode « Indice de végétation par différence normalisée (NDVI) » (cf. annexe 7).

Afin de simplifier la lecture du résultat obtenu grâce à cette méthode, l'IAU-IDF a assimilé les valeurs de l'indice de végétation aux numéros des classes comme suit :

Classe n°	Valeurs de NDVI	Couleur sur l'image
1	0-114	Noir
2	115-128	Gris foncé
3	129-135	Gris clair
4	136-146	Bleu clair
5	147-159	Jaune
6	160-173	Orange
7	174-187	Vert clair
8	188-198	Vert moyen
9	199-209	Vert foncé
10	210-255	Vert très foncé

Tableau 39. Classification retenue pour l'indice de végétation. Source : IAU-IDF

Selon l'IAU-IDF, ces classes de l'indice de végétation correspondent à la densité de la couverture végétale et elles caractérisent les espaces urbains comme suit :

- les classes 5 à 10 caractérisent la couverture végétale des forêts et des espaces verts.
- La classe 4 caractérise la couverture végétale de l'habitat pavillonnaire.
- Enfin, les classes 1, 2 et 3 caractérisent la couverture végétale de l'espace urbain dense et celui dépourvu de toute végétation.

[83] Le laboratoire de Géosciences du Pacifique Sud (GEPASUD) est un laboratoire interne de l'Université de Polynésie française, auquel est joint l'Observatoire Géodésique de Tahiti (OGT). Source : http://gepasud.upf.pf/index.html

Nous avons transféré cette interprétation sur nos niveaux d'étude en faisant l'hypothèse suivante :

Etape 1 : au niveau du polygone

- le polygone qui se caractérise par un indice de végétation inférieur ou égale à 3 sera considéré comme un polygone sans jardin.
- Et le polygone qui se caractérise par un indice de végétation supérieur à 3 (entre 4 et 10) sera considéré comme un polygone avec jardin.

Etape 2 : au niveau de la classe-de-bâtiments

Notre attention se porte sur la classe-de-bâtiments en particulier pour quantifier la valeur de l'usage « arrosage de la pelouse » de l'eau de pluie. Cependant, il faut rappeler que c'est à partir du polygone qui nous pouvons remonter jusqu'à la classe-de-bâtiments (cf. Figure 64).

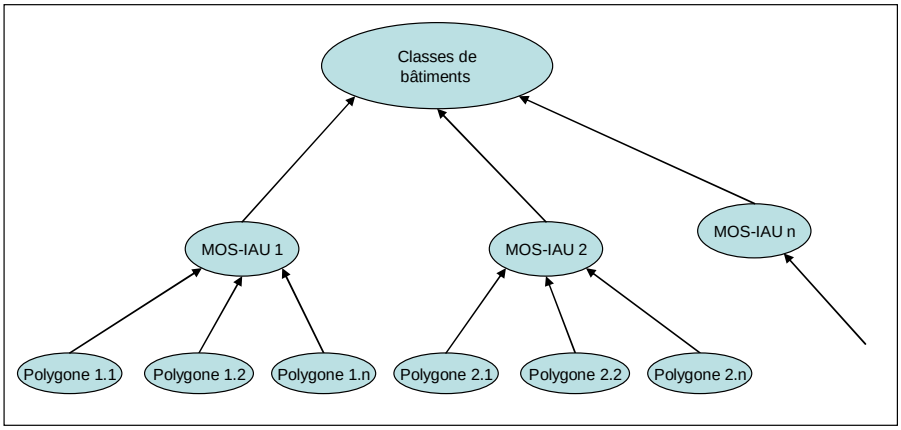


Figure 64. Passage du polygone à la classe-de-bâtiments

Ensuite, nous divisons la classe-de-bâtiments en deux ensembles selon les valeurs de l'indice de végétation de ses polygones : un ensemble qui contient les polygones sans jardin (NDVI ≤ 3) et un ensemble qui contient des polygones avec jardins (NDVI > 3). En remplaçant ces deux ensembles par leurs surfaces[84], nous pouvons calculer la proportion de la classe-de-bâtiments qui est considérée comme « sans jardin » et celle qui est considérée « avec jardin ».

Etape 3 : Au niveau des classes-de-communes

- Nous choisissons dans un premier temps les classes-de-communes dont « l'habitat individuel » nécessite un renseignement de la variable « arrosage de la pelouse » (dans ces classes « l'habitat individuel » est soit une classe-de-bâtiments importante soit une classe-de-bâtiments complémentaire).

[84] Un polygone tel qu'il est fourni par l'IAU-IDF se caractérise par une surface en plus de son indice de végétation. La somme des surfaces des polygones qui appartiennent à une classe-de-bâtiments donnée est équivalente à la surface globale de cette classe.

- Ensuite, pour chaque commune de ces classes nous distinguons la proportion de la classe-de-bâtiments « habitat individuel sans jardin » et la proportion « habitat individuel avec jardin ». Cette distinction désigne la densité de l'espace vert de la commune par rapport à la classe-de-bâtiments concernée.

Une lecture de cette densité montre qu'elle est très hétérogène d'une commune à l'autre (dans une fourchette de 0% à 100%). En effet, nous constatons qu'il y a des communes qui n'ont que la classe-de-bâtiments de type « sans jardin » (100% sans jardin et 0% avec jardin), des communes avec un résultat inverse (0% sans jardin et 100% avec jardin), mais aussi des communes avec un résultat moins extrême (55% sans jardin et 45% avec jardin, par exemple).

Afin d'assurer l'homogénéité, nous discriminons les communes par type qui exprime la densité de l'espace vert de la classe-de-bâtiments « habitat individuel ». À cet effet, nous avons créé 4 types de communes :

- type 1 : « communes avec espace vert non significatif » : il s'agit de l'ensemble des communes dont les classes-de-bâtiments « habitat individuel » présente une densité de 0 à 10% (la présence de l'espace vert est constaté dans 0 à 10% de la surface de « l'habitat individuel »).
- type 2 : « communes avec un espace vert non dense » : il s'agit de l'ensemble des communes dont les classes-de-bâtiments « habitats individuels » présente une densité de 10 à 30% (la présence de l'espace vert est constaté dans 10 à 30% de la surface de « l'habitat individuel »).
- type 3 : « communes avec un espace vert dense » : il s'agit de l'ensemble des communes dont les classes-de-bâtiments « habitat individuel » présente une densité de 30 à 60% (la présence de l'espace vert est constaté dans 30 à 60% de la surface de « l'habitat individuel »).
- type 4 : « communes avec un espace vert très dense » : il s'agit de l'ensemble des communes dont les classes-de-bâtiments « habitats individuels » présente une densité de 30 à 60% (la présence de l'espace vert est constaté dans 60 à 100% de la surface de « l'habitat individuel »).

Le choix de ce découpage est décrit par le nombre de communes que nous pouvons échantillonner. En effet, au-delà de 4 communes échantillonnées, la méthode commence à être coûteuse en termes de temps passé dans le choix et l'analyse des bâtiments échantillon.

Le choix des communes à échantillonner (cf. Annexe 8, § 2)

Nous choisissons aléatoirement une commune de chaque type. Pour notre présent cas « habitat individuel », les communes choisies sont :

- Pour le type 1 « communes avec espace vert non significatif » : comme l'espace vers est non significatif dans ce type, nous avons considéré les classes-de-bâtiments de ces communes comme des classes sans jardin.
- Pour le type 2 : « communes avec un espace vert non dense » : nous avons choisi la commune « *Fontenay-sous-Bois (94033)* »
- Pour le type 3 : « communes avec un espace vert dense » : nous avons choisi la commune « *Villemomble (93077)* »
- Pour le type 4 : « communes avec un espace vert très dense » : nous avons choisi la commune « *Pontault-Combault (77373)* ».

Pour chacune de ces communes, nous choisissons un certain nombre de bâtiments et nous déduisons le coefficient qui décrit le rapport entre leurs surfaces de pelouse (S_p) et leurs surfaces de parcelle (S_{pa}). Ce coefficient sera utilisé ensuite pour décrire le rapport entre la surface de la classe « habitat individuel » et la surface de la pelouse correspondante, ce qui nous permet au final de déduire la surface de la pelouse pour toutes les communes du type concerné.

Par exemple, l'analyse de 30 bâtiments de la commune « *Fontenay-sous-Bois (94033)* » a montré qu'il y a un coefficient moyen de 0.31 entre les surfaces des pelouses et les surfaces des parcelles de ces bâtiments (S_p / S_{pr} = 0.31). Nous utilisons ce même coefficient pour chaque commune du type 2, afin d'exprimer le rapport entre la surface de la pelouse à l'échelle de la commune et la surface de classe-de-bâtiments (S_{pcom} / S_{CB} = 0.31) ce qui nous permet de calculer cette surface de pelouse (S_{pcom})[85] de la classe « habitat individuel » à l'échelle de chaque commune du type 2.

Nous faisons la même chose pour les types 3 et 4. Enfin, pour calculer la surface de la pelouse au niveau de notre unité de base de calcul « classe-de-communes », il suffit d'additionner les surfaces de pelouse des communes qui composent la classe considérée.

Méthode d'analyse des bâtiments

Afin de déduire le rapport (S_p / S_{CB}) qui nous permet de renseigner la variable de la « surface de la pelouse à arroser », nous avons choisi un ensemble de bâtiments pour chaque commune échantillon. Nous avons analysé cet ensemble de bâtiment en nous appuyant sur la méthode suivante :

[85] Dans la mesure où nous connaissons déjà la surface de la classe-de-bâtiments (S_{CB})

Nombre de bâtiments choisis. Pour chaque classe-de-bâtiments, nous avons choisi d'analyser 30 bâtiments. Ce nombre constitue le minimum statistique. Nous justifions le choix de ce nombre par la lourdeur de l'opération d'analyse des bâtiments.

Méthode de choix. Le choix de ces bâtiments est fait aléatoirement parmi l'ensemble des parcelles de la classe-de-bâtiments de la commune concernée. Pour effectuer ce choix, nous avons utilisé la fonction « sélection aléatoire » du logiciel « Microsoft Excel 2003 » qui permet de choisir aléatoirement un nombre d'éléments limités parmi une large liste d'éléments.

Données des bâtiments. Nous avons décrit chaque bâtiment choisi, par : sa référence de parcelle (Réf_parcelle), sa surface de parcelle (Sur_parcelle), sa surface bâtie (Sur_bâtie), sa surface non bâtie (Sur_nonbâtie), sa surface de pelouse (Sur_pelouse) et sa surface autre (Sur_autre).

Commune avec couverture végétale dense : Villemomble (93077)					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_pelouse	Sur_autre
000 AN 37	**350**	96	254	174	80
000 AN 32	**387**	130	257	167	90
000 AN 71	**285**	110	175	90	85
000 AN 117	**304**	90	214	114	100
000 AN 75	**214**	55	159	109	50
000 AL. 38	**142**	40	102	67	35
000 AL 39	**145**	40	105	72	33
000 AL 22	**146**	55	91	75	16
000 AL 20	**150**	66	84	65	19
000 AK 212	**270**	106	164	104	60
000 AK 211	**252**	113	139	84	55
……..	**……**	……..	…….	……..	…….

Tableau 40. Extrait des 30 bâtiments choisis de la classe « habitat individuel » de la commune de Villemomble (93077).

Source d'information. Nous nous sommes appuyés sur deux sources d'informations : le cadastre national qui donne directement[86] les deux données (Réf_parcelle et Sur_parcelle) et qui permet de calculer indirectement[87] la (Sur_bâtie). La deuxième source d'information utilisée est le logiciel « Google Earth »[88], ce logiciel nous permet d'estimer l'espace vert (pelouse) de chaque parcelle choisi en s'appuyant sur les adresses fournies par le cadastre nationale pour repérer les parcelles sur le logiciel « Google Earth ».

Pour les deux données (Sur_nonbâtie et Sur_autre) sont déduites de la façon suivante :

$$Sur_nonbâtie = Sur_parcelle - Sur_bâtie \quad \textbf{(Équation 24)}$$

$$Sur_nonbâtie = Sur_parcelle - Sur_bâtie \quad \textbf{(Équation 25)}$$

[86] Il suffit de désigner la parcelle en cliquant à l'intérieur et en validant le clic par la suite, les données suivantes s'affichent en bas de l'écran: Réf_parcelle, Sur_parcelle et son adresse postale.
[87] Le bâti est représenté par un polygone jaune dont nous pouvons calculer la surface (Sur_bâtie) à l'aide d'un outil de mesure proposé dans la boite d'outil de la base.
[88] Logiciel en libre service, téléchargeable sur: http://www.google.fr/intl/fr/earth/index.html

Nous avons déduit à l'issue de cette phase les coefficients de toutes les classes-de-bâtiments qui nécessitent un renseignement de leur « surface de pelouse à arroser ».

	Coefficient : Sur_pelouse / Sur_parcelle			
Classes-de-bâtiments	non significatif	Très dense	Dense	Non dense
Habitat individuel		0,63	0,43	0,31
Habitat collectif		0,41	0,32	0,22
Activités secondaires			0,18	0,06
Bureau		0,28	0,15	0,1
Enseignement 1er degré		0,3	0,18	0,12
Enseignement autre			0,19	0,06

coefficient non calculé -espace vert non significatif-
coefficient non calculé - pas de communes de ce type-

Tableau 41. Les coefficients (S_p / S_{pr}) selon la densité des classes-de-bâtiments

Comme nous l'avons expliqué plus haut, ces coefficients seront utilisés pour exprimer le rapport entre la surface de la pelouse de la classe-de-bâtiments (S_{pCB}) et la surface de la classe-de-bâtiments (S_{CB}). Cela nous permet de calculer la surface de la pelouse au niveau de la classe-de-bâtiments de chaque commune et nous pouvons ensuite calculer cette surface au niveau de la classe de la commune (unité de base de calcul dans notre cas).

6.3.3.3. La surface de sol à nettoyer

Il s'agit du sol à l'extérieur du bâtiment qui peut être nettoyé par l'eau de pluie. A notre connaissance, il n'existe pas de base de données qui donne cette information de manière directe et la seule information que nous possédons est la « surface autre »[89]. Au niveau de la classe-de-communes, cette donnée peut être calculée par l'équation suivante :

$S_{aCC} = S_{CC} - (S_{bCC} + S_{pCC})$ **(Équation 26)**

Où :

S_{aCC} : surface autre au niveau de la classe-de-communes (donnée recherchée)

S_{CC} : surface de la classe-de-communes

S_{bCC} : surface bâtie au niveau de la classe-de-communes.

S_{pCC} : surface de la pelouse à arroser au niveau de la classe-de-communes.

Il convient de signaler que « la surface autre » dans la majorité des cas ne signifie pas « la surface du sol à nettoyer », car la « surface autre » remplit plusieurs fonctions dans la parcelle (espace de circulation, terrain vagant, espace de stationnement, …) qui ne nécessitent pas un nettoyage ou un

[89] C'est le reste de la parcelle après avoir enlevé : la surface bâtie et la surface de la pelouse

nettoyage négligeable (une ou deux fois par an). Cependant, seules les terrasses et les cours sont censés être nettoyées régulièrement par l'eau, qui pourra être remplacée par l'eau de pluie

Devant l'absence totale d'information sur la proportion de ces espaces qui nécessitent un nettoyage par l'eau, nous nous sommes appuyés sur certains retours d'expériences (cf. annexe 5) pour estimer que la surface à nettoyer représente approximativement 10% de la « surface autre ».

$S_{sCC} = 0{,}1 \times S_{aCC}$ **(Équation 27)**

Où :

S_{sCC} : surface du sol à nettoyer au niveau de la « classe-de-communes »

S_{aCC} : surface autre au niveau de la classe-de-communes

6.3.4. Calcul du PSU au niveau des situations-types

Au niveau de chaque classe-de-communes (importante ou complémentaire), nous calculons les PPWS des situations-types correspondantes aux classes-de-bâtiments (importantes ou complémentaires) en utilisant les scénarios d'usage de l'eau de pluie suivants :

- Scénario 1 : l'eau de pluie est utilisée à l'extérieur et l'intérieur des bâtiments (S1 : WC + arrosage de la pelouse + nettoyage du sol)
- Scénario 2 : l'eau de pluie est utilisée uniquement à l'intérieur des bâtiments (S2 : WC)
- Scénario 3 : l'eau de pluie est utilisée uniquement à l'extérieur des bâtiments (S3 : arrosage de la pelouse + nettoyage du sol).

Comme dans le chapitre précédent (cf. § 4.2.), nous utilisons la borne supérieure de la zone « optimum » de la courbe (volume de la cuve / taux de recouvrement des besoins) pour exprimer le PSU correspondant à chaque scénario d'usage.

La situation type choisie pour chaque classe-de-bâtiments correspond au scénario d'usage de l'eau de pluie qui favorise le plus l'utilisation de l'eau de pluie (le scénario d'usage qui a le PSU le plus grand. Par exemple, pour la classe-de-bâtiments « habitat individuel », si le PSU qui favorise le plus l'utilisation de l'eau de pluie correspond au scénario « S1 », la situation-type qui sera choisie est « bâtiments d'habitat individuel avec jardin » ; dans le cas d'une correspondance au scénario « S2 », la situation-type choisie sera « bâtiments d'habitat individuels sans jardin » ; enfin, dans le cas d'une correspondance au scénario d'usage « S3 », la situation-type choisie sera « bâtiments d'habitat individuel que avec jardin ».

Classes-de-bâtiments importantes et complémentaires	PSU par scénario d'usage (classe-de-communes Habitat individuel / habitat collectif)			Situation-type choisie
	WC+jardin+sol	WC	Jardin+sol	
Habitat individuel	**18 660 368**	15 534 869	9 240 744	Bâtiments d'habitat individuel avec jardin
Habitat collectif	13 642 753	**13 861 733**	5 421 452	Bâtiments d'habitat collectif sans jardin
Activités secondaires	**1 694 352**	781 833	1 254 082	Bâtiments d'activités secondaires avec jardin
Enseignement 1er degré			**946 470**	Bâtiments d'enseignement 1 er degré avec jardin
En Gras le PSU qui favorise plus l'utilisation de l'eau de pluie. La situation-type choisie correspond au scénario d'usage du PPWS				

Tableau 42. Le PSU par scénario d'usage de l'eau de pluie pour les classes bâtiments de la classes de commune « habitat individuel / habitat collectif »

6.3.5. Le PPWS de la classe-de-communes

Nous choisissons pour chaque classe-de-bâtiments une seule situation-type adaptée, il s'agit de la situation-type qui correspond au PPWS qui favorise le plus l'utilisation de l'eau de pluie (le PPWS le plus grand parmi les PPWS de tous les scénarios d'usage de l'eau de pluie de la classe-de-bâtiments) ;

Le PPWS de la classe-de-communes résulte de l'addition des PSU des classes-de-bâtiments et le PCR

Classes-de-bâtiments importantes et complémentaires	**Situation-type**	**PSU**
Habitat individuel	Bâtiments d'habitat individuel avec jardin	28 861 733
Habitat collectif	Bâtiments d'habitat collectif sans jardin	5 397 174
Activités secondaires	Bâtiments d'activité secondaires avec jardin	1 694 352
Enseignement 1er degré	Bâtiments d'enseignement qu'avec jardin	946 470
PCR reste des classes		5 880 769
PPWS de la classe-de-communes : Habitat individuel / habitat collectif		**42 780 498**

Tableau 43. Calcul du PPWS au niveau d'une classe-de-communes

6.3.6. Le PPWS de l'échelle supra-urbaine « agglomération de Paris »

Le PPWS de l'agglomération de Paris s'obtient en additionnant les PPWS des classes-de-communes importantes et complémentaire et le PCR des classes-de-communes marginales.

Classes-de-communes	**PPWS (m^3/an)**
Classe-de-communes : Habitat individuel / habitat collectif	30 780 498
Classe-de-communes : Habitat Individuel	9 952 195
Classe-de-communes : Habitat collectif	12 092 451
Classe-de-communes : Habitat collectif / bureau	7 021 767
Classe-de-communes : habitat individuel / habitat collectif / activité secondaire	4 985 573
Classe-de-communes : habitat individuel / habitat collectif /bureau	3 947 885
Classe-de-communes : habitat collectif /activités secondaires	2 467 054
PCR des autres classes-de-communes (PPWS = PCR)	10 263 194
Agglomération de Paris	**81 510 616**

Tableau 44. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine de l'agglomération de Paris

6.4. Analyse et interprétation du PPWS de l'agglomération de Paris

Dans cette section, nous allons comparer les résultats du PPWS avec d'autres indicateurs afin de mesurer la grandeur et l'importance de ce PPWS. Par rapport à ces derniers.

- Le premier indicateur de comparaison que nous avons choisi est le « *PCR* » de l'agglomération de Paris. L'objectif de cette comparaison est d'apprécier l'amélioration de notre méthode de calcul et de notre nouvel indicateur (PPWS).
- Le second indicateur que nous avons choisi est le « *volume global d'eau distribué* » à l'échelle de l'agglomération de Paris. L'objectif de cette comparaison est d'évaluer les économies d'eau potable à faire grâce à l'eau de pluie substituée censée être récupérable.
- Et enfin, nous comparons la participation des différentes classes-de-communes et des différentes classes-de-bâtiments dans le PPWS global de l'agglomération de Paris.

6.4.1. Comparaison entre le PPWS et le PCR

La comparaison entre ces deux indicateurs nous permet d'évaluer les améliorations que nous avons apportées grâce à notre méthode de changement d'échelles permettant le calcul de l'indicateur la quantité d'eau de pluie utilisée à la place de l'eau potable.

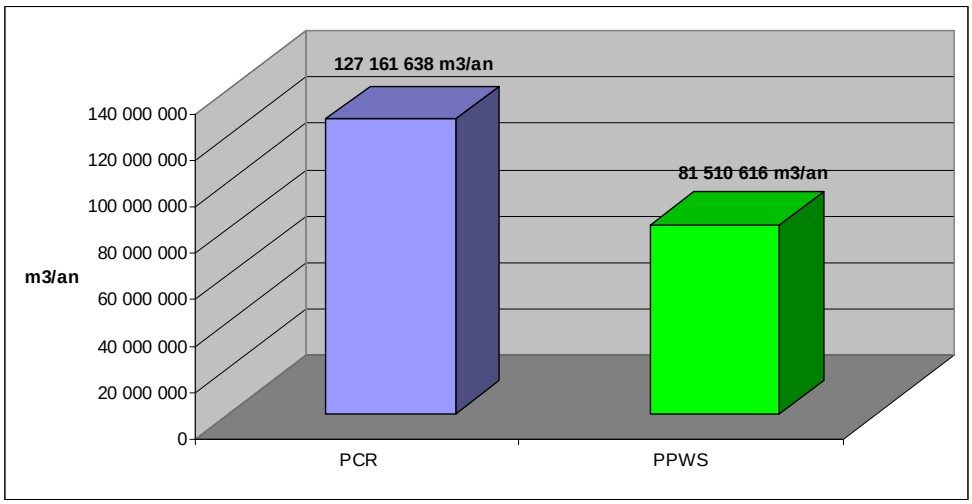


Figure 65. Comparaison entre le PCR et le PPWS de l'agglomération de Paris

Avec plus de 81 millions de m^3 par an le PPWS de l'agglomération de Paris représente 64 % de la quantité maximale récupérable PCR avec plus de 127 millions de m^3 par an. Nous constatons qu'il y a une partie du PCR qui est perdue[90] avec plus de 45 millions m^3 par an, ce qui représente 36% du PCR de l'agglomération. Ce constat confirme nos hypothèses de départ. D'un côté, nous avons confirmé que nous ne pouvons pas utiliser toute l'eau de pluie qui tombe sur les toitures des

[90] Versée dans le réseau d'assainissement à cause du trop plein des cuves de stockage.

bâtiments, et de l'autre que le PCR c'est qu'un indicateur global et qu'il ne reflète pas la quantité réelle d'eau de pluie que nous pouvons utilisée qui remplace l'eau potable, grâce à la pratique de RUEP.

6.4.2. Comparaison entre le « volume global d'eau distribué », le volume « non potable consommé » et le « PPWS » de l'agglomération de Pris

Plus de 738 millions de m[391] d'eau potable sont distribués chaque année à l'échelle de l'agglomération de Paris. Grâce au PPWS, il est possible économiser 11% de cette eau, mais également il est possible d'économiser 49% de l'eau non potable consommé[92].

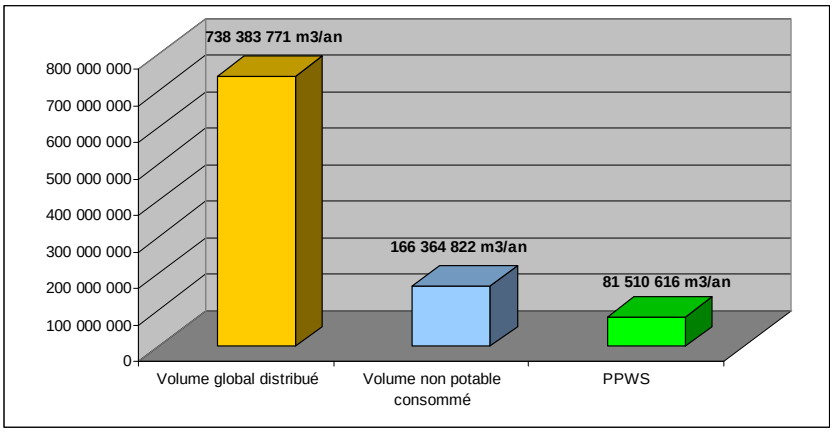


Figure 66. Comparaison entre le PPWS, le PCR et le volume d'eau distribué de l'agglomération de Paris

Nous constatons le grand écart entre le « PPWS » et le « volume d'eau distribué » à l'échelle de l'agglomération de Paris ; cela signifie que la pratique RUEP telle qu'elle est définie aujourd'hui (les toitures des bâtiments) ne suffit pas pour remplacer l'eau potable même pour les usages « non potable » de l'agglomération de Paris.

6.4.3. Comparaison entre les classes-de-communes et le PPWS

En ce qui concerne la participation des « classes-de-communes » dans le PPWS de l'agglomération de Paris nous constatons la domination de la classe-de-communes « habitat individuel / habitat collectif » avec une participation d'environ 38%. Nous notons aussi une participation importante des deux classes-de-communes « habitat collectif » et « habitat individuel » avec environ 15% pour la première et 12% pour la seconde, tandis que les 4 autres classes-de-communes partagent le reste des participations « PPWS ».

[91] Nous avons calculé le volume d'eau distribuée pour chaque habitant en nous appuyant sur la donnée disponible à l'échelle de la région Ile-de-France et nous avons ensuite ramené cela à l'échelle de l'agglomération de Paris.
[92] Calculé à la base des trois usages utilisés pour le calcul du PPWS (WC, arrosage et lavage du sol)

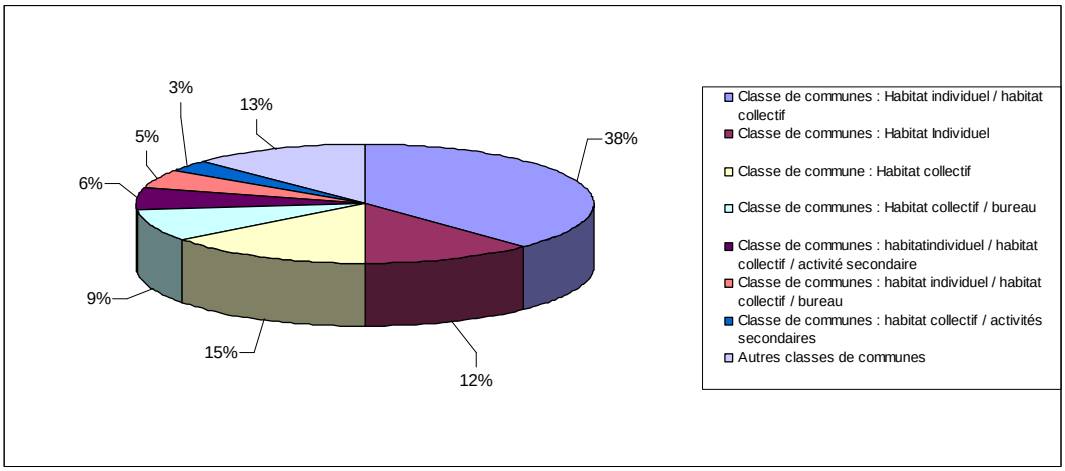


Figure 67. Participation des classes-de-communes importantes et complémentaires dans le PPWS de l'agglomération de Paris.

6.4.4. Comparaison entre les classes-de-bâtiments et le PPWS

La classe-de-bâtiments « habitat individuel » est considéré comme une classe dominante, car elle participe avec un peu moins de la moitie (environ 45%) du PPWS de l'agglomération de Paris, en deuxième place, nous trouvons la classe-de-bâtiments « habitat collectif » avec une participation d'environ 20% et enfin les 4 autres classes-de-bâtiments qui se partagent le reste du PPWS.

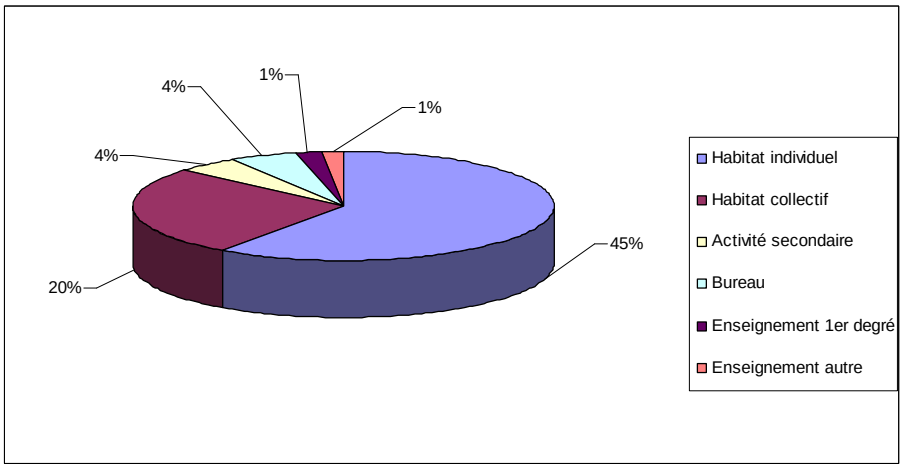


Figure 68. Participation des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires dans le PPWS de l'agglomération de Paris

Nous constatons qu'environ 2/3 (65%) du PPWS de l'agglomération de Paris est issu des deux classes-de-bâtiments du secteur de l'habitat (individuel et collectif) cela confirme notre hypothèse posée au début de ce travail et qui leur accorde une approche préférentielle à cause de leur importance dans le calcul du PPWS.

Afin d'apprécier mieux cette participation, nous nous sommes intéressés à cette dernière mais cette fois en comparant les participations des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires par rapport au deux indicateurs PPWS et PCR.

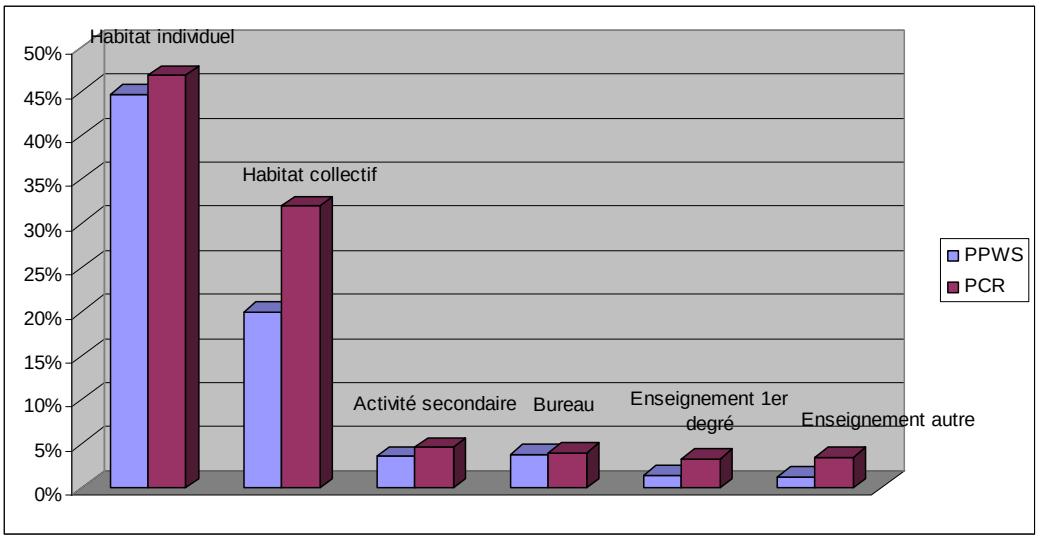


Figure 69. Comparaison entre la participation des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires dans le PPWS et le PCR de l'agglomération de Paris.

Nous constatons de manière générale que la participation des classes-de-bâtiments est proportionnelle dans les deux indicateurs. Par exemple, la classe-de-bâtiments « habitat individuel » est une classe dominante grâce à sa participation dans le PPWS comme dans le PCR.

Nous constatons aussi que la classe-de-bâtiments « habitat individuel » a conservé sa participation proportionnelle dans les deux indicateurs, avec environ 45% pour le PPWS, contre 47% pour le PCR.

Pour la classe-de-bâtiments « habitat collectif », nous constatons une baisse du taux de participation entre les deux indicateurs, alors que pour le PCR sa participation se relève à environ 32% ; par contre, pour le PPWS elle s'est réduite à 20%. Nous expliquons cette diminution par la situation-type de cette classe où nous constatons que dans la majorité des classes-de-communes, « l'habitat collectif » est traité comme une situation-type « sans jardin » ; dans ce cas ; la quantité récoltée en aval des toitures des bâtiments (PCR) est nettement supérieure à la demande en eau de pluie.

La participation des autres classes est tellement faible dans les deux indicateurs que nous ne pouvons pas faire de constats pertinents dans ces cas.

De façon générale, nous constatons que la classe-de-bâtiments « habitat individuel » consomme la majorité de l'eau de pluie issue de ses toitures. Ce constat est confirmé en s'appuyant sur le rapport (PPWS/PCR= 0,96)[93] ; notamment grâce à l'arrosage de son espace vert ; où il a été relevé que toutes les situations-type d'utilisation de l'eau de pluie choisies sont de type « avec jardin » (plus de 322 million m^2). En revanche, la classe-de-bâtiments « habitat collectif » ne consomme qu'une

[93] Nous rappelons que le PCR est l'indicateur qui représente l'eau de pluie qui tombe sur les toitures des bâtiments et le PPWS est celui qui représente l'eau de pluie effectivement consommée par ces bâtiments.

partie de son eau (PPWS/PCR= 0,62) ; où les situations-types d'utilisation de l'eau choisies pour cette classe sont généralement de type « sans jardin » à cause de sa faible superficie (environ 55 million m^2)

6.5. Conclusion du chapitre

Nous avons vu dans ce chapitre que le passage (le changement d'échelles) entre l'échelle communale et l'échelle supra-urbaine est lié à la complexité (nombre de communes, nature du tissu urbain,…) de cette dernière et que c'est le degré de cette complexité qui détermine la méthode théorique appropriée pour effectuer le passage entre les deux échelles.

Nous avons vu aussi que la difficulté majeure du calcul du PPWS est le renseignement des variables et les sources d'informations pour alimenter ces dernières, alors que peu de données existent de manière directe et qu'il faut construire ou déduire le reste (surface de la pelouse, surface du sol).

Nous avons conclu aussi que grâce au PPWS, nous pouvons économiser jusqu'à 11% d'eau potable distribuée en agglomération de Paris.

Enfin, nous avons vu que le secteur d'habitat est considéré comme un secteur de bâtiments levier à l'échelle de l'agglomération de Paris, car il participe à environ 65% au PPWS de l'agglomération.

Conclusion de la partie

Dans cette conclusion intermédiaire nous faisons tout d'abord un rappel sur le contenu de cette partie. Nous revenons ensuite, sur la méthode de changement d'échelles proposée en montrant ses apports par rapport à la modélisation du PPWS. Enfin, nous montrons les limites que présente cette même méthode et les améliorations possibles afin de combler ces limites.

Une problématique centrée sur le changement d'échelles

Il s'agit de produire des connaissances à une échelle globale (urbaine et supra-urbaine) d'un phénomène qui se déroule à une échelle élémentaire (bâtiment).

Une méthode de changement d'échelles basée sur des échelles et des regroupements

Après avoir constaté le grand écart qui sépare l'échelle de la mise en œuvre de la RUEP et celles de l'évaluation, nous avons proposé de réduire cet écart à l'aide d'une échelle intermédiaire (l'échelle de la commune).

Ensuite nous assurons le passage vers l'échelle globale (urbaine et supra-urbaine) en deux temps :

- en commençant par un premier passage entre l'échelle élémentaire et l'échelle intermédiaire. Ce passage est assuré à l'aide d'un regroupement des bâtiments en *classes-de-bâtiments* qui se décline ensuite en « *situations-types* » d'utilisation de l'eau de pluie.
- Le second passage est effectué entre l'échelle intermédiaire de la commune et l'échelle globale (généralement, il s'agit d'une échelle supra-urbaine). Ce passage est assuré à l'aide d'un regroupement des communes en *classes-de-communes*.

Une adaptation de la méthode de changement d'échelles pour faciliter la modélisation.

Afin de faciliter la modélisation numérique et afin de combler le manque d'information à l'échelle urbaine (ou supra-urbaine) nous avons adopté un ensemble de principes :

- Le principe de « distinction ». Ce principe a permis de séparer les paramètres « physico-urbanistique » des autres paramètres essentiellement de nature « décisionnelle ». Il a permis aussi d'avancer dans la production des connaissances autour de notre thème à l'échelle globale souhaitée, elle nous permet aussi de dégager des pistes de recherche afin de développer une discussion plus élaborée autour des paramètres « humains » et leur rôle dans la production des connaissances à l'échelle urbaine.

- Le principe « d'agrégation ». Ce principe est utilisé car il n'existe pas d'outils adaptés à la production de la connaissance (calcul du PPWS) à l'échelle urbaine. En effet l'agrégation des bâtiments en « classe-de-bâtiments » a pour objectif d'adapter l'outil de modélisation (simulation numérique) au calcul à une échelle plus grande que celle du bâtiment qui est l'échelle à laquelle l'outil a été créé.
- Le principe de « majoration ». Ce principe été utile à plusieurs reprises : dans le choix de la situation-type d'utilisation d'eau de pluie la plus favorisante en utilisation d'eau de pluie, dans l'utilisation du PCR dans le calcul du PPWS d'une échelle urbaine donnée lorsque l'enjeu de l'utilisation de l'eau de pluie se révèle mineur et dans le choix de la borne supérieure (le point « U3 ») de la zone « optimale » pour exprimer le PSU.
- Le principe de « hiérarchisation ». Ce principe permet de repérer les endroits où l'utilisation de l'eau de pluie constitue un enjeu important. Il est utile notamment dans la différenciation entre classes-de-bâtiments importantes et marginales, ainsi qu'entre classes-de-communes importantes et marginales. Comme il est utile aussi dans le renseignement des valeurs des variables nécessaires aux calculs du PSU des classes-de-communes.

La complexité de renseignement des variables nécessaires au calcul du PSU

Il convient de signaler que le renseignement des valeurs des variables nécessaires au calcul du PSU constitué un enjeu important par rapport à la méthode de changement d'échelles proposée. En effet, le manque d'informations, la rareté des données agrégées et leur adaptation est la difficulté majeure de notre méthode de changement d'échelles.

La stabilité du modèle à l'échelle urbaine

L'étude de comparaison entre le PSU de la méthode de référence et le PSU du bâtiment équivalent doit être particulièrement approfondie. Elle a pour objectif de vérifier la stabilité du modèle de calcul du PSU à une échelle urbaine donnée et donc de vérifier l'adaptabilité de ce modèle pour produire des connaissances à une échelle différente à celle du bâtiment. Cette dernière nécessite des compétences pointues en statistique et en programmation informatique, ainsi qu'un temps considérable que malheureusement nous ne possédons pas dans le cadre de cette thèse.

Partie III. Une première étude du système d'acteurs de la RUEP

Chapitre 7. Première approche méthodologique du système d'acteurs de la RUEP

Chapitre 8. Acteurs leviers et développement de la RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris

Chapitre 7. Première approche méthodologique du système d'acteurs de la RUEP.

Comme chaque jour, M. Durand, ouvre sa boite aux lettres pleine de prospectus (pizza à emporter, serrurerie 24/24, …), il s'apprête à les jeter, mais l'un d'entre eux attire son attention, c'est une brochure informative « Systèmes de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment » envoyée par sa mairie. M. Durand tourne les pages de cette brochure qui comporte un paragraphe dédié au principe de fonctionnement et puis un autre consacré aux aspects réglementaires. « Ah bon, il existe une réglementation sur l'utilisation de l'eau de pluie ?!» se dit-il, « je l'ignorais ». Il continue : « crédit d'impôt et aides financières » !, » je ne savais pas que cela existait », il en parle à son épouse, mais celle-ci est sceptique.

M. Durand prend son ordinateur, tape les mots « récupération et utilisation de l'eau de pluie d'un bâtiment » sur Google, il surfe un bon moment entre différents sites de divers fabricants et installateurs, il consulte aussi quelques forums créés par des particuliers et consacrés à cette pratique. Le lendemain, il téléphone à sa mairie pour en savoir plus sur les aides financières. Après une longue balade téléphonique entre les différents services (service d'urbanisme, service en charge du développement durable,…), il finit par être mis en relation avec l'agent qui s'occupe de ce dossier. Celui-ci lui confirme qu'il existe bien un crédit d'impôt qui rembourse 25% du montant du projet ainsi qu'une aide financière de la mairie d'un montant de 250 euros et, sur les aspects techniques, il lui conseille d'aller voir un bureau d'étude spécialisé afin de faire le bon choix.

Entre temps, M. Durand en parle avec un voisin (qui travaille comme agent territorial au conseil général) qui lui indique que le conseil général finance aussi ce type d'action. M. Durand reprend son téléphone et joint l'agent départemental en charge du dossier, lequel lui explique que l'aide du conseil général est d'un montant 100 euros. Malgré tout cela M. Durand ne se décide pas encore à installer un tel dispositif.

Il en parle de nouveau avec son épouse. Elle lui pose la question suivante : « mais pourquoi veux-tu te doter d'un tel dispositif ? Le réseau d'eau potable public fonctionne très bien et on n'a jamais eu de problème ». M. Durand lui répond : « Jusqu'à maintenant, non. Mais, tu te rappelles, l'été dernier, il y a eu un arrêté préfectoral de restriction sur la période d'arrosage du jardin et des potagers. Il se pourrait que cette année et les suivantes, la restriction soit encore plus sévère. Et puis, c'est bon pour l'environnement d'économiser l'eau potable. Tu trouves logique qu'on jette une eau d'une telle qualité dans les toilettes, ou dans le jardin ou encore pour laver nos voitures ! ». « Bon d'accord » répond-t-elle, « mais un tel dispositif coûte cher, j'imagine ? ». M. Durand l'admet : « certes, mais je me suis renseigné, il existe des aides (25% du coût du projet, 350 euros), et n'oublie pas qu'on va faire des économies sur notre facture d'eau potable ». Mme Durand ne répond rien. Mais leur fils intervient : « ah, le collège utilise ce dispositif depuis déjà un an pour arroser la pelouse et pour les toilettes ! C'est ce que nous a dit le proviseur lors d'un cours sur les actions environnementales menées par le collège ».

Encouragé par le silence de son épouse et par les propos de son fils, M. Durand prend rendez-vous avec un bureau d'étude afin de commencer la concrétisation de son projet. Le concepteur demande à M. Durand de lui apporter les plans de son permis de construire, ainsi que quelques renseignements supplémentaires sur la composition de sa

famille, les usages qu'il souhaite satisfaire par le nouveau dispositif, s'il a effectué des changements sur sa maison ou sur le reste du terrain depuis la construction... Il présente ensuite à M. Durand un graphique exprimant le volume de la cuve de stockage en fonction du taux de satisfaction des besoins recensés et il lui demande de choisir le volume de la cuve qu'il souhaite. Ce dernier ne comprend pas pourquoi c'est à lui de choisir et pourquoi l'ingénieur ne lui propose pas une cuve permettant de stocker toute la pluie qui tombe sur sa toiture. Ce dernier lui explique, à l'aide du graphique, que la cuve qui assure le stockage de toute la pluie qui tombe sur sa toiture est d'un volume gigantesque par rapport à son bâtiment (environ de 25 m^3). M. Durand demande : « alors sur quoi est-ce que je fonde mon choix ? ». L'ingénieur surligne un segment de la courbe qu'il présente comme étant une zone de bon compromis entre le volume de stockage et le taux de satisfaction des besoins recensés. M. Durand choisit alors un volume situé dans le centre de cette zone. Il confie l'étude au bureau d'étude et récupère bientôt le plan du dispositif (cuve et accessoires) à installer. M. Durand demande à l'ingénieur du bureau d'étude s'il peut lui conseiller une entreprise pour la réalisation, l'ingénieur répond qu'il n'en connait pas, mais qu'une entreprise de construction traditionnelle avec des compétences en plomberie devrait faire l'affaire.

M. Durand essaie de contacter plusieurs entreprises sans succès, soit parce que l'entreprise n'a pas une telle compétence (elle n'a jamais fait un tel projet), soit parce qu'elle ne veut pas engager sa responsabilité. M. Durand finit toutefois par trouver un artisan, le plombier qui a refait la robinetterie de la cuisine de son voisin (celui qui travaille au conseil général !).

Comme l'artisan ne possède pas d'outils et d'engins nécessaires pour creuser la fosse nécessaire à la mise en place de la cuve, M. Durand se retrouve à nouveau dans l'obligation de chercher une entreprise de terrassement afin d'effectuer cette tâche. Le jour où le creusement doit commencer, un problème apparaît : il faut enlever les deux arbres pour permettre la mise en place de la cuve souhaitée. Mme Durand ne veut pas en entendre parler ! Devant son opposition, M. Durand se résigne à réduire le volume de sa cuve et donc les dimensions de l'emplacement nécessaire à sa mise en place, ce qui permet de sauver les deux arbres. Les travaux avancent et M. Durand doit faire appel encore une fois à un autre professionnel, il s'agit cette fois de l'électricien, car le plombier ne sait pas comment installer la pompe et le tableau de contrôle électrique.

Lorsque l'installation est enfin achevée, M. Durand fait appel au technicien de la mairie qui doit contrôler le dispositif afin de valider le dossier d'aide financière. L'agent constate que la séparation entre le dispositif d'utilisation de l'eau de pluie et le réseau d'eau potable n'est pas conforme à la réglementation : il demande à M. Durand de refaire cette dernière, et comme le travail a été fait par un artisan, il n'y avait aucune garantie, alors M. Durand doit payer de nouveau pour reprendre les travaux.

Enfin, le dispositif fonctionne, l'eau de pluie est utilisée pour l'alimentation des chasses d'eau des toilettes, l'arrosage du jardin, le lavage des voitures et le lavage de la terrasse. Assez rapidement Mme Durand affiche son mécontentement, car la pompe fait un bruit énorme dès que quelqu'un tire la chasse d'eau des toilettes surtout la nuit, mais aussi car l'eau de pluie a une couleur étrange (« on a l'impression que c'est de l'eau sale ! », dit-elle une fois). Elle explique a son mari que leur neveu a failli boire du robinet du jardin car il n'est pas au courant qu'il s'agit de l'eau de pluie. Puis elle avoue à son mari qu'elle n'a jamais utilisé l'eau de pluie pour le lavage de la terrasse (elle est maniaque quand il s'agit du nettoyage !).

Quelques jours plus tard, elle vient réveiller son mari en s'insurgeant, « ce n'est pas possible ! La chasse d'eau des toilettes ne marche plus ». M. Durand constate alors que la cuve est à sec et que la bascule vers le réseau d'eau potable ne s'est pas effectuée. « Encore un défaut de réalisation » pense-t-il songeur.

M. Durand n'est pas au bout de ses surprises. Quand il reçoit son avis d'impôt, il découvre que le crédit d'impôt accordé ne concerne que le coût d'achat des équipements : ni le coût de la main d'œuvre, ni celui de l'étude technique ne sont pris en compte, détail qui avait échappé à son attention.

* * *

Un an plus tard, nous retrouvons M. Durand rentrant chez lui fatigué et sale. Il vient de consacrer son week-end au nettoyage de sa cuve : heureusement qu'il s'est fait aider par un voisin (pas celui qui travaille au conseil général, un autre). Lorsque Mme Durand ironise : « alors, tu n'étais pas plus tranquille avant ? » il répond fièrement : « sans doute, mais j'ai vérifié le compteur, nous avons utilisé 40 m^3 d'eau de pluie depuis l'installation du dispositif il y a environ 1 an, c'est 30% de notre consommation annuelle ». Et il ajoute : « le voisin a décidé d'installer un dispositif comme le nôtre, ça prouve que c'est une bonne idée, non ? ». Mme Durand ne répond rien.

Le soir M. Durand prend une calculatrice, un stylo et un cahier et se lance dans un long calcul, sa femme jette un coup d'œil et lui demande « Qu'est-ce que tu calcules là ? ». Sans même détourner son regard de la calculatrice, il répond : « je calcule la quantité d'eau qu'on pourrait économiser si tous les habitants de la communes décidaient de se doter d'un dispositif d'utilisation de l'eau de pluie comme nous » et puis il ajoute : «Alors là, c'est énorme !! ».

Le samedi matin suivant, il prend son petit déjeuner rapidement et s'apprête à sortir. Mme Durand lui demande « pourquoi t'es-tu levé aussi tôt ? ». Juste avant de fermer la porte, il lui répond « c'est aujourd'hui qu'on lance l'association qu'on a créée avec d'autres militants, l'association : un bâtiment - un dispositif d'utilisation d'eau de pluie».

7.1. Acteurs et systèmes[94] d'acteurs dans les processus de diffusion de la RUEP

Dans ce chapitre, en nous appuyant sur un ensemble d'observations recueillies au cours de notre recherche, nous allons proposer une première analyse du système d'acteurs associé à la RUEP : principaux protagonistes, nature des interactions entre eux, échelle(s) d'action et nature des actions conduites, « acteurs leviers » susceptibles de favoriser la diffusion des pratiques de RUEP.

L'histoire de M. Durand est une histoire parmi d'autres de conversion à la récupération des eaux de pluie. C'est une histoire fictive, mais qui s'appuie sur les connaissances recueillies tout au long de notre travail de recherche : retours d'expériences, bibliographies (nationale et internationale), enquêtes de terrain et entretiens. Elle illustre la complexité du *système d'acteurs* concerné par la diffusion de la RUEP en milieu urbain. Le décryptage d'histoires comme celle de M. Durand, sur la base d'un certain nombre de *notion*s, permet de mieux comprendre le rôle des différents acteurs, et des interactions entre ces acteurs, dans le *développement* et de la RUEP en milieu urbain.

Le tableau suivant recense les éléments significatifs de l'histoire de M. Durand qui ont trait au système d'acteurs (éléments soulignés dans le récit) et détaille les sources sur lesquelles ils s'appuient. D'autres éléments du récit auraient pu être étayés de la même manière, mais nous les avons considérés comme secondaires.

[94] Pour le mot « système », nous adoptons la définition de J. de Rosnay « un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but » [de Rosnay 1977].

Eléments de l'histoire de M. Durand	Eléments d'appui (retours d'expériences, littératures, enquêtes)
brochure informative « Systèmes de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment »	De nombreuses collectivités locales ont distribué des brochures informatives auprès de leurs habitants (région Poitou-Charentes, marie d'Aix les Bains,…)
Ordinateur…fabricants et installateurs …forums	Dans l'étude menée par le C.I.Eau 12% des français ont déclaré utiliser l'internet comme source d'informations sur l'eau **[Baromètre C.I.Eau 2009]**
aides financières…crédit d'impôt	L'Etat a mis en place un crédit d'impôts spécifique à l'utilisation de l'eau de pluie (Le crédit d'impôts est adossé à l'article 200 quater du Code Général des Impôts). Aussi certaines collectivités territoriales mettent en place des aides financières afin d'inciter leurs habitants à adopter d'un dispositif de RUEP **[de Bellaing et al. 2009].**
de restriction sur la période d'arrosage du jardin et des potagers	En Mai 2011 le préfet de la région Daniel Canepa a décidé d'activer les mesures de restriction liées au seuil de vigilance. Concrètement, les Franciliens, entreprises, particuliers et collectivités locales, doivent jusqu'à nouvel ordre "réduire les utilisations de l'eau qui ne sont pas indispensables", comme le nettoyage de la voiture, le remplissage des piscines, voire l'arrosage des plantes. **Journal Métro Paris, lundi 30 mai 2011.**
c'est bien pour l'environnement d'économiser l'eau potable	Une enquête effectuée par T. Moulin auprès de 595 personnes. Plus de 78% ont répondu qu'elles ont installé ou vont installer un dispositif de RUEP pour des raisons environnementales (préservation de la ressource) **[Moulin 2011]**.
Son fils intervient à ce moment en disant « ah, le collège, utilise ce dispositif depuis déjà un an	les établissements scolaires (collèges et lycées surtout) étaient repérés dés 2004 comme une cible privilégiée des dispositifs RUEP **[de Gouvello et Khouil 2004]**.
il demande à M. Durand quelques renseignements de plus (la composition de sa famille, les usages qu'il souhaite satisfaire par le nouveau dispositif,…	Il s'agit des données nécessaires pour calculer le volume de la cuve de stockage (cf. 2.2.4)
M. Durand essaie de contacter plusieurs entreprises sans succès, soit car l'entreprise n'a pas une telle compétence (elle n'a jamais fait un tel projet), soit elle ne veut pas engager sa responsabilité	Certains maitres d'ouvrage ont évoqué la difficulté de trouver des entreprises compétentes dans le domaine. Par exemple pour le cas de Chevaigné certains propriétaires n'ont pas pu installer leurs cuves à cause de cette difficulté **[de Gouvello et Noeuvéglise 2007].**
une entreprise de terrassement…artisan….	Le développement de la pratique de RUEP nécessite une organisation d'une vraie filière à l'image de celle de la construction **[Roaf 2006]**
L'agent constate que la disconnexion entre le dispositif d'utilisation de l'eau de pluie et le réseau d'eau potable	La réglementation française interdit toute connexion entre l'eau potable du réseau public et celle du dispositif de RUEP. disconnexion par surverse totale (type AA) ou par surverse totale avec trop-plein (type AB) **[Arrêté 2008, plaquette 2009]**. Néanmoins, des retours d'expériences ont monté qu'une telle solution n'est pas toujours mise en œuvre.
la pompe fait un bruit énorme dès que quelqu'un tire la chasse d'eau des toilettes surtout la nuit… M. Durand constate alors que la cuve est à sec et la bascule vers l'appoint de l'eau potable ne s'est pas effectuée…	Des retours d'expériences montrent des difficultés dans le fonctionnement des dispositifs qui peuvent affecter parfois la motivation des usagers **[de Gouvello et Noeuvéglise 2007]**
Il vient de consacrer son week-end au nettoyage de sa cuve	L'arrêté du 21 aout 2008 exige l'entretien du dispositif de RUEP (article 4 de l'arrêt) : il peut être réalisé par l'usager lui-même soit par un prestataire à **[Arrêté 2008].**
c'est aujourd'hui, le lancement de l'association que j'ai créée avec d'autres militants, l'association : un bâtiment - un dispositif d'utilisation d'eau de pluie	Dans le cadre d'une enquête effectuée dans la cadre du projet SR-util sur le comportement d'arrosage des particuliers, toutes les personnes interrogées et qui sont déjà dotées d'un dispositif de RUEP déclarent qu'elles sont impliquées dans d'autres actions en faveur de l'environnement **[Nimes et al. 2011]**

Tableau 45. Eléments étayant l'anecdote.

Nous constatons que les décisions successives de M. Durand sont influencées par des facteurs très divers : l'opinion de sa femme, la réglementation et les incitations financières, les expériences pilotent menées dans sa commune, etc. Une étude plus systématique de ces facteurs permet d'appréhender de manière plus générale le rôle du système d'acteurs dans la diffusion de la RUEP.

Il convient de rappeler que dans notre travail nous sommes toujours face à deux niveaux :

- le niveau élémentaire (bâtiment) qui constitue l'échelle de la mise en œuvre du dispositif de RUEP, on parle ici de *dispositif isolé* (similaire à celui évoqué dans l'histoire de M. Durand),
- le niveau urbain qui constitue le but de ce travail, on parle ici de la RUEP comme un *dispositif urbain*.

Nous distinguons par conséquent deux types d'analyse. Une analyse concerne le facteur humain lié au dispositif isolé : elle considère les acteurs qui interviennent ou qui sont concernés par le dispositif de RUEP comme *phénomène local*. La seconde analyse traite le facteur humain du dispositif urbain, il s'agit d'analyser l'ensemble des acteurs dans leur *contexte urbain*.

Avant de procéder à ces analyses, il convient de définir ces deux concepts : le dispositif isolé et le dispositif urbain.

Dispositif isolé de RUEP : Cette expression désigne une installation de RUEP liée à un bâtiment donné. Il s'agit de l'ensemble des équipements et des composants techniques qui remplissent la fonction « utilisation de l'eau de pluie » à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment. Certaines parties (surface de récupération, gouttière,…) font aussi partie de ce concept. Dans ce chapitre, nous analyserons le système d'acteurs qui interagit autour et à propos de ces dispositifs, en nous efforçant de monter en généralité par rapport à l'histoire de M. Durand en variant les cas de figure (la nature du bâtiment, le type du dispositif de RUEP…).

Dispositif urbain de RUEP : il s'agit d'une vision plus globale de l'ensemble des dispositifs de RUEP ramenés à une échelle urbaine donnée, nous parlons ici de la RUEP comme *phénomène urbain*. Afin de mieux comprendre ce concept, indiquons-en les caractéristiques distinctives.

Quand on évoque la RUEP à l'échelle urbaine nous pensons à un *ensemble des dispositifs isolés* avec un *niveau d'élaboration variable* qui peut être une simple cuve placée en dessous de la gouttière ou une installation plus compliquée reposant sur le recours à un double réseau et à des matériaux relativement sophistiqués (Cf. chapitre1). Nous notons aussi que la RUEP à l'échelle urbaine ne répond en général à *aucune logique territoriale*, mais prend la forme d'un ensemble de dispositifs dispersés de manière a priori aléatoire. Des exceptions existent cependant, comme certains projets d'éco-quartiers dont les dispositifs sont présents systématiquement dans l'ensemble des bâtiments du quartier ou encore dans certains projets expérimentaux, comme à Champigny où la municipalité a distribué des cuves de stockage de l'eau de pluie à certains habitants afin de limiter le risque d'inondation dans le quartier [Deroubaix et Petrucci 2009].

7.2. Analyse du système d'acteurs du domaine RUEP

7.2.1. La multitude des acteurs

L'histoire de M. Durand illustre la mobilisation de divers acteurs dans le processus d'installation d'un système de RUEP. En l'occurrence, il s'agit de : M. Durand, sa famille, le plombier, la

municipalité, le département, l'état, le bureau d'études, les voisins, le vendeur et l'association environnementale.

Deux rapides constats peuvent être faits à partir de cet exemple. Le premier concerne le nombre important des acteurs qui entourent le dispositif dans tout son cycle de vie (idée, projet…). Le second concerne leur mode d'intervention, on peut distinguer à cet égard les actions sur le dispositif lui-même (M. Durand, plombier,…) et les actions qui participent d'une manière ou d'une autre au processus sans toutefois affecter directement le dispositif technique (Etat, département,…).

Dans une étude urbaine plus élaborée, de Gouvello et Noeuvéglise ont déterminé les acteurs qui participent dans l'adoption du dispositif de RUEP, en y analysant un ensemble de projets et de retours d'expériences, ils ont relevé comme acteurs : *le maitre d'ouvrage, le propriétaire, le maitre d'œuvre, l'entreprise de réalisation, le contrôleur, les usagers, le gestionnaire du dispositif, la subvention et l'entreprise d'entretien,* [de Gouvello et Noeuvéglise 2007].

De son côté Roaf a listé un certain nombre d'acteurs de la RUEP dans son étude urbaine des obstacles qui empêchent le développement massif de ces dispositifs, il a relevé comme acteurs : le *propriétaire, les pouvoirs publics,* les *sociétés de l'eau potable, les urbanistes, les vendeurs,* les *associations, les usagers et la communauté scientifique* [Roaf 2006].

Notons que ces inventaires ne sont en aucun cas exhaustifs, il s'agit seulement des principaux acteurs concernés par la RUEP dans sa dimension urbaine (phénomène urbain). Nous résumons ces derniers dans le tableau suivant :

Références	**Acteur**	**Exemple**
1. Acteurs repérés par de Gouvello [de Gouvello et Noeuvéglise 2007]	Maitre d'ouvrage	Mairie
	Maitre d'œuvre	Bureau d'étude
	Entreprise de réalisation	Entreprise BTP
	Entreprise d'entretien	Plombier
	Service Contrôleur	Mairie
	Gestionnaire du dispositif	Gardien de l'immeuble
	Vendeurs	Magasin de bricolage
2. Acteur repérés conjointement par les deux auteurs.	Propriétaire	Particulier
	Usagers	Occupants du bâtiment
3. Acteurs repérés par Roaf [Roaf 2006]	Pouvoirs publics	Etat
	Urbanistes	Service d'urbanisme municipal
	Compagnies d'eau	SEDIF
	Gestionnaires des réseaux	Service d'assainissement départemental
	Associations	HQE
	Communauté scientifique	Chercheurs LEESU

Tableau 46. L'ensemble des acteurs de la RUEP repérés à l'échelle urbaine. Source : [de Gouvello et Noeuvéglise 2007, Roaf 2006]

Les deux précédents constats (constats relevés en se basant sur l'anecdote) restent ainsi valables quand on étudie les dispositifs à l'échelle urbaine. D'une part, nous constatons une multitude d'acteurs intervenant à cette échelle (une vingtaine repérés. cf. tableau plus haut). D'autre part, nous observons une distinction entre des acteurs qui interviennent sur le dispositif lui-même; il s'agit des acteurs 1 et 2 du tableau précédent, et des acteurs qui interviennent mais de loin, il s'agit des acteurs 3 du même tableau.

L'emplacement et le nombre de ces acteurs peuvent varier en fonction du dispositif isolé. Par exemple, la municipalité peut être parmi les acteurs qui interviennent sur dispositif lui-même, lorsqu'il s'agit de ses propres bâtiments ou lorsqu'elle joue le rôle du lotisseur. Ce même acteur peut être parmi les acteurs qui interviennent via un autre acteur (propriétaire) lorsqu'il s'agit d'une action incitative ou d'une aide financière.

7.2.2. La variabilité des actions menées

Au niveau du dispositif isolé, toujours en nous appuyant sur l'histoire de M. Durand, nous pouvons relever la grande variabilité des actions menées par les acteurs intervenants dans le cycle de vie du dispositif de RUEP. Ces actions influencent et transforment le dispositif, par exemple, l'avancement des travaux de sa mise en place ou encore le changement de ses dimensions.

Pour illustrer nos propos, voici quelques exemples de la variabilité des actions menées par les acteurs intervenants. La municipalité mène une action double : à travers la « brochure informative » envoyée à M. Durand, elle produit un « *changement dans la connaissance* » du propriétaire du bâtiment (M. Durand), car celui-ci ignorait jusqu'alors l'existence de ces dispositifs et de la pratique de RUEP, et elle participe au « *financement* » à l'aide du mécanisme d'incitation mis en place en faveur des habitants de la commune. De son côté M. Durand mène plusieurs actions en jouant plusieurs rôles. Tout d'abord, en tant que propriétaire du bâtiment, il mène une action de « *prise de décision* » en dotant son bâtiment de ce dispositif. Ensuite, il est maître d'ouvrage dans la phase « projet » *(la programmation, suivi des travaux de la mise en service, …).* Enfin, en tant que chargé d'entretien du dispositif, il mène une action de « *de maintenance et d'entretien* ». Les pouvoirs publics (la municipalité, le département et l'état) ont aussi mené plusieurs actions (*d'aide financière, contrôle,…*).

Au niveau urbain, nous nous appuyons sur le domaine de la construction, considéré comme le plus proche de la RUEP surtout dans la phase « mise en place » [Belmeziti et de Gouvello 2010 (b)] mais aussi sur nos propres connaissances pour définir la nature des actions qui peuvent être menées par les acteurs de la RUEP.

- *Prise de la décision d'installation*. Il s'agit de l'action la plus importante (nous reviendrons sur elle dans le chapitre suivant) dans le processus d'équipement, elle revient au propriétaire du bâtiment, car il est aussi le propriétaire de l'eau de pluie qui tombe sur son toit.
- *Elaboration du programme*. Cette action consiste à traduire la décision du propriétaire de « adopter d'un dispositif de RUEP » en un programme théorique qui précise l'objectif visé par le propriétaire et qu'il souhaite concrétiser. Ce type d'action relève du propriétaire ou à de son maitre d'ouvrage.
- *Conception*. Cette action consiste à traduire le programme du propriétaire (maître de l'ouvrage) en documents graphiques et écrits qui seront ensuite exécutés sur le terrain. Cette action revient au maître d'œuvre (bureau d'études).
- *Exécution des travaux*. Dans cette action, il convient de transformer les documents de la conception en travaux concrets du terrain (terrassement, mise en place de la cuve, …). Cette action est une compétence d'une ou de plusieurs entreprises (terrassement, plomberie,…).
- *Contrôle des travaux*. Il vérifie la conformité des travaux exécutés avec les normes et les règles de l'art. C'est une action qui revient à la municipalité à travers son service technique.
- *Entretien*. Il s'agit du nettoyage de la cuve de stockage et de la vérification du bon fonctionnement (remplacement et/ou réparation) des restes des composants technique du dispositif.

Ces actions ne sont pas exhaustives, d'autres peuvent être relevées (gestion du dispositif, consommation du produit,…). Cependant, nous relevons aussi certaines actions qui proviennent d'acteurs qui n'interviennent pas forcément sur le dispositif-même, voici quelques exemples :

- *Incitation*. Il s'agit d'essayer de mobiliser les propriétaires des bâtiments afin d'adopter un tel dispositif. Cette action peut prendre plusieurs formes (financières, informatives, …) et elle est conduite généralement par les pouvoirs publics et les collectivités locales.
- *Production de la connaissance*. Cette action consiste à avancer la recherche sous ses diverses formes (technologique, urbaine, sociale,…) au service du développement de cette pratique. La communauté scientifique se charge de ce type d'action.

7.2.3. La diversité des échelles d'intervention

En ce qui concerne l'échelle d'intervention, les acteurs repérés peuvent mener leurs actions à différentes échelles urbaines et différents niveaux territoriaux. Ainsi, M. Durand ne peut mener ses actions (prise de la décision, élaboration du programme,…) qu'à l'échelle de son *bâtiment*. En revanche, l'artisan (plombier) peut mener ses actions à un niveau plus grand que celui du bâtiment de M. Durand, il est susceptible d'intervenir sur un *ensemble de bâtiments* dans un périmètre plus ou moins important (municipal, régional, …). La municipalité de son côté mène ses actions à l'échelle de toute la *commune,* elle subventionne les dispositifs de tous les particuliers de la commune. Comme elle peut agir que sur une partie de son territoire. Par exemple, elle promeut la RUEP dans une ZAC[95] nouvelle, et pas sur le reste du territoire communal.

Les actions des acteurs de la RUEP sont menées à diverses échelles, car les porteurs (acteurs) de ces actions ne se situent pas au même niveau urbain. De ce point de vue, les acteurs peuvent être classés en trois types. Le premier type comporte les acteurs qui agissent à l'échelle d'un *bâtiment spécifique* (ou sur plusieurs bâtiments, mais qui sont bien localisés) : propriétaire, usager, gestionnaire du dispositif. Le second type comporte les acteurs qui peuvent intervenir sur un certain nombre de *bâtiments dispersés* (non localisés) à plusieurs échelles, leur intervention est liée à une interaction avec le maître de l'ouvrage et à sa demande : maître d'œuvre, entreprise de réalisation, entreprise d'entretien, vendeurs. Enfin, le dernier type comporte les acteurs qui agissent sur une *échelle urbaine* (ou territoriale) spécifique (commune, agglomération,…) qui constitue généralement leur périmètre administratif ou d'action juridique : pouvoirs publics, urbanistes, compagnies d'eau, gestionnaires des réseaux, associations.

Reste un acteur spécifique, le chercheur (la communauté scientifique) qui vise la production de connaissances en soi et pour éclairer les acteurs (notamment les acteurs publics), mais qui ne poursuit pas un objectif spécifique en termes de diffusion des dispositifs de RUEP[96].

[95] ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

[96] Dans certains cas le chercheur opte pour un objectif ponctuel comme le cas du contrat « recherche-action » par exemple.

Echelle d'intervention	Acteurs concernés
Bâtiment isolé	Propriétaire individuel, usagers et gestionnaire du dispositif.
Ensemble des bâtiments dispersés [97]	Multi-propriétaire[98], Maitre d'œuvre, entreprise de réalisation, entreprise d'entretien et vendeurs.
Urbaine (commune, agglomération,…)	Pouvoirs publics, urbanistes, compagnies d'eau, gestionnaire des réseaux, associations.

Tableau 47. Diverses échelles d'intervention pour les acteurs de la RUEP.

Ces éléments (multitude d'acteurs impliqués, actions de nature variables et diverses échelles d'intervention) montrent que le facteur humain forme un *système d'acteurs complexe* par rapport aux deux niveaux précédents (dispositif isolé et dispositif urbain). On observe en fait deux niveaux d'organisation distincts : un premier niveau lié au système d'acteurs relatif à un dispositif isolé de RUEP, un deuxième niveau lié au système d'acteurs considéré dans son contexte urbain, qui se superpose au précédent.

Dans la suite de ce document nous nous focalisons sur le dispositif urbain en proposant une première étude exploratoire du système d'acteurs associé, tout en restant conscient que la complexité du système d'acteurs d'un dispositif isolé mériterait une étude en soi.

J. de Rosnay exprime la complexité par un ensemble de notions « à la notion de complexité s'attache donc celle de variété des éléments et des interactions, de non-linéarité des interactions … ». Nous considérons alors le système d'acteurs du domaine de la RUEP comme complexe, il contient en effet une *grande variété d'acteurs* (cf. § 7.2.1.) qui sont organisés sur plusieurs *niveaux hiérarchiques* (de l'individu jusqu'à l'état et même au-delà de ce niveau), mais aussi ils (les acteurs) ont *des liaisons et des actions variables* (par exemple, la municipalité peut avoir *plusieurs formes de liens* avec le propriétaire du dispositif : aide financière, contrôle, …). Enfin, les interactions entre ces acteurs ne sont pas de type linéaire (par exemple, une aide financière de la part de l'acteur « pouvoirs publics » ne conduit pas nécessairement au même résultat, certains propriétaires se dotent, d'autres non).

Afin d'appréhender cette complexité, J. de Rosnay propose deux approches : l'approche analytique et l'approche systémique. Il explique que *l'approche analytique* consiste à décomposer le système en ses éléments élémentaires, qui sont ensuite étudiés en détail, afin de comprendre les interactions qui existent entre eux. Cette approche est efficace généralement dans l'étude des systèmes complexes, mais homogènes, c'est-à-dire qui comportent des éléments simples et semblables avec une interaction faible entre eux.

[97] Cela correspond à un certain nombre de bâtiments qui peuvent être dispersés sur différentes les échelles
[98] Il s'agit d'un propriétaire qui possède un nombre important de bâtiments. Par exemple : gestionnaire des patrimoines, office HLM,…

Pour les systèmes hautement complexes, caractérisés par des interactions fortes et variables entre les différents éléments, de Rosnay propose une autre approche nommé *approche systémique*. Cette dernière est différente de l'approche analytique ou cartésienne, elle vise à étudier le système dans sa globalité en s'intéressant particulièrement aux interactions entre ses éléments. « A la différence de l'approche analytique, l'approche systémique englobe la totalité des éléments du système étudié, ainsi que leurs interactions et leurs interdépendances » [de Rosnay 1977]. On note aussi que les deux démarches sont complémentaires, car la démarche de la pensée et de la compréhension sont à la fois analytique et synthétique, détaillante et englobante [Cambien et al. 2007].

Dès lors, il nous semble pertinent de recourir à l'approche systémique afin d'étudier la double complexité de notre système d'acteurs en définissant les relations et les interactions qui existent entre les acteurs du système.

Malheureusement, à ce stade d'avancement du travail, nous ne possédons ni le temps ni les moyens nécessaires pour faire une étude approfondie sur ce système d'acteurs à l'aide d'une approche systémique. A cet effet, nous avons choisi d'examiner une catégorie spécifique d'acteurs parmi l'ensemble qui composent le système, il s'agit des *acteurs leviers* de la RUEP. Le choix de cette catégorie particulière n'est pas aléatoire : il est fondé sur le fait que l'objectif principal de ce travail consiste à étudier le développement de la RUEP, et les acteurs leviers sont le premier déclencheur d'un tel effet (le développement).

7.3. Acteurs leviers et développement de la RUEP

Dans cette section, nous proposons la notion *acteur levier* qui semble pertinente pour analyser le processus de développement de la RUEP à une échelle urbaine donnée. Mais, avant cela, il convient de replacer les acteurs du domaine dans leur environnement d'action.

7.3.1. Acteurs directement impliqués et acteurs de l'environnement pertinent

L'analyse du système d'acteurs montre que tous les acteurs n'ont pas le même statut vis-à-vis de la pratique de RUEP. Et ce point important est confirmé par la littérature. On peut distinguer au moins deux types d'acteurs :

- La majorité de ceux recensés par de Gouvello et Noeuvéglise (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise de réalisation, usager, entreprise d'entretien) sont des acteurs qui interviennent *directement* dans l'une des phases de vie du dispositif de RUEP. Ces acteurs sont en contact direct avec le dispositif d'une manière ou d'une autre. Par exemple, le maître d'ouvrage est en contact avec le dispositif, car la décision de

l'installation lui revient, dans le même sens, l'entreprise de réalisation est aussi en contact direct avec le dispositif dans la mesure où elle réalise les travaux d'installation.

On trouve une similitude avec les acteurs du « dispositif institutionnel » évoqués par de Gouvello dans son ouvrage « les services d'eau et d'assainissement à l'heure néolibérale », il s'agit de « l'ensemble organisé des acteurs juridiquement impliqués dans la gestion des services ». Il convient de noter que dans ce cas, l'objet d'étude (réseau d'eau et d'assainissement en Argentine) est un projet territorialisé[99] avec un système d'acteurs qui s'inscrit dans un cadre juridique bien défini.

A l'opposé, notre objet d'étude (la RUEP) se distingue par son caractère local[100] où il ne concerne que le bâtiment auquel il est rattaché, avec un système d'acteurs qui se réfère en partie aux règles de l'art prévalant dans le domaine de la construction.

- En revanche, la majorité des acteurs évoqués par Roaf (pouvoirs publics, compagnies d'eau, associations, chercheurs) sont des acteurs qui n'interviennent pas directement dans le processus de mise en œuvre d'un dispositif de RUEP. Leur rôle consiste plutôt à orienter (ou influer sur) les actions d'autres acteurs. Le lien avec le dispositif est alors indirect : il passe par des acteurs tiers. Par exemple, les associations environnementales ont un rôle de sensibilisation auprès des propriétaires des bâtiments, mais elles n'exercent pas d'action directe sur le cycle de vie du dispositif.

  Il s'agit des *acteurs de l'environnement pertinent* évoqués par Crozier et Friedberg pour désigner « l'ensemble des acteurs qui, bien que ne participant au dispositif institutionnel[101], exercent une influence de facto sur son émergence, fonctionnement ou évolution. Seront précisés ces acteurs, leur nature et fonctions, ainsi que le rôle indirect joué sur le dispositif institutionnel » [Crozier et Friedberg 1992].

[99] Un projet du réseau d'eau et d'assainissement concerne la ville ou au moins une partie de la ville.
[100] Un projet de RUEP peut être toutefois territorialisé, comme dans le cas de Champigny où la municipalité a décidé de donner gratuitement les cuves de RUEP aux habitants d'un de ses quartiers) [Deroubaix et Petrucci 2009], mais ce type d'action reste quand même très marginale.
[101] Dans notre cas il s'agit du dispositif isolé.

Catégorie d'acteurs	Acteur
Acteurs directement impliqués « acteurs agissent *directement* sur le dispositif technique – en contact direct avec le dispositif- »	Maitre d'ouvrage
	Propriétaire
	Maitre d'œuvre
	Entreprise de réalisation
	Entreprise d'entretien
	Service Contrôleur
	Usagers
	Gestionnaire du dispositif
	Vendeurs
Acteurs de l'environnement pertinent « acteurs qui agissent *indirectement* sur le dispositif technique, en exerçant une influence sur les acteurs directement impliqués »	Pouvoirs publics
	Urbanistes
	Compagnies d'eau
	Gestionnaires des réseaux
	Associations
	Communauté scientifique

Tableau 48. La distinction entre acteurs directs et acteurs de l'environnement pertinent

7.3.2. Acteurs leviers de la RUEP

Bien que tous les acteurs de la RUEP participent d'une façon ou d'une autre à son développement, certains d'entre eux peuvent avoir un effet de *levier* grâce à cette participation. D. Autissier et X. Moutot dans leur ouvrage *Pratiques de la conduite du changement : Comment passer du discours à l'action* ont défini deux caractéristiques principales pour être considérées comme levier au sein d'une entreprise :

- disposer de la capacité de mener une action *d'influence*,
- que cette action d'influence ait une *ampleur* conduisant à un changement considérable [Autissier et Moutot 2003].

Dans notre cas, nous entendons par *acteur levier* du système d'acteur de la RUEP, un acteur qui peut susciter ou conduire une ou plusieurs *actions collectives (ampleur)* pouvant *influencer* sur le développement de la RUEP.

Afin d'identifier ces acteurs leviers, nous croisons les acteurs identifiés dans le Tableau 47 et les deux principales caractéristiques de l'action « levier » repérées plus haut (influence et ampleur). Grâce à ce croisement trois acteurs sont apparus comme leviers :

- *Multi-propriétaire.* Grâce à son action « prise de décision », il peut décider d'installer un dispositif de RUEP. Pour pouvoir prétendre au statut d'acteur levier, cet acteur doit cependant être capable d'agir sur une échelle plus large qu'un bâtiment. Son action doit être considérée comme une action collective et non comme une action individuelle isolée.

- *Pouvoirs publics.* Grâce à son rôle polyvalent et ses diverses actions « incitation, réglementation, … » ils peuvent inciter les propriétaires à « prendre la décision » d'opter pour un tel dispositif.
- *Associations environnementales.* Grâce à leurs actions de sensibilisation et d'information elles peuvent mobiliser les propriétaires vers une adoption des dispositifs de RUEP.

Les autres acteurs sont considérés comme non leviers, car soient ils ne peuvent pas mener leurs actions au niveau d'une échelle au-delà d'un seul bâtiment (propriétaire individuel, usager,…), soit ils ne possèdent pas de moyens d'influence (entreprise de réalisation, gestionnaire des réseaux,…).

7.3.2.1. Acteur « levier direct »

Seul l'acteur « multi-propriétaire » peut effectuer une action de type « prise de décision » conduisant à un effet de levier. Les actions des deux autres acteurs recensés ci-dessus (pouvoirs publics, associations environnementales) sont d'ailleurs principalement orientées vers cet acteur.

Par ailleurs, la prise de décision commence par une *intention particulière* du propriétaire au regard de cette pratique. Cette intention peut prendre plusieurs formes, nous listons ci-après quelques exemples :

- *La prise de connaissances* : le propriétaire ignore l'existence de tel dispositif. Un changement de cette situation peut être provoqué par plusieurs raisons : publicité, retour d'expérience, journal,…
- *L'effet d'incitation* : le propriétaire s'intéresse au dispositif de RUEP sous l'effet d'un ou plusieurs mécanismes d'incitation (aide financière, avantage fiscal,…).
- *L'attrait d'un label* : le propriétaire s'intéresser à un tel dispositif, car il fait partie d'un label environnemental recherché (HQE, Habitat et Environnement,…).
- *Militance environnementale*. Le propriétaire s'intéresse au dispositif de RUEP car il est sensible au développement durable et à la préservation des ressources naturelles dont l'eau fait partie.

7.3.2.2. Acteur « levier indirect »

Un acteur « levier indirect » est un acteur qui participe indirectement au développement de la pratique de RUEP. Les acteurs : pouvoirs publics et associations environnementales sont considérés comme « *leviers indirects* », bien que nous ayons la conscience que l'ensemble des acteurs du système participent d'une manière ou d'une autre à ce développement. Ces deux acteurs sont considérés comme leviers indirects, d'une part à cause de leurs influences sur le propriétaire grâce à

un certain nombre d'actions (sensibilisation, incitation, réglementation, production des connaissances,…), et d'autre part à cause de l'ampleur de ces actions qui peuvent toucher des échelles urbaines larges (le crédit d'impôt est une action nationale des pouvoirs publics).

7.4. Conclusion : les acteurs leviers pour étudier la complexité

La complexité du système d'acteurs de la RUEP se manifeste par les trois aspects : la multitude des acteurs impliqués, la variabilité des actions qu'ils mènent et la diversité de leurs échelles d'intervention.

L'étude de ce système montre que :

- L'acteur *propriétaire* est le seul acteur capable de *prendre la décision* de doter le bâtiment d'un dispositif de RUEP.
- Les acteurs de la RUEP se divisent en deux catégories : ceux qui interviennent directement sur le dispositif (*acteurs directs*) et ceux qui influencent indirectement (*acteurs de l'environnement pertinent*).
- Certains parmi ces acteurs peuvent être considérés comme des acteurs *leviers* pour le développement de la RUEP compte tenu du caractère collectif de leur *action* et de leur *large échelle d'intervention.*
- Dans ce sens, le multi-propriétaire est considéré comme *levier direct* grâce à son action « prise de la décision ».
- Les acteurs pouvoirs publics et associations environnementales sont susceptibles d'être des *leviers indirects* au développement de la RUEP grâce à la nature de leurs actions « incitation, sensibilisation,… » auprès des propriétaires de bâtiments.

L'analyse décrite dans ce chapitre nous amène à nous intéresser à quelques questions qui servent à faire avancer notre raisonnement, à savoir :

- Quel acteur est privilégié pour produire l'effet de levier ?
- Quelles actions sont privilégiées pour produire l'effet de levier ?
- Est-ce-qu'une action conduit toujours à un effet de levier ?
- Quelle est l'échelle la plus adaptée pour mener une telle action ?

Nous en examinons quelques-unes dans le chapitre suivant, en nous appuyant sur l'agglomération de Paris comme cas d'étude pour illustrer nos propos.

Chapitre 8. Acteurs leviers et développement de la RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris

Ce dernier chapitre met en application les notions proposées dans le chapitre précédent. Le but est d'analyser les systèmes d'acteurs de la pratique de RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris.

Nous examinerons le système d'acteurs de certaines classes-de-bâtiments qui ont déjà été identifiées comme importantes dans la partie précédente. La nature des principaux acteurs et leur capacité à produire un effet de levier dans le développement de la RUEP seront alors détaillés.

Nous verrons ensuite que la réalité du développement de la RUEP constatée aujourd'hui est en décalage par rapport au potentiel étudié dans cette thèse. Cela nous amènera à conclure ce chapitre en mettant en évidence certains obstacles qui empêchent un développement massif des dispositifs de RUEP dans le contexte actuel.

8.1. L'enjeu quantitatif de la RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris

Nous avons vu dans la partie précédente (partie II) qu'il y a deux classes-de-bâtiments dominantes du point du potentiel « PPWS » à l'échelle de l'agglomération de Paris. La classe-de-bâtiments « habitat individuel » représente plus de 44% du PPWS de l'agglomération et la classe-de-bâtiments « habitat collectif » représente plus de 20% de ce même indicateur. Tandis que, les 11 autres classes-de-bâtiments ne représentent conjointement que 36% du PPWS de l'agglomération (la plus grande participation revenant à la classe « bureau » : environ 4%).

Nous utilisons le principe méthodologique « hiérarchisation » (cf. introduction de la partie II) pour affirmer que l'enjeu majeur en termes quantitatifs réside dans les deux classes-de-bâtiments précédentes (habitat individuel et habitat collectif).

Les systèmes d'acteurs associés à ces deux classes-de-bâtiments feront donc l'objet d'une étude plus approfondie à l'échelle de l'agglomération de Paris.

8.2. Système d'acteurs de l'habitat individuel

Il convient d'expliquer que le rôle des acteurs de la RUEP et les interactions entre ces acteurs dans un bâtiment donné est variable selon la nature du bâtiment, sa complexité et son mode de gestion. Par exemple, un bâtiment, dont le propriétaire est aussi l'occupant et le gestionnaire n'est pas semblable, du point de vue de la mise en œuvre de la RUEP, à un bâtiment occupé par un locataire et géré par un tiers.

8.2.1. Acteurs de l'habitat individuel

Une étude de l'IAU-IDF sur les bâtiments individuels en Ile-de-France précise l'importance relative de quatre types de propriétaires [Dugeny et al. 2009] :

- Propriétaire-occupant. Il s'agit d'une personne physique individuelle, il occupe son bâtiment de manière permanente.
- Propriétaire-social. Il s'agit d'une personne morale de nature publique (offices HLM).
- Propriétaire-privé. Il s'agit d'une personne morale et de nature privée (entreprises privées).
- Propriétaire-prêteur. Il s'agit d'une personne physique et individuelle qui prête son bâtiment (gratuitement).

Acteurs de la RUEP	Propriétaire-occupant	Propriétaire-social	Propriétaire-privé	Propriétaire-prêteur
% de la population ?	86,6%	4,7%	7,9%	0,8%
Nombre de logements	1 106 679	60 100	101 019	40 919
Nature de propriétaires	physique/ individuel	moral/ public	moral/ privé	physique/ individuel

Tableau 49. Principaux acteurs de l'habitat individuel de l'agglomération de Paris. Source [Dugeny et al. 2009]

La majorité (environ 87%) des acteurs de « l'habitat individuel » sont des propriétaires-occupants de nature « physique-individuel » où chaque propriétaire occupe son bâtiment.

Pour ce type d'acteur, se doter d'un dispositif de RUEP est une *décision individuelle* qui n'a aucune influence sur les autres bâtiments. D'après la définition de l'acteur levier donnée dans le chapitre précédent (cf. 7.3.2), le propriétaire-occupant d'un bâtiment individuel ne pourra pas être levier en soi, car sa décision est individuelle : elle ne concerne qu'un seul bâtiment (celui qu'il possède et occupe).

Néanmoins, ce type d'acteurs détient presque la moitié (44%) du potentiel (PPWS) de l'agglomération de Paris et leur mobilisation peut garantir un développement intéressant et à une large échelle. Une telle mobilisation implique l'intervention des *acteurs leviers indirects.* Comme nous l'avons signalé plus haut le rôle de ces acteurs est d'aider les propriétaires des bâtiments à prendre la décision d'installer des dispositifs de RUEP. Pour cela, plusieurs actions sont envisageables, qui varient selon les acteurs mobilisés :

- pouvoirs publics (sensibilisation, incitation, subvention, réglementation…)
- *associations environnementales* (*sensibilisation*)
- communauté scientifique (*production des connaissances*).

A présent, nous nous concentrons sur l'intervention de l'acteur « pouvoirs publics » et son rôle comme *levier indirect* dans le développement de la pratique de RUEP.

Nous nous appuyons sur la recherche post-doctorale de C. de Bellaing et sur son rapport intitulé « Les incitations à la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie : mobilisations locales et effets nationaux ». A l'aide de ce dernier, nous décrivons les actions menées par l'acteur « pouvoirs publics » ainsi qu'un point de vue critique sur l'efficacité de ses actions dans le développement de la RUEP. Il convient de signaler que dans ce rapport C. de Bellaing s'est intéressé particulièrement aux *mécanismes d'incitations financières* [de Bellaing et al. 2009].

8.2.3.1. Actions favorisant le développement de la RUEP

C. de Bellaing a relevé deux principaux mécanismes d'incitation financière mis en place par les pouvoirs publics :

- *Les aide locales* mises en place par les collectivités locales à différentes échelles territoriales (commune, département...) et ayant pour objectif de favoriser l'installation de dispositifs de RUEP.
- *Le crédit d'impôt* qui consiste en *la prise en charge par l'Etat,* sous certaines conditions[102], de 25% du coût du dispositif (plafonné à 8000 euros).

Affinant sa typologie, C. de Bellaing distingue quatre formes d'aides financières locales.

La première forme consiste à *proposer gratuitement une partie ou la totalité du dispositif de RUEP*. Les collectivités locales font recours à cette forme d'incitation afin de régler un problème particulier (inondation, par exemple), elle concerne généralement un public réduit de la collectivité (celui concerné par le problème), c'est le cas du quartier de Champigny-sur-Marne où le Conseil général du Val-de-Marne a fourni des cuves de stockage de l'eau de pluie aux habitants du quartier. 168 bâtiments (pavillons) sont équipés par des dispositifs de RUEP aujourd'hui grâce à cette action du Conseil général.

La seconde forme d'incitation financière repérée est *la mise en vente, par la collectivité locale, de cuves à prix réduit.* Cette forme d'aide a un double avantage. D'un côté, elle incite les particuliers à se doter d'un tel dispositif grâce à la réduction proposée sur l'élément central (cuves) du dispositif de RUEP. Et d'un autre côté, elle permet d'éviter aux particuliers d'aller par eux-mêmes acheter les cuves de stockage et donc les dispense de devoir procéder à un choix technique relativement difficile. Par exemple : le service du développement durable de la ville de Troyes propose aux particuliers de la ville une cuve de stockage de 310 litres (destinée à l'usage extérieur) et le matériel qui l'accompagne contre une participation de 22 euros (27 euros si le particulier souhaite avoir en plus l'élément de raccordement à la gouttière).

La troisième forme d'incitation financière consiste à *financer une fraction du coût d'achat de la cuve de stockage*. Le montant de l'aide est relatif à la taille de la cuve avec un seuil plafond. L'avantage de cette forme d'aide est qu'elle présente plus de souplesse dans le choix de la taille et de la forme de la cuve de stockage. En revanche l'inconvénient est que le bénéficiaire doit d'abord débourser la totalité du coût d'achat et se faire rembourser dans un deuxième temps sur présentation de la facture (il doit avoir obtenu une promesse de subvention de la part de la collectivité avant d'effectuer l'achat). La région Poitou-Charentes lance une opération de financement des particuliers

[102] « Pour une même résidence, le montant des dépenses ouvrant droit au crédit d'impôt ne peut excéder, pour la période du 1er janvier 2005 au 31 décembre 2009, la somme de 8 000 euros pour une personne célibataire, veuve ou divorcée et de 16 000 euros pour un couple marié soumis à imposition commune. Cette somme est majorée de 400 euros par personne à charge. » (CGI, art. 200 quater, alinéa 4.)

qui installent des dispositifs de RUEP. La somme de 700 euros est offerte aux particuliers installant des cuves d'au moins de 2,5 m^3 (destinées à l'usage interne : WC et lave linge).

La dernière forme d'incitation financière repérée par C. de Bellaing consiste à *proposer le financement d'une partie relative à la somme dépensée* pour l'acquisition d'un dispositif. La région Poitou-Charentes s'engage à rembourser jusqu'à 30% de la somme d'achat d'une cuve de stockage dans la limite de 50 euros pour des cuves d'au moins 1 m^3. Environ 5000 particuliers ont bénéficié de cette aide pendant les 18 mois de la compagne d'incitation.

En ce qui concerne le *crédit d'impôt*, il s'agit d'une politique nationale qui favorise la RUEP. L'Etat prend à sa charge 25% du coût de l'achat des matériaux de RUEP avec un plafond de 8000 euros. Cette mesure a été instaurée en 2006 et était donc initialement limitée aux dispositifs pour usage extérieur. Mais, avec l'arrivée de l'arrêté du 21 août 2008, cette subvention s'est étendue aux dispositifs incluant l'usage des eaux pluviales récupérées à l'intérieur des bâtiments.

Nous ne disposons pas actuellement des données concernant le nombre des particuliers qui ont bénéficié de cette aide, mais la diffusion limitée des dispositifs malgré son existence depuis 2006 donne une idée sur son faible succès comme moyen d'incitation national.

8.2.3.2. Vers des véritables actions de leviers de la RUEP pour l'habitat individuel

Plusieurs obstacles empêchent le développement de la RUEP pour la classe-de-bâtiments « habitat individuel ». Ces obstacles sont liés à l'efficacité limitée des incitations financières décrites plus haut ou à l'absence d'autres incitations (non financières).

<u>Pour les mécanismes d'incitation financière (levier financier)</u>

Les mécanismes d'incitation décrits plus haut ne sont pas parvenus à déclencher un effet de levier dans la voie du développement de la RUEP. Nous relevons les limites suivantes dans cette action :

- La *rareté* de ces actions d'incitations financières : pour la région d'Ile-de-France, de Bellaing a recensé des actions financières en faveur des particuliers de la part de 5 collectivités locales seulement.
- Le *montant* des aides reste faible et même négligeable, dans certains cas, par rapport au coût total du dispositif (50 euros, par exemple). Ce montant est parfois insuffisant pour mobiliser les particuliers vu le coût qui reste à leur charge pour assurer le fonctionnement du dispositif.

- Les *contraintes* mises en place par les collectivités locales pour accorder l'aide au particulier (volume de la cuve limité, usage prédéterminé,…) qui ne conviennent pas toujours aux destinataires de l'aide.
- La *limitation* du nombre des aides accordées par certaines collectivités locales, le dispositif d'aide est alors interrompu lorsque le nombre d'opérations ou le budget engagé atteignent le total prévu.
- La *déconnexion* entre les aides au niveau national et au niveau local : on note l'absence fréquente de coordination entre les deux niveaux qui fonctionnent chacun comme si l'autre n'existait pas. A titre d'exemple, le crédit d'impôt est rarement mentionné dans les plaquettes incitatives produites par les collectivités locales.

Pour les autres mécanismes (leviers non financiers)

D'autres actions peuvent produire l'effet de levier en complément des aides financières :

La Publicité. C. de Bellaing a signalé que le crédit d'impôt a fait l'objet d'une publicité et d'une communication minimale. Et même les aides financières proposées par les collectivités locales sont parfois méconnues par les particuliers qui pourraient en bénéficier, car insuffisamment promues.

La communication. La communication (portes ouvertes, manifestations,…) entre les collectivités locales et leurs habitants autour du thème de l'eau et de son économie est absente aujourd'hui, ce type d'action est essentiel pour informer sur les enjeux actuels de l'eau (rareté, pollution,…) et les réponses possibles à ces enjeux, notamment la RUEP.

8.2.2. La prise de décision de se doter d'un dispositif de RUEP.

La prise de la décision est l'étape la plus importante dans le processus d'adoption du dispositif de RUEP. Comme nous l'avons expliqué plus haut cette étape se manifeste par une intention particulière de la part du propriétaire du bâtiment. Suite à cela, deux cas de figure sont possibles : soit le propriétaire abandonne complètement l'idée, car il n'est pas intéressé (ou il n'est pas convaincu par sa faisabilité), soit ce changement provoque l'envie du propriétaire d'en savoir plus sur cette nouvelle pratique.

Ensuite, dans le cas où il décide de chercher plus d'informations, il procède à une *pré-évaluation* afin de s'informer davantage sur le dispositif, sa mise en œuvre, ses avantages, ses limites et les contraintes liées à son installation et à sa gestion. Au terme de cette pré-évaluation, le propriétaire décide : soit d'abandonner l'idée car il rencontre des difficultés majeures (financières par exemple), soit de la concrétiser, auquel cas elle devient un « projet ».

Au LEESU et avec d'autres chercheurs nous nous sommes attachés à reconstituer les processus décisionnels des propriétaires d'habitat individuel. Le schéma ci-après a été conçu sous la forme d'un questionnaire destiné aux particuliers. On distingue dans ce schéma trois parties : le cadre « A » a pour finalité de lister les différents paramètres qui rentrent en compte dans la prise de décision et leur importance relative, pour mieux comprendre le cheminement de la prise de décision du particulier. Le cadre B porte plus spécifiquement sur l'influence de la présence ou l'absence d'un espace extérieur (jardin) au sein de la parcelle. Le cadre C vise à recenser des informations sur la personne enquêtée, notamment son rapport aux actions environnementales.

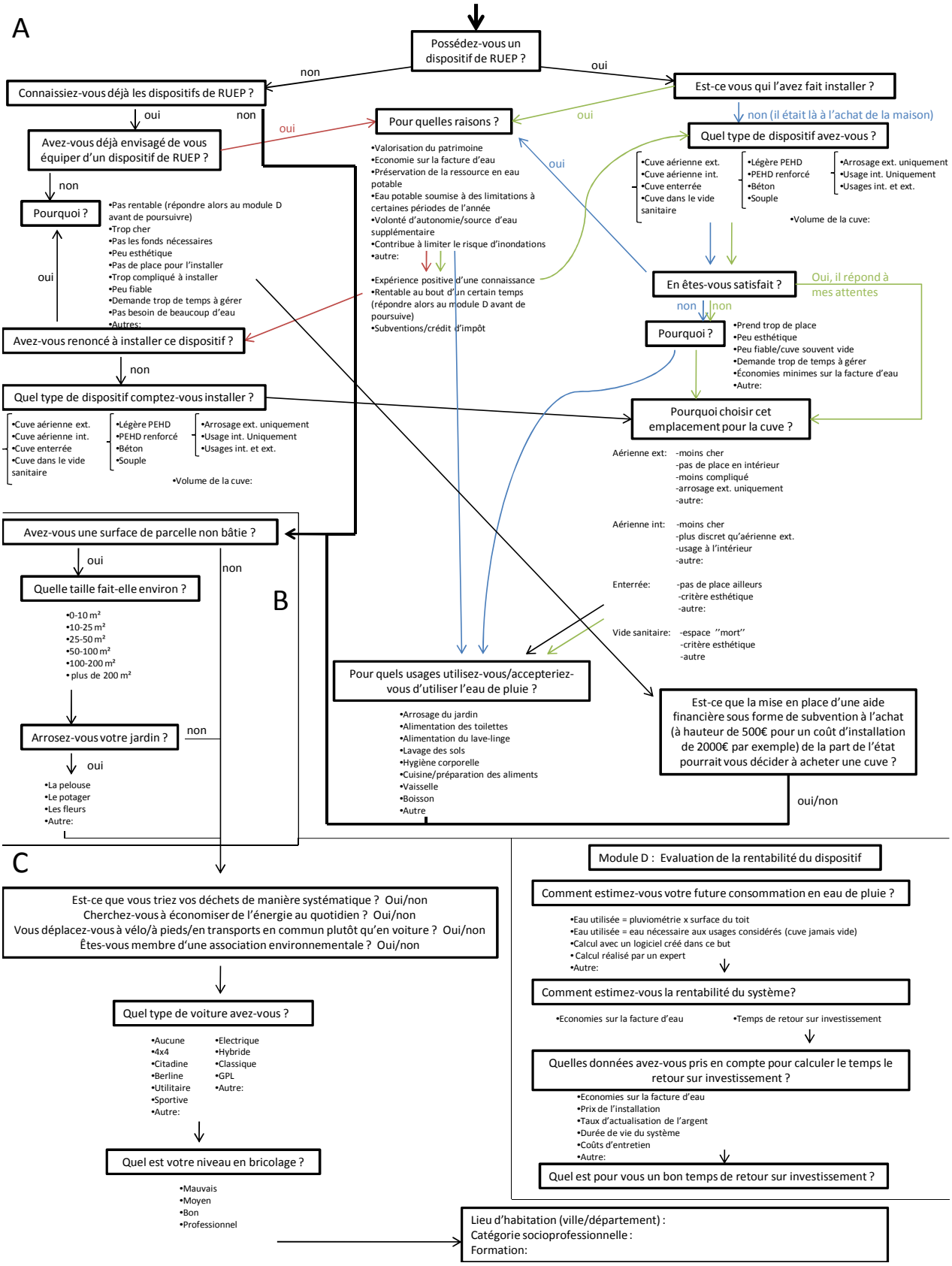


Figure 70. Schéma décisionnel développé par le LEESU. Source [Sennhauser 2010]

Concentrons-nous à présent sur la question des critères et motifs de décision (cadre « A » du schéma). Les particuliers sont invités à choisir parmi une liste de motifs préétablie, que nous détaillons ci-dessous :

- ***Valorisation du patrimoine.*** Le propriétaire peut recourir au système de RUEP comme une option afin d'augmenter la valeur de son patrimoine (on pense à l'exemple de la voiture où chaque option facultative augmente sa valeur) [Belmeziti et de Gouvello 2010 (b)]
- ***Économie sur la facture d'eau potable.*** L'eau de pluie est une ressource appartenant au propriétaire du bâtiment, ce qui signifie qu'elle est gratuite [article 461 du code civil]. Cependant, sa récupération et son utilisation nécessitent des dépenses relativement importantes : le coût d'achat du dispositif, le coût d'installation, le coût d'entretien et de l'électricité nécessaire au pompage de l'eau vers les points d'utilisation. Toutefois, le propriétaire constate une diminution de sa facture d'eau potable engendrée par la baisse de consommation d'eau potable [Ghisi et Mengotti 2007].
- ***Préservation des ressources en eau.*** Faire des économies d'eau potable est l'objectif principal de l'adoption d'un système de RUEP. Ces économies sont calculées par rapport au volume d'eau de pluie utilisé pour certains usages et qui remplace l'eau potable utilisée habituellement. A. Fewkes a calculé les économies d'eau potable permises par l'utilisation d'eau de pluie pour alimenter les chasses d'eau des toilettes (WC), il a conclu que cette économie est variable selon la pluviométrie et les besoins d'utilisation de cette eau de pluie (un taux de recouvrement des besoins de 57.2% est enregistré) [Fewkes 1999 (b)].
- ***Autonomie par rapport à la restriction d'utilisation de l'eau.*** Certaines zones urbaines subissent de manière plus ou moins fréquente des restrictions d'utilisation d'eau potable, notamment pour des usages comme l'arrosage et le lavage du véhicule. Par exemple, la région Ile-de-France a subi une telle restriction en mai 2011.
- ***Autonomie par rapport au gestionnaire du réseau public.*** Dans leur article C. Carré et J.F. Deroubaix relèvent que certains usagers manifestent une volonté d'autonomie envers le gestionnaire du réseau public, exprimant ainsi une « protestation » contre ce qu'ils dénoncent comme « l'état de monopole public local de service public » et considérant que l'eau issue de la RUEP est la seule façon de lutter contre ce monopole [Carré et Deroubaix 2009].

- ***Gestion de l'eau à la source et limitation des inondations.*** Les documents d'urbanisme, notamment le PLU[103], obligent le propriétaire d'une parcelle à régler le débit sortant de sa parcelle afin de limiter les risques d'inondation et de saturation du réseau. Devant une telle obligation, le propriétaire recourt fréquemment à la technique de rétention à l'aide d'une cuve de stockage de l'eau de pluie qu'il pourra ensuite utiliser en partie à des fins domestiques.
- ***Retour d'expérience.*** Le retour d'expérience est aussi un moyen d'incitation et de sensibilisation à l'adoption d'un dispositif de RUEP.
- ***Rentabilité du dispositif.*** Plusieurs travaux ont porté sur la rentabilité du dispositif de RUEP. B. de Gouvello, a évalué la période de retour sur investissement en variant les scénarios d'usage de l'eau de pluie à l'échelle d'un bâtiment moyen. Il a conclu que dans une logique purement économique seules de petites cuves sont rentables (une période de retour sur investissement inférieure à 20 ans).

Afin de valider cette liste des motivations issue des différentes références bibliographiques et aux retours d'expériences, j'ai participé à une enquête dans le cadre du stage de T. Moulin, auprès du personnel de l'école des Ponts, de l'ENSG, de Polytechnique et du LEESU. 312 personnes ont répondu à cette enquête [Moulin 2011].

La question posée est la suivante : pour quelles raisons avez-vous décidé de vous munir de ce système (RUEP) ? En donnant aux enquêtés la possibilité de choisir plusieurs réponses, les résultats obtenus sont les suivants :

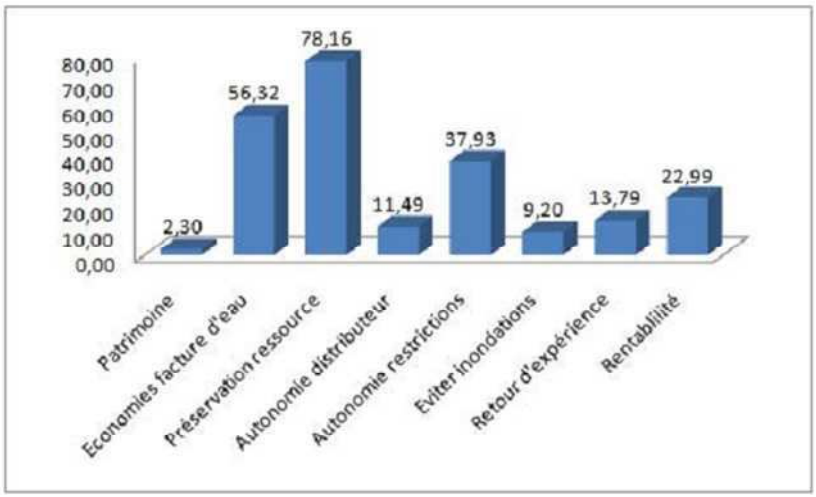


Figure 71. Résultats de l'enquête concernant les motivations de l'adoption d'un système de RUEP en habitat individuel. Source [Moulin 2011].

[103] Plan Local d'Urbanisme.

L'enquête fait donc apparaître trois motivations principales : la préservation des ressources, les économies de la facture de l'eau et l'autonomie via les restrictions. Des motivations secondaires sont également mises en évidence : la rentabilité (raison économique), le retour d'expérience et l'autonomie via le distributeur. Enfin l'enquête montre le caractère marginal, pour la population enquêtée, des autres raisons envisagées par les chercheurs : éviter les inondations et la valorisation du patrimoine.

8.2.3. Installer et gérer durablement un dispositif de RUEP

Comme nous l'avons expliqué plus haut, le propriétaire de bâtiment est le seul acteur qui possède le pouvoir d'installer un dispositif de RUEP dans son bâtiment. Dans le cas d'une maison individuelle, le propriétaire occupe son bâtiment. C'est donc lui qui va prendre la décision d'installer le dispositif de récupération d'eau de pluie et qui va utiliser l'eau de pluie récupérée.

8.2.3.1. Installation d'un dispositif

Une étude réalisée en partenariat entre le CSTB et l'ARENE[104] sur l'analyse d'un ensemble d'installations de RUEP en France, montre qu'un dispositif de RUEP dans son état de projet passe par les mêmes phases qu'un projet de construction de bâtiment, autrement dit, de la phase d'étude préalable jusqu'à la mise en service du dispositif. Cependant, l'installation d'un dispositif de RUEP a ses propres spécificités. Afin de mieux appréhender ce processus, nous allons détailler les étapes suivies par le MO individuel tout au long du projet d'installation d'un dispositif de RUEP.

- **Phase d'étude préalable**. Le MO essaie d'en savoir davantage sur la faisabilité de ce projet. En se lançant dans cette phase, il récolte les informations nécessaires pour approfondir ses connaissances dans ce domaine. Cette phase se concrétise par l'élaboration d'un programme (usages visés, type de cuves,…)
- **Phase d'étude et de conception.** Dans cette phase, le MO met à l'épreuve son programme et ses exigences. Il s'agit de transformer le programme en un projet (se traduisant par différents documents graphiques et calculs) qui sera exécuté sur le terrain. Pour cela, le MO s'appuie en général sur un bureau d'étude. Cette phase s'achève par la proposition d'un projet technique et architectural répondant au programme soumis au début de la phase.
- **Phase exécution des travaux.** C'est la phase de mise en œuvre du projet sur le terrain, le MO désigne une entreprise de réalisation pour exécuter les travaux et mettre en œuvre la conception et les notes du bureau d'étude. Cette phase sera conclue par l'installation du dispositif de RUEP qui sera prêt à fonctionner.

[104] Etude disponible sur le site de l'ARENE : www.areneidf.org

8.2.3.2. Fonctionnement du dispositif

De nombreuses opérations de retours d'expérience ont montré que l'installation d'un dispositif de RUEP ne signifie pas toujours que l'objectif initial est atteint (utiliser l'eau de pluie). En effet un certain nombre d'obstacles sont constatés durant la phase de mise en service ou dans le fonctionnement du système. Ces obstacles engendrent des dysfonctionnements qui conduisent parfois à l'arrêt total ou partiel du dispositif. Certains de ces obstacles peuvent provenir de la part du propriétaire du dispositif lui-même, comme l'arrêt total du dispositif ou encore limiter l'utilisation de l'eau de pluie à des usages plus restreints que ceux pour lesquels le dispositif a été adopté. D'autres obstacles peuvent aussi arriver des autres acteurs directement impliqués dans la gestion ou dans l'utilisation de l'eau de pluie (gestionnaire du dispositif –gardien-, occupants du bâtiment,…). Il s'agit du refus d'utilisation de l'eau de pluie, par exemple, ou encore la mauvaise gestion venant du gardien et qui conduit à une faible rentabilité du dispositif.

8.3. Acteurs leviers de l'habitat collectif

En nous appuyant encore sur les études de l'IAU-IDF, nous avons pu recenser les principaux acteurs de la RUEP pour les bâtiments d'habitat collectif de l'agglomération de Paris [Dugeny et al. 2009].

- *Copropriétaire*. il s'agit d'un ensemble de propriétaires qui possèdent chacun un ou plusieurs logements dans le même bâtiment.
- *Propriétaire social*. Il s'agit de l'organisme social HLM qui possède l'ensemble des logements du même bâtiment.
- *Propriétaires privé*. Il s'agit d'une structure juridique (entreprise, SARL,…) qui possède l'ensemble des logements du même bâtiment.
- *Propriétaire prêteur*. Il s'agit d'un propriétaire qui prête son logement à titre gratuit à un autre occupant.

Acteurs de la RUEP	Copropriétaire	Propriétaire-social	Propriétaire-privé	Propriétaire- prêteur
%	33,4%	33,0%	32,7	0,9%
Nombre de logements	1 015 495	1 003 632	995 377	126 766
Nature de propriétaires	physique/ privé	moral/ public	moral/ privé	physique/ individuel

Tableau 50. Principaux acteurs de l'habitat collectif de l'agglomération de Paris.

Cette classe-de-bâtiments est partagée essentiellement entre trois types de propriétaires (copropriétaire, social et privé), la part du propriétaire-prêteur est désormais négligeable. Etant

donné que nous ne possédons pas suffisamment d'informations sur les types « copropriétaire » et « propriétaire privé », nous allons concentrer notre analyse sur le *propriétaire-social*.

8.3.1. Nature de l'acteur « propriétaire-social »

Les bâtiments collectifs à caractère social sont gérés par les offices HLM. A l'échelle de la région Ile-de-France il existe environ 150 offices qui gèrent le parc des logements sociaux de cette région. Ces offices sont regroupés dans une fédération (AORIF –l'Union sociale pour l'habitat d'Ile-de-France-).

L'AORIF est une association régionale qui regroupe les organismes de logements sociaux ayant leur siège social dans la région IDF. Elle compte 140 organismes de logements social, dont : 61 offices publics de l'habitat (OPH), 60 entreprises sociales pour l'habitat (ESH, ex-SA d'Hlm), 16 sociétés coopératives d'Hlm, 3 Sacicap et 4 SEM.

Elle mène des missions de représentation, d'information, d'animation, de capitalisation et de coordination : « elle coordonne les actions des organismes franciliens et développe les échanges entre eux. Elle favorise en particulier la structuration des l'inter organisations et facilite l'adaptation à la territorialisation des politiques de l'habitat »[105].

8.3.2. Les organismes HLM au cœur de l'action environnementale

Les offices HLM ont mis en place une politique à double objectif : d'un côté mieux maîtriser les charges pour leurs locataires et de l'autre, s'inscrire dans une stratégie qui favorise le développement durable et la préservation de l'environnement : agenda 21, charte de qualité environnementale,… Pour le moment cette dernière se traduit par la mise en place de l'isolation thermique, la collecte sélective des déchets, l'installation d'équipements économes en eau et l'usage de matériaux adaptés et durables.

A titre d'exemple, cette politique permet aux logements sociaux d'avoir une performance énergétique meilleure que dans les autres secteurs résidentiels. La consommation énergétique annuelle moyenne d'un logement social est de 160 kW/m²/an, alors que la moyenne, tous secteur confondu est de 250 kW/m²/an. Aussi, suite à la proposition de la fédération AORIF, les organismes HLM se préparent pour la généralisation des bâtiments basse consommation (BBC) d'ici 2013.

8.3.3. Les organismes HLM pourront-ils être des acteurs leviers de la RUEP ?

Les organismes HLM pourraient exercer un effet de levier sur la pratique de RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris, du fait de leur nombre réduit (environ 150 organismes dont 22 détiennent

[105] http://www.aorif.org/association-regionale/presentation

63% des logements sociaux de l'agglomération) susceptible de favoriser la prise de décision collective. En effet, si l'AORIF propose un projet de généralisation des dispositifs de RUEP à l'image de celui du BBC, cela va certainement engendrer un effet de levier, car elle gère 33% du parc de logements collectifs de l'agglomération de Paris (soit plus d'un million de logements).

Dans ce cas, les organismes HLM de l'agglomération de Paris sont considérés comme *acteurs leviers directs*, car ils agissent directement sur leur propre parc de logements. La fédération AORIF en revanche ne peut être qu'un *acteur levier indirect*, car elle ne peut agir que par le biais de son influence sur un autre acteur (les organismes HLM).

8.4. Réalité du développement actuel de la RUEP

Les études montrent que la RUEP se développe très lentement et qu'il y a un décalage entre le PPWS (développé dans la partie II de ce rapport) et le développement concret des dispositifs de RUEP.

Le Centre d'information sur l'eau (C.I.Eau) considère que 25% des maisons qui composent la classe-de-bâtiments « habitat individuel » seraient dotées de dispositifs de RUEP [C.I.Eau 2009]. Le C.I.Eau ne détaille pas les types de dispositifs concernés et les usages visés, mais d'autres études affirment que ce sont essentiellement des usages à l'extérieur du bâtiment, principalement l'arrosage de la pelouse [Konig 2001].

En ce qui concerne les autres classes-de-bâtiments, nous n'avons pas de données sur leur réalité de développement, sauf l'étude de recensement effectuée au CSTB en 2003-2004 [de Gouvello et Khouil 2004].

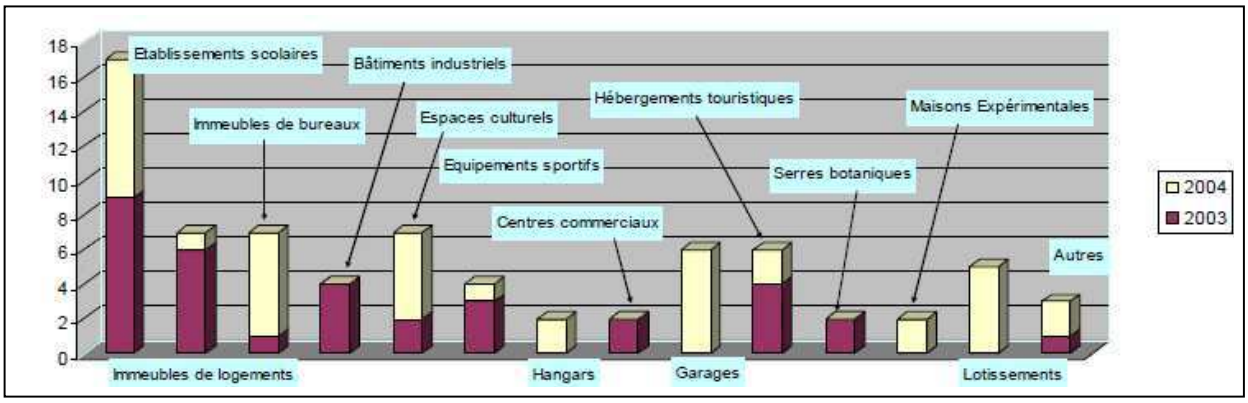


Figure 72. Les opérations de RUEP repérées dans l'étude du CSTB. Source [de Gouvello et Khouil 2004]

Ce qui attire notre attention dans cette étude est la nette différence constatée entre les établissements scolaires et le reste des bâtiments. Nous pouvons faire l'hypothèse d'un motif « *éducatif* »[106], i.e. le

[106] Il s'agit d'un motif indiqué dans le cadre de l'étude de recensement du CSTB [de Gouvello et Khouil 2004].

projet de sensibiliser et d'éduquer les élèves aux enjeux du développement durable et de préservation des ressources environnementales les plus fragiles (notamment l'eau douce). Par exemple, le conseil régional Nord-Pas-de-Calais a décidé d'intégrer les dispositifs de RUEP de manière systématique dans les établissements scolaires publics (collèges et lycées) nouvellement construits ou rénovés. En 1998 la région a inauguré un « lycée durable » à Calais, première réalisation qui servira de modèle à beaucoup d'autres [GUEB 2005].

Mais, hors du cas particulier des établissements scolaires, le développement de la RUEP en milieu urbain reste timide. Certains chercheurs ont essayé de rendre compte de cet état de fait, ils ont constaté l'existence d'un certain nombre d'obstacles empêchant le développement massif de la pratique de RUEP dans le contexte urbain actuel. Roaf a noté que chaque acteur du système a une part de responsabilité dans cette stagnation. Nous résumons les points relevés par Roaf [Roaf 2006]:

- *Les pouvoirs publics*. Leur part de responsabilité concerne le manque de réglementations, de normes, de sensibilisation, d'information. Par exemple, en France, l'arrêté du 21 août 2008 est le seul texte qui réglemente de façon directe la RUEP, tandis que la norme vient de rentrer en vigueur (fin 2011).
- *Les sociétés d'eau potable*. Les sociétés de production et de distribution d'eau potable n'encouragent pas la RUEP par crainte d'une éventuelle réduction de leur part de marché et de leurs recettes, alors que d'autres nouvelles pratiques ont bénéficié d'encouragements de la part des entreprises et des sociétés qui monopolisent habituellement le service urbain concerné. Par exemple, en France, EDF favorise l'autoproduction d'électricité par énergie solaire, en l'achetant auprès des particuliers à un prix plus élevé que celui auquel elle commercialise l'électricité[107].
- *Les architectes et les urbanistes*. Les architectes et les urbanistes ont aussi leur part de responsabilité stagnation du développement de la RUEP, car ils ne l'intègrent pas dans leurs programmes ou projets.
- *Les fabricants*. Un marché de RUEP émerge, mais il ne répond pour l'instant que partiellement à la demande en termes de qualité des composants, de disponibilité, de coût ou de service après-vente…

[107] A noter qu'EDF y est obligée par la loi qui définit un tarif obligatoire de rachat de l'électricité photovoltaïque.

- *Les professionnels.* Les différents corps de métiers (plombier, électricien,…) ont aussi leur part de responsabilité, car jusqu'à maintenant ils ne sont pas mis en place (identification, coordination, …).
- *Les utilisateurs*. Devant l'absence d'information et de sensibilisation, les utilisateurs n'ont pas développé une culture d'utilisation de l'eau de pluie pour des finalités non potable. Certains d'entres eux craignent même sa qualité.

D'autres chercheurs ont relevé d'autres obstacles au développement massif des dispositifs de RUEP. Ils affirment que la responsabilité principale incombe au propriétaire du bâtiment. Plusieurs raisons expliquent selon eux cet état de fait [Leggett et al. 2001(a), Grant 2003, Woods-Ballard et Malcolm 2003] :

- Le prix du dispositif de RUEP est trop élevé par rapport à la facture individuelle moyenne d'eau potable.
- L'installation d'un tel dispositif induit des changements considérables dans le bâtiment (bâtiments existants notamment).
- La charge représentée par la gestion et l'entretien du dispositif.
- La faible rentabilité du dispositif (période de retour sur investissement trop longue).
- La taille importante et la forme non esthétique du dispositif (surtout de type aérien).

8.5. Conclusion : vers une mobilisation des propriétaires des bâtiments

Comme il a été conclu dans la partie II de ce rapport, à l'échelle de l'agglomération de Paris, l'habitat individuel constitue un enjeu majeur en termes de PPWS. Les propriétaires individuels sont les acteurs centraux de ce secteur. Ils peuvent agir directement sur le développement de la RUEP, mais ils ne peuvent pas être considérés comme des acteurs leviers, car leurs décisions et leurs actions ne peuvent concerner que le bâtiment dont ils sont propriétaires.

Cependant, l'acteur *pouvoirs publics* pourra jouer un rôle de *levier indirect* grâce à des actions d'information ou d'incitation susceptibles de mobiliser les propriétaires individuels. Pour ce faire, cet acteur est invité aujourd'hui à adopter d'autres formes de mobilisation en complément de celles existantes (essentiellement financières) et qui n'ont pas suscité le déclic espéré dans la diffusion des pratiques de RUEP.

L'habitat collectif qui vient en seconde position en termes de PPWS à l'échelle de l'agglomération, compte au moins un acteur susceptible d'être en position de *levier direct*, il s'agit des offices HLM

qui détiennent le tiers des logements collectif de l'agglomération (soit environ un million). En outre, les offices HLM sont rassemblés sous une fédération (AORIF) qui pourra avoir un rôle de *levier indirect* en réunissant les offices autour d'un projet de développement des dispositifs de RUEP.

En l'absence de travaux plus récents, nous nous sommes fondés sur une étude de 2004 qui met en évidence la concentration des installations de RUEP dans les établissements scolaires, répondant sans doute à un objectif éducatif de la part des collectivités locales. Nous avons également relevé plusieurs obstacles qui s'opposent au développement massif des dispositifs de RUEP aujourd'hui.

A la lumière de ces résultats, nous considérons qu'un certain nombre d'actions sont essentielles si l'on veut favoriser un développement massif de la RUEP en milieu urbain :

- *Sensibilisation*. Il s'agit de la transmission d'informations, de communication, d'éducation et de formation avec en priorité la participation directe et l'implication du public cible. Elle peut s'effectuer sous plusieurs formes : publicité, plaquettes informatives, …
- *Incitation*. Ce sont les aides financières mises en place par les pouvoirs publics pour encourager l'adoption des dispositifs de RUEP. Ces aides sont apparues à différentes échelles territoriales : communale, départementale, régionale et nationale. En effet, depuis quelques années, et afin de favoriser l'installation de ce type de dispositif, l'Etat a mis en place un crédit d'impôt pour les particuliers, pouvant couvrir jusqu'à 25% du coût du dispositif. Aux niveaux des autres échelles les formes d'aide sont variables entre le financement d'une partie ou de la totalité du dispositif, l'installation gratuite, la mise en vente d'un dispositif à prix réduit ou encore le versement d'une somme fixe.
- *Label*. L'installation d'un dispositif de RUEP n'est aujourd'hui pas nécessaire pour obtenir le label « HQE », alors qu'une des manières de favoriser le développement de ces dispositifs serait de rendre leur installation obligatoire dans le processus d'obtention du label.
- *Réglementation*. La réglementation dans le domaine de l'urbanisme et de la construction pourrait favoriser l'installation des dispositifs de RUEP. Dans d'autres pays, l'installation d'un dispositif de RUEP est ainsi devenue obligatoire pour toute nouvelle construction ou encore, les règles de gestion de l'eau de pluie à la parcelle sont plus strictes si bien que le propriétaire est presque obligé de recourir à la RUEP pour satisfaire aux exigences réglementaires.

Conclusion générale

Nous présenterons ici la conclusion générale de notre travail de thèse. Nous reviendrons tout d'abord sur le contenu du rapport ainsi que sur les résultats obtenus. Puis, nous formulerons les limites et les perspectives du travail. Nous interrogerons ensuite, d'autres pistes de recherche dans le but d'améliorer la démarche de changement d'échelle proposée. Enfin, nous replacerons ce travail et les résultats obtenus par rapport à un débat plus général sur les changements et les mutations urbaines contemporaines.

Retour sur le contenu du rapport

Depuis quelques années la RUEP émerge comme système d'approvisionnement en eau parallèle à celui du réseau public. Cependant, peu d'études se sont intéressées aux impacts que peuvent engendrer son développement sur les réseaux d'eau et d'assainissement. Dans la perspective d'étudier ces impacts, notre travail s'est attaché à quantifier l'ampleur de la RUEP dans un éventuel développement sur une échelle urbaine.

Pour ce faire, nous avons adopté une démarche pluridisciplinaire structurée en deux temps. Tout d'abord, nous nous sommes intéressé aux caractéristiques naturelles, physiques et urbaines des bâtiments, dans le but de calculer leur capacité à récupérer et à utiliser l'eau de pluie. Ensuite, nous avons mené une première analyse du système d'acteurs associé à cette pratique urbaine, celle-ci se concluant en forme de « feuille de route » pour de futurs projets de recherche.

Dans le but de répondre au premier objectif (calcul de la capacité à récupérer et à utiliser l'eau de pluie) nous avons proposé une méthode de changement d'échelles innovante qui calcule le potentiel d'économie d'eau potable (PPWS) réalisé dans le cas d'un développement généralisé des dispositifs de RUEP sur une échelle urbaine donnée. Cette méthode repose sur la proposition d'une échelle (la commune) qui joue le rôle intermédiaire entre celle de la mise en œuvre (bâtiment) et celle de l'évaluation des impacts (agglomération ou région urbaine). Elle repose aussi sur une démarche de regroupement homogène des bâtiments en « bâtiment équivalent » (en termes de caractéristiques permettant le calcul du PPWS). Aussi, notre méthode de changement d'échelles est fondée sur quatre principes (distinction, agrégation, majoration, hiérarchisation) permettant de simplifier les différentes étapes de modélisation.

Quant au second objectif, nous avons proposé certaines catégories et notions (acteurs directs, acteurs de l'environnement pertinent, acteurs leviers) permettant une prise en compte du rôle des acteurs, qui a été ignoré dans la première phase. L'objectif était de proposer une approche pour une future étude plus approfondie visant à intégrer cette dimension dans la problématique générale qui porte sur « le développement de la RUEP à une échelle urbaine ».

Apport et originalité de notre démarche

Nous suggérons de revenir dans cette section sur les principaux aspects de notre proposition en dégageant les apports et les spécificités du travail effectué. Nous reviendrons, tout d'abord, sur les apports à la problématique de changement d'échelles. Puis, nous verrons les résultats du calcul du PPWS à l'échelle de l'agglomération de Paris. Enfin, nous reviendrons sur l'analyse du système d'acteurs concerné par la RUEP.

Concernant le *changement d'échelles*, nous avons proposé de retenir la « commune » comme échelle intermédiaire afin de réduire l'écart qui sépare l'échelle de la mise en place (bâtiment) du dispositif de RUEP et les différentes échelles urbaines d'évaluation des impacts de la diffusion de cette pratique (agglomération, région urbaine). Ainsi nous avons proposé les regroupements suivants :

- Les bâtiments sont regroupés en « classes-de-bâtiments » afin de lier l'échelle du bâtiment et l'échelle intermédiaire (commune). Ce regroupement a été opéré en raison du nombre important de bâtiments que contient une commune donnée.
- Les communes sont regroupées en « classes-de-communes » afin de lier l'échelle intermédiaire (commune) aux échelles supérieures (agglomération, région urbaine). Ce regroupement est conseillé dans le cas d'une agglomération qui contient un nombre très élevé de communes.

Cette méthode de changement d'échelles vise à proposer un indicateur fiable des économies d'eau potable associées à la diffusion de la RUEP, tout en réduisant les moyens et le temps nécessaires à son calcul. Elle repose sur quatre principes :

- *Principe de distinction.* Il opère une distinction entre deux moments : le calcul du potentiel urbano-naturel (PPWS) d'abord, l'étude du système d'acteurs ensuite. Ce principe nous a permis de produire un chiffre significatif sur l'ampleur *potentielle* de la RUEP à une échelle urbaine. Le calcul du PPWS nous a aidé de son côté dans la construction d'un discours plus élaboré sur le système d'acteurs de ce domaine.

- *Principe d'agrégation.* Il consiste à regrouper les « bâtiments » d'une façon spécifique (classe-de-bâtiments) permettant de remonter aux échelles supérieures. Ce principe nous a permet de rassembler les bâtiments de l'échelle urbaine en classes limitées et maîtrisables dont chacune a été traitée comme un « bâtiment équivalent ».
- *Principe de majoration.* Il conduit à choisir la situation la plus favorable à l'utilisation de l'eau de pluie. Ce dernier nous a permis de choisir le point de vue « prospectif » qui s'intéresse au potentiel réalisable en faisant abstraction du facteur économique et au poids du système d'acteur dans la décision, la mise en œuvre et l'exploitation des dispositifs.
- *Principe de hiérarchisation.* Selon ce principe l'étude est plus approfondie pour les classes de bâtiments où les enjeux de RUEP sont importants. Ce principe nous a permet d'alléger la modélisation du PPWS en focalisant nos principaux efforts (recherche de données, leurs traitements,…) aux situations auxquelles la RUEP est importante, tandis qu'on accord un traitement léger aux autres situations (où la RUEP est de toutes façon faible).

Dans la phase de *modélisation du PPWS* à une échelle urbaine, nous avons utilisé le PSU (indicateur précis) pour exprimer l'économie d'eau dans les endroits où l'enjeu de RUEP est important, tandis que le PCR (indicateur majorant et moins précis) a été utilisé dans les endroits où cet enjeu est a priori faible. Les résultats obtenus montrent que le PSU d'un ensemble de bâtiments (classe-de-bâtiments) est proche (une variation maximale de 10% est constatée) de la somme des PSU de chacun des bâtiments. Il convient de signaler que l'indicateur PSU au niveau du bâtiment est considéré comme un inducteur fiable, cela signifie que la méthode d'extrapolation est validée.

À l'échelle de l'agglomération de Paris, les résultats obtenus montrent que le secteur résidentiel (maisons individuelles et immeubles collectifs) constitue un levier potentiel, car il détient environ 65% du PPWS de l'agglomération (45% pour l'individuel et 20% pour le collectif). Par ailleurs, le PPWS de l'agglomération de Paris pourrait couvrir la moitié (49%) des besoins en eau non potable et 11% du volume d'eau distribuée à cette échelle. De plus, la réalisation d'un tel potentiel serait susceptible d'opérer une baisse de près de deux tiers (64%) d'eau de pluie issue des toitures des bâtiments de l'agglomération de Paris versée aujourd'hui dans le réseau d'assainissement pluvial.

Le système d'acteurs concerné par la RUEP est à la fois important et complexe. Il mérite d'être étudié comme un objet de recherche en tant que tel. Cependant nous l'avons abordé dans ce travail en opérant une première analyse exploratoire. Nous avons relevé ainsi que la complexité de ce système d'acteurs se traduit par : la multitude d'acteurs intervenants, la variabilité des actions qu'ils mènent et la diversité de leurs échelles d'intervention. L'analyse a montré que le développement de

la RUEP passe plus particulièrement par des actions de la part de certains acteurs qui ont été qualifiés d'acteurs « levier », sans toutefois ignorer les effets des actions et de la participation des autres acteurs impliqués.

Limites et perspectives du travail

Naturellement, notre travail présente des limites qui ouvrent en même temps des pistes de recherche sous formes de perspectives.

Tous d'abord, nous souhaitons rappeler que ce travail est inscrit dans une démarche pluridisciplinaire. Dès lors, les théories et les concepts abordés sont nombreux et les diverses facettes du problème ne peuvent pas toutes faire l'objet d'une étude approfondie dans le cadre d'un travail de thèse dont la durée est limitée dans le temps. A titre d'exemple, la notion de changement d'échelles renvoie à une littérature vaste et éclectique[108] dans une multitude de domaines, dont une partie seulement est de nature à éclairer notre démarche.

De ce point de vue (changement d'échelles) la limite majeure de notre méthode est le regroupement a priori des bâtiments en MOS (modes d'occupation des sols). En effet, cette méthode peut s'adapter facilement à d'autres échelles (département, région,…) en opérant à l'échelle choisie au regroupement en différentes classes-de-bâtiments générées à partir des catégories du MOS.

Néanmoins, cette dernière pourra être testée avec d'autres logiques de regroupement de bâtiments, comme le regroupement fonctionnel de l'INSEE, par exemple. Il convient de signaler que dans le cas d'une nouvelle base de données, la méthode nécessite certainement quelques retouches et adaptations. A titre d'exemple, pour l'habitat, l'Insee propose une base de données communale qui distingue entre l'habitat individuel et l'habitat collectif. Cette base détaille pour chaque type de bâtiments : leur nombre, le nombre d'étages, le nombre de logements, le nombre d'occupants par logements... Soulignons que dans un scénario d'usage de l'eau de pluie « sans arrosage de la pelouse », ce type d'informations est suffisant pour calculer le PPWS à une échelle urbaine grâce à la méthode de changement d'échelles proposée dans le présent travail.

D'autres limites concernent la méthode de changement d'échelles proposée.

[108] Au début de la thèse, nous avons effectué une recherche bibliographique sur la thématique « changement d'échelles ». Une première approche consiste à taper des mots clés comme : changement d'échelles, change of scales, … sur des moteurs de recherche tel que Google Scholar. Alors, nous étions confrontés à une vaste littérature sur cette thématique et dans des domaines que nous avons jugés comme très éloignés de notre domaine de recherche (biologie, mécanique des sols,…). Dés lors, nous avons restreint cette voie de recherche en nous focalisant sur une bibliographie en relation plus directe avec notre sujet de recherche.

La première concerne le principe de « distinction ». Celui-ci consiste d'abord à dégager un indicateur fiable (PPWS) de la capacité physique de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie à une échelle urbaine donnée, puis à intégrer les acteurs comme un nouveau paramètre. Nous constatons que les finalités des deux étapes ne sont pas strictement les mêmes. Alors que pour la première, il s'agit d'une quantification physique, la seconde relève d'une étude sociologique sur le système d'acteurs et son rôle dans le développement de la RUEP. Afin de rapprocher davantage les deux étapes, nous suggérons d'élaborer des scénarios de diffusion qui intègrent la modélisation physique et le rôle des acteurs intervenant dans le même scénario. Par exemple, si un ou plusieurs offices HLM décident d'adopter des dispositifs de RUEP dans leurs bâtiments, quel sera dans ce cas la capacité physique (PPWS) d'utilisation de l'eau de pluie à l'échelle urbaine considérée ?

Une seconde limite concerne le principe de « majoration ». Nous l'avons utilisé à deux reprises : d'une part, dans le choix de la borne supérieure « U3 » de la zone optimale pour exprimer le PSU correspondant, et d'autre part, dans le choix du PCR pour les classes-de-bâtiments ou les classes-de-communes jugées marginales. Cependant, cette double majoration peut influencer la fiabilité de l'estimation du PPWS de l'échelle urbaine. Il convient de conduire une étude plus approfondie sur l'ampleur de la majoration du PPWS à une échelle urbaine donnée qui résulte de notre approche, et si (et comment) cette majoration peut être réduite pour permettre une estimation plus précise du PPWS global.

Par ailleurs, *l'étude de comparaison* (entre le PPWS de la classe-de-bâtiments et la somme des PPWS de chacun des bâtiments à part) du modèle « PPWS » que nous avons conduite demeure modeste. En effet, durant cette étude, nous avons analysé environ 4000 bâtiments fictifs avec des paramètres semblables à ceux de la classe-de-bâtiments « habitat individuel », alors que l'échelle urbaine est constituée de bâtiments beaucoup plus nombreux et beaucoup plus divers. Une étude de sensibilité pourrait être menée pour confirmer la stabilité du modèle.

De son côté, l'outil de simulation du PSU mérite aussi une amélioration en utilisant un logiciel de programmation plus adapté comme « MATLAB » au lieu du « VBA » de Microsoft Excel employé actuellement. Il est en particulier nécessaire de réduire le temps du calcul qui est aujourd'hui de l'ordre de 4 à 6 minutes pour chaque bâtiment, ce qui limite le calcul d'un nombre de bâtiments plus important lors de l'étude de comparaison. Une réduction significative du temps de simulation permettra d'effecteur des études de comparaison et de sensibilité plus approfondies.

Le système d'acteurs est le point le plus délicat et mérite un véritable développement, car nous l'avons abordé trop brièvement dans ce travail. Il s'agit donc d'approfondir l'étude autour de cet

aspect en tenant compte de l'ensemble des éléments dégagés dans la partie III de ce rapport. Nous estimons qu'un travail sociologique qui mobilise des outils adaptés (enquêtes, entretiens, retours d'expériences,…) est nécessaire à une étude plus approfondie du système d'acteurs de la RUEP, l'objectif étant de garantir une meilleure prise en compte du rôle et de l'influence des acteurs dans la méthode de changement d'échelles et dans les scénarios prospectifs de développement de la pratique de RUEP.

Vers une démarche de changement d'échelles flexible

Avant d'achever ce travail, nous avons repris la bibliographie portant sur les problématiques de changement d'échelles, mais cette fois avec un nouveau regard sur deux aspects qui nous intéressent particulièrement : le rapport entre « *bâtiment et ville* » d'une part, *les principes* sur lesquels ces approches s'appuyaient pour passer entre les échelles, d'autre part. Sans prétendre à l'exhaustivité, ce regard nouveau, nous a permis de repérer dans divers domaines (énergétique, pétrole,…) un certain nombre de sujets communs avec notre approche.

Le but de cette initiative est de s'interroger sur la façon dont nous pouvons enrichir notre méthode de changement d'échelles. A cet effet, nous détaillons ci-dessous deux exemples parmi ceux repérés[109]. Nous avons choisi le projet « *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment –TABULA-* » qui porte sur la consommation énergétique des bâtiments à l'échelle européenne, et le projet « *calcul du potentiel des réservoirs pétroliers* » qui porte sur l'estimation de la quantité du pétrole a priori contenue dans un nouveau gisement de pétrole. Nous avons choisi le projet « TABULA », car il est confronté au même problème que nous, à savoir « le changement d'échelles entre le bâtiment et l'échelle urbaine ». Dés lors, une comparaison entre notre approche et celle du projet TABULA nous semble parfaitement légitime. En revanche, nous avons choisi le projet « modélisation des réservoirs pétroliers » (bien que celui-ci soit loin de notre domaine d'investigation) car la démarche de changement d'échelles adoptée ressemble en partie à la nôtre (la proposition d'une échelle intermédiaire et l'utilisation de l'appoint sur certains principes méthodologiques).

[109] Nous avons repéré aussi deux autres projets : le projet « Environnement, Forêt et Agriculture –EFA- ». Dans ce projet les chercheurs de l'INRA sont souvent confrontés au problème de changement d'échelles, notamment : comment à partir d'une observation ponctuelle, établir une classification en zones homogènes ? Mais aussi, comment harmoniser les modèles utilisés parfois à l'échelle locale (lorsque on s'intéresse à une parcelle agricole) et parfois à l'échelle de la production (lorsque on s'intéresse à la production régionale). Et le projet « Transfert : Sol-Végétation-Atmosphère –TSVA » dans lequel l'équipe du laboratoire est confrontée à la problématique de changement d'échelles dans l'étude de l'évolution d'un système physique naturel [Boulet 1999].

En résumé, la discussion que nous allons effectuer ci-après autour de ces deux exemples a pour objectif de réinterroger notre approche et de dégager des pistes de recherche dans l'objectif de développer et d'enrichir notre travail.

Pour effectuer ce travail de comparaison, nous adoptons la méthode suivante : nous commençons par une brève description des objectifs des deux exemples choisis. Ensuite nous opérons une extraction de leurs principes méthodologiques déployés pour faire le passage entre les échelles. Enfin, nous comparons nos principes et ceux relevés dans les deux exemples ainsi que la possibilité d'enrichir la démarche mise en œuvre dans notre propre travail.

L'exemple « TABULA »

Lancé en 2009, le projet TABULA vise la création d'une structure harmonisée européenne de bâtiments afin d'effectuer une évaluation de leur consommation énergétique. Pour créer une typologie harmonisée à l'échelle européenne, une première phase est jugée nécessaire. Chacun des pays participants (13 au total) crée sa propre typologie. A l'issue de cette phase, une seconde phase sera lancée (prévue courant 2012), consistant à harmoniser les typologies relevées dans chaque pays afin de créer une typologie commune à l'échelle de l'Europe [TABULA 2012].

Pour la première phase « typologie de bâtiments par pays », des classes-de-bâtiments ont été créées en regroupant les bâtiments résidentiels en se basant sur plusieurs paramètres qui influencent la consommation énergétique (type du bâtiment : individuel ou collectif ; âge du bâtiment : avant 1946, entre 1946-1970… ; données géométriques : forme du bâtiment, distance entre deux bâtiments ; etc.). Par exemple, pour la typologie belge, 29 classes-de-bâtiments ont été identifiées en combinant les paramètres précédents. Chacun de ces types est évalué en termes de potentiel de consommation énergétique sur la base de la norme « *Energy Performance of Building* - EPB 2010 » (pour le cas Belge) [TABULA 2011].

Pour la seconde phase « typologie de bâtiments à l'échelle européenne » : 216 classes-de-bâtiments sont relevées jusqu'à maintenant (le projet est en cours). L'objectif est d'arriver à regrouper certaines de ces classes et à construire un modèle capable de calculer leur consommation énergétique.

Une comparaison rapide entre la méthode évoquée dans cet exemple et notre méthode de changement d'échelles montre une certaine similitude entre les deux méthodes. Tous d'abord, les deux méthodes utilisent une échelle intermédiaire (l'échelle nationale dans le cas du projet TABULA et l'échelle de la commune pour notre cas) avant de remonter à l'échelle de l'évaluation souhaitée. En effet, le projet TABULA effectue une évaluation au niveau de l'échelle intermédiaire

(nationale) à cause de la disponibilité des données et parce que c'est une échelle qui présente une structure territoriale particulière qui convient de l'étudier de manière privilégiée avant de passer à une autre échelle supérieure (européenne). Un autre point commun nous intéresse aussi, il s'agit du regroupement des bâtiments en classes-de-bâtiments en se basant sur l'étude typologique. Semblablement à notre méthode, le projet TABULA regroupe les bâtiments qui se ressemblent selon un ou plusieurs critères caractérisant les bâtiments, dans le but de remonter à une échelle supérieure à celle du bâtiment.

Cependant, les deux projets présentent des divergences. La différence majeure que nous avons relevée jusqu'à maintenant (le projet TABULA est en cours) concerne la signification des résultats finaux : alors que le projet TABULA utilise un « facteur correctif » pour caler son modèle, nous avons préféré adopter le principe de « majoration » qui privilégie toujours les configurations les plus favorables à l'utilisation de l'eau de pluie. Néanmoins, dans notre modèle du PPWS, le principe du « facteur correctif » pourra être utilisé à la place de celui de « majoration ». Par exemple, pour les classes-de-bâtiments marginales, le PCR (indicateur majorant) est directement utilisé, mais l'ajout d'un coefficient « C » sous forme d'un « facteur correctif » est possible. Dans ce cas, le PPWS d'une échelle urbaine donnée serait exprimé par le PSU des classes-de-bâtiments importantes et le PCR multiplié par un « facteur correctif » (compris entre 0 et 1) pour les classes marginales.

Le modèle décrivant le PPWS sera exprimé dans ce cas par l'équation suivante :

$$PPWS = PSU_{u3_classe_importante} + (C \times PCR_{classe_marginale})$$ **(Équation 28)**

Nous rappelons que celui décrit dans ce rapport est exprimé par l'équation suivante :

$$PPWS = PSU_{u3_classe_importante} + PCR_{classe_marginale}$$ **(Équation 29)**

Cette idée de « coefficient correctif » peut être utilisée aussi dans un autre registre, concernant cette fois l'influence et le rôle du système d'acteurs dans la réalisation du PPWS, qui a été calculé dans notre travail en se fondant seulement sur les paramètres, naturels et urbains. Effectivement, nous avons vu dans la troisième partie du présent rapport que le système d'acteurs associé à la RUEP est un facteur important dans d'adoption du dispositif de RUEP. Des lors, et dans la construction d'un scénario prospectif de développement de cette pratique, une des pistes qu'il convient d'explorer consisterait à ajouter au PPWS un « coefficient correctif » qui représente l'impact du système d'acteurs.

L’exemple « calcul du potentiel des réservoirs pétroliers »

Ce projet consiste à effectuer une étude *a priori* sur la quantité de pétrole contenue dans un nouveau gisement. En effet, la recherche d’un nouveau gisement de pétrole dépend principalement de la quantité d’hydrocarbure estimée (nommé réservoir), mais cette dernière n’est connue réellement qu’à l’arrêt total de la production. Afin de donner une meilleure estimation, plusieurs modèles sont élaborés avant et pendant la production du gisement. Avant d’entamer la production, trois phases sont nécessaires pour s’assurer que le réservoir contient une quantité d’hydrocarbure suffisante pour justifier les investissements à mener. Une première phase de prospective consiste à tirer des informations à partir des données géologiques et sismiques. Si les résultats sont encourageants une deuxième phase est lancée, qui consiste à réaliser un ou plusieurs forages d’exploration pour confirmer ou non la présence d’hydrocarbure. Si les résultats de cette phase sont également favorables, la troisième phase sera le forage où des mesures du réservoir sont effectuées au fur et à mesure de l’avancement de ces travaux [Kfoury 2004].

Dans le but d’identifier les paramètres pétro-physiques à l’échelle du réservoir, à partir des données connues à l’échelle locale, une méthode de changement d’échelles s’est imposée naturellement. Pour cela, une stratégie relativement nouvelle consiste à procéder par changement d’échelle séquentiel via une échelle intermédiaire nommée « échelle d’unité ». En effet, les différentes sources de données (sismique, diagraphie, essais de puits, carotte, affleurement, etc...) issues des trois phases décrites précédemment imposent la définition de différentes échelles d’observation : échelle locale (ou physique) qui correspond à l’ouverture des fractures, échelle de l’unité (ou géologique) dont la taille de la maille est de l’ordre de 5 à 100 mètres, et échelle du réservoir (ou maille numérique du réservoir) dont la taille varie de 100 à 300 mètres.

Les résultats finaux de cette approche ont montré une légère diminution par rapport aux approches classiques (changement d’échelle direct de l’échelle locale à l’échelle du réservoir). Ce léger abaissement convient parfaitement aux compagnies pétrolières car elles ont la certitude que la quantité d’hydrocarbure réelle sera toujours plus importante que celle estimée par cette méthode.

Bien que le domaine pétrolier soit éloigné de notre propre champ d’étude, nous notons certaines ressemblances entre eux : la question de la disponibilité de l’information (les données) à une échelle locale (élémentaire) tandis qu’une évaluation à une échelle plus globale est nécessaire (urbaine dans notre cas et réservoir dans le cas de l’exemple) ; le recours au même concept « échelle intermédiaire » (l’échelle de la commune dans notre cas et l’échelle de l’unité dans le cas de

l'exemple), et le fait que le choix de l'échelle intermédiaire est associé dasn les deux cas à l'existence de certaines données agrégées à ce niveau.

En revanche, alors que nous avons opté pour une estimation « majorante » afin de l'eau de pluie effectivement récupérable et utilisable, la méthode proposée dans le cas des forages pétroliers adopte une estimation « minorante » afin de s'assurer l'existence d'une quantité minimale dans le gisement étudié. Cela renvoie à la différence de nature des modèles en question : modèle *opérationnel* pour le cas de l'exemple « réservoirs pétroliers » et modèle *prospectif* pour notre cas d'étude.

Cet exemple nous amène à réfléchir sur cet aspect (modèle opérationnel). Nous nous sommes aperçu que notre modèle du PPWS pourrait s'inscrire à faible coût dans cette logique. En effet, il suffit d'utiliser la borne inférieure de la zone optimale « U2 » pour exprimer le PSU au lieu de celle supérieure « U3 » utilisée actuellement et d'affecter un coefficient correctif « C » nul pour les classes-de-bâtiments marginales.

Le PPWS sera exprimé dans ce cas par l'équation suivante :

$$PPWS_{U2(opérationnel)} = PSU_{u2_classe_important} \quad \textbf{(Équation 30)}$$

Le croisement des deux approches (modèle prospectif et modèle opérationnel) nous conduit à proposer de calculer le PPWS pour tous les points clés de la courbe (volume de la cuve de stockage en fonction du taux de recouvrement des besoins). Comme nous l'avons vu (cf. chapitre 4), chacun de ces points (U0 : point de départ, U1 : point du taux de recouvrement maximal, U2 : la borne inférieure de la zone optimale, Uopt : le point optimal et U3 : borne supérieure de la zone optimale) expriment un point de vue particulier.

Les PPWS correspondants seront calculés de la façon suivante :

<u>Pour le PPWS du point U0 :</u>

$$PPWS_{U0(départ)} = PSU_{U0_classse_important} + (C \times PCR_{classe_marginale}) = 0 \quad \textbf{(Équation 31)}$$

Ce modèle exprime qu'aucune dispositif de RUEP n'est installé ni considéré à l'échelle de la région urbaine étudiée.

<u>Pour le PPWS du point U1 :</u>

$$PPWS_{U1(maximal)} = PSU_{U1_classe_important} + (C \times PCR_{classe_marginale}) \quad \textbf{(Équation 32)}$$

Ce modèle exprime que nous utilisons la quantité maximale de l'eau de pluie pour répondre aux demandes en eau non potable. Dans cette logique le coefficient C peut être proche de (ou égal à) 1.

Pour le PPWS du point U2 :

$$PPWS_{U2(opérationnel)} = PSU_{u2_classe_importante} + (C \times PCR_{classe_marginale})$$ **(Équation 33)**

Ce modèle exprime la borne basse de la zone optimale. Dans ce cas la détermination de la valeur du coefficient C nécessite une étude approfondie, car le rapport entre les classes importantes et les classes marginales devient faible (l'utilisation du point U2 réduit la participation des classes importantes dans le PPWS).

Pour le PPWS du point Uopt :

$$PPWS_{Uopt(optimal)} = PSU_{Uopt_classe_importante} + PCR_{classe_marginale}$$ **(Équation 34)**

Ce modèle exprime le point choisi à l'intérieur de la zone optimale afin de désigner un seul point nommé optimal. Dans ce cas une étude approfondie est imposée au même titre que pour le cas précédent.

Pour le PPWS du point U3 :

$$PPWS_{U3(prospectif)} = PSU_{u3_classe_importante} + (C \times PCR_{classe_marginale})$$ **(Équation 35)**

Ce modèle exprime le point de vue prospectif (la borne supérieure de la zone optimale) que nous avons développé dans ce rapport. De ce point de vue, la valeur du coefficient C peut être aussi proche de ou égal à 1.

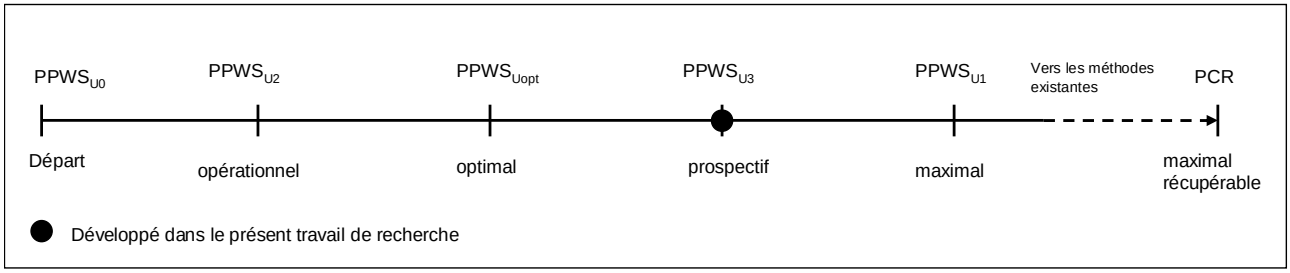


Figure 73. Possibilité de calculer le PPWS selon différents points de vue.

Il convient de signaler que cette difficulté à définir une valeur précise de la participation des classes-de-bâtiments marginales nous a conduit à adopter le principe de majoration au lieu d'allouer une valeur arbitraire à ce coefficient.

Finalement, un nouveau rapport qui émerge entre le bâtiment et la ville

Ce travail de thèse propose un rapprochement entre l'analyse de la réalité urbano-sociale et la modélisation physique. Il s'est focalisé sur une approche originale de changement d'échelles centrée sur « la production d'un chiffre significatif » et la mise en évidence de l'intérêt d'adopter certains principes pour simplifier l'étude du phénomène complexe que constitue le développement

de la RUEP à l'échelle urbaine. Nous avons identifié les divers facteurs qui conditionnent le développement de cette pratique sur une large échelle (échelle urbaine).

Ce travail témoigne d'un nouveau rapport qui commence à émerger entre le bâtiment et la ville. En effet, traditionnellement le bâtiment était aperçu comme un récepteur du service urbain de la part de la ville (énergie, eau,…). Mais cette relation est actuellement en pleine mutation à cause des nouveaux enjeux du 21ème siècle (crise des ressources naturelles, crise des réseaux,…) qui se traduisent par un nouveau rôle pour le bâtiment : le rôle d'autoproduction des services nécessaires à son fonctionnement et même le rôle de contributeur à la production des services pour le système urbain dans son ensemble. Par exemple, les bâtiments dotés d'un dispositif de production de l'électricité « panneaux photovoltaïques » peuvent vendre la surproduction à des fournisseurs d'énergie (pour répondre aux besoins des autres bâtiments). Dans le domaine de la RUEP, la formalisation de cette relation inédite entre le bâtiment et la ville se traduit par le fait que le bâtiment peut satisfaire une partie de ses besoins en eau, mais aussi qu'il est susceptible de contribuer au service urbain d'approvisionnement en eau, via la mutualisation entre les bâtiments (un bâtiment pouvant répondre aux besoins en eau non potable d'autres bâtiments).

En effet, l'étude de ce nouveau rapport entre le bâtiment et la ville dans le contexte du 21ème siècle a généré aujourd'hui le besoin de progresser dans la connaissance pour comprendre, gouverner, concevoir et gérer la ville dite « durable ». La communauté scientifique essaie aujourd'hui de répondre à ce besoin. On note la naissance de plusieurs initiatives dans ce sens. Par exemple, le Groupement d'Intérêt Scientifique « modélisation urbaine » (GIS MU) a pour objectif de progresser vers une approche intégrée de la modélisation urbaine en abordant les différentes échelles du territoire : du bâtiment au quartier et à la ville dans son territoire et ses réseaux.

Notre travail de recherche s'intègre parfaitement dans l'objectif de ce groupement, même si nous nous situons dans la phase amont de la modélisation urbaine (phase de production de connaissances nécessaires à la modélisation urbaine).

Au final, la démarche et la position originale que nous avons adoptées dans le cadre de ce travail sont susceptibles, nous l'espérons, de générer un débat particulièrement intéressant tant auprès des communautés de chercheurs que des professionnels de la ville.

Références bibliographiques

[Abdulla et Al.-Shareef 2009] Abdulla. A. F., Al.-Shareef A.W. « Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan » Desalination, Volume 243, Issues 1-3, July 2009, Pages 195-207.

[Agawal et Narain 1997] Agawal. A. and Narain. S. « Dying wisdom: the rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems ». State of India's Environment 4, A Citizen's Report, CSE, New Delhi 1997. 404 p.

[Alcamo et al. 2003] Alcamo. J. and. Henrichs. T. « Critical regions: a model-based estimation of world water resources sensitive to global changes. Aquat ». 2002, p 352-362.

[Anderson 2005] Anderson. J. M. « Blueprint for a greener city: growth need not cost the earth ». Water, Science and Technology, volume 52, no.9, p 61-67.

[Appan 1999 (a)] Appan. A. « A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses ». Urban Water Vol. 1, 1999, (Issue 4) : p 317-321.

[Appan 1999 (b)] Appan. A. « Economic and water quality aspects of rainwater catchment system ». Proc. Internat. Symp. Efficient Water Use in Urban Areas, UNEP Int. Environ. Tech. Center, Osaka, Japan, 1999.

[Argue 2001] Argue. J.R. « Recent developments in Australian source control technology and practice ». Proc. of 1st Nat. Conf. on Sustainable Drainage. 18th-19th June 2001, Coventry University, UK, pp120-146.

[Arrêté 2008] Arrêté du 21 Août 2008 relatif à « la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments ». Journal official de la république Française. 29 Août 2008.

[Arrêté 2009] Arrêté du 7 septembre 2009 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO.

[Article 461 du code civil] Créé par Loi 1804-01-31 promulguée le 10 février 1804. Modifié par la loi 1898-04-08 art. 1 Bulletin des lois, 12°, B 1970, n° 34577. www.legifrance.gouv.fr.

[Autissier et Moutot 2003] Autissier. D et Moutot. J.M. « Pratiques de la conduite du changement : Comment passer du discours à l'action ». DUNOD, 2003.

[BAD 2000] Banque Africaine de Développement(BAD). 2000 « Politique de gestion intégrée des ressources en eau ». Avril 2000.

[Baromètre C.I.Eau 2009] Baromètre C.I.Eau/TNS-SOFRES 2009 « les français et l'eau » 14e édition principaux résultats. C.I.Eau Avril 2009.

[Barraqué et al. 2008] B. Barraqué, A. Nercessian et des élèves du GREF. « Mieux comprendre comment evolue la consommation d'eau à Paris ». contrat de recherche Ville de Paris et Agence de l'Eau SN, déc. 2008, 105 p.

[Basinger et al. 2010] Basinger. M., Montalto. F., Lall. U. « A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator ». Journal of Hydrology, Volume 392, Issues 3-4, 15 October 2010, Pages 105-118.

[Bates et al. 2008] Bates, B. C., Kundzewicz Z. W., Wu. S et. Palutikof J. P. « Le changement climatique et l'eau ». Document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, éd., 2008, 236 p.

[de Bellaing et al. 2009]. de Bellaing. C. M., Deroubaix. J. F., de Gouvello B. « Les incitations à la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie : mobilisations locales et effets nationaux ». Rapport post doctorat LEESU/SR-UTIL 2009.

[Belmeziti et de Gouvello 2009] Belmeziti. A et de Gouvello. B. « Elaboration d'un modèle prévisionnel de développement de la récupération d'eau de pluie dans le contexte de l'Ile-de-France ». 8ème Congrès International Gruttee. Nancy du 26 au 28 octobre 2009.

[Belmeziti et de Gouvello 2010 (a)] Belmeziti. A et de Gouvello. B. « La diffusion de la récupération d'eau de pluie à l'échelle de la région « Ile-de-France » : Approche méthodologique ». Premières journées du pôle Ville, Environnement et son Ingénierie. Marne-la-Vallée du 20 au 22 janvier 2010.

[Belmeziti et de Gouvello 2010 (b)] Belmeziti. A et de Gouvello. B. « Une approche décisionnelle de la diffusion des pratiques de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie en Ile-de-France ». 4èmes Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine -JDHU- Champs sur Marne, France. 16-17 novembre 2010.

[Beyeler et Triantafillou 1987] Beyeler. C et Triantafillou. C. « La crise des infrastructures urbaines vue au travers des réseaux d'eau potable, d'assainissement et d'élimination des ordures ménagères ». In: Cahier / Groupe Réseaux n°8, 1987. pp. 26-44. Doi: 10.3406/flux.1987.1103 URL: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/flux_1162-9630_1987_num_3_8_1103

[Boulet 1999] Boulet G. « modélisation des changements d'échelle et prise en compte des hétérogénéités de surface et de leur variabilité spatiale dans les interactions sol végétation atmosphère ». Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Grenoble i. 22 mars 1999.

[BPIE/FP2E 2010] BPIE/FP2E., 2010, « Les services collectifs d'eau et d'assainissement en France: Données économiques, sociales et environnementales ». 4ème édition du rapport préparé par la Fédération Professionnelle des entreprises de l'Eau (FP2E).

[Brewer et al. 2001] Brewer, D., Brown, R. & Stanfield. G. « Rainwater and greywater in buildings ». Project report and case studies. Technical Note TN 7/2001, BSRIA, Berkshire 2001.

[Bry 2003] Bray. R. « Sustainable drainage solutions for local authority school sites ». Proc. of 2nd Nat. Conf. on Sustainable Drainage. 23rd-24th June 2003, Coventry university, UK, pp51-62.

[Butler et Davies 2004] Butler, D. et Davies, J. W. « Urban drainage ». 2nd edition, Spon Press, London. 2004. ISBN 0-203-14969-6 Master e-book.

[Butler et Memon 2006] Butler, D. et Memon, F.A. “Water consumption trends and demand forecasting techniques”. In: Butler, D. & Memon, F.A. (ed). Water Demand Management. IWA Publishing. London 2006. pp1-26.

[C.I.Eau 2009] « 56 questions pour “tout” savoir sur l’eau ». C.I.Eau 2009. URL: http://www.cieau.com/cieau/mediatheque/les-brochures-pratiques .

[Cahier CSTB 2005] cahier du CSTB. « le point sur l’eau », cahier N° 3535. Novembre2005.URL:http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/publicationsScientifiques/DOC00003815.pdf

[Cambien et al. 2007] Cambien. A., Lasfargues. F., Dalin. C., Jean Charles. J., Vernay. C.N. « Une introduction à l'approche systémique : Appréhender la complexité ». Certu – Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. Février 2007. http://www.certu.fr/.

[Carré et Deroubaix 2009] Carré. C et Deroubaix. J. F. « L'utilisation domestique de l'eau de pluie révélatrice d'un modèle de service d'eau et d'assainissement en mutation ? », *Flux* 2/2009 (n° 76-77), p 26-37. URL : www.cairn.info/revue-flux-2009-2-page-26.htm .

[Che et al. 2003] Che. W., Li. J., Yan. L., et Wang. W. « First flush control for urban rainwater harvest systems ». Proc. of 11th International Conference on Rainwater Catchment Systems, Texcoco 2003. Mexico.

[Cheng et Liao 2009] Cheng. C. L et Liao. M. C. « Regional rainfall level zoning for rainwater harvesting systems in northern Taiwan » Conservation and Recycling, Volume 53, Issue 8, June 2009, p 421-428.

[Chilton et al. 1999] Chilton. J. C., Maidment G. G., Marriottc. D., Francis. A., Tobias. G. « Case study of a rainwater recovery system in a commercial building with a large roof ». Urban Water 1.1999. p 345–354.

[Chiu et al. 2009] Chiu. Y. R., Liaw. C. H., Chen. L. C. « Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities ». Renewable Energy, Volume 34, Issue 3, March 2009, P 492-498.

[Chouli 2006] E. Chouli. « La gestion des eaux pluviales urbaines en Europe : analyse des conditions de développement des techniques alternatives ». Thèse présentée à l'école nationale des ponts et chaussées, sous la direction de G. Hubert et J-C Deutsch. Soutenue le 11 juillet 2006.

[Concha et Conchita 2004] Concha. L and Conchita. M. « Indicator Fact Sheet - (WQ2) Water use by sectors ». Rapprt. 2004. 10 p.

[Coombes et al. 1999] Coombes. P. J., Kuczera. G., Argue. J. R., Cosgrove. F., Arthur. D. Bridgeman. H. A., et Enright. K. D. « monitoring and performance of the water sensitive urban development at Figtree Place in Newcastle ». In Proceedings of the 8th International Conference on Urban Storm Drainage. Sydney 1999, Australia. p1319–1326.

[Coombes et al. 2002] Coombes. P.J., Kuczera. J., Kalma. J. D., Argue. J.R « An evaluation of the benefits of source control measures at the regional scale » Urban Water, Volume 4, Issue 4, December 2002, Pages 307-320.

[Coombes et al. 2003] Coombes. P.J., Boubli. D., et Argue. J. R. « Integrated water cycle management at the Heritage Mews development in Western Sydney ». Proc. of 28th International Hydrology and Water Resources Symposium, Wollongong, Australia 2003.

[Coombes et al. 2004] Coombes. P. J., Spinks. A., Evans. C., Dunstan. H. « Performance of rainwater tanks at an inner city house in Carrington NSW during à Drought » WSUD 2004 International Conference on Water Sensitive Urban Design: Cities As Catchments, 21-25 Nov 2004, Adelaide, South-Australia. URL: http://www.perthrainwatertanks.com.au/images/uploads/Coombes_Research_paper.pdf

[Coombes et Kuczera 2003] Coombes. P.J et Kuczera. G. « Analysis of the Performance of Rainwater Tanks in Australian Capital Cities ». The Institution of Engineers, Australia 28th International Hydrology and Water Resources Symposium 10 – 14 November 2003 Wollongong NSW.

[Cornut et Marissal 2007] Cornut. P et Marissal. P. « La parabole de la citerne d'eau de pluie ou les contradictions des comportements écologiques anti-sociaux ». Environnement et inégalités sociales, Bruxelles, Editions de l'Université de Bruxelles, 2007. URL: http://digistore.bib.ulb.ac.be/2011/i9782800413969_000_f.pdf

[Coutard et Rutherford 2009] Coutard. O et Rutherford. J. « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques décentralisées », Flux, 2009/2 n° 76-77, p. 6-13.

[Crozier et Freidberg 1992] Crozier. M et Friedberg. E. 1992 (édition originale 1977). « Acteur et le système ». Paris : le seuil.

[Cunliffe 1998] Cunliffe. D.A. « Guidance on the use of rainwater tanks ». National Environmental Health Forum Monographs, Water Series No. 3. Openbook Publishers, 1998. Australia.

[Datar 2006] Datar. R. « Designing and implementing rainwater harvesting systems for industries -case study from Mumbai ». 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)", 21st-23rd November, 2006, Bangkok, Thailand.

[Dérangère et al. 2000] Dérangère. D., François. C., Hilaire. B et Lakel. A. « L'utilisation des eaux pluviales dans l'habitat- recherche exploratoire-». Cahiers du CSTB, N° 3301, décembre 2000.

[Deroubaix et Petrucci 2009] Deroubaix. J. F et Petrucci. G. « Evaluation de l'expérimentation autour de la récupération et de l'utilisation des eaux de pluie chez les particuliers (campagnes de Champigny-sur-Marne et de Chevilly-Larue). Pré-rapport final pour le Conseil Général du Val de Marne Direction des Services de l'Eau et de l'Assainissement -Volet sociologique-. Décembre 2009.

[Downing et al. 2003] Downing. T. E., Butterfield. R. E., Edmonds. B., Knox J.W., Moss. S., Piper B. S & Weatherhead. E. K. « Climate change and demand for water ». Final report. Stockholm Environment Institute, Oxford Office, Oxford, February 2003.

[Dugeny et al. 2009] « Les conditions de logement en 2006 Île-de-France en 2006 ». Ouvrage produit dans le cadre d'un partenariat entre l'Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France (IAUîdF), l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) et la Direction régionale de l'équipement d'Île-de-France (Dreif). 2009. Document, données et synthèse disponibles sur : www.iau-idf.fr.

[Environment Agency 2003] Environment Agency. « Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide ». July 2003. URL: http://www.environment-

agency.gov.uk/static/documents/Leisure/rainharvest_june04_809069.pdf

[Environment Agency 2007] Environment Agency . « Water resources: rainwater reuse ». 2007. Online article from Environment Agency website: http://www.environmentagency.gov.uk/subjects/waterres/286587/286911/548861/861599/?version=1&lang=_e

[Eroksuz et Rahman 2010] Eroksuz E et Rahman A. « Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities ». Conservation and Recycling, Volume 54, Issue 12, October 2010, p 1449-1452.

[Evans et al. 2006] Evans. C. A., Coombes. P. J., Dunstan. R.H. « Dunstan Wind, rain and bacteria : The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater ». Water Research, Volume 40, Issue 1, January 2006, Pages 37-44.

[FAO 2006] Food and Agriculture Organization (FAO). « La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture ». Rapport annuel. 2006.

[Farreny et al. 2011] Farreny. R., Morales-Pinzón. T., Guisasola. A., Tayà. C., Rieradevall. J., Gabarrell. X « Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain ». Water Research, Volume 45, Issue 10, May 2011, Pages 3245-3254.

[Fewkes 1989] Fewkes. A. « The design and evaluation of a rain water cistern system for W.C. flushing ». Proc. of 4th International Conference on Rain Water Cistern Systems, Manila, Philippines, August, 1989.

[Fewkes 1999 (a)] Fewkes. A. « Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach », Building and Environment. 1999. Vol. 1 (Issue 4): p 323-333.

[Fewkes 1999 (b)] Fewkes. A. « The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system ». Building and Environment, Volume 34, Issue 6, November 1999, Pages 765-772.

[Fewkes 2006] Fewkes. A. « The technology, design and utility of rainwater catchment systems. In: Butler ». Water Demand Management. IWA Publishing. London 2006. pp27-61.

[Fewkes et Butler 2000] Fewkes. A et Butler. D. « Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models ». Building Services Engineering Research and Technology. 2000. Volume 21, pp99-106. ISBN 1843390787.

[Fofol 2011] Fofol. S « Exploitation d'un système de récupération de l'eau de pluie ». Rapport de stage scientifique, première année, sous la direction : de Gouvello. B et Belmeziti. A. Ecole Nationale des Ponts Paristech. Juillet 2011.

[François et Hilaire 2000] François. C et Hilaire. B. « Eau potable et sanitaire : Guide pour les économies d'eau ». CSTB 2000.

[Fugier 2009] FUGIER. P. « La mise en œuvre d'un protocole de recherche exploratoire en sociologie. Le terrain précurseur et les lectures exploratoires ». ¿ Interrogations ? - Revue pluridisciplinaire en sciences de l'homme et de la société. Numéro 9. L'engagement. Décembre 2009. http://www.revue-interrogations.org.

[Gato 2006] Gato. S. « Forecasting Urban Water Residential Demand » Phd thesis, RMIT University, Victoria. 2006. Australia.

[Gato et al. 2004] Gato. S., Jayasuriya. N., Roberts. P., and Hadgraft. R. « Understanding residential water use ». Proceedings of the Enviro 04 conference, Sydney, 28 March -1 April 2004.

[Gestion de l'eau 2004] Gestion de l'eau : CSTB- projet d'avril. référentiel technique de certification « bâtiments tertiaire -démarche HQE- Bureau et enseignement –partie III : QEB ». CSTB, 2004.

[Ghisi et al. 2006] Ghisi. E., Montibeller. A., Schmidt. R. W. « Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil ». Building and Environment. 2006. Vol. 41(Issue 2): p204-210.

[Ghisi et al. 2007] Ghisi. E., Bressan. D.L., Martini. M. « Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil », Building and Environment Vol 42, (Issue 4): P 1654-1666. April 2007

[Ghisi et al. 2009] Ghisi. E., Tavares. D. F., Rocha. V.L. « Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis ». Conservation and Recycling, Volume 54, Issue 2, December 2009, Pages 79-85.

[Ghisi et Ferreira 2007] Ghisi. E., et Ferreira. D. F. « Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil ». Building and Environment, Volume 42, Issue 7, July 2007, Pages 2512-2522.

[Ghisi et Mengotti 2007] Ghisi. E., Mengotti. E. « Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil ». Building and Environment, Volume 42, Issue 4, April 2007, Pages 1731-1742.

[Gires et de Gouvello 2009] Gires. A et de Gouvello. B. « Consequences to water suppliers of collecting rainwater on housing estates". water science and technology, 2009. Vol. 60, N°3. p : 543-553.

[Golovtchenko et Souchet 2005] Golovtchenko. A et Souchet. F. «Pratiques des lieux et relations sociales dans les copropriétés toulousaines », CNRS, CERTOP – Maison de la Recherche, Université de Toulouse-Le Mirail. Octobre 2005.

[Gould et Nissen-Peterson 1999] Gould. J. & Nissen-Peterson. E. « Rainwater catchment systems for domestic supply: design, construction and implementation ». Intermediate Technology Publications, London 1999.

[de Gouvello 2010] de Gouvello. B « La gestion durable de l'eau : gérer durablement l'eau dans le bâtiment et sa parcelle ». Livre guide pour bâtir le développement durable. Editions CSTB. Novembre 2010.

[de Gouvello et al. 2005] de Gouvello. B., Berthineau. B., Croum. I., François. C. « L'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment. Les résultats d'opérations expérimentales en France » ANNALES du BTP. 2005. Vol 3 (ISSN 1270-9840).

[de Gouvello et al. 2010] de Gouvello. B., de Longvilliers. S., Rivron. C., Muller. C., Lenoir. P. «Elaboration d'un outil d'aide au dimensionnement de cuves de récupération adapté au contexte méditerranéen ». 7ème conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Lyon du 27 juin au 1er juillet 2010.

[de Gouvello et Khouil 2004] de Gouvello. B et Khouil. Y. « La récupération de l'eau de pluie dans les bâtiments à usage collectif en France : état des lieux et retours d'expériences ». In : APTEN – ESIP. Journées Informations Eaux, 16e édition, recueil de conférences, 29 septembre-1er Octobre 2004, Poitiers. 2004, Tome 2, pp. 94/1 – 94/9

[de Gouvello et Noeuvéglise 2007] de Gouvello. B et Noeuvéglise. M. « récupération et utilisation de l'eau de pluie dans les opérations de construction -Retour d'expériences et recommandations-». Etude ARENE-CSTB, Avril 2007. Document téléchargeable sur le site des ARENE Ile-de-France : www.areneidf.org

[Grant 2003] Grant. N. « The economics of water efficient products in the household ». Environment Agency, report EA/BR/E/STD/V1, June 2003.

[GUEB 2005] « La Gestion de l'Utilisation des Eaux dans le Bâtiment » (GUEB) direction régionale de l'équipement. Nord-Pas-de-Calais. Avril 2005. URL : http://iqc.application.equipement.gouv.fr/iqcconsult/iqccommun/documents/gestion_eau_batiment.pdf

[Guide 2007] « Guide de la coopération décentralisée: pour l'eau potable et l'assainissement ». Groupe d'échanges sur l'action Internationale « eau et assainissement » de l'Etat et des collectivités territoriales. Mars 2007.

[Guide méthodologique 2008] Guide méthodologique. « Analyse et réduction des consommations d'eau dans les établissements tertiaires ». CREAQ, 2008. URL : http://www.energies-davenir.com/bibliotheque-ea/eau/reduction_conso_eau_tertiaire.pdf

[Guide pratique 2010] Guide pratique. « Installation d'assainissement autonome : conception, mise en oeuvre et entretien pour maison individuelle – en application de norme XP DTU 64.1 » CSTB – mars 2010. ISBN 978-2-86891-455-2.

[Guillerm et Auffray 1984] A. Guillerm et D. Auffray. « Le retour de la voile dans la propulsion des navires commerciaux, étude comparative entre le Japon et la France ». CNRS, programme Science-Technologie-Société, octobre 1984.

[Guillon et al. 2008] Guillon. A., Kovacs. Y., et al.. « Rain water reusing for watering purposes: what storage capacity is needed and what benefits for the sewer networks? ». 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland. 2008. UK.

[GWP 2009] Global Water Partenership (GWP). « Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin ». Rapport Publié en 2009 par le Partenariat mondial de l'eau (GWP) et le Réseau international des organismes de bassin (RIOB).

[Hall et al. 1997] Hall. T., Ainsworth. R.G., Dillon. G., Gregory. R., Head. R., Jackson. P., Tomlinson. E. J., Walker. I & Watts. M. « Water treatment processes and practices ». 2nd Edition. WRc.1997. Swindon.

[Haniquaut 2005] Haniquaut. C. « Les économies d'eau au niveau des usages de type domestique, dans le cadre individuel ou collectif ». Etude réalisée pour l'ARPE (Agence Régionale Pour l'Environnement) Midi-Pyrénées. Juillet 2005.

[Hassell 2005] Hassell. C. « Rainwater harvesting in the UK – a solution to increasing water shortages? » Proc. of 12th International Conference on Rainwater Catchment Systems, New Delhi India. 2005.

[Herrington 1996] Herrington. P.R. « Climate change and the demand for water ». Department of the Environment, HMSO, London. 1996.

[Herrmann et Schmida 1999] Herrmann. T, & Schmida. U. "Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects". Urban Water, 1 (4), pp307-316. 1999.

[Herrmann et Uwe 1999] Herrmann. T et Uwe. S. « Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects ». Urban Water. Vol. 1(Issue 4): p 307-316. 1999.

[Hills et al. 1999] Hills. S., English. P. & Ford. R. « A recycling demonstration showcase at the Millennium Dome ». Proceedings of the CIWEM National Conference, London, 19th May 1999.

[Howarth 2006] Howarth. D. « Legislation and regulation mandating and influencing the efficient use of water in England and Wales ». In: Butler, D. & Memon, F.A. (Eds). Water Demand Management. IWA Publishing. London, p 280-304. 2006.

[IFEN 2007] IFEN Eau, n°117, mars 2007

[Imteaz et al. 2011] Imteaz. M.A., Shanableh. A., Rahman. A., Ahsan. A. « Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia ». Conservation and Recycling, Volume 55, Issue 11, September 2011, Pages 1022-1029.

[Isnard 2006] Isnard. L. « La récupération des eaux pluviales en France ' état des lieux ' : pour une approche durable » Mémoire de master Urbanisme, sous la direction de Coutard O. Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne. 163 p. 2006.

[James et al. 2009] James. P., Heaney. L.W., and Sample. D. « Stormwater Storage-Treatment-Reuse Systems ». Australian Journal of Water Resources, volume 2, no.1. 2009.

[Jenkins 1978] Jenkins. D., Pearson. F, Moore. E., Sun J. K., & Valentine. R. « Feasibility of rainwater collection systems in California ». Contribution No. 173. Californian Water Resources Centre, University of California. 1978.

[Kellagher et Maneiro 2005] Kellagher. R. B et Maneiro F. E. « Rainfall collection and use in developments; benefits for yields and stormwater control ». HR Wallingford. 2005.

[Kfoury 2004] Kfoury. M. « Changement d'échelle séquentiel pour des milieux fracturés hétérogènes ». Thèse présenté à l'Institut National Polytechnique de Toulouse « INPT », spécialité « Sciences de la terre et environnement ». Soutenue publiquement le 16 Novembre 2004.

[Khastagir et Jayasuriya 2010] Khastagir. A, Jayasuriya. N. « Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation ». Journal of Hydrology. Volume 381, Issues 3-4, 15 February 2010, Pages 181-188.

[Konig 2000] Konig. K. W. "Rainwater utilisation. In: Technologies for Urban Water Recycling". Cranfield University. 2000.

[Konig 2001] Konig. K. W. « The rainwater technology handbook: rain water harvesting in building ». Wilo-Brain, Dortmund, Germany. 2001.

[Krishna et al. 2005] Krishna, H.J., Brown, C., Gerston, J. & Colley, S. 2005. « The Texas manual on rainwater harvesting ». Texas Water Development Board, 3rd Edition, Austin, Texas, United States of America.

[L'eau en chiffre 2003] L'eau en chiffres 2003. Centre d'information sure l'eau. Compagne générale des eaux. Janvier 2003.

[Lancaster 2006] Lancaster, B. "Guiding principles to welcome rain into your life and landscape. In: Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond", vol. 1. Rainsource Press, Tucson, Arizona 2006.

[Latham 1983] Latham. B. G. « Rainwater collection systems: the design of single purpose reservoirs ». MSc thesis, University of Ottawa, Canada. 1983.

[Lau et al. 2005] Lau. T. L., Majid. T. A., Choong. K. K., Zakaria. N. A & Ghani, A .A. « Study on a high rise building incorporated with rainwater harvesting storage tank towards building a sustainable urban environment in Malaysia ». The World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27th-29th September 2005.

[Le Bris et Coutard 2008] Le Bris. C et Coutard. O. « Les réseaux rattrapés par l'environnement ? Développement durable et transformations de l'organisation des services urbains », Flux, 2008/4 n° 74, p. 6-8.

[Leggett et al. 2001(a)] Leggett, D.J., Brown, R., Brewer, D., Stanfield, G. & Holliday, E. 2001(a). « Rainwater and greywater use in buildings: best practice guidance ». CIRIA report C539, London.

[Leggett et al. 2001(b)] Leggett, D.J., Brown, R., Stanfield, G., Brewer, D. & Holliday, E. 2001(b). « Rainwater and greywater use in buildings: decision-making for water conservation ». CIRIA report PR80, London.

[Liaw et Tsai 2004] Liaw. C. H et Tsai Y. L. "Optimum storage volume of rooftop rainwater harvesting systems for domestic use". J Am Water Resour Assoc 2004; 40(4):901–12.

[Lodge 2000] Lodge. B.N. A water recycling plant at the Millennium Dome. ICE Proceedings, Special Issue 1, pp58-64. 2000.

[Loga et al. 2005] Loga T., Knissel J., Diefenbach N., Born R « Development of a simplified data collection method for the assessment of the energy performance of the energy performance of residential buildings ». IWU 2005

[Maigne 2006] Maigne. J. « La gestion durable des techniques alternatives en assainissement pluvial ». Synthese technique. Communauté Urbaine de Lyon. Janvier 2006.

[Martinson et Thomas 2005] Martinson. D.B. & Thomas. T. Quantifying the first-flush phenomenon. Proc. of 12th International Rainwater Catchment Systems Conference, New Delhi, India, November 2005.

[Massot 2009] Massot. A. 2009. « Les copropriétés en Ile-de-France –analyses statistiques-». IAU-IDF, Janvier 2009. Document disponible sur le site : www.iau-idf.fr.

[McGhee 1991] McGhee. T.J. Water supply and sewerage. 6th edition. McGraw-Hill Books Co, Singapore 1991.

[McMahon et Mein 1978] McMahon, T.A. & Mein, R.G. « Reservoir capacity and yield. In: Chow ». Developments in Water Science, volume 9, pp. 71-106, Elsevier, London 1978.

[Miquel 2003] Miquel G (Sénateur). «La qualité de l'eau et de l'assainissement en France». Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport, n° 215 sénat session ordinaire de 2002 - 2003. 195 p.

[Montginoul 2002] Montginoul M. « La consommation d'eau des ménages en France : Etat des lieux ». Cemagref & Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, UMR Gestion des Services Publics. 10 Juin 2002.

[Montginoul 2006] Montginoul. M. « Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages : un état des lieux », Ingénieries, n°45, pp. 49-62. 2006.

[Moulin 2011] Moulin T. 2011. « Analyse du processus décisionnel de se munir de systèmes de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie : réflexions à partir d'approches qualitatives et quantitatives partielles ». Rapport de stage de recherché sous la dir. de B. de Gouvello avec la participation A. Belmeziti. École des Ponts Paris-Tech. Année universitaire 2010-2011.

[Mun et Han 2012] Mun J.S et Han M.Y. « Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: Definition, sensitivity and verification ». Journal of Environmental Management, Volume 93, Issue 1, January 2012, Pages 147-153.

[Nguyen et al. 2011] Nguyen-Deroche N., de Gouvello B., Lucas F., Moulin L., Saad M., Gromaire M-C., 2011, Rainwater harvesting in dwelling-houses in France: current regulatory context and quality issues, 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 10-15 September 2011, 8 p.

[Nimes et al. 2011] Nimes G, Chartier M, Seidl M. 2011. « La récupération de l'eau de pluie en Ile-de-France ». Mémoire de stage Master 1 Mention Géographie. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne UFR 08. Année Universitaire 2010-2011.

[Norme Française 2011] « Systèmes de récupération de l'eau de pluie pour son utilisation à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments ». NF P 16-005. AFNOR Octobre 2011.

[Ntale 2003] Ntale, H.K. (2003). Improving the quality of harvested rainwater by using first flush interceptors/retainers. Proc. of 11th International Conference on Rainwater Catchment Systems, Texcoco, Mexico.

[Pacey et Cullis 1989] Pacey, A et Cullis, A. « Rainwater Harvesting: The Collection of Rainfall and Runoff in Rural Areas ». Intermediate Technologie Publications 103-105 Southampon London, UK (ISBN 0946688 22 2). 1989

[Perrens 1982] Perrens, S. « Design strategy for domestic rainwater systems in Australia ». Proc. of 1st International Conference on Rainwater Cistern Systems. Hawaii 1982.

[Plaquette d'informations 2009] Plaquette d'informations.2009. « Systèmes d'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment : règles de bonnes pratiques à l'attention des installateurs ». Livret réalisé à la demande à la demande du ministère

de l'écologie par le CSTB, CAPEB, FFB, IFEP, SRIPS et PROFLUID. Août 2009.

[Poujol 1990] T. Poujol. « Le développement de l'assainissement par dépression un réseau urbain retrouve ». Thèse présentée à l'école nationale des ponts et chaussées, sous la direction de G. Dupuy. Soutenue le 24 septembre 1990.

[Rahman et al. 2010] Rahman. A., Dbais. J et Imteaz M. 2010. « Sustainability of Rainwater Harvesting Systems in Multistorey Residential Buildings". merican J. of Engineering and Applied Sciences 3 (1): 73-82, 2010.ISSN 1941-7020.

[Rivron 2009] Rivron C. « Réalisation d'un outil de dimensionnement de stockage de récupération d'eau de pluie ». Stage scientifique, sous la dérection de B. de Gouvello. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées réalisé au LEESU, 69 p. 2009.

[Roaf 2006] Roaf, S. Drivers and barriers for water conservation and reuse in the UK. In: Butler, D. & Memon, F.A. (Eds). Water Demand Management. IWA Publishing. London 2006. pp 215-235.

[Roebuck 2007] Roebuck R M. « A WHOLE LIFE COSTING APPROACH FOR RAINWATER HARVESTING SYSTEMS: An investigation into the whole life cost implications of using rainwater harvesting systems for non-potable applications in new-build developments in the UK". A thesis submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. School of Engineering, Design and Technology University of Bradford. 2007. URL : http://sudsolutions.co.uk/phd_thesis.htm

[de Rosnay 1977] de Rosnay. J. « Le macroscope : vers une vision globale ». Édition : Essais.1977.

[Sakellari et al. 2005] Sakellari. I., Makropoulos. C., Butler. D & Memon, F.A. « Modelling sustainable urban water management options ». Proc. of the Institution of Civil Engineers. Engineering Sustainability 158, September 2005, Issue ES3, pp143-153.

[Sazakli et al. 2007] Sazakli. E.,. Alexopoulos. A et M. Leotsinidis « Rainwater, harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece ». Water Research, Volume 41, Issue 9, May 2007, Pages 2039-2047.

[Scholz 2004] Scholz. M. « Case study: design, operation, maintenance and water quality management of sustainable storm water ponds for roof runoff ». Bioresource Technology, Volume 95, Issue 3, December 2004, pp 269-279.

[Sennhauser 2010] Sennhauser. Ph. « Approche économique de la décision de recourir à un dispositif de récupération et utilisation d'eau de pluie : prise en compte d'une variabilité comportementale ». Stage de recherche sous la direction de B. de Gouvello avec la participation de A. Belmeziti. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées réalisé au LEESU, 42 p.

[Shata 1982] Shata. A. « Past, present and future development of catchment areas in the Mediterranean coastal desert of Egypt ». Proc. of International Conference on Rainwater Cistern Systems, Honolulu, Hawaii 1982, pp 23-32.

[Sim et al. 2005] Sim. P., McDonald. A., Parsons. J. & Rees. P. « The options for UK domestic water reduction ». August 2005, University of Leeds, UK. URL : http://www.geog.leeds.ac.uk/fileadmin/downloads/school/research/wpapers/05-3.pdf

[Smith et al. 2000] Smith. A., Khow. J., Hills. S & Donn. « Water reuse at the UK's Millennium Dome ». Membrane Technology, Volume 2000, Issue 118, February 2000, pp 5-8.

[Sotralentz habitat 2010] « Eaux de pluie stockages aériens et enterrés, périphériques et accessoires, particuliers collectivités et entreprises ». Sotralentz habitat 2010. URL http://www.laurent-gonidec.com/SOTRALENTZ.pdf.

[Stephenson 2002] Stephenson. A. « Innovative hard solutions to rainwater re-use, source control and SUDS ».Proc. of 22nd meeting of the Standing Conference on Stormwater Source Control: Quantity and Quality. Coventry University, 13th February 2002.

[Su et al. 2009] Su. M-D., Lin. C-H, Chang. L-F., Kang. J-L et Lin.M-C. « A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation Resources », Conservation and Recycling, Volume 53, Issue 7, May 2009, pp393-399

[TABULA 2011] Cyx. W., Renders. N., Van Holm. M et Verbeke S. « IEE TABULA - Typology Approach for Building Stock Energy Assessment ». Scientific report composed within the framework of the IEE funded TABULA project. 2011.

[TABULA 2012] « Application of Building Typologies for Modelling the Energy Balance of the Residential Building Stock » hematic Report N° 2. February 2012. http://www.building-typology.eu/

[Theo et al. 1985] Theo. A., Dillaha. III., William. J. « Zolan Rainwater catchment water quality in Micronesia ». Water Research, Volume 19, Issue 6, 1985, pp 741-746.

[Thomas 1998] Thomas. T. (1998). « Domestic water supply using rainwater harvesting ». Building Research & Information, volume 26, no.2, pp 94-101.

[Thomas 2002] Thomas. T. « RWH performance predictor for use with coarse (i.e.monthly) rainfall data ». Domestic Roofwater Harvesting Research Programme Report RN-RWH 04, Development Technology Unit, University of Warwick. 2002.

[TLFI 2011] Trésor de la Langue Française Informatisé. Est un dictionnaire disponible en ligne, mis en place par l'ATILF (analyse et traitement informatique de la langue française), le CNRS (centre nationale de la recherche scientifique) et l'université de Nancy. Pour plus d'information : http://atilf.atilf.fr/

[TMP 2009] « Livret de l'utilisateur d'une installation de cuve de récupération d'eau de pluie ». 2009. URL: http://www.tmpconvert.com/bdd/fichiers/pages/file/LIVRETUTIL.CUVE.pdf.

[Triantafillou 1987] Triantafillou. C. « la dégradation et la réhabilitation des réseaux d'assainissement France - Angleterre - Etats-Unis ».

Thèse présentée à l'école nationale des ponts et chaussées, sous la direction de Dupuy. G. soutenue le 8 Décembre 1987.

[Trudel et al. 2006] Trudel. L., Simard. C et Vonarx. N. « La recherche qualitative est-elle nécessairement exploratoire? ». Recherches qualitatives – hors serie –numero 5– pp. 38-45. Actes du colloque recherche qualitative : les questions de l'heure.

[Tx DOT 2009] TxDOT, 2009. « Hydraulic Design Manual ». Texas. Document disponible sur : http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/hyd.pdf

[UKCIP 2002] UKCIP. « Climate change scenarios for the United Kingdom: the UKCIP 02 ». Scientific report. UK Climate Impacts Programme, April 2002. URL: http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wp-content/PDFs/UKCIP02_briefing.pdf.

[UNESCO 2010] UNISCO 2010. « L'eau dans un monde qui change ». 3é rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau.

[UNESCO et OMM 1997] UNESCO et OMM (1997). Y a-t-il assez d'eau sur la Terre. Rapport n° 857,22p.

[Vialle et al. 2010] Vialle. C, Sablayrolles. C, Lovera. M, Huau. M-C, Montréjaud-Vignoles M. « Suivi hydraulique et modélisation d'un système de récupération des eaux de pluie en aval des toitures ». 4èmes Journée Doctorales en Hydrologie Urbaine -JDHU- Champs sur Marne, France. 16-17 novembre 2010.

[Villarreal et Dixon 2005] Villarreal. E.L et Dixon. A. (2005). « Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen ». Norrköping, Sweden. Building and Environment, volume 40, pp 1174-1184.

[Vleuten-Balkema 2003] Vleuten-Balkema. A.J. « Sustainable wastewater treatment: developing a methodology and selecting promising systems ». PhD thesis, Eindhoven Technical University 2003.

[Wainwright et Mulligan 2004] Wainwright. J & Mulligan. M. « Environmental modelling: finding simplicity in complexity ». Environmental Monitoring and Modelling Research Group, Department of Geography, King's College London, Strand London WC2R2LS UK. 2004.

[Ward et al. 2010] Ward. S., Memon. F.A., Butler. D. 2010. « Harvested rainwater quality: the importance of appropriate design ». Water Science and Technology 61 (7), 1707-1714.

[Wenger et al. 2003] Wenger. R., Rogger. C, Wymann von Dach. S. « Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) : La voie du développement durable ». Info Resources Focus. 2003.

[Weymersche 2006] P. Weymersche. « Institution, réalisation des contrôles diagnostics, bilan et optimisation des systèmes d'assainissement non collectif des usagers du SIVOM du pays de Brisach ». Mémoire de licence professionnelle « Protection de l'environnement ». Spécialité : gestion des eaux urbaines et rurales. Sous le tutorat de L. Flaesch et C. Beck. Université de Strasbourg Promotion 2005/2006.

[Woods-Ballard et Malcolm 2003] Woods-Ballard. B. et Malcolm, M. « Whole Life Costing for sustainable drainage schemes ». Proc. of 2nd Nat. Conf. on

Sustainable Drainage. 23rd-24th June 2003, Coventry university, UK, pp 181-192.

[Wu et al. 2003] Wu. C., Junqi. L., Yan. L & Wenhai. W. « First flush control for urban rainwater harvest systems ». Proc. of 11th International Rainwater Catchment Systems Conference, Texcoco, Mexico, August 2003.

[Zaizen et al. 1999] Zaizen. M., Urakawa. T., Matsumoto. Y et Takai. H. 2000. « The collection of rainwater from dome stadiums in Japan ». Urban Water Vol. 1(Issue 4): p 355-359.

[Zella et Smadhi 2010] Zella. L et Smadhi. D. « L'EAU : ETAT DES LIEUX DES POTENTIALITES ET DES PRELEVEMENTS ». Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 69-80.

[Zhang et al. 2009] Zhang. Y., Chen. D., Chen. L et Ashbolt. S. « Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities ». Journal of Environmental Management, Volume 91, Issue 1, October 2009, Pages 222-226.

[Zhu et Liu 1998] Zhu. Q. et Liu. C. « Rainwater utilisation for sustainable development of water resources in China ». The Stockholm Water International Symposium, 1998, Stockholm, Sweden.

Sites internet

Consultés entre décembre 2008 et février 2012 **:** la plupart de ces sites ont été consultés à plusieurs reprises au cours de cette période.

http://www.iau-idf.fr/

http://insee.fr/fr/

http://atilf.atilf.fr/tlf.htm

http://www.cieau.com/

www.eaudeparis.fr

http://www.bricovideo.com/

http://www.crit.archi.fr/

http://www.r2ds-ile-de-france.com/

http://www.graf.fr/

http://www.ene-sarl.fr/

http://www.rotomade.com/

http://www.iseauenergie.net/

http://www.lanive.fr

http://www.simop.fr/

www.murdeau.eu

http://www.linternaute.com/

http://www.cadastre.gouv.fr

http://www.annuaire-mairie.fr/ville-drancy.html

http://www.colombes.fr/

http://www.sedif.com

http://www.iledefrance.fr

ftp://ftp.ign.fr/

http://gepasud.upf.pf/index.html

http://www.google.fr/intl/fr/earth/index.html

www.areneidf.org

http://www.aorif.org/association-regionale/presentation

Annexes

Annexe 1 : questionnaire des enquêtes : disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage

Annexe 2 : Exemples de cuves de RUEP commercialisées et dimensions associées

Annexe 3 : Représentativité des bâtiments utilisés pour le calcul des bâtiments équivalents

Annexe 4 : Réorganisation du MOS-IAU

Annexe 5 : Opérations de retour d'expérience

Annexe 6 : PCR des communes de l'agglomération de Paris

Annexe 7 : Indice de végétation : méthodologie IAURIF

Annexe 8 : Exemples des parcelles (bâtiments) échantillonnées

Annexe 1 : questionnaire des enquêtes : disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage

Cette enquête a été menée par G. Nimes et M. Seidl dans le cadre du projet SR-Util. Elle était effectuée sur 50 maisons de la commune Champigny-sur-Marne. Il convient de signaler que questions posée sont élaborées suite à notre cahier des charges (un ensemble de questions et d'hypothèses posées dans le cadre du travail de thèse).

UNIVERSITÉ PARIS-EST — LEESU Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains — Université Paris 1 — Mai 2011

ENQUETE : Récupération de l'eau de pluie en Ile de France

Enquêteur :…… **Lieu** :…… **Date** : ……**Heure** : ……

Bonjour. Je suis étudiante en Master en Géographie à la Sorbonne. Dans le cadre de mon stage, j'effectue une enquête pour l'Université Paris Est pour mieux connaître les possibilités de la récupération de l'eau pluie en Ile de France. Je pourrais vous posez quelques questions ?
Le questionnaire ne vous prendra que quelques minutes, mais aidera grandement les chercheurs de l'Université. Le questionnaire est entièrement anonyme.

A UTILISATION DE L'ESPACE (Aspect physique -> observation)

1 Identification cadastre (rayer la mention inutile)
- ☐ Ville/CP :
- ☐ Numéro et rue :
- ☐ Nombre personnes occupant la maison : .... dont .... d'enfant de – de 18 ans.
- ☐ occupant questionné Homme / Femme

2 Occupation parcelle (rayer les mentions inutiles).
- ☐ Terrain : …....m²
- ☐ Bâti : …....m²
- ☐ Surface habitable : …....m²
- ☐ Nombre d'étages : ……
- ☐ Mitoyenne oui / non …… murs
- ☐ Toiture plate / inclinée
- ☐ Garage : oui / non …....m²
- ☐ Abris de jardin : oui / non …..... m²
- ☐ Cours/Terrasse: oui / non …..... m²
- ☐ Chemin d'accès : longueur /largeur …… m

3 Végétation du jardin (MULTI.)
- ☐ Potager : …..%
- ☐ Fleurs : …..% (plantes décoratives)
- ☐ Gazon : …..%
- ☐ Arbres, arbustes : …..%

4 Y-a-t'il de l'espace pour une cuve d' 1m2 au sol et 2m de hauteur dans : (MULTI.)
- ☐ Jardin
- ☐ Cours
- ☐ Garage
- ☐ Autres

B DISPONIBILITE DE L'ESPACE (Aspect humain -> enquête)

5 Connaissiez-vous déjà les systèmes de Récupération et Utilisation d'Eau de Pluie
- ☐ Oui
- ☐ Non

6 En possédez-vous un ? (-1-)
- ☐ Oui : cuve d'un volume de : …....., installé dans *(lieu)* : ….....
- ☐ Non,

8A Si NON pour quelles raisons ? (MULTI.)
- ☐ Ne connaissait pas
- ☐ Trop coûteux
- ☐ Peu esthétique
- ☐ Pas de place
- ☐ Trop compliqué
- ☐ Autres : …....

8B Si la mairie vous offre une cuve pour la récupération d'eau de pluie : (-MULTI-)
- ☐ Vous acceptez car c'est gratuit
- ☐ Vous acceptez pour faire un geste pour l'environnement
- ☐ Vous n'acceptez pas par manque d'utilité
- ☐ Vous n'acceptez pas par manque d'espace
- ☐ Vous n'acceptez pas pour d'autres motifs

10 (NON) Si vous acceptez, vous placeriez la cuve plutôt : (-1-),
- ☐ A l'intérieur (ou ?)
- ☐ A l'extérieur (ou ?)

7A Si OUI, quelle était la raison de votre achat ? (MULTI.)
- ☐ Economies financières
- ☐ Aspect écologique - préservation de la nature
- ☐ Expériences positives des connaissances, des amis ou de la famille
- ☐ Autres : …....

7B (OUI) Quelle était le facteur le plus important pour le choix de la cuve?
- ☐ Prix
- ☐ Volume
- ☐ Esthétique

7C (OUI) Vous entretenez (nettoyage, vidange, hivernage etc) votre cuve ?
- ☐ OUI
- ☐ NON

10 (OUI) La cuve se trouve :
- ☐ A l'intérieur (ou ?)
- ☐ A l'extérieur (ou ?)

11 (NON) Quel serait LE critère du choix pour l'emplacement de la cuve ? (-1-)
- □ Esthétisme
- □ L'espace disponible
- □ Connexion des gouttières
- □ Autres :

11 (OUI) Quel était LE critère du choix pour l'emplacement de la cuve ? (-1-)
- □ Esthétisme
- □ L'espace disponible
- □ Connexion des gouttières
- □ Autres :

12 (NON) Utiliseriez-vous l'eau récupérée pour : (MULTI.)
- □ L'arrosage
- □ Laver votre véhicule
- □ La chasse d'eau des toilettes
- □ Le lave linge
- □ Laver les mains
- □ Prendre une douche

12 (OUI) Quel son les usages que vous faites de l'eau récupérée (MULTI.)
- □ L'arrosage
- □ Laver votre véhicule
- □ La chasse d'eau des toilettes
- □ Le lave linge
- □ Laver les mains
- □ Prendre une douche

13 Vous vous intéressez au : (MULTI.)
- □ Jardinage
- □ Bricolage
- □ Environnement

C L'ARROSAGE: QUALITE ET PERCEPTION

15 Quel type d'arrosage pratiquez-vous ? (-MULTI-)
- □ Aucun --> passez à Q 21
- □ Manuel
- □ Automatique

16 A quelle fréquence arrosez-vous votre jardin en été ? (-1-)
- □ Tous les jours
- □ Au moins 2 fois par semaine
- □ Variable

17 Faites-vous une différence entre les types des plantes qui composent votre jardin pour l'arrosage (potager/fleurs/pelouse/arbres) ? (-1-)
- □ **non**
- □ oui - fréquence,
- □ oui - façon
- □ oui - quantité
- □ oui - autres

18 Pourriez-vous donnée une estimation du volume d'eau utilisé pour un arrosage
- □ **non**
- □ OUI, environ …….. seaux /arrosoirs :
- □ OUI, environ …… minutes d'arrosage avec un tuyau
- □ OUI, environ …… minutes d'arrosage avec un dispositif automatique

19 Quand vous arrosez, prenez-vous en compte la pluie ? (-1-)
- □ Oui
- □ Non
- □ Un peu

20 Si oui, comment ? (-1-)
- □ Pas d'arrosage les jours de pluie
- □ Pas d'arrosage le jour suivant la pluie
- □ Arrosage avec la moitié de la quantité d'eau habituellement utilisée
- □ Autres : …….

21 Pour vous, la qualité de l'eau de pluie est comparable à : (-1-)
- □ Eau du robinet
- □ Eau de la rivière
- □ Eau en bouteille
- □ Autres : …….

Je vous remercie d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire. Si vous le souhaitez, vous pouvez être tenu(e) au courant de l'avancement du projet en cours en nous laissant votre E mail ……

Légende :
(MULTI.) = plusieurs réponses possible /
(-1-) = une seule réponse possible

Objectifs enquête :
1. Espace disponible pour mettre en place une cuve
2. Les méthodes d'arrosages chez les particuliers
3. Perception de la population de à la RUEP / EP

Annexe 2 : Exemples de cuves de RUEP commercialisées et dimensions associées

1. cuves aériennes extérieurs

Volume de la cuve (litres)	**Espace nécessaire** longueur *largeur * hauteur (m*m*m)	**Société de fabrication**
300	0.70*0.70*1.30	GRAF[110]
500	0.88*0.88*1.50	GRAF
650	1.26* 0.99*0.87	GRAF
1300	1.16*1.16*1.60	GRAF
1000	0.91*0.91*2.22	GRAF
1600	1.35*1.35*1.60	GRAF
2000	1.28*1.28*2.22	GRAF
600	0.80*0.80*1.50	ENE[111]
800	0.80*0.80*1.90	ENE
250	0.60*0.60*1.12	RETOMADE[112]
300	0.65*0.65*1.12	RETOMADE
400	0.50*0.50*2.15	RETOMADE
490	0.68*0.68*1.45	RETOMADE
700	0.70*0.60*2.15	RETOMADE

2. cuves aériennes intérieures

Volume de la cuve (litres)	**Espace nécessaire** longueur *largeur * hauteur (m*m*m)	**Société de fabrication**
1000	1.63*1.14*1.20	GRAF
1500	1.85*1.12*1.13	GRAF
2000	2.00*1.25*1.26	GRAF
3000	2.15*1.45*1.44	GRAF
4000	1.70*1.40*2.29	GRAF
6000	2.10*2.10*2.15	GRAF
9000	2.60*2.60*2.35	GRAF
2 900 (Polyéthylène)	2.70*1.30*1.35	IS'EAU ENERGIE[113]
4 000 (Polyéthylène)	2.40*1.68*1.67	IS'EAU ENERGIE
5600 (Polyéthylène)	3.25*1.62*1.64	IS'EAU ENERGIE
1 000 (polyéthylène)	1.20*1.201.25	LANIVE[114]
1 500 (polyéthylène)	1.20*1.20*1.75	LANIVE
2 000 (polyéthylène)	1.60*1.60*1.40	LANIVE
3 000 (polyéthylène)	1.60*1.60*1.90	LANIVE
4 000 (polyéthylène)	2.30*2.30*1.43	LANIVE
5 000 (polyéthylène)	2.30*2.30*1.68	LANIVE
6 000 (polyéthylène)	2.30*2.30*1.95	LANIVE
3 000	2.26*1.45*1.85	SIMOP[115]
4 000	1.82*1.93*2.33	SIMOP
5 000	2.20*1.93*2.33	SIMOP
8 000	2.70*2.20*2.60	SIMOP

3. cuves enterrées

[110] http://www.graf.fr/
[111] http://www.ene-sarl.fr/
[112] http://www.rotomade.com/
[113] http://www.iseauenergie.net/
[114] http://www.lanive.fr
[115] http://www.simop.fr/

Volume de la cuve (litres)	**Espace nécessaire** longueur *largeur * hauteur (m*m*m)	**Société de fabrication**
2 700 (Polyéthylène)	2.08*1.56*2.01	Graf
3 750 (Polyéthylène)	2.28*1.75*2.20	Graf
4 800 (Polyéthylène)	2.28*1.98*2.43	Graf
6 500 (Polyéthylène)	2.39*2.19*2.71	Graf
7 500 (Polyéthylène)	Deux cuves de 3750	Graf
9 600 (Polyéthylène)	Deux cuves de 4800	Graf
13 000 (Polyéthylène)	Deux cuves de 6500	Graf
13 000 (acier)	6.95*1.60*1.60	Graf
20 000 (acier)	6.87*2.00*2.00	Graf
30 000 (acier)	9.97*2.00*2.00	Graf
40 000 (acier)	8.70*2.50*2.50	Graf
50 000 (acier)	8.15*2.90*2.90	Graf
60 000 (acier)	9.58*2.90*2.90	Graf
80 000 (acier)	12.75*2.90*2.90	Graf
100 000 (acier)	15.89*2.90*2.90	Graf
2 000 (béton)	2.38*1.58*1.03	Eloy water
4 500 (béton)	2.38*1.58*1.85	Eloy water
6 000 (béton)	2.38*1.58*2.25	Eloy water
7 500 (béton)	2.38*1.58*2.65	Eloy water
10 000 (béton)	2.60*2.38*2.40	Eloy water
15 000 (béton)	3.70*2.38*2.40	Eloy water
20 000 (béton)	4.80*2.38*2.40	Eloy water
2 000 (Polyéthylène)	1.65*1.65*1.78	ENE
3 000 (Polyéthylène)	1.65*1.65*2.28	ENE
4 000 (Polyéthylène)	2.00*2.00*2.21	ENE
5 500 (Polyéthylène)	2.00*2.00*2.67	ENE
7 000 (Polyéthylène)	2.32*2.32*2.67	ENE
8 000 (Polyéthylène)	2.32*2.32*2.88	ENE
11 000 (Polyéthylène)	4.03*2.00*2.67 (2x5 500)	ENE
14 000 (Polyéthylène)	4.70*2.32*2.67 (2x7 000)	ENE
16 000 (Polyéthylène)	4.70*2.32*2.88 (2x8 000)	ENE
20 000 (Polyester)	6.77*2.00*2.90	ENE
30 000 (Polyester)	9.95*2.00*2.90	ENE
38 000 (Polyester)	8.75*2.40*3.30	ENE
46 000 (Polyester)	10.52*2.40*3.30	ENE
1 800 (Polyéthylène)	2.35*1.39*1.39	IS'EAU ENERGIE
3 300 (Polyéthylène)	2.39*1.61*1.61	IS'EAU ENERGIE
6 000 (Polyéthylène)	2.40*2.07*2.07	IS'EAU ENERGIE
2 000 (béton)	1.50*1.50*1.50	IS'EAU ENERGIE
3 000 (béton)	1.70*1.70*1.70	IS'EAU ENERGIE
5 200 (béton)	2.13*2.13*1.80	IS'EAU ENERGIE
7350 (béton)	2.34*2.34*2.11	IS'EAU ENERGIE
10 000 (béton)	2.90*2.90*1.90	IS'EAU ENERGIE
1 500 (béton)	1.68*1.13*1.26	LANIVE
2 000 (béton)	1.68*1.13*1.50	LANIVE
3 000 (béton)	2.53*1.20*1.36	LANIVE
4 000 (béton)	2.53*1.20*1.76	LANIVE
5 000 (béton)	2.53*1.40*1.86	LANIVE
6 000 (béton)	2.53*1.68*1.91	LANIVE
1 700	2.27*0.97*0.91	ROTOMADE
3500	2.96*1.33*1.27	ROTOMADE

7500	4.05*1.60*1.55	ROTOMADE
10 000	2.80*2.24*2.26	ROTOMADE
15 000	4.05*2.24*2.26	ROTOMADE
3 000	2.26*1.45*1.85	SIMOP
4 000	1.82*1.93*2.33	SIMOP
5 000	2.20*1.93*2.33	SIMOP
6 000	2.11*2.20*2.60	SIMOP

Annexe 3 : Représentativité des bâtiments utilisés pour le calcul des bâtiments équivalents

Afin de garantir une meilleure répartition des bâtiments créés dans le cadre de l'étude des bâtiments équivalents, nous nous sommes inespérés de la répartition observée dans les résultats de l'enquête (disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage –cf. annexe 1-). Cette représentativité a été analysée sur la base de trois paramètres : surface bâtie, surface jardin et nombre d'occupants.

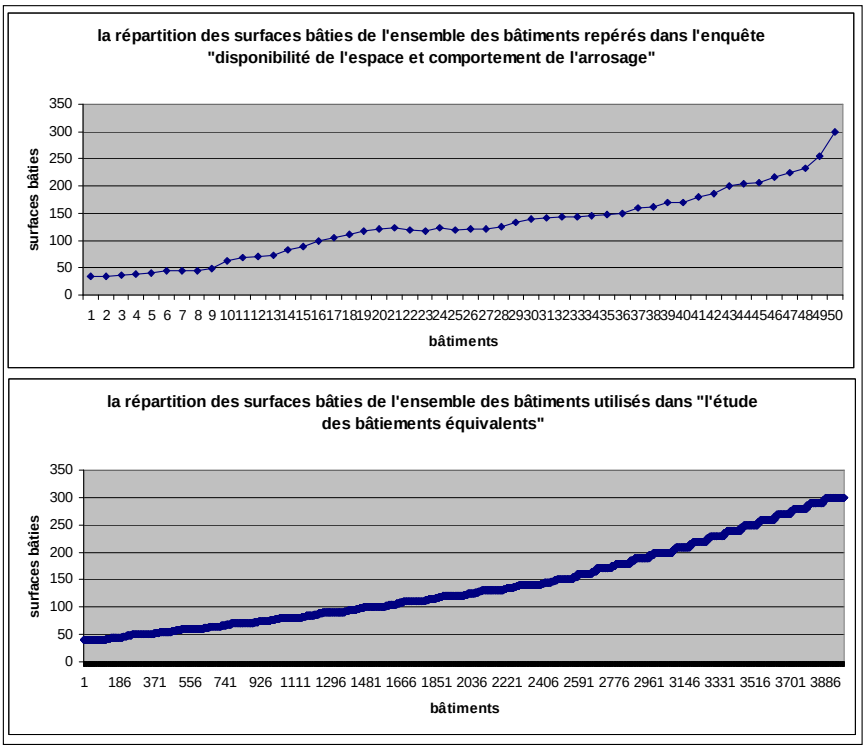


Figure 74. La représentativité de la surface bâtie des bâtiments fictifs utilisés dans l'étude des bâtiments équivalents par rapport aux bâtiments réels repérés lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage ».

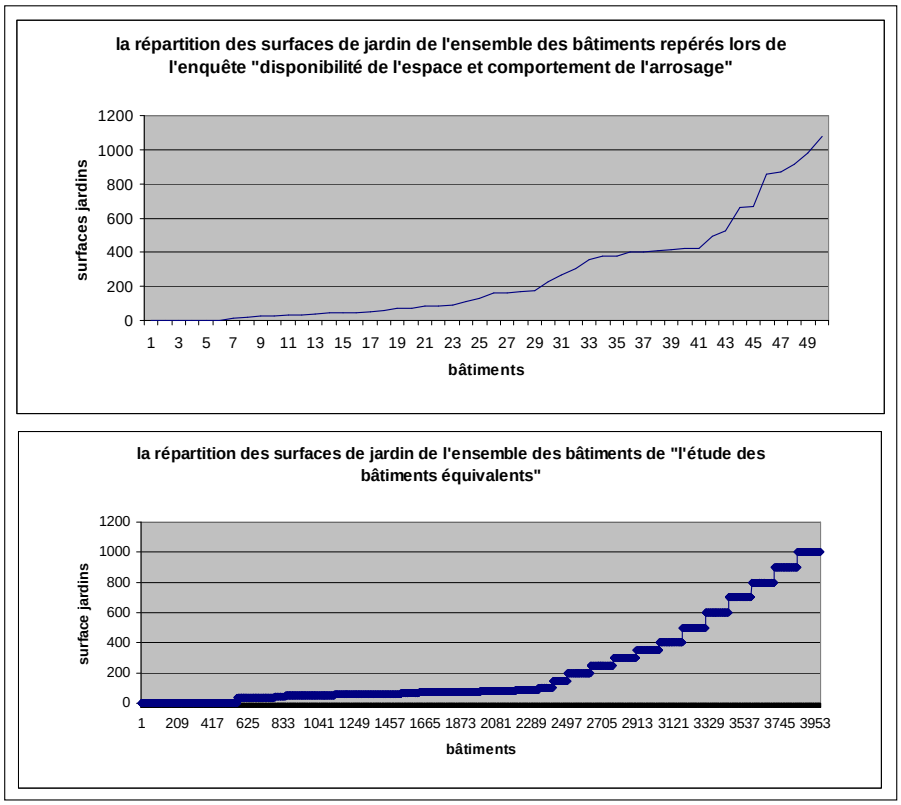


Figure 75. La représentativité de la surface jardin des bâtiments fictifs utilisés dans l'étude des bâtiments équivalents par rapport aux bâtiments réels repérés lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage ».

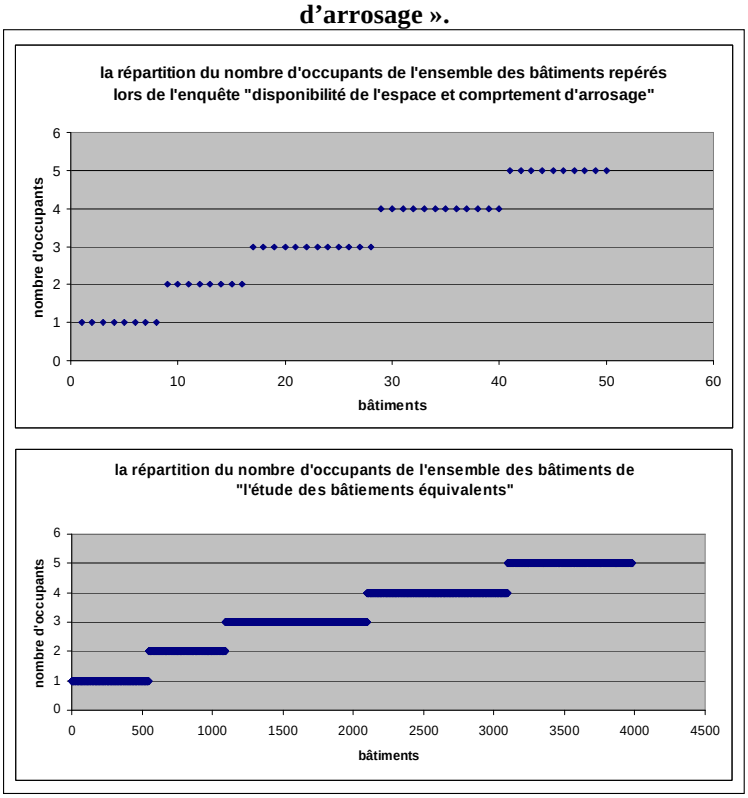


Figure 76. La représentativité du nombre habitants des bâtiments fictifs utilisés dans les bâtiments équivalents par rapport aux bâtiments réels repérés lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage »

Annexe 4 : Réorganisation du MOS-IAU

Le tableau suivant présent les 81 postes de la nomenclature de base du MOS (mise à jour de 2008) et précise le cas échéant des informations sur le contenu du poste.

Codes	Libellés	Définition
1	Bois ou forêts	Toute surface d'au moins 10% d'arbres (sauf les vergers), y compris les landes arborées.
2	Coupes ou clairières en forêts	Clairières, coupes de régénération, coupes rases, semis.
3	Peupleraies	
4	Terres labourées	Toutes formes de cultures annuelles, à l'exclusion des maraîchages et cultures florales.
5	Surfaces en herbe à caractère agricole	Il s'agit de toutes les surfaces en herbe sauf les gazons.
6	Vergers, pépinières	Toutes pépinières et cultures fruitières de plus de 1000 m² homogènes et de production commerciale. Éventuellement la vigne sera classée dans ce thème ainsi que les vergers abandonnés.
7	Maraîchage, horticulture	Cultures intensives annuelles de plein air, cultures légumières de plein champ, les maraîchages sans serres, ni châssis, les cultures florales, etc…
8	Cultures intensives sous serres	Toutes cultures sous serres, châssis, arceaux.
9	Eau fermée (étangs, lacs...)	Toute surface en eau d'au moins 500 m², y compris les étangs des parcs et les nappes des fonds de gravières.
10	Cours d'eau	Tout cours d'eau permanent sans restriction de largeur maximum.
11	Surfaces en herbe non agricoles	Les surfaces en herbe non agricoles sont les espaces en herbe associés : - aux infrastructures (délaissés d'autoroute entretenus) - aux terrains de manœuvre militaires - aux abords des pistes d'aérodromes - aux couloirs de lignes à haute tension - aux châteaux ou similaires (grandes pelouses décoratives non arborées)
12	Carrières, sablières	Toute carrière ou sablière en activité.
13	Décharges	Toute décharge autorisée ou non (les casses de voitures sont classées en entreposage à l'air libre).
14	Espaces ruraux vacants (marais, friches...)	Zones humides, marais, landes non arborées, friches agricoles, carrières abandonnées, terrains de manœuvres, vergers abandonnés, emprise de déboisement des lignes électriques.
15	Berges	Berges de voies d'eau sans activités portuaires ou de stockage, non bâties et non aménagées en espace vert.
16	Parcs ou jardins	Concerne les parcs et jardins (publics ou privés) dont la superficie est supérieure à environ 5000 m². Dans le cas d'une très grande propriété dont une partie est boisée, les diverses composantes sont dissociées (en bois, parc, eau, …).

Codes	Libellés	Définition
17	Jardins familiaux	Il s'agit de jardins, vergers, potagers sur des parcelles indépendantes de l'habitat d'usage familial et non de production agricole.
18	Jardins de l'habitat individuel	Jardins d'agrément, potagers ou vergers liés à l'habitat individuel et d'une superficie inférieure à 5000 m² et supérieure à 1000 m² environ par parcelles.
19	Jardins de l'habitat rural	Jardins d'agrément, potagers ou vergers liés à l'habitat rural et d'une superficie inférieure à 5000 m² et supérieure à 1000 m² par parcelle. Les jardins hors agglomération avec abris, cabane, etc. sont classés dans ce thème.
20	Jardins de l'habitat continu bas	Jardins d'agrément, potagers ou vergers liés à l'habitat et d'une superficie inférieure à 5000 m² et supérieure à 1000 m² par parcelle. Les jardins potagers des châteaux et ceux des écoles sont à ce poste.
21	Terrains de sport en plein air	Terrain en plein air autres que tennis (terrains de football, athlétisme, rugby, etc.).
22	Tennis découverts	Tous terrains de tennis identifié par photo-interprétation, qu'il soit public où privé.
23	Baignades	
24	Parcs d'évolution d'équipements sportifs	Il s'agit des pistes de rollers et des pistes de cross, des stands de tir découverts. Le circuit CAROL est référencé dans ce poste.
25	Golfs	
26	Hippodromes	
27	Camping, caravaning	Terrain de camping et de caravaning, y compris les parcs résidentiels avec mobil-home. Les caravanes isolées implantées sur un lotissement individuel de manière permanente seront classées dans la rubrique "habitat autre".
28	Parcs liés aux activités de loisirs	Il s'agit des parcs animaliers, zoos, parc d'attraction (réservé aux aires de loisirs non bâties), centres de loisirs sans hébergements. Les aires de loisirs proprement dites sont distinguées des parkings, équipements hôteliers, espaces boisés, etc.
29	Terrains vacants en milieu urbain	Terrains vagues en milieu urbain, terrains libres, non bâtis
30	Habitat individuel	Lotissements et constructions individuelles. Si la parcelle a plus de 1000 m² ne prendre en compte que les bâtiments plus une bande de 10 m et rattacher si possible à la voirie.
31	Ensembles d'habitat individuel identique	Ensemble d'habitations réalisé par un même promoteur, maisons le plus souvent identiques et disposées régulièrement.
32	Habitat rural	Il s'agit de groupements de bâtiments espacés de moins de 100 m majoritairement de forme rurale de 1 à 2 niveaux, exceptionnellement 3, édifiés en continuité les uns des autres, formant un noyau bâti, comportant dans

Codes	Libellés	Définition
		sa partie centrale un point de convergence ou un point particulier (monument, église) incluant des bâtiments de ferme, comportant une structure de voirie dont la faible largeur et le tracé témoignent d'une voirie d'origine villageoise. Les châteaux seront classés en habitat continu bas pour le bâtiment lui-même et en village pour les dépendances.
33	Habitat continu bas	R+1 à R+3. Les zones concernées sont surtout linéaires, en bordure de voirie dans les faubourgs et les centres anciens et dans les nouveaux quartiers "maisons de ville". Les châteaux (sauf ceux ouverts au public).
34	Habitat collectif continu haut	R+4 à R+7. Il s'agit de centres urbains (immeubles haussmanniens ou ceux en brique de l'immédiat après-guerre), s'il y a des jardins dans ces zones, ils sont traités en espaces verts.
35	Habitat collectif discontinu	R+4 à R+12 et plus. Ensembles relativement récents. Toute la zone concernée par l'emprise de ce type d'habitat est cernée. Sont indiqués à l'intérieur, les parkings, les espaces verts, commerces, aires de jeux faisant partie intégrante de l'ensemble et repérés en tant que tels.
36	Prisons	
37	Habitat autre	Il s'agit essentiellement des hôtels (hors zone d'activité), les auberges de jeunesse, centres d'accueil, centre de vacances et de loisirs, foyer de travailleurs et d'étudiants, couvents, séminaires, maisons de retraite, habitat précaire ou mobile (caravanes ou mobil-homes isolés).
38	Production d'eau	Usines d'eau potable, châteaux d'eau, aqueduc.
39	Assainissement	Usines de traitement des eaux usées.
40	Électricité	Postes de transformation, usines de production.
41	Gaz	Installations de stockage.
42	Pétrole	Installations de production, raffinage et stockage.
43	Infrastructures autres	Usines de traitements de déchets, centrales thermiques, chaufferies urbaines, etc.
44	Activités en tissu urbain mixte	Activités à caractère industriel (en locaux d'activités, laboratoires, entrepôts, ateliers, etc.) dispersées dans des zones d'habitat, formant ainsi un tissu mixte, mais qui sont individualisées par rapport à l'habitat. Se trouvent classés dans ce poste les activités de production animale: chenils, haras, installations avicoles, etc.
45	Grandes emprises d'activité	Emprise affectée à l'activité d'une seule entreprise, de type industriel. L'emprise peut couvrir plusieurs îlots entiers. Les parkings et grands espaces vacants sont repérés comme tels.

Codes	Libellés	Définition
46	Zones ou lotissement affectés aux activités	Activités regroupées sur un territoire propre issu d'un développement spontané (ex : Plaine Saint-Denis) ou programmé (dans le cadre d'un lotissement ou d'une ZAC), par exemple la zone d'activités de Paris Nord II ou la zone d'activités de Courtaboeuf.
47	Entreposage à l'air libre	Zones de stockage de voitures neuves, de caravanes, de matériaux de construction, scieries, casses de voiture, y compris les zones portuaires.
48	Entrepôts logistiques	Entrepôts logistiques de plus de 10 000 m²
49	Grandes surfaces commerciales	Établissements dont la surface commerciale est supérieure à 5000 m². Il peut s'agir de centre commercial régional ou local. La zone entière est cernée à l'exclusion des parkings, espaces verts repérés comme tels.
50	Autres commerces	Les établissements concernés ont une surface de vente comprise entre 400 et 5000 m². La zone entière est cernée à l'exclusion des parkings, espaces verts repérés comme tels Supermarchés, magasins populaires, commerce spécialisé.
51	Grands magasins	
52	Stations-service	
53	Bureaux	Les bureaux de plus de 5000 m².
54	Installations sportives couvertes	Installations sportives couvertes y compris les tennis et les stands de tir couverts.
55	Centres équestres	
56	Piscines couvertes	
57	Piscines en plein air	
58	Autodromes	
59	Enseignement de premier degré	Écoles maternelles, primaires du secteur public ou privé.
60	Enseignement secondaire	Établissements du secteur public ou privé.
61	Enseignement supérieur	Établissements du secteur public ou privé.
62	Enseignement autre	
63	Hôpitaux, cliniques	Hôpitaux publics ou privés, cliniques.
64	Autres équipements de santé	Dispensaires, instituts médico-pédagogiques, centres de PMI et autres établissements de santé.
65	Cimetières	
66	Grands centres de congrès et d’exposition	
67	Equipements culturels et de loisirs	Musées, certaines bibliothèques, les châteaux ouverts au public.
68	Sièges d'administrations territoriales	Préfectures, sous-préfectures, les conseils généraux, les sièges d'administrations départementales.
69	Équipements de missions de sécurité civile	commissariats, gendarmeries, casernes de pompiers.
70	Equipements d’accès au public	Immeubles de bureaux ou d'activités de grandes

Codes	Libellés	Définition
	limité	administrations, DDE, DDA, DASS, cadastre, sécurité sociale, ministères, ambassades, grandes installations publiques y compris militaires, installations radioélectriques, ainsi que les écluses.
71	Mairies	
72	Marchés permanents	
73	Lieux de culte	
74	Autres équipements de proximité	Crèches, locaux municipaux annexes, centres d'action sociale, locaux d'activité socio-éducative, MJC, conservatoire, écoles d'art, les bibliothèques municipales, bâtiments d'activité de loisirs, bureaux de poste, centre de tri PTT, autres équipements locaux.
75	Emprises de transport ferré	Faisceaux de triage, les gares, les installations d'entretien du matériel, voies ferrées y compris les remblais et déblais.
76	Voies de plus de 25 m d'emprise	Voies d'une largeur > 25 m d'immeuble à immeuble, , y compris les bretelles d'accès, les talus de remblais et déblais, les échangeurs en entier..
77	Parkings de surface	Tous les parkings de surface, avec une emprise propre, à l'exclusion des parcs souterrains. Ce poste comprend les parkings associés aux équipements et à l'habitat.
78	Parkings en étages	Tous les parkings en étages, avec une emprise propre, à l'exclusion des parcs souterrains. Ce poste comprend les parkings associés aux équipements et à l'habitat.
79	Gares routières, dépôts de bus	Gare routière, d'autobus, d'autocar pour voyageurs. Les installations de transport de marchandises sont repérés dans les activités de stockage. Ce poste inclut les dépôts d'autobus RATP.
80	Installations aéroportuaires	Seules l'aérogare, les installations techniques (hangars,…) et les pistes sont dans ce thème. Les parkings, surfaces en herbe, installations industrielles, et entrepôts sont repérés comme tels.
81	Chantiers	Il s'agit de tous les chantiers de construction et de démolition.

La réorganisation du MOS-IAU en catégories-de-bâtiments (38 catégories sont dégagées)

Niveau I	Niveau II	Niveau III	Niveau IV	Niveau V
Urbain construit	Habitat individuel	Habitat individuel	Habitat individuel	Habitat individuel
			Ensembles d'habitat individuel identique	Ensembles d'habitat individuel identique
			Habitat rural	Habitat rural
	Habitat collectif	Habitat collectif	Habitat continu bas	Habitat continu bas
			Habitat collectif continu haut	Habitat collectif continu haut
			Habitat collectif discontinu	Habitat collectif discontinu
		Habitat autre	Habitat autre	Habitat autre
	Activités	Activité secondaire	Activités en tissu urbain mixte	Activités en tissu urbain mixte
			Grandes emprises d'activité	Grandes emprises d'activité
			Zones ou lotissement affectés aux activités	Zones ou lotissement affectés aux activités
		Activité tertiaires	Surfaces commerciales	Centres commerciaux
				Hypermarchés
				Grands magasins
				Autres commerces
			Bureaux	Bureaux
	Equipements	Sport (construit)	Bâtiments ou installations de sport	Installations sportives couvertes
				Piscines couvertes
		Equipements d'enseignement	Enseignement de premier degré	Enseignement de premier degré
			Autres etablissements d'enseignement	Enseignement secondaire
				Enseignement supérieur
				Enseignement autre
		Equipements de santé	Etablissements de santé	Hôpitaux, cliniques
				Autres équipements de santé
		Autres équipements locaux, administrations	Equipements locaux autres	Mairies
				Grands équipements culturels
				Equipements de proximité
			Grandes administrations, organismes officiels	Sièges d'administrations territoriales
				Equipements de missions de sécurité civile
				Installations radioélectriques
				Administrations autres
		Grands équipements	Equipements pour eau, assainissement, énergie	Production d'eau
				Assainissement
				Electricité
				Gaz
				Pétrole
				Infrastructures autres
	Transport	Transport	Gares routières, dépôts de bus	Gares routières, dépôts de bus
			Installations aéroportuaires	Installations aéroportuaires

Regroupement des catégories-de-bâtiments (même scénario d'usage) en classes-de-bâtiments.

Niveau I	Niveau II	Niveau III	Niveau IV	Niveau V	Type d'usages de l'eau de pluie				Usagers		
					Extérieurs	Intérieurs	Combinés	Spécifiques	Habitant	employé/étudiant	Temporaire
Urbain construit	Habitat individuel	Habitat individuel	Habitat individuel	Habitat individuel							
			Ensembles d'habitat individuel identique	Ensembles d'habitat individuel identique							
			Habitat rural	Habitat rural							
	Habitat collectif	Habitat collectif	Habitat continu bas	Habitat continu bas							
			Habitat collectif continu haut	Habitat collectif continu haut							
			Habitat collectif discontinu	Habitat collectif discontinu							
		Habitat autre	Habitat autre	Habitat autre							
	Activités	Activité secondaire	Activités en tissu urbain mixte	Activités en tissu urbain mixte							
			Grandes emprises d'activité	Grandes emprises d'activité							
			Zones ou lotissement affectés aux activités	Zones ou lotissement affectés aux activités							
		Activité tertiaires	Surfaces commerciales	Centres commerciaux							
				Hypermarchés							
				Grands magasins							
				Autres commerces							
			Bureaux	Bureaux							
	Equipements	Sport (construit)	Bâtiments ou installations de sport	Installations sportives couvertes							
				Piscines couvertes							
		Equipements d'enseignement	Enseignement de premier degré	Enseignement de premier degré							
			Autres établissements d'enseignement	Enseignement secondaire							
				Enseignement supérieur							
				Enseignement autre							
		Equipements de santé	Etablissements de santé	Hôpitaux, cliniques							
				Autres équipements de santé							
		Autres équipements locaux, administrations	Equipements locaux autres	Mairies							
				Grands équipements culturels							
				Equipements de proximité							
			Grandes administrations, organismes officiels	Sièges d'administrations territoriales							
				Equipements de missions de sécurité civile							
				Installations radioélectriques							
				Administrations autres							
		Grands équipements	Equipements pour eau, assainissement, énergie	Production d'eau							
				Assainissement							
				Electricité							
				Gaz							
				Pétrole							
				Infrastructures autres							
	Transport	Transport	Gares routières, dépôts de bus	Gares routières, dépôts de bus							
			Installations aéroportuaires	Installations aéroportuaires							

résultats d'évaluation du scénario d'usage de l'eau de pluie

les 13 classes-de-bâtiments dégagées suite à l'étape d'évaluation

Annexe 5 : Opérations de retour d'expérience

	Localisati-on	Pluie (mm/an)	Surface de collecte (m2)	Consommati-on (l/jour/per)	Consom-mateur (personne)	Volume de cuve (m3)	Type de cuve	Taux de recouvrement	Référence
1. Campus universitaire	Singapore	2250	38700	540000 (non potable)		2552	Enterrée (béton)	100% de l'eau de pluie est utilisée	[Appan 1999 (a)]
2. Maison individuelle	UK	601	85	30 (WC)	3	2	Aérienne (polyéthylène)	57.2 % (sur 12 mois)	[Roebuck 2007]
3. Maison individuelle	Allemagne	791	150	40 (non potable)	4	6	Enterrée (béton)	98% (entre 1976-1986)	[Herrmann et Schmida 1999]
4. Immeuble d'habitations	Allemagne	791	320	20 (WC)	24	14	Enterrée (béton)	91% (entre 1976-1986)	[Herrmann et Schmida 1999]
5. supermarché	UK	612.5	2200 (la moitie de la surface totale)	5900 (WC)		14.56	Aérienne	51% (année 1998)	[Chilton et al. 1999]
6. Dôme de stade	Tokyo		16000	(WC)		1000	Enterrée		[Zaizen et al. 1999]
	Fukuoka		25900	(WC+arrosage)		1800	Enterrée	65% (sur 12 mois. 93-94)	
	Nagoya		35000	(WC+arrosage)		1500	Enterrée		
7. Maison individuelle	France « MARIA, 77 »	671	113	18 (WC)	4	2.65	Aérienne (PEHD)	100% (sur 12 mois. 02-03)	[de Gouvello et Noeuvéglise 2007]
8. Bâtiment collectif	France « Saint-Ouen, 93 »	700	1450	23 (WC)	175	80	Enterrée (béton)	46%-66%	[de Gouvello et Noeuvéglise 2007]
9. Résidence universitaire	France « Troyes, 01 »	646	800	(WC+ arrosage)	70	40	Enterrée (béton)		[de Gouvello et Noeuvéglise 2007]
10. Bâtiment tertiaire « admin »	France « les Mureaux, 78 »	640	1069	16 (WC)	220	20	Aérienne	26%	[de Gouvello et Noeuvéglise 2007]
11. Etablissement scolaire « collège »	France « Grigny, 91 »	617	2511	(WC, arrosage, nettoyage)	600	50	Enterrée (béton)	100%	[de Gouvello et Noeuvéglise 2007]
12. Maison individuelle	Australie		115	eau chaude, WC, extérieur	3-5	9	enterrée	52%	
13. Bâtiment collectif	Brésil «bloc A»	1544	324 (16 logt)	70.20 (WC, lave linge, nettoyage)	36	10		39.2% (ou 14.7% écon eau potable)	[Ghisi et Ferreira 2007]
	Brésil «bloc B»		324 (17 logt)	53.45 (WC, lave linge, nettoyage)	45	10		40.1% (ou 15.6% écon eau potable)	
	Brésil «bloc C»		324 (16 logt)	60.37 (WC, lave linge, nettoyage)	37	10		42.7% (ou 17.7% écon eau potable)	
14. Maisons individuelles	Brésil «maison A»	1706	203.8	202.2	3	5		35.5%	[Ghisi et al. 2007]
	Brésil «maison B»		212.4	147.9	2	3		33.6%	
15. Bâtiment mixte (résidentiel/ commerce)	Australie(Melbourne)	780	600		176	35	Enterrée (béton)	68.4%	[Coombes et al. 2002]
	Australie (Sydney)	1200				80		88.4%	
	Australie (Perth)	800				80		65.9%	
	Australie (Darwin)	1550				150		79.9%	
16. Maison individuelles et semi collectives	Taiwan (T1)	2333	75	250 l/h/jour (intérieur dont 24% pour WC) Jardin 3 mm /jour	WC = 0.48 m3 /J (2 FAMILLES), JAR = 0,135	6			[Cheng et Liao 2009]
	Taiwan (T2)		90		WC= 0.24, JAR=0,18	5			
	Taiwan (T3)		120		WC= 0,24, JAR= 0,27	6			
	Taiwan (T4)		240		WC=0,24, JAR=0,36	9			
	Taiwan (T5)		300		WC=0,24, JAR=0,45	10			
17. L'aéroport	Francfort		50 000		approvisionner les toilettes, la sécurité incendie	600			http://www.areneidf.org/medias/publications/_La_gestion_alternative.pdf
18. Le Centre commercial Sony	Berlin		4 000	l'irrigation des espaces extérieurs, à l'alimentation en eau des toilettes et à la réserve incendie		900	sou- terrains		http://www.areneidf.org/medias/publications/_La_gestion_alternative.pdf
19. Université	Coblence « allemande »		5 500	l'irrigation, les toilettes, la réserve incendie		100			

	Localisati -on	Pluie (mm/ an)	Surface de collecte (m2)	Consommati -on (l/jour/per)	Consom- mateur (personn e)	Volume de cuve (m3)	Type de cuve	Taux de recouvrement	Référence
20. Bâtiment de Bureaux Année 2005	Bâtiment 270 des EMGP « France »		100	WC et l'arrosage (mais avis défavorable de la DDASS).	500 personnes	170	enterré		http://www.caue-observatoire.fr/
21. Lycée	Blanquefort - Gironde, 33 « France »				1200 élèves				http://www.martinique.ademe.fr/images/124.pdf
22. Pôle administratif de la Mairie 2005	Les Mureaux - Yvelines, 78 « France »			les chasses des WC et l'arrosage	300 personnes	20 m^3			http://www.martinique.ademe.fr/images/124.pdf
23. 70 logements étudiants 2005	Rosières-près-Troyes - Aube, 10 « France »			pour l'alimentation des WC et l'arrosage	77 personnes	(2 réservoirs en béton de 20 m^3)	souterrains		http://www.martinique.ademe.fr/images/124.pdf
24. Immeuble de bureaux 2007	Brétignolles (79) « France »		400	sanitaires, l'entretien des espaces verts et le lavage des véhicules.	50 salariés	500			http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=81
25. Immeuble de bureaux « Heifer International Center »	Little Rock, Arkansas « USA »		Environ 1700	sanitaires et le système de rafraîchissement	500 personnes	160			http://www.martinique.ademe.fr/images/124.pdf
26. Habitat collectif « 14 Logements sociaux » 2003	Zuydcoote, Nord-pas-de-Calais « France »			nettoyage des parties communes et le lavage des véhicules		10			http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=59
27. Habitat collectif « 293 appartements » 2003	20 River Terrace - The Solaire New York « USA »			arroser le « toit végétalisé » et le parc adjacent		38	réservoir situé au sous sol		http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=26
28. Projet mixte « 12 lotissements et 10 appartements» 1988	2230 - Gänserdorf, Autriche.		3 896 m^2	chasses d'eau, les machines à laver et l'arrosage des jardins		3 *12 (lotissement) 86 (appartements)			http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=4
29. Projet mixte « habitations, des bureaux et des commerces » 1998	La Hague Pays-Bas								http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=14
30. Centre culturel « EpiCenter, Artists For Humanity" 2004	Boston USA		2180	25 personnes et accueille chaque semaine une centaine de visiteurs					http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=74
31. Centre de recherche « Bâtiment L4 L'Oréal » 2006	Chevilly Larue (94) France			l'arrosage des espaces verts, programmateur à détection automatique		120			http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=78
32. Lycée de Caudry 2000	59 « France »			WC et arrosage	800	70	enterrée	100% couverture des besoins (estimation)	La gestion des eaux pluviales dans les démarches HQE : quelques réalisations à l'échelle de bâtiments et de quartiers. Acte de colloque Aménagement et eaux pluviales. 12 Juin 2003. Lyon
33. Lycée de Sampaix 2006-2008	Roanne 42 « France »			Arrosage + lavage des véhicules	400 éléves	Deux cuves 50 et 90	enterrée	100% de couverture des besoins (estimation)	Karine LAPRAY –Bureau d'études TRIBU Acte de colloque Aménagement et eaux pluviales. 12 Juin 2003. Lyon
34. Lycée Saint Exupéry	Lyon « France »		Sur asphalte 2550 (taux réc : 70%) Sur végé 1500 (taux réc : 50%)	WC (8 l/j/per)	1360 (besoin annuel : 1950 m^3)	25 50 100	Enterré		Frédéric RAGOT –Atelier Arche-Acte de colloque Aménagement et eaux pluviales. 12 Juin 2003. Lyon

	Localisati -on	Pluie (mm/ an)	Surface de collecte (m2)	Consommati -on (l/jour/per)	Consom- mateur (personne)	Volume de cuve (m3)	Type de cuve	Taux de recouvrement	Référence
35. théâtre Gerding Theater at the Armory 2006	Portland, OR « USA »		1858	alimenter les sanitaires		38			http://www.constructiondurable.com/pages/batimentdurable.php?id=77
36. LOTISSEMENT 2007 « 10 maisons individuelles »	DE LA PRAIRIE MADAME 35630 LANGOUET « France »		85m² (par maison au moyen)	WC, à la machine à laver, au tuyau d'arrosage		5,5 (pour chacune de 10 maisons)	Enterrées		http://caue45.archi.fr/formation/img_finlande2006/ficheLangouet.pdf
37. Maison individuelle	Montaulieu (Drôme) « France »		166	l'arrosage du jardin, WC		10 (deux cuve de 5 m^3)			http://www.enviscope.com/18276-recuperation-Drome-CEDER-pluie.html
38. Maison individuelle	Mirabel aux Baronnies « France »		120	Jardin, WC, lave linge		16			http://www.enviscope.com/16178-recuperation-pluie-Drome-CEDER.html
39. Université 2002	Université Brighton « Bat Watts » RU		875	WC		98	Enterrée		http://www.suddeseine.fr/IMG/pdf/pdf_internet.pdf
40. Groupe scolaire 2003	Ville de La Tour de Salvagny « France »		911	WC		20 (deux cuves de 10m3)	Enterrées		http://www.ale-lyon.org/download/dossiers_tech/DT3-REPc.pdf
41. Logements collectifs « 8T3 et 4T4 »	Pré de la Cour à Meillonnas « France »		458	WC		15	Sous -sol		http://www.ale-lyon.org/download/dossiers_tech/DT3-REPc.pdf
42. Gymnase 2006	Fort-de-France le Conseil Général de Martinique « Dom France »		Environ 1 056 m²	Arrosage	200 spectateurs.	trois citernes de 30 m3			www2.ademe.fr/servlet/getBinname
43. immeuble de bureaux	Siège « Loire habitat » France	827	800	12 WC et 3 climatiseurs à eau	90	Deux cuves de 15 m3	polyéthylène Sous-sol		http://heliose42.org/IMG/pdf/Heliose_Seve_13_eolien-web.pdf
44. Maison individuelle	Sermange (39) « France »		136 (2343 m2 parcelle totale)	WC et jardin		15	Enterré		http://www.travaux.com/dossier/plans-de-maison/397/Plan-de-maison-:-une-maison-HQE-en-terre-cuite-dans-le-Jura.html
45. Multiplex de cinéma	**Altarea** / 69 Villeurbanne « France »			Arrosage		45m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
46. Immeuble HQE abritant bureaux, restaurants, salle de sport, amphithéâtre de conférence et parkings	**Arcadie SA – em2c** / 92 - Gennevilliers « France »			WC et l'arrosage		42m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
47. Centre Commercial «**Carrefour**»	Nevers 58 « France »			WC et le nettoyage		500m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
48. Hôtel du Département **« Conseil Général de Gironde »**	Bordeaux 33 « France »			WC et l'arrosage		15m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
49. Site industriel	**Deléage** / 35 – St Malo « France »			WC, l'arrosage, le nettoyage des véhicules, la rétention temporaire, et la réserve incendie		6 X 120m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
50. Garage Automobile	**Garage D.Mouton SA** / 35 - St Malo « France »			le lavage des véhicules		20m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp

	Localisati -on	Pluie (mm/ an)	Surface de collecte (m2)	Consommati -on (l/jour/per)	Consom- mateur (personn e)	Volume de cuve (m3)	Type de cuve	Taux de recouvrement	Référence
51. Centre Technique Municipal	Ville de Mably / 42 « France »			lavage et l'arrosage		30m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
52. Piscine Municipale	Ville de St Médard en Jalles / 33 « France »			WC et l'arrosage		17m³			http://www.france-pluie.fr/nos_references.asp
53. collège de Wazemmes 2008	Lille «France »			sanitaires et l'arrosage	600 élèves	20m³			http://www.lavoixdunord.fr/Region/actualite/Secteur_Region/2008/08/27/article_bienvenue-sur-le-toit-du-college-du-futu.shtml
54. Le nouveau collège de Hem 2011	Département du Nord « France »		16 201 m2	WC et arrosage	730 élèves				http://www.cg59.fr/FrontOffice/UserFiles/File/Dossiers-presse/DP-2009-11-06_Hem_colleges.pdf
55. collège Van Hecke	Dunkerque « France »		6400 m2	WC et arrosage	600 élèves				http://www.joel-carbon.com/documents/collegevanhecke.pdf
56. Magasin « Unicor » équipements bricolage 2008	Rodez - Avzyron-12 « France »	799	4500 m2	Arrosage + nettoyage (ext, int)		100 m3	Enterrée		http://www.skywater.fr/
57. bâtiment collectif 2009	Tarn Albi Midi-Pyrénées « France »		850 m2	WC + arrosage + nettoyage des escaliers + lavage de voitures		70 m3	Enterrée (en acier)		http://www.ladepeche.fr/article/2008/09/24/477431-albi-l-eau-de-pluie-gratuite-pour-les-residents.html
58. Salle polyvalente	Monastère Midi-Pyrénées « France »		9000 m2	Arrosage des espaces vers de la commune		40 m3	Enterrée		http://www.centre-presse.fr/ du 16 janvier 2008
59. centre commercial SuperU	de Thouars (79)			la station de lavage, l'arrosage et les sanitaires		150 m3 (en acier)	enterrée		http://www.observatoiredelafranchise.fr/communiques-skywater/un-2eme-super-u-s-equipe-d-un-systeme-skywater-eau-de-pluie-1383-2853.htm
60. centre commercial SuperU	Saint Macaires en Mauges (49)		5 500 m2	lavage de véhicule et les sanitaires du personnel		120 m3 (en acier)	enterrée		http://www.observatoiredelafranchise.fr/communiques-skywater/un-2eme-super-u-s-equipe-d-un-systeme-skywater-eau-de-pluie-1383-2853.htm
61. Salle polyvalente de Baguer Morvan	Bretagne			WC		8 m3			http://www.cd2e.com/CD2E/ZFS_CD2E/EM/BaseDoc/152/Dossier-de-Presse-SKYWATER_2007.pdf
62. Groupe scolaires	La tour de Salvagny -69- « France »		911 m2	WC		20 m3			http://batimentdurablerhonealpes.com/pdf/5-costic-pougnet-huze.pdf
63. Maison individuelle				WC et arrosage	2 adultes 2 enfants	6 m3			http://batimentdurablerhonealpes.com/pdf/5-costic-pougnet-huze.pdf
64. Local technique « centre NOROATO» 2007	Troyes (10)		800 m2	Nettoyage et WC		20 m3 (deux cuves jumelées)	Enterrées		http://www.aquae.fr/references_TechniqueIndustrie.htm
65. Local technique « EIFFAGE pour l'IIBRBS » 2007	Braucourt (52)		400 m2	Nettoyage et WC		10 m3	Enterrées		http://www.aquae.fr/references_TechniqueIndustrie.htm
66. ZAC 2008	Marciac (32)		3500 m2	Alimentation de la réserve incendie par l'eau de pluie issue des toitures d'une grande surface.		- volume de stockage (enterré) tampon eau de pluie 15 m3. - volume de stockage réserve incendie de 120 m3			http://www.aquae.fr/references_TechniqueIndustrie.htm
67. local technique « YPREMA » 2008	Lagny sur marne (77)		20 m2	Nettoyage des surfaces extérieures, WC et arrosages		0,5 m3	Enterrée		http://www.aquae.fr/references_TechniqueIndustrie.htm
68. Entreprise T.S.O 2008	Mezy-Moulins (02)		1500 m2	Nettoyage des surfaces extérieures, WC et		60 m3 (deux cuves de 30 m3)	Aériennes		http://www.aquae.fr/references_TechniqueIndustrie.htm
69. Station Autoroutière A 10 « total »	Tours (37)		900 m2	WC		30 m3	Enterrée		http://www.aquae.fr/references_TechniqueIndustrie.htm

2008									
70. Centre commercial LEROY MELIN 2008	Mulhouse (68)		900 m2	WC et arrosage		30 m3 (2 *15)	Enterrée		http://www.aquae.fr/references_CentresCommerciaux.htm
71. Centre commercial « Velizy II » 2008	VELIZY (78)		3500 m2	Arrosage		50 m3	En Acier installée dans local technique		http://www.aquae.fr/references_CentresCommerciaux.htm
72. Centre commercial « IKEA » en cours	Tours (37)		10 000 m2	WC et lavage des surfaces		210 m3			http://www.aquae.fr/references_CentresCommerciaux.htm
73. Centre commercial LEROY MELIN En cours	Cesson (77)		800 m2	WC et arrosage		30 m3			http://www.aquae.fr/references_CentresCommerciaux.htm
74. Lycée Samuel Beckett 2007	La ferté sous Jouarre (77)		1300 m2	Arrosage automatique pelouse et toitures végétalisées					http://www.aquae.fr/references_enseignement.htm
75. Groupe scolaire « Grand Pigeon » 2007	Angers (49)		2100 m2	Arrosage des espaces verts		40 m3	En acier, enterrée		http://www.aquae.fr/references_enseignement.htm
76. Lycée Jean moulin En cours	Rosny sous bois (93)		2800 m2	WC + lavage des surfaces		80 m3			http://www.aquae.fr/references_enseignement.htm
77. OPHLM Paris 2008	Saint Denis (93)		2500 m2	Arrosage automatique		100 m3	Bâche de stockage sous le local technique		http://www.aquae.fr/references_Immeubles.htm
78. Commis de police en cours	Château Thierry (02)		800 m2	WC + arrosage		30 m3			http://www.aquae.fr/references_Immeubles.htm
79. Restaurant Mc Donalds 2006	Wasquehal (59)		450 m2	Nettoyage des surfaces extérieures, WC et arrosages		20 m3	Béton, enterrée		http://www.aquae.fr/references_Resto.htm
80. Restaurant Mc Donald 2006	Avrainville (91)		420 m2	Nettoyage des surfaces extérieures, WC et arrosages		15 m3	Béton, enterrée		http://www.aquae.fr/references_Resto.htm
81. Restaurant Courtepaille 2008	Roanne (42)		450 m2	Nettoyage des surfaces extérieures, WC et arrosages		15 m3	Enterrée		http://www.aquae.fr/references_Resto.htm
82. Restaurant Mc Donald	Plaisance du Touch (31)		420 m2	Nettoyage des surfaces extérieures, WC et arrosages		15 m3	Béton, enterrée		http://www.aquae.fr/references_Resto.htm
83. Institut universitaire de recherche	Néo-Zélande	1200 mm	1526 m2	WC + arrosage		25 m3	Taux de recouvrement est de 45% par rapport aux besoins WC + arrosage.		http://www.landcareresearch.co.nz/publications/annualreport_0607/documents/Water_balance_of_our_green_building_in_Aucklan.pdf
84. Maison individuelle	Vannes Morbihan (56)		80 m2	WC + lave linge + arrosage		4 m3	Béton, enterrée		Obtenu par contact mail : pluie_new@yahoo.fr Date : 18/02/2010

Annexe 6 : PCR des communes de l'agglomération de Paris

INSEE	Nom de la commune	PCR (m3/an)
75101	Paris 1er Arrondissement	355 387
75102	Paris 2e Arrondissement	359 116
75103	Paris 3e Arrondissement	417 297
75104	Paris 4e Arrondissement	373 310
75105	Paris 5e Arrondissement	597 483
75106	Paris 6e Arrondissement	588 211
75107	Paris 7e Arrondissement	837 356
75108	Paris 8e Arrondissement	906 861
75109	Paris 9e Arrondissement	781 016
75110	Paris 10e Arrondissement	849 064
75111	Paris 11e Arrondissement	1 217 443
75112	Paris 12e Arrondissement	1 154 730
75113	Paris 13e Arrondissement	1 175 121
75114	Paris 14e Arrondissement	1 086 164
75115	Paris 15e Arrondissement	1 730 469
75116	Paris 16e Arrondissement	1 478 259
75117	Paris 17e Arrondissement	1 269 148
75118	Paris 18e Arrondissement	1 149 068
75119	Paris 19e Arrondissement	1 129 202
75120	Paris 20e Arrondissement	1 190 897
77038	Boissettes	17 048
77040	Boissise-le-Roi	95 465
77055	Brou-sur-Chantereine	58 561
77058	Bussy-Saint-Georges	259 593
77059	Bussy-Saint-Martin	20 230
77062	Carnetin	11 590
77067	Cesson	149 546
77075	Chalifert	28 039
77083	Champs-sur-Marne	340 219
77085	Chanteloup-en-Brie	39 141
77108	Chelles	744 149
77111	Chessy	80 310
77121	CollÚgien	61 487
77122	Combs-la-Ville	343 399
77124	Conches-sur-Gondoire	48 962
77139	Courtry	159 925
77146	Croissy-Beaubourg	60 576
77152	Dammarie-les-Lys	272 451
77155	Dampmart	71 293
77169	Emerainville	111 831
77209	Gouvernes	34 006
77221	Guermantes	38 460
77243	Lagny-sur-Marne	348 363
77249	LÚsigny	207 642
77255	Livry-sur-Seine	48 086
77258	Lognes	156 888
77285	Le MÚe-sur-Seine	210 055
77288	Melun	480 320
77294	Mitry-Mory	379 728
77307	MontÚvrain	93 970

INSEE	Nom de la commune	PCR (m3/an)
77337	Noisiel	204 255
77372	Pomponne	79 637
77373	Pontault-Combault	608 183
77378	Pringy	60 806
77389	La Rochette	70 397
77390	Roissy-en-Brie	328 100
77394	Rubelles	60 462
77407	Saint-Fargeau-Ponthierry	244 836
77438	Saint-Thibault-des-Vignes	129 811
77445	Savigny-le-Temple	367 777
77450	Servon	82 744
77464	Thorigny-sur-Marne	147 664
77468	Torcy	251 178
77479	Vaires-sur-Marne	189 422
77487	Vaux-le-PÚnil	229 318
77495	Vert-Saint-Denis	152 066
77514	Villeparisis	380 644
78005	AchÞres	229 668
78007	Aigremont	30 609
78015	AndrÚsy	221 868
78050	Bazoches-sur-Guyonne	29 191
78073	Bois-d'Arcy	178 399
78092	Bougival	132 453
78117	Buc	121 473
78118	Buchelay	55 373
78123	CarriÞres-sous-Poissy	189 856
78124	CarriÞres-sur-Seine	237 688
78126	La Celle-Saint-Cloud	265 002
78133	Chambourcy	115 616
78138	Chanteloup-les-Vignes	129 913
78140	Chapet	35 938
78146	Chatou	389 507
78158	Le Chesnay	318 449
78160	Chevreuse	155 303
78165	Les Clayes-sous-Bois	263 772
78168	CoigniÞres	81 936
78172	Conflans-Sainte-Honorine	604 030
78190	Croissy-sur-Seine	206 615
78208	Elancourt	348 050
78224	L'Etang-la-Ville	113 643
78227	Evecquemont	23 553
78239	Follainville-Dennemont	50 055
78242	Fontenay-le-Fleury	125 941
78251	Fourqueux	98 899
78261	Gaillon-sur-Montcient	22 618
78267	Gargenville	153 689
78297	Guyancourt	339 809
78299	Hardricourt	49 187
78311	Houilles	495 645
78314	Issou	87 243

INSEE	Nom de la commune	PCR (m3/an)
77326	Nandy	93 460
78322	Jouy-en-Josas	171 254
78327	Juziers	101 373
78335	Limay	277 426
78343	Les Loges-en-Josas	44 900
78350	Louveciennes	132 320
78354	Magnanville	135 072
78356	Magny-les-Hameaux	199 909
78358	Maisons-Laffitte	364 951
78361	Mantes-la-Jolie	439 948
78362	Mantes-la-Ville	287 617
78367	Mareil-Marly	80 106
78372	Marly-le-Roi	206 678
78382	Maurecourt	89 940
78383	Maurepas	295 593
78384	MÚdan	43 113
78396	Le Mesnil-le-Roi	122 291
78397	Le Mesnil-Saint-Denis	181 846
78401	Meulan	126 163
78403	MÚzy-sur-Seine	63 131
78418	Montesson	267 949
78423	Montigny-le-Bretonneux	461 012
78440	Les Mureaux	380 789
78442	Neauphle-le-ChÔteau	81 207
78443	Neauphle-le-Vieux	31 674
78466	Orgeval	164 292
78481	Le Pecq	183 529
78490	Plaisir	475 602
78498	Poissy	420 424
78501	Porcheville	79 157
78502	Le Port-Marly	60 857
78524	Rocquencourt	54 454
78545	Saint-Cyr-l'Ecole	200 022
78551	Saint-Germain-en-Laye	583 245
78575	Saint-RÚmy-lÞs-Chevreuse	228 476
78576	Saint-RÚmy-l'HonorÚ	54 824
78586	Sartrouville	660 225
78621	Trappes	291 776
78623	Le Tremblay-sur-Mauldre	30 224
78624	Triel-sur-Seine	245 921
78638	Vaux-sur-Seine	111 986
78640	VÚlizy-Villacoublay	227 357
78642	Verneuil-sur-Seine	227 518
78643	Vernouillet	182 547
78644	La VerriÞre	101 543
78646	Versailles	1 143 753
78650	Le VÚsinet	329 851
78672	Villennes-sur-Seine	133 600
78674	Villepreux	166 473
78683	Villiers-Saint-FrÚderic	82 595
78686	Viroflay	213 912
78688	Voisins-le-Bretonneux	245 618

INSEE	Nom de la commune	PCR (m3/an)
78321	Jouars-Pontchartrain	141 082
91021	Arpajon	187 388
91027	Athis-Mons	446 330
91044	Ballainvilliers	91 062
91064	BiÞvres	122 001
91085	Boissy-sous-Saint-Yon	87 730
91086	Bondoufle	195 223
91097	Boussy-Saint-Antoine	91 943
91103	BrÚtigny-sur-Orge	405 907
91105	Breuillet	173 632
91106	Breux-Jouy	34 866
91114	Brunoy	454 298
91115	BruyÞres-le-ChÔtel	95 156
91122	Bures-sur-Yvette	247 621
91136	Champlan	159 349
91161	Chilly-Mazarin	220 952
91174	Corbeil-Essonnes	584 778
91179	Le Coudray-Montceaux	97 751
91182	Courcouronnes	223 952
91191	Crosne	135 728
91201	Draveil	1 027 090
91207	Egly	93 890
91215	Epinay-sous-SÚnart	95 436
91216	Epinay-sur-Orge	221 251
91225	Etiolles	92 820
91228	Evry	510 019
91235	Fleury-MÚrogis	179 194
91244	Fontenay-le-Vicomte	36 642
91272	Gif-sur-Yvette	501 387
91275	Gometz-le-ChÔtel	61 349
91286	Grigny	200 138
91312	Igny	218 414
91326	Juvisy-sur-Orge	209 103
91333	Leuville-sur-Orge	105 540
91339	Linas	162 772
91340	Lisses	164 218
91345	Longjumeau	298 411
91347	Longpont-sur-Orge	161 153
91363	Marcoussis	217 682
91377	Massy	464 525
91386	Mennecy	327 814
91421	Montgeron	432 170
91425	MontlhÚry	171 489
91432	Morangis	255 183
91434	Morsang-sur-Orge	369 474
91435	Morsang-sur-Seine	22 874
91457	La Norville	103 285
91461	Ollainville	139 947
91468	Ormoy	38 865
91471	Orsay	384 847
91477	Palaiseau	532 984
91479	Paray-Vieille-Poste	175 793

INSEE	Nom de la commune	PCR (m3/an)
91494	Le Plessis-PÔtÚ	108 333
91514	Quincy-sous-SÚnart	151 605
91521	Ris-Orangis	307 333
91553	Saint-Germain-lÞs-Corbeil	199 882
91570	Saint-Michel-sur-Orge	294 665
91573	Saint-Pierre-du-Perray	158 709
91577	Saintry-sur-Seine	127 899
91581	Saint-Yon	26 854
91587	Saulx-les-Chartreux	128 921
91589	Savigny-sur-Orge	660 447
91600	Soisy-sur-Seine	190 383
91631	Varennes-Jarcy	72 028
91635	Vauhallan	52 459
91645	VerriÞres-le-Buisson	321 240
91657	Vigneux-sur-Seine	378 597
91659	VillabÚ	111 599
91661	Villebon-sur-Yvette	235 831
91665	La Ville-du-Bois	171 771
91667	Villemoisson-sur-Orge	160 280
91685	Villiers-sur-Orge	76 490
91687	Viry-ChÔtillon	433 904
91689	Wissous	154 029
91691	Yerres	506 106
91692	Les Ulis	271 969
92002	Antony	894 010
92004	AsniÞres-sur-Seine	679 084
92007	Bagneux	358 646

INSEE	Nom de la commune	PCR (m3/an)
91534	Saclay	115 538
91549	Sainte-GeneviÞve-des-Bois	614 092
91552	Saint-Germain-lÞs-Arpajon	177 524

Annexe 7 : Indice de végétation : méthodologie IAURIF

(Document envoyé le 07/12/20120, par Manuel Pruvost-Bouvattier, département environnement urbain et rural –IAU-IDF)

Il existe différentes formules d'indice de végétation selon le domaine d'étude (inventaire agricole, inventaire forestier, espaces verts urbains…). Il s'agit en général de combinaisons de deux canaux : le rouge visible, absorbé par la chlorophylle pour la photosythèse, et le proche infrarouge réfléchi (renvoyé) par la surface des feuilles.
La formule utilisée ici est la plus communément appliquée, notamment en milieu urbain, le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). C'est une formule de différence pondérée (proche infrarouge – rouge/proche infrarouge + rouge), qui permet de réduire le « bruit » lié à la réponse du sol. Cet indice a été calculé automatiquement avec le logiciel de traitement d'images Erdas. Le résultat est exprimé en 256 niveaux de valeur (codés de 0 à 255). L'indice de végétation n'a pas d'unité. Plus la valeur est élevée plus le couvert végétal est dense et actif, plus la valeur est faible moins il y a de végétation verte.
Pour faciliter la lecture et l'interprétation de l'image, ces niveaux de valeurs sont regroupés en classes représentées selon une gamme de couleurs conventionnelles allant du gris foncé (valeurs faibles) au vert foncé (valeurs élevées). Ce regroupement se fait selon une méthode dite « semi-supervisée » en référence à des sites-tests bien connus représentatifs de différents types d'occupation du sol et de couverts végétaux, et à des classifications d'indice de végétation déjà réalisées, en l'occurrence celle du 28 août 2000 (année humide) à partir de données Landsat 7 Thematic Mapper. Les seuils entre les classes sont ensuite ajustés par tâtonnements successifs pour aboutir à la meilleure représentation possible à la date donnée. Nous avons rencontré quelques difficultés à ajuster la classification aux observations de l'été 2003, à cause d'une mauvaise dynamique de la radiométrie au dessus de l'agglomération parisienne, sans doute due à un voile de pollution atmosphérique. Pour faciliter les comparaisons et compte-tenu de l'observation simultanée, nous avons choisi d'appliquer la même classification partout, en Ile-de-France, à Orléans et à Tours. Par simplification, nous avons assimilé les valeurs d'indice de végétation aux numéros des classes.

Tableau de la classification retenue pour l'indice de végétation

Classe n°	Valeurs de l'indice de végétation	Couleur sur l'image
1	0-114	Noir
2	115-128	Gris foncé
3	129-135	Gris clair
4	136-146	Bleu clair
5	147-159	Jaune
6	160-173	Orange
7	174-187	Vert clair
8	188-198	Vert moyen
9	199-209	Vert foncé
10	210-255	Vert très foncé

Les forêts et les espaces verts sont dans les indices 5 à 10. L'indice 4 est caractéristique de l'habitat pavillonnaire. Les indices 2 et 3 sont caractéristiques des champs moissonnés. L'indice 1 représente l'urbain dense et l'eau dépourvus de toute végétation.

Annexe 8 : exemples des parcelles (bâtiments) échantillonnées

1. calcul du PSU à l'échelle urbaine de la commune

1.1. Pour la classe-de-bâtiments « habitat individuel »

Commune de Drancy 93029					
N°_Parcelle	**Sur_parcelle**	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
parcelle 1	**264**	80	184	129	55
parcelle 2	**270**	130	140	74	66
parcelle 3	**405**	165	240	152	88
parcelle 4	**240**	140	100	50	50
parcelle 5	**225**	81	144	81	63
parcelle 6	**240**	80	160	110	50
parcelle 7	**462**	100	362	252	110
parcelle 8	**240**	150	90	30	60
parcelle 9	**480**	121	359	294	65
parcelle 10	**294**	72	222	182	40
parcelle 11	**280**	100	180	140	40
parcelle 12	**470**	120	350	220	130
parcelle 13	**396**	126	270	210	60
parcelle 14	**280**	110	170	110	60
parcelle 15	**150**	72	78	54	24
parcelle 16	**297**	130	167	97	70
parcelle 17	**360**	100	260	200	60
parcelle 18	**340**	140	200	140	60
parcelle 19	**288**	90	198	148	50
parcelle 20	**340**	90	250	185	65
parcelle 21	**342**	108	234	171	63
parcelle 22	**252**	90	162	108	54
parcelle 23	**261**	63	198	162	36
parcelle 24	**230**	80	150	100	50
parcelle 25	**288**	108	180	120	60
parcelle 26	**240**	90	150	78	72
parcelle 27	**260**	48	212	173	39
parcelle 28	**250**	80	170	105	65
parcelle 29	**294**	72	222	182	40
parcelle 30	**297**	130	167	97	70

1.2. Pour la classe-de-bâtiments « habitat collectif »

Commune de Drancy 93029					
N_Parcelle	**Sur_parcelle**	Sur_bâtie	Su-nonbâtie	S_autre	S_jardin
parcelle 1	**5180**	1353	3827	1974	1853
parcelle 2	**19594**	5040	14554	6826	7728
parcelle 3	**2262**	690	1572	368	1204
parcelle 4	**4800**	754	4046	2880	1166
parcelle 5	**2240**	1400	840	560	280
parcelle 6	**2726**	980	1746	333	1413
parcelle 7	**2244**	544	1700	340	1360
parcelle 8	**2496**	726	1770	1116	654
parcelle 9	**6075**	754	5321	2880	2441
parcelle 10	**5180**	1353	3827	1974	1853

2. calcul du PSU à l'échelle supra-urbaine de l'agglomération parisienne
2.1. Pour la classe-de-bâtiments « habitat individuel »

Commune avec une couverture végétale « très dense » : Pontault-combault (77373)					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
000 AK 304	**258**	74	184	139	45
000 AK 303	**305**	110	195	157	38
000 AK 306	**400**	128	272	221	51
000 AK 307	**400**	86	314	265	49
000 AK 308	**400**	106	294	219	75
000 AK 296	**400**	78	322	237	85
000 AK 298	**800**	73	727	639	88
000 AK 303	**305**	112	193	154	39
000 AK 304	**258**	79	179	135	44
000 AK 302	**400**	180	220	135	85
000 AR 183	**400**	136	264	164	100
000 AT 229	**703**	107	596	502	94
000 AT 225	**648**	98	550	450	100
000 AT 229	**703**	103	600	512	88
000 AT 553	**714**	100	614	511	103
000 AV 54	**511**	124	387	341	46
000 AV 53	**511**	106	405	355	50
000 AW 92	**628**	75	553	455	98
000 AW 91	**628**	98	530	448	82
000 AW 75	**528**	89	439	339	100
000 AW 78	**528**	106	422	347	75
000 AN 10	**398**	130	268	188	80
000 AN 9	**404**	136	268	203	65
000 AN 12	**368**	117	251	186	65
000 AK 322	**411**	70	341	287	54
000 AK 320	**420**	108	312	212	100
000 AK 335	**412**	117	295	230	65
000 AK 333	**411**	96	315	240	75
000 AB 420	**507**	115	392	357	35
000 AB 559	**476**	118	358	281	77

Commune avec une couverture végétale « dense » : Villemomble (93077)					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
000 AN 37	**350**	96	254	174	80
000 AN 32	**387**	130	257	167	90
000 AN 71	**285**	110	175	90	85
000 AN 117	**304**	90	214	114	100
000 AN 75	**214**	55	159	109	50
000 AL 38	**142**	40	102	67	35
000 AL 39	**145**	40	105	72	33
000 AL 22	**146**	55	91	75	16
000 AL 20	**150**	66	84	65	19
000 AK 212	**270**	106	164	104	60
000 AK 211	**252**	113	139	84	55
000 AK 279	**315**	124	191	107	84
000 AK 53	**292**	116	176	116	60
000 R 170	**313**	103	210	160	50
000 K 96	**161**	92	69	39	30
000 K 122	**119**	36	83	47	36
000 K 95	**131**	72	59	39	20
000 J 62	**159**	51	108	75	33
000 J 67	**215**	76	139	89	50
000 T 102	**197**	45	152	98	54
000 T 138	**290**	92	198	143	55
000 AF 55	**157**	73	84	54	30
000 AF 77	**138**	55	83	51	32
000 AF 59	**189**	67	122	87	35
000 AF 57	**125**	50	75	49	26
000 U 130	**276**	88	188	132	56
000 U 141	**203**	60	143	96	47
000 F 48	**177**	47	130	95	35
000 F 56	**271**	86	185	147	38
000 F 55	**265**	82	183	133	50

Commune avec une couverture végétale « non dense » : Fonteny-sous-bois (94033)					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
000 Y 276	**64**	37	27	12	15
000 Y 275	**66**	39	27	-3	30
000 Y 274	**65**	37	28	3	25
000 Y 273	**65**	39	26	1	25
000 Z 146	**197**	55	142	44	98
000 Z 147	**202**	56	146	56	90
000 Z 148	**194**	36	158	70	88
000 Z 162	**212**	70	142	125	17
000 Z 203	**122**	70	52	7	45
000 Z 42	**120**	40	80	62	18
000 Z 43	**149**	66	83	57	26
000 Z 44	**150**	80	70	47	23
000 Z 46	**120**	52	68	48	20
000 Z 23	**149**	37	112	88	24
000 Z 24	**66**	37	29	18	11
000 Z 28	**131**	40	91	55	36
000 Z 29	**117**	40	77	40	37
000 Z 34	**258**	78	180	100	80
000 Y 58	**158**	85	73	63	10
000 Y 59	**157**	60	97	57	40
000 Y 54	**80**	37	43	28	15
000 Y 53	**108**	63	45	25	20
000 Y 67	**199**	112	87	7	80
000 Y 70	**226**	90	136	66	70
000 R 265	**185**	105	80	5	75
000 R 203	**179**	50	129	95	34
000 S 370	**245**	92	153	73	80
000 S 229	**127**	80	47	12	35
000 S 243	**162**	112	50	3	47
000 S 235	**274**	57	217	154	63

2.2. Pour la classe-de-bâtiments « habitat collectif »

Commune avec une couverture végétale « très dense » : Antony (92002)					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
000 CP 193	**15420**	2821	12599	2944	9655
000 CN 22	**7946**	1420	6526	1163	5363
000 CN 23	**5447**	939	4508	1120	3388
000 CM 115	**1589**	428	1161	520	641
000 CM 310	**3401**	513	2888	2100	788
000 CM 116	**7839**	836	7003	3534	3469
000 CI 184	**8134**	1211	6923	1873	5050
000 CJ 210	**1562**	565	997	531	466
000 CG 151	**4709**	857	3852	1917	1935
000 BF 161	**7058**	1354	5704	1538	4166
000 BC 12	**5702**	1594	4108	2416	1692
000 AN 15	**12100**	2713	9387	3569	5818
000 AI 2	**7062**	941	6121	3516	2605
000 AI 136	**9910**	2158	7752	4233	3519
000 AI 163	**3006**	767	2239	1771	468
000 AQ 95	**2464**	730	1734	685	1049
000 AQ 212	**5613**	1394	4219	1986	2233
000 AQ 213	**6124**	1394	4730	3928	802
000 AC 92	**2842**	520	2322	2040	282
000 AE 121	**7858**	1444	6414	4296	2118
000 AD 3	**3802**	954	2848	1928	920
000 Y 294	**13918**	2700	11218	7215	4003
000 X 272	**3834**	897	2937	2226	711
000 U 115	**4621**	1058	3563	2704	859
000 I 114	**3069**	795	2274	1812	462
000 I 108	**2367**	697	1670	1113	557
000 I 126	**5024**	1236	3788	2472	1316
000 O 217	**10055**	2399	7656	3973	3683
000 BT 137	**14987**	2792	12195	8512	3683
000 BX 112	**4904**	2373	2531	2010	521

Commune avec une couverture végétale « dense » : Maisons-Alfort (94042)					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
000 BI 31	**13469**	2113	11356	5704	5652
000 BH 43	**14016**	1848	12168	2500	9668
000 BC 81	**9717**	1348	8369	4311	4058
000 BG 107	**2618**	490	2128	1581	547
000 BG 30	**1748**	556	1192	812	380
000 BC 94	**9421**	1556	7865	1500	6365
000 BD 9	**7301**	1395	5906	3000	2906
000 AP 75	**6084**	2025	4059	1622	2437
000 AR 28	**29930**	4101	25829	6900	18929
000 AS 121	**8149**	2881	5268	2447	2821
000 AJ 13	**7127**	1422	5705	2647	3058
000 AL 180	**8053**	1647	6406	5628	778
000 AJ 345	**7767**	3513	4254	3241	1013
000 AI 114	**12575**	1681	10894	5000	5894
000 AI 43	**8928**	1502	7426	2498	4928
000 AF 118	**8044**	1398	6646	4915	1731
000 AE 90	**1703**	900	803	569	234
000 AE 52	**12919**	2249	10670	2000	8670
000 J 95	**7670**	1319	6351	5353	998
000 H 79	**19021**	5567	13454	2500	10954
000 E 229	**4345**	1331	3014	1103	1911
000 E 253	**5063**	1334	3729	2783	946
000 F 34	**2118**	782	1336	999	337
000 L 9	**10000**	2222	7778	1245	6533
000 AI 45	**4456**	633	3823	2073	1750
000 AJ 343	**7013**	2990	4023	680	3343
000 AJ 323	**8396**	2529	5867	1654	4213
000 AY 174	**1935**	1145	790	621	169
000 AN 86	**2422**	742	1680	1116	564
000 AV 31	**2025**	767	1258	800	458

Commune avec une couverture végétale « non dense » : Paris 20eme					
Réf_parcelle	Sur_parcelle	Sur_bâtie	Sur_nonbâtie	Sur_jardin	Sur_autre
000 DW 8	**4255**	1910	2345	475	1870
000 DS 100	**1420**	1050	370	120	250
000 EA 5	**11690**	1949	9741	6752	2989
000 DZ 1	**4215**	2398	1817	493	1324
000 DW 9	**4255**	1852	2403	740	1663
000 DT 22	**301**	260	41	0	41
000 DX 41	**1712**	948	764	460	304
000 DY 80	**573**	236	337	132	205
000 EB 6	**3485**	1736	1749	419	1330
000 DK 2	**6566**	2890	3676	1452	2224
000 DR 301	**3374**	2550	824	228	596
000 CY 184	**3244**	2815	429	213	216
000 CY 158	**2847**	1938	909	169	740
000 CX 126	**1343**	974	369	165	204
000 CN 41	**2983**	1552	1431	201	1230
000 CK 30	**1240**	1175	65	0	65
000 CE 28	**1628**	1380	248	106	142
000 CC 27	**3498**	2062	1436	600	836
000 CA 7	**2091**	1504	587	87	500
000 BX 173	**1614**	1169	445	96	349
000 BW 34	**1481**	1402	79	0	79
000 AW 51	**1627**	674	953	450	503
000 BP 8	**3060**	1115	1945	1500	445
000 BC 55	**4683**	2393	2290	1600	690
000 BI 165	**2384**	1762	622	300	322
000 BK 14	**3486**	1948	1538	1100	438
000 CN 62	**1468**	1001	467	102	365
000 CX 102	**4432**	3600	832	512	320
000 CY 186	**2181**	1403	778	238	540
000 DX 41	**1712**	900	812	415	397

Table des matières détaillée

Remerciements **3**

Résumé **5**

Abstract **7**

Sommaire **9**

Acronymes **13**

Glossaire **15**

Introduction générale **19**

LA GESTION CENTRALISEE DE L'EAU URBAINE : UN MODELE REMIS EN QUESTION 19
VERS UNE GESTION « IN SITU » DE L'EAU URBAINE : L'EMERGENCE DES NOUVELLES TECHNIQUES ALTERNATIVES AUX RESEAUX CENTRALISES 22
LA RECUPERATION ET L'UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE : UNE DYNAMIQUE PROPRE 22
IMPACTS ET POTENTIEL DE LA RUEP SUR LA GESTION URBAINE DE L'EAU 23

Partie I. D'une approche descriptive de la Récupération et de l'Utilisation de l'Eau de Pluie à la définition d'une problématique

Chapitre 1. La Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : une pratique associée au bâtiment **29**

1.1. INTRODUCTION 30
1.2. LA COMPOSITION D'UN DISPOSITIF DE RUEP 32
1.2.1. Captage et récupération de l'eau de pluie *32*
1.2.2. La déviation de rinçage *33*
1.2.3. Filtre externe *34*
1.2.4. Cuve de stockage *35*
1.2.5. Filtre interne *38*
1.2.6. Appareils UV *39*
1.2.7. Réservoir de tête *39*
1.2.8. Points de puisage *39*
1.2.9. Appoint en eau potable *40*
1.2.10. Autres composants *40*
1.3. LA RUEP DANS LE CONTEXTE FRANÇAIS 42
1.3.1. État des lieux du développement de la RUEP *43*
1.3.2. Le cadre réglementaire *43*
1.3.3. La spécificité française *45*
1.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 46

Chapitre 2. Etude de la Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : de l'échelle du bâtiment à l'échelle urbaine. **49**

2.1. LES THEMATIQUES DE LA RUEP ABORDEES DANS LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE 50
2.2. ETUDE DE LA PERFORMANCE HYDRAULIQUE A L'ECHELLE DU BATIMENT 51
2.2.1. Faire une étude de la performance hydraulique d'un dispositif de RUEP *51*
2.2.2. Paramètres d'entrée permettant le calcul de la performance hydraulique *53*
2.2.3. Modélisation de la performance hydraulique *60*
2.2.4. Dimensionnement de la cuve de stockage *63*
2.2.5. Logiciels de simulation *72*
2.3. ETUDE DE LA PERFORMANCE HYDRAULIQUE A L'ECHELLE URBAINE 80
2.3.1. Calcul du PPWS par le potentiel de l'eau de pluie issue des toitures. *81*
2.3.2. La méthode du bâtiment représentatif *86*
2.3.3. La méthode de l'usager représentatif *89*
2.3.4. La méthode de ratio d'arrosage *90*
2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 92

Chapitre 3. Un enjeu central de la problématique de recherche : le changement d'échelles ...95

3.1. SPECIFICITE DE LA PRATIQUE DE RUEP 96
3.2. LES ENJEUX DE LA PRATIQUE DE RUEP 97
3.2.1. À l'échelle élémentaire 97
3.2.2. À l'échelle urbaine....98
3.2.3. Comparaison entre les enjeux de la pratique de RUEP à l'échelle élémentaire et à l'échelle urbaine. 100
3.3. RAPPEL SUR LES THEMATIQUES DE RECHERCHE TRAITANT LE MEME SUJET 102
3.4. UN RECUL CRITIQUE SUR CES THEMATIQUES 102
3.5. LE PROJET « SR-UTIL » (POUR SCENARII DE RECUPERATION - UTILISATION) 104
3.6. NOTRE POSITIONNEMENT 105
3.7. CONCLUSION DU CHAPITRE : LA DEFINITION DE NOS PROBLEMATIQUES DE RECHERCHE. 106

Partie II. Une approche renouvelée du calcul du PPWS aux échelles urbaine et supra-urbaine

Introduction. Méthodologie générale de calcul du PPWS....111

I. METHODE THEORIQUE 111
I.1. Intérêt du calcul PPWS aux différentes échelles urbaines 111
I.2. Difficulté du calcul du PPWS à une échelle urbaine....112
I.3. Solution 1 : une échelle intermédiaire pour réduire l'écart « logique de subdivision » 113
I.4. Solution 2 : changement de l'unité de calcul « logique de regroupement »....114
II. SOURCE DE L'INFORMATION 116
II.1. Source de l'information brute 116
II.2. Adaptation de l'information à nos besoins 117
II.3. Les données et les informations obtenues 118
II.4. Absence de certaines informations 119
III. PRINCIPES DE CALCUL 120
VI. SYNTHESE 121

Chapitre 4. Calcul du PPWS à l'échelle du bâtiment 123

4.1. CHOIX DE LA METHODE DE CALCUL DU PPWS A L'ECHELLE DU BATIMENT 124
4.2. CHOIX DU POINT QUI CORRESPOND A NOS OBJECTIFS 124
4.3. LE CALCUL DU POTENTIEL DE STOCKAGE ET D'UTILISATION (PSU) DE L'EAU DE PLUIE 125
4.3.1. Les données pluviométriques « précipitation » 126
4.3.2. Les besoins en eau de pluie 126
4.3.3. La disponibilité de l'espace pour la mise en place de la cuve de stockage 133
4.4. EXEMPLE DE CALCUL DU PSU A L'ECHELLE DU BATIMENT 138
4.4.1. Description du bâtiment 138
4.4.2. Choix du scénario d'usage de l'eau de pluie....139
4.4.3. Résultats du calcul....140
4.4.4. Analyse des résultats 141
4.4.5. Calcul du PSU d'un ensemble de bâtiments....141
4.5. LE CALCUL DU PSU GLOBAL D'UN ENSEMBLE DE BATIMENTS 142
4.6. COMPARAISON ENTRE LE $PSU_{B_EQUIVALENT}$ ET LE $PSU_{\sum BATIMENTS}$....143
4.6.1. Constitution des bâtiments....144
4.6.2. Calcul du PSUs individuels des bâtiments « méthode de référence » 145
4.6.3. Calcul du PSUs des « bâtiments équivalents »....145
4.6.4. La Comparaison entre le PSU de la méthode de référence ($PSU_{\sum bâtiments}$) et le $PSU_{B_équivalent}$....145
4.7. CONCLUSION DU CHAPITRE 146

Chapitre 5. Calcul du PPWS à l'échelle urbaine (commune) 147

5.1. LE PPWS A L'ECHELLE DE LA COMMUNE « CHANGEMENT D'ECHELLES : DE L'ECHELLE DU BATIMENT A L'ECHELLE DE LA COMMUNE » 148
5.1.1. L'intérêt de calculer le PPWS à une échelle plus grande que celui du bâtiment 148
5.1.2. L'intérêt de calculer le PPWS, particulièrement à l'échelle de la commune 148
5.1.3. Méthode existante pour calculer le PPWS à l'échelle de la commune....149
5.2. LE PASSAGE DE L'ECHELLE DU BATIMENT A L'ECHELLE DE LA COMMUNE « LA CONSTRUCTION D'UNE TYPOLOGIE DE BATIMENTS » 149
5.2.1. Le regroupement des bâtiments en classes-de-bâtiments 150

5.3. CALCUL DU PPWS A L'ECHELLE D'UNE COMMUNE....162
5.3.1. Exemple 1 : la commune de Drancy (93029) « application »....163
5.3.2. Exemple 2 : la commune de Colombes (92025) « application »....168
5.4. ANALYSE ET INTERPRETATION DU PPWS DES DEUX COMMUNES (DRANCY ET COLOMBES)....169
5.4.1. Comparaison entre le PPWS et le PCR....170
5.4.2. Comparaison entre le PPWS, le volume d'eau global distribué et le volume d'eau non potable....170
5.4.3. Comparaison entre les classes-de-bâtiments....171
5.5. CONCLUSION DU CHAPITRE....172

Chapitre 6. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine (agglomération)....175

6.1. CALCUL DU PPWS A L'ECHELLE SUPRA-URBAINE « CHANGEMENT D'ECHELLES : DE L'ECHELLE DE COMMUNE A L'ECHELLE SUPRA-URBAINE »....176
6.1.1. L'intérêt de calculer le PPWS a une échelle supra-urbaine (région, agglomération,…)....176
6.1.2. Le choix de l'échelle de l'agglomération de Paris comme échelle supra-urbaine d'application....176
6.1.3. Méthodes existante pour calculer le PPWS à l'échelle supra-urbaine....178
6.1.4. Choix de notre méthode de calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine....180
6.2. LE PASSAGE DE L'ECHELLE COMMUNALE A L'ECHELLE SUPRA-URBAINE « LA CONSTRUCTION D'UNE TYPOLOGIE DE COMMUNES »....182
6.2.1. Choix du critère de regroupement des communes en classes-de-communes....182
6.2.2. Application de cette méthodologie sur les communes de l'agglomération de Paris....183
6.3. LE CALCUL DU PPWS A L'ECHELLE SUPRA-URBAINE DE L'AGGLOMERATION PARISIENNE « APPLICATION, RESULTATS ET INTERPRETATION »....186
6.3.1. Etape 1 : Rappel de la méthode théorique....186
6.3.2. Etape 2 : Dégagement des classes-de-communes importantes....187
6.3.3. Etape 3 : Renseignement des variables....188
6.3.4. Calcul du PSU au niveau des situations-types....200
6.3.5. Le PPWS de la classe-de-communes....201
6.3.6. Le PPWS de l'échelle supra-urbaine « agglomération de Paris »....201
6.4. ANALYSE ET INTERPRETATION DU PPWS DE L'AGGLOMERATION DE PARIS....202
6.4.1. Comparaison entre le PPWS et le PCR....202
6.4.2. Comparaison entre le « volume global d'eau distribué », le volume « non potable consommé » et le « PPWS » de l'agglomération de Pris....203
6.4.3. Comparaison entre les classes-de-communes et le PPWS....203
6.4.4. Comparaison entre les classes-de-bâtiments et le PPWS....204
6.5. CONCLUSION DU CHAPITRE....206

Conclusion de la partie....207

Partie III. Une première étude du système d'acteurs de la RUEP

Chapitre 7. Première approche méthodologique du système d'acteurs de la RUEP....211

7.1. ACTEURS ET SYSTEMES D'ACTEURS DANS LES PROCESSUS DE DIFFUSION DE LA RUEP....215
7.2. ANALYSE DU SYSTEME D'ACTEURS DU DOMAINE RUEP....217
7.2.1. La multitude des acteurs....217
7.2.2. La variabilité des actions menées....219
7.2.3. La diversité des échelles d'intervention....221
7.3. ACTEURS LEVIERS ET DEVELOPPEMENT DE LA RUEP....223
7.3.1. Acteurs directement impliqués et acteurs de l'environnement pertinent....223
7.3.2. Acteurs leviers de la RUEP....225
7.4. CONCLUSION : LES ACTEURS LEVIERS POUR ETUDIER LA COMPLEXITE....227

Chapitre 8. Acteurs leviers et développement de la RUEP à l'échelle de l'agglomération de Paris....229

8.1. L'ENJEU QUANTITATIF DE LA RUEP A L'ECHELLE DE L'AGGLOMERATION DE PARIS....230
8.2. SYSTEME D'ACTEURS DE L'HABITAT INDIVIDUEL....230
8.2.1. Acteurs de l'habitat individuel....230
8.2.2. La prise de décision de se doter d'un dispositif de RUEP....234
8.2.3. Installer et gérer durablement un dispositif de RUEP....239
8.3. ACTEURS LEVIERS DE L'HABITAT COLLECTIF....240
8.3.1. Nature de l'acteur « propriétaire-social »....241

8.3.2. Les organismes HLM au cœur de l'action environnementale *241*
8.3.3. Les organismes HLM pourront-ils être des acteurs leviers de la RUEP ? *241*
8.4. REALITE DU DEVELOPPEMENT ACTUEL DE LA RUEP 242
8.5. CONCLUSION : VERS UNE MOBILISATION DES PROPRIETAIRES DES BATIMENTS 244

Conclusion générale 247

RETOUR SUR LE CONTENU DU RAPPORT 247
APPORT ET ORIGINALITE DE NOTRE DEMARCHE 248
LIMITES ET PERSPECTIVES DU TRAVAIL 250
VERS UNE DEMARCHE DE CHANGEMENT D'ECHELLES FLEXIBLE 252
FINALEMENT, UN NOUVEAU RAPPORT QUI EMERGE ENTRE LE BATIMENT ET LA VILLE 257

Références bibliographiques 259

Annexes 274

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE DES ENQUETES : DISPONIBILITE DE L'ESPACE ET COMPORTEMENT D'ARROSAGE 275
ANNEXE 2 : EXEMPLES DE CUVES DE RUEP COMMERCIALISEES ET DIMENSIONS ASSOCIEES 277
ANNEXE 3 : REPRESENTATIVITE DES BATIMENTS UTILISES POUR LE CALCUL DES BATIMENTS EQUIVALENTS 281
ANNEXE 4 : REORGANISATION DU MOS-IAU 283
ANNEXE 5 : OPERATIONS DE RETOUR D'EXPERIENCE 291
ANNEXE 6 : PCR DES COMMUNES DE L'AGGLOMERATION DE PARIS 297
ANNEXE 7 : INDICE DE VEGETATION : METHODOLOGIE IAURIF 301
ANNEXE 8 : EXEMPLES DES PARCELLES (BATIMENTS) ECHANTILLONNEES 303

Table des matières détaillée 311

Listes des illustrations 315

Liste des tableaux 317

Listes des illustrations

Figure 1. Schéma du protocole exploratoire suivi durant notre travail de thèse. Source: adapté de [Fugier 2009] 25
Figure 2. Le principe général de la RUEP. Source : adapté depuis [Roebuck 2007] 30
Figure 3. Captage et de récupération de l'eau de pluie. Source : adapté de [Roebuck 2007]. 32
Figure 4. Le composant de rinçage (déviation). Source : adapté de [Roebuck 2007]. 33
Figure 5. Quelques exemples des appareils de déviation de la première vague de l'eau de pluie. 34
Figure 6. La position du filtre externe dans le dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007] 34
Figure 7. Quelques modèles des filtres externes. 35
Figure 8. La cuve de stockage d'un dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007] 36
Figure 9. Différents types de cuves de stockage de l'eau de pluie. 36
Figure 10. Le traitement par filtre interne et appareil UV. Source : adapté de [Roebuck 2007] 38
Figure 11. Filtre interne « micro-filtre –bobine- ». 38
Figure 12. Schéma du traitement de l'eau par UV. Source : adapté de [Leggett et al. 2001 (b)] 39
Figure 13. La position du réservoir de tête dans le dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007] 40
Figure 14. Un dispositif de RUEP. Source : adapté de [Roebuck 2007] 41
Figure 15. Calcul de la « surface de récupération ». Source : [Environment Agency 2003] 54
Figure 16. Principe de fonctionnement d'une cuve de RUEP. Source [Fewkes 1999] 62
Figure 17. Exemple de la méthode « période critique » de détermination du volume de la cuve de stockage de l'eau de pluie. Source : [Gould et Nissen-Petersen 1999] 64
Figure 18. Courbes tracées pour aider l'usager à choisir le volume de sa cuve de stockage. Source : [Herrmann et Uwe 1999] 65
Figure 19. La courbe qui permet de déterminer le volume de la cuve selon les paramètres du bâtiment. Source : [Khastagir et Jayasuriya 2010]. 66
Figure 20. Détermination du volume de la cuve pour un besoin de 100 l /j selon la précipitation annuelle et la surface de toiture de récupération. Source [Basinger et Montalto 2010] 67
Figure 21. La courbe : volume de stockage en fonction du PPWS tracée par le programme « Neptune ». Source : [Ghisi et Ferreira 2007]. 68
Figure 22. Zone optimale. Source [de Gouvello et al. 2010] 69
Figure 23. Volume optimum choisi. Source : adaptée d'après [Rivron 2009]. 69
Figure 24. Principe de la méthode de référence. Source : [Norme Française 2011] 71
Figure 25. Schéma explicatif du principe de fonctionnement du « SARET ». Source [Basinger et al. 2010] 74
Figure 26. Interface utilisateur de l'outil de simulation 75
Figure 27. Données d'entées et résultats affichés par « NEPTUNE ». Source [Ghisi et Ferreira 2007] 76
Figure 28. La courbe ($S \mapsto E_T$). Source : adaptée depuis [Rivron 2009] 77
Figure 29. L'interface utilisateur de l'outil de simulation. Source : [Rivron 2009] 78
Figure 30. Résultats affichés par l'outil de simulation. Source : [Rivron 2009] 79
Figure 31. Nouveau interface utilisateur de l'outil de simulation. Source [Sennhauser 2010] 80
Figure 32. Les situations (bâtiments) représentatives pour les 9 villes de la région Sao-Paulo (Brésil). Source [Ghisi et al. 2007] 87
Figure 33. Les cuves de stockage typique par ville [James et al. 2009]. 89
Figure 34. Utilisation de l'eau de pluie par région [James et al. 2009]. 89
Figure 35. Le calcul du PPWS par usager de l'eau de pluie. Source [Coombes et Kuczera 2003] 90
Figure 36. Les résultats de la série de simulation : Le taux de recouvrement de la demande en eau et le taux de débordement. Source [Guillon et al. 2008] 91
Figure 37. Le débordement de l'eau de pluie par rapport au volume de stockage et le nombre de bâtiments équipés par un dispositif de RUEP. Source : [Guillon et al. 2008] 92
Figure 38. Adaptation de l'information « Population de 2 ans ou plus par scolarisation, sexe, âge et lieu d'études » de l'INSEE à une donnée utile pour le calcul du PPWS. 118
Figure 39. Schéma de notre méthode de changement d'échelles 122
Figure 40. Volume optimal ($U3_{opt}$). Source : adaptée de [de Gouvello 2010] 125
Figure 41. Les possibilités de la mise en place d'une cuve 136
Figure 42. Les endroits aptes à la mise en place d'une cuve pour la catégorie « maison de ville » 136
Figure 43. Les endroits aptes à la mise en place d'une cuve pour la catégorie « maison pavillonnaire » 137
Figure 44. Résultats graphique de la simulation 140
Figure 45. Comparaison entre la consommation totale en eau potable, les besoins susceptible être remplacés par l'eau de pluie et le PSU du bâtiment étudié. 141

Figure 46. Comparaison entre $PSU_{\sum \text{ bâtiments}}$ et le $PSU_{\text{B-équivalent}}$ 145
Figure 47. Rapport $PSU_{\sum \text{ bâtiments}}$ et $PSU_{\text{B-équivalent}}$ 146
Figure 48. Méthode de regroupement des bâtiments de la commune en type de bâtiments selon leur scénario d'usage de l'eau de pluie. 151
Figure 49 . Exemple des 5 niveaux hiérarchiques de la base MOS de l'IAU-IDF. 152
Figure 50 . Les limites de notre périmètre par rapport aux usages possibles de l'eau de pluie 159
Figure 51. Schéma du 1er changement d'échelles (bâtiment→ commune). 163
Figure 52. Comparaison entre le PCR et le PPWS des deux communes : Drancy et Colombes 170
Figure 53. Comparaison entre le PPWS, le volume global distribué et le volume non potable des deux communes : Drancy et Colombes 171
Figure 54. Participation des classes-de-bâtiments dans le PPWS de la commune de « Drancy » 171
Figure 55. Participation des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires dans le PPWS de la commune de « Colombes » 172
Figure 56. La commune équivalente. 179
Figure 57. Schéma explicatif de la notion "classe-de-communes" 180
Figure 58. L'importance des classes-de-bâtiments par rapport aux communes de l'agglomération parisienne. 184
Figure 59. Les 28 classes-de-communes de l'agglomération parisienne (en vert leurs classes-de-bâtiments importantes). 185
Figure 60. Analogie entre le calcul du PPWS à l'échelle de la commune et son calcul à l'échelle supra-urbaine "agglomération". 186
Figure 61. Schéma du 2eme changement d'échelles (commune→ agglomération) 187
Figure 62. Méthode d'agrégation des données des classes « habitat individuel » et « habitat collectif » : de l'état brut (polygone) jusqu'à l'échelle de la classe-de-communes. 190
Figure 63. Méthode d'agrégation des données de la classe-de-bâtiments « enseignement autre » : de l'état brut à l'échelle de la classe-de-communes 192
Figure 64. Passage du polygone à la classe-de-bâtiments 195
Figure 65. Comparaison entre le PCR et le PPWS de l'agglomération de Paris 202
Figure 66. Comparaison entre le PPWS, le PCR et le volume d'eau distribué de l'agglomération de Paris 203
Figure 67. Participation des classes-de-communes importantes et complémentaires dans le PPWS de l'agglomération de Paris. 204
Figure 68. Participation des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires dans le PPWS de l'agglomération de Paris 204
Figure 69. Comparaison entre la participation des classes-de-bâtiments importantes et complémentaires dans le PPWS et le PCR de l'agglomération de Paris. 205
Figure 70. Schéma décisionnel développé par le LEESU. Source [Sennhauser 2010] 236
Figure 71. Résultats de l'enquête concernant les motivations de l'adoption d'un système de RUEP en habitat individuel. Source [Moulin 2011]. 238
Figure 72. Les opérations de RUEP repérées dans l'étude du CSTB. Source [de Gouvello et Khouil 2004] 242
Figure 73. Possibilité de calculer le PPWS selon différents points de vue. 257
Figure 74. La représentativité de la surface bâtie des bâtiments fictifs utilisés dans l'étude des bâtiments équivalents par rapport aux bâtiments réels repérés lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage ». 281
Figure 75. La représentativité de la surface jardin des bâtiments fictifs utilisés dans l'étude des bâtiments équivalents par rapport aux bâtiments réels repérés lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage ». 282
Figure 76. La représentativité du nombre habitants des bâtiments fictifs utilisés dans les bâtiments équivalents par rapport aux bâtiments réels repérés lors de l'enquête « disponibilité de l'espace et comportement d'arrosage » 282

Liste des tableaux

Tableau 1. Quelques exemples des « coefficients de récupération » repérés dans la littérature. 56
Tableau 2. Exemples des ratios internationaux des usages de l'eau domestique. 59
Tableau 3. Le PPWS de la ville Florianópolis (Brésil). Source [Ghisi et al. 2006] 83
Tableau 4. APPWS des régions jordaniennes. Source : [Abdulla et Al-Shareef 2009].....84
Tableau 5. Le PCR de la région Ile-de-France et ses département. Source : [Belmeziti et de Gouvello 2009] 86
Tableau 6. Les bâtiments représentatifs et leurs caractéristiques. Source [Coombes et al. 2002].....88
Tableau 7. Le calcul du PPWS à l'échelle de chaque zone de la région « Lower Hunter ». [Coombes et al. 2002].....88
Tableau 8. Comparaison entre les enjeux de la RUEP à l'échelle élémentaire et à l'échelle urbaine.....101
Tableau 9. Les limites de chaque méthode d'étude de la RUEP repérées dans la littérature scientifique.....104
Tableau 10. Exemples de l'intérêt du calcul du PPWS pour les différentes échelles urbaines. 112
Tableau 11. Différents volumes estimés dans le WC domestique. 127
Tableau 12. Volume de base d'utilisation de l'eau. 133
Tableau 13. Les règles qui permettent le calcul de l'espace nécessaire à la mise en œuvre de la cuve. 134
Tableau 14. Scénario d'usage de l'eau de pluie 139
Tableau 15. Possibilité de la mise en place de la cuve de stockage de l'eau de pluie. 141
Tableau 16. Calcul du PSU 142
Tableau 17. Caractéristiques techniques des 10 bâtiments et de leur bâtiment équivalent. 143
Tableau 18. Comparaison entre les résultats de l'ensemble des 10 bâtiments calculés chacun à part et les résultats de leur bâtiment équivalent. 143
Tableau 19 . Les MOS retenus parmi ceux qui sont proposés par la base l'IAU-IDF. 152
Tableau 20 : les treize « classes-de-bâtiments » dégagées 155
Tableau 21. Les usages possibles de l'eau de pluie.....160
Tableau 22. Les usages importants de l'eau de pluie 160
Tableau 23. Les situations-types de bâtiments.....161
Tableau 24. Les situations-types et leurs usages importants correspondants.....162
Tableau 25. classes-de-bâtiments importantes et marginales de la commune de « Drancy » 165
Tableau 26. Variables des classes-de-bâtiments importantes.....165
Tableau 27. Méthode d'extraction de la donnée « surface autre Sa » 166
Tableau 28. Valeurs des variables nécessaires au calcul du PPWS de la commune de « Drancy ».....166
Tableau 29. situation-type des classes-de-bâtiments importantes et leurs scénarios d'usage de l'eau de pluie. 167
Tableau 30. Résultats du PSU par situation-type. 167
Tableau 31. Situations-types choisie et leurs PSU correspondent.....167
Tableau 32. Le PPWS de la commune de « Drancy » 168
Tableau 33. classes-de-bâtiments importantes et marginales de la commune de « Colombes ».....168
Tableau 34. Résultats du PSU par situation-type pour la commune de « Colombes » 169
Tableau 35. Situations-types choisie et leurs PSU correspondent de la commune de « Colombes ».....169
Tableau 36. Le PPWS de la commune de « Colombes » 169
Tableau 37. Les classes-de-communes importantes de l'agglomération parisienne.....188
Tableau 38. Les communes-types importantes et les communes-types complémentaires de l'agglomération de Paris. 188
Tableau 39. Classification retenue pour l'indice de végétation. Source : IAU-IDF.....194
Tableau 40. Extrait des 30 bâtiments choisis de la classe « habitat individuel » de la commune de Villemomble (93077). 198
Tableau 41. Les coefficients (S_p / S_{pr}) selon la densité des classes-de-bâtiments 199
Tableau 42. Le PSU par scénario d'usage de l'eau de pluie pour les classes bâtiments de la classes de commune « habitat individuel / habitat collectif ».....201
Tableau 43. Calcul du PPWS au niveau d'une classe-de-communes.....201
Tableau 44. Calcul du PPWS à l'échelle supra-urbaine de l'agglomération de Paris 201
Tableau 45. Eléments étayant l'anecdote. 216
Tableau 46. L'ensemble des acteurs de la RUEP repérés à l'échelle urbaine. Source : [de Gouvello et Noeuvéglise 2007, Roaf 2006] 218
Tableau 47. Diverses échelles d'intervention pour les acteurs de la RUEP. 222
Tableau 48. La distinction entre acteurs directs et acteurs de l'environnement pertinent.....225
Tableau 49. Principaux acteurs de l'habitat individuel de l'agglomération de Paris. Source [Dugeny et al. 2009].....231
Tableau 50. Principaux acteurs de l'habitat collectif de l'agglomération de Paris.....240