

Forest and the Water Cycle

Forest and the Water Cycle:

Quantity, Quality, Management

Edited by

Patrick Lachassagne
and Michel Lafforgue

Cambridge
Scholars
Publishing



Forest and the Water Cycle: Quantity, Quality, Management

Edited by Patrick Lachassagne and Michel Lafforgue

This book first published 2016

Cambridge Scholars Publishing

Lady Stephenson Library, Newcastle upon Tyne, NE6 2PA, UK

British Library Cataloguing in Publication Data

A catalogue record for this book is available from the British Library

Copyright © 2016 by Patrick Lachassagne, Michel Lafforgue
and contributors

All rights for this book reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the copyright owner.

ISBN (10): 1-4438-8825-7

ISBN (13): 978-1-4438-8825-7

TABLE OF CONTENTS

TABLE DES MATIERES

Foreword	xiii
<i>P. Lachassagne and M. Lafforgue</i>	

Préface	xviii
<i>P. Lachassagne and M. Lafforgue</i>	

About the Editors / A propos des éditeurs	xxiv
---	------

List of Contributors / Liste des co-auteurs.....	xxvii
--	-------

Part 1: Introductory Chapters / Chapitres Introductifs

Chapter 1.1	2
Introduction: The Challenges of Water Resources Protection	
Introduction - Les enjeux de la protection des ressources en eau	
<i>Gh.de Marsily</i>	

Chapter 1.2	23
Main Quantitative Hydrological Concepts, and Forest Hydrological Concepts	
Principaux concepts hydrologiques et hydrogéologiques - Concepts	
d'hydrologie forestière	
<i>P. Lachassagne, S. Rouquet and M. Lafforgue</i>	

Chapter 1.3	39
The General Principles of Forest Management	
Principes généraux de la gestion forestière	
<i>Th. Sardin</i>	

Part 2: The Hydrological Role of the Forest: Quantitative Analysis and Modelling / Le rôle hydrologique de la forêt : approche quantitative et modélisation

Chapter 2.1	58
Influence of Forest Cover on the Water Cycle at the Tree and Stand Scales: Comparison with Other Vegetation types	
Influence de la couverture forestière sur le cycle de l'eau à l'échelle de l'arbre et de la parcelle : comparaison avec d'autres types de végétation	
<i>A. Granier and N. Bréda</i>	
Chapter 2.2	72
Impact of the Forest on the Hydrological Cycle and Chemical Balance in a Tropical Humid Watershed (Mule Hole, India)	
Impact de la forêt sur le cycle hydrologique et le bilan de matière dans un bassin versant tropical humide (Mule Hole, Inde)	
<i>J.-C. Maréchal, J. Riotte, L. Ruiz, M. Sekhar and J.-J. Braun</i>	
Chapter 2.3	101
Plantation Water Use: The Australian Scientific Perspective	
La consommation d'eau des plantations forestières : la perspective scientifique australienne	
<i>L. J. Bren, P. M. Feikema, R. G. Benyon and A. J. B. Greenwood</i>	
Chapter 2.4	136
Modelling Water Balance of Forests with Biljou©	
Modéliser le bilan hydrique des forêts avec Biljou©	
<i>A. Granier, V. Badeau, G. Ehinger, D. Maurice, M. Grosdidier, N. Robert and N. Bréda</i>	
Chapter 2.5	153
Forest Cover Deterministic Distributed Hydrological Modelling at the Catchment Scale	
Modélisation hydrologique déterministe distribuée de la couverture forestière à l'échelle du bassin versant	
<i>S. Rouquet, P. Lachassagne and E. Ledoux</i>	

Chapter 2.6	181
Hydrologic Modeling for Water Resource Assessment in a Developing Country: The Rwanda Case Study	
Modélisation hydrologique pour l'évaluation de la ressource en eau dans un pays en voie de développement : le cas d'étude du Rwanda	
<i>S. McNulty, E. Cohen, G. Sun and P. Caldwell</i>	

Part 3: Forest and Water Quality: Analysis and Modelling / Forêt et qualité des eaux : caractérisation et modélisation

Chapter 3.1	204
Impact of Forests on Water Quality	
Impact des forêts sur la qualité de l'eau	
<i>M. Lafforgue</i>	
Chapter 3.2	266
Deterministic Modelling of the Vals-les-Bains Carbo-gaseous Natural Mineral Hydrosystem and Analysis of Sensitivity to Changes in Land Use and Water Management Practices	
Modélisation déterministe de l'hydrosystème d'eau minérale naturelle carbo-gazeuse de Vals-les-Bains et analyse de sensibilité aux changements d'occupation du sol et des pratiques de gestion de l'eau	
<i>E. Ledoux, H. Xiao, J.-F. Terrisse and P. Lachassagne</i>	
Chapter 3.3	292
Anthropogenic Origin of Phosphates in a Dam Lake of the Furan Forested Watershed (Loire, France): Diagnosis and Eutrophication Remediation Proposals	
Origine anthropique des phosphates dans un lac de barrage du bassin versant forestier du Furan (Loire, France) : diagnostic et propositions de remédiation de l'eutrophisation	
<i>F. Pezet and M. Lafforgue</i>	
Chapter 3.4	316
Forecasting the Impact of Forest Cut on Nitrogen Fluxes to Aquifers	
Prévision de l'impact des coupes forestières sur les flux de nitrate vers les aquifères	
<i>S. Rouquet, P. Lachassagne and A. Ferroud</i>	

Part 4: Best Forest Practices for Water Protection / Bonnes pratiques forestières pour la protection des ressources en eau

Chapter 4.1	344
"GESTOFOR" Practical Guide: Stakeholders Involved in Water and Forest Management Work Together in Midi-Pyrénées (France)	
Guide technique « Gestofofor » : les acteurs de l'eau et de la forêt s'associent en Midi-Pyrénées (France)	
<i>E. Rouyer, Ph. Bertrand and L. Danneville</i>	
Chapter 4.2	355
Best Practices in Forested Mountain and Karst Areas (ALPEAU Project): Presentation of the Water Protection Guide	
Guide de bonnes pratiques en régions forestières et karstiques de montagne (projet ALPEAU) : présentation du guide de protection des captages d'eau potable	
<i>J. L. Mabboux</i>	
Chapter 4.3	370
Protection of Shallow Drainage and Catchwork Devices for Drinking Water Tapping in Forested Areas: The Saint-Etienne City, France, Case Study	
Protection des dispositifs de drainage et de captage en zone boisée destinés à l'alimentation en eau potable. Le cas d'étude de la ville de Saint-Etienne, France	
<i>G. Sabot, V. Chassignol and P. Lachassagne</i>	
Chapter 4.4	384
Good Forestry Practices for the Protection of Natural Mineral Water Resources. The Volvic, Case Study (France)	
Bonnes pratiques forestières pour la protection des ressources en eau minérale naturelle. Le cas d'étude de Volvic (France)	
<i>B. Alméras, E. Favre d'Anne, Erick Jeanton, C. Ballut</i>	
Chapter 4.5	402
Restoration of Wetlands and Watercourses in Wooded Areas: Illustrations of the Role of a Forest Manager	
Restauration de zones humides et de cours d'eau en contexte forestier. Illustration du rôle d'un gestionnaire forestier	
<i>J. Prinnet</i>	

**Part 5: Contractual and Economic Aspects for Water Protection
in Forest Areas / Aspects économiques et contractuels de la protection
des ressources en eau des bassins versants forestiers**

Chapter 5.1	430
Socio-Economical and Governance Approaches: Payment for Environmental Services—Examples of Cities Securing their Water Supply by Paying for the Forest Environmental Services	
Approches socio-économiques et de gouvernance. Paiement pour Services Environnementaux : exemples de villes sécurisant leur alimentation en eau potable en payant pour des services environnementaux forestiers	
<i>J. Gault</i>	
Chapter 5.2	442
Role of Cost-Benefit Analysis to Support Policies aimed at Favouring both Forestry Development and Water Resource Protection. Case Study from Volvic Natural Mineral Water (France)	
Rôle de l'analyse coût-bénéfice pour promouvoir des politiques visant à favoriser conjointement le développement de l'exploitation forestière et la protection de la ressource en eau. Cas d'étude de l'Eau Minérale Naturelle de Volvic (France)	
<i>P. Defrance and S. Bertin</i>	
Chapter 5.3	468
Nature and Cost of the Forestry Practices Devoted to Water Supply Protection Zones: The Masevaux (France) Case Study	
Nature et coût des pratiques sylvicoles dédiées aux périmètres de protection des captages d'eau potable : étude de cas à Masevaux (France)	
<i>J. Fiquepron</i>	
Chapter 5.4	481
Protecting our Drinking Water: Partnerships between Water Resource and Forest Managers - The Moises Water Board Case Study (France)	
Protéger la Ressource en Eau Potable : Partenariats entre Gestionnaires d'Eau et Forestiers. Le Cas d'Etude du Syndicat des Eaux des Moises	
<i>N. Wilhem and J. Fiquepron</i>	

**Part 6: Case Studies about Forest and Water Management /
Cas d'études de gestion des ressources en eau et forestières**

Chapter 6.1	498
Saint-Etienne (France): Over One Century of Forest Policy to Protect the City's Drinking Water Resource	
Saint-Etienne (France) : plus d'un siècle de politique forestière pour protéger la ressource en eau potable de la ville	
<i>G. Albouy</i>	
Chapter 6.2	511
Water Resource Conservation in a Headwater Area Funded by a City: A Century-long Case Study of Yokohama Waterworks Bureau Forest and Doshi Village (Japan) in terms of Economic Support and its Consequences	
Protection de la ressource en eau dans une zone de tête de bassin versant financée par une ville : le cas d'étude, d'une durée d'un siècle, de la forêt du bureau du service des eaux de la ville de Yokohama et du village de Doshi (Japon), en matière de soutien économique, et ses conséquences	
<i>K. Izumi</i>	
Chapter 6.3	534
The Role of a Himalayan Forest in Supplying Drinking Water to the Uttarakhand State in India	
Le rôle d'une forêt himalayenne dans l'alimentation en eau potable de l'état d'Uttarakhand (Inde)	
<i>S. K. Sharma</i>	
Chapter 6.4	544
Forest Development in Groundwater Protection Zones: A Promising Challenge	
Développement forestier au sein des périmètres de protection des captages d'eau souterraine : un challenge prometteur	
<i>A. Persuy</i>	

Chapter 6.5	552
The Principle of the Danone Waters Natural Mineral Waters (NMW)	
Protection Policies: Forest Development and NMW Protection	
in the Volvic, France, Impluvium	
Le principe des politiques de protection des eaux minérales naturelles	
(EMN) Danone. Développement forestier et protection de l'impluvium	
de l'EMN de Volvic, France	
<i>J. J. Beley, P. Lachassagne, and J.C. Perfetti</i>	

Part 7: Synthesis / Synthèse

Chapter 7.1	570
Synthesis – Interactions between Forest and Water Resources:	
Quantitative Impacts	
Synthèse – Interactions entre forêt et ressources en eau : impacts	
quantitatifs	
<i>P. Lachassagne</i>	
Chapter 7.2	586
Synthesis - Interactions between Forest and Water Resources:	
Qualitative Impacts	
Synthèse – Interactions entre forêt et ressources en eau : impacts	
qualitatifs	
<i>M. Lafforgue</i>	
Chapter 7.3	593
Synthesis - Economic Issues Linked with Forests and the Protection	
of Water Resources	
Synthèse – Enjeux économiques liés à la forêt et à la protection	
des ressources en eau	
<i>M. Lafforgue</i>	
Chapter 7.4	612
Climate Change Impacts on Forest-Water Interactions and on Forest	
Management	
Impact des changements climatiques sur les interactions entre les forêts	
et l'eau et sur la gestion forestière	
<i>M. Lafforgue</i>	

Chapter 7.5	650
Review and Forward-Looking Study for the Protection of the Water Resource in the French Forests	
Bilan et essai de prospective sur la protection de la ressource en eau dans les forêts françaises	
<i>O. Ferry, P. Lachassagne</i>	

FOREWORD

PATRICK LACHASSAGNE

WATER INSTITUTE BY EVIAN, EVIAN-VOLVIC-WORLD,
DANONE WATERS

AND MICHEL LAFFORGUE

SUEZ CONSULTING

As a result of the rural exodus, particularly in Europe, over the last decade or so, woodland areas have considerably increased. This is especially true of hedged areas and low mountains, such as the Massif Central in France for example. Due to their high rainfall and low evapotranspiration, two conditions caused by the altitude, these regions are often compared to "water towers" that provide water to the surrounding areas. Because the water consumption of a single unit of forested land, largely due to evapotranspiration, is generally noticeably larger than for other land uses (in particular non-irrigated farmland), this major change in land use is liable to have a major impact on the water budget of the catchment areas in question and, as a result, on the water supply for the surrounding areas.

As regards maintaining the quality of water resources, this decrease in agricultural areas in favour of woodlands is very positive overall. Some precaution must however be taken during the different phases of growth, maintenance, exploitation (felling) and subsequent replanting, both to preserve water resources (quantity and quality) and to maintain sources of income and forest heritage. On the last point, and taking into account the current economic crisis suffered by the wood industry, additional solutions to mere logging need to be found, at least in the short to mid-term, to finance and maintain woodland heritage and preserve it for future generations. Policies for protecting water resources, implemented as part of the European Water Framework Directive in particular, also need to be compatible with the long-term protection of forest heritage.

Also, in the long term, the increasing cost of non-renewable fuels and efforts to limit the emissions of greenhouse gases will inevitably lead to a continuing and even increasing demand for fuelwood. This means opportunities for the wooded areas in question, but is also a source of risks

regarding other functions of the forest (quantity and quality of water resources, biodiversity, landscapes, welcoming the public, tourism, etc.). These risks and opportunities must also be planned for.

Having established this background, this book is primarily based on the SEMEAU project (2009-2013; www.life-semeau.eu), co-financed as part of the European LIFE+ Environment programme. This project followed on from other projects on a similar subject (in particular the European projects Interreg ALPEAU and SYLVAMED and the GESTOFOR project and the joint "Forest and Water" action led by INRA and IDF in France). Its aim was to bring together the forestry communities (scientific communities, consultancies, managers, operators, project owners, etc.) on the one hand and water resource communities on the other, from the point of view of a scientific approach (quantity, quality, biology, etc.) as well as a legal, economic and sociological perspective. This in particular meant facilitating dialogue between foresters and those responsible for managing water resources. The project also sought to make regulatory protection actions for water resources in forested areas (water resource protection zones) simpler and more efficient and proactive (contracting, payment for environmental services, etc.) for all concerned. To this end, different chapters have been drafted in order to address both communities, i.e. forestry and water professionals, and some introductory chapters (in particular chapters 1.2 and 1.3. regarding the "main quantitative hydrological concepts and forest hydrological concepts", and "the general principles of forest management": the main conditions for forestry and logging operations) have been specifically drafted to provide both communities with a "shared base hydrological and forestry language". The book also includes a number of case studies to amply illustrate the subjects under consideration.

In order to ensure a broad distribution of this study of "water and forestry", the book is written in English. However, to facilitate comprehension for French-speaking readers, each chapter comprises its title and an abstract in French, and the present foreword is also available in both languages.

This study is more specifically derived from SEMEAU's international scientific conference entitled "How to Combine Forest Management, Local Development and Protection of Surface and Groundwater?", which was organised by the SEMEAU project and the French Chapter of the International Association of Hydrogeologists, at Vulcania (Puy-de-Dôme area of France), from 17 to 19 October 2012 (see the presentations on www.life-semeau.eu). The aim of this conference was not only to present, share and discuss the main findings of the SEMEAU project, but also to

open the debate to other contributions, which was the case with over 120 attendees from Europe and other continents. Most of the chapters of this book are a selection of the presentations made at the conference, whose authors were invited to contribute. These contributions have been followed by additional chapters to cover all the aims of the study. The presentations made at the conference have therefore been supplemented and enriched in order to find their place in such a book, and several additional contributions have been added. There were other papers presented in the conference that are not included in this compendium because of length limitations.

The present book thus comprises 32 original contributions (chapters) organized as follows, and includes studies mainly from France of course, but also from North America, Asia, and Australia:

- after this foreword, the *lead chapter by G. de Marsily* (1.1) introduces the main objectives of this book, namely to present a summary of the knowledge of the interactions between water and forestry resources, in terms of the quantity and the quality, and the protection of water resources. This chapter also reminds some basics scientific facts both for foresters and hydrologists, such as the fact that forest doesn't generally produce rainfall at the watershed scale;
- on the other hand, the *last five chapters of the book* propose a synthesis of its main results: water and forest interactions from quantity (7.1 *Lachassagne*) and quality (7.2 *Lafforgue*) standpoints, including the economic issues linked with forests and the protection of water resources (7.3 *Lafforgue*). They also include the impact of global warming (7.4 *Lafforgue*), and some prospective thoughts about the future issues concerning forest and water resources (7.5 *Ferry et Lachassagne*);
- the end of the *first part* of the book (the last two introductory chapters, by *Lachassagne et al.* (1.2), and *Sardin* (1.3) respectively) have been specifically drafted to provide both forestry communities on the one hand and water resource managers on the other, a base of a common language and shared notions of hydrology and forestry. It thus includes the definition and explanation of the main hydrological concepts and processes, with some insights about the forest hydrology (1.2 *Lachassagne et al.*),
- the second part of the book deals with the *quantitative issues related to forest and water resources*. It begins with the definition and explanation of the main forest hydrological concepts and

processes (2.1 *Granier et Bréda*), and some case studies in humid tropical (India, 2.2 *Maréchal et al.*) and dry tropical/Mediterranean (Australia, 2.3 *Bren et al.*) climates showing the hydrological impact of forest evapotranspiration. This second part continues with a presentation of methodologies specifically developed for the hydrological modelling of forests, from the plot (2.4 *Granier et al.*) to the operational watershed scale (2.5 *Rouquet et al.*, 2.6 *McNulty et al.*). It clearly shows that the forest water uptake by evapotranspiration must be taken into consideration, can be a major component of the water budget in several watersheds, and that forest management can consequently be a lever to water resource management, and also to mitigate the impacts of the global change. This part of the book also shows that such forest impacts can be forecasted, particularly with appropriate hydrological modelling tools and the data to calibrate them;

- the *third part of the book* deals with the *quality issues related to forest and water resources*. Both the relationships between forest land coverage and the natural hydrochemical background (and mineral and nutrient fluxes), and between forestry management and practices and the associated contaminants, are explored in details with a comprehensive bibliographical review (3.1 *Lafforgue*). The relationships between afforestation and the mineral content of a deep natural mineral water spring is studied (3.2. *Ledoux et al.*), and then the effects of forest management on the phosphorus and the nitrogen cycles are explored respectively by *Pezet et al.* (chapter 3.3) and *Rouquet et al.* (chapter 3.4). It clearly appears that the forest provides most important assets towards water resources quality, as compared to other land uses, providing some precautions are taken. These are relatively simple in general, even for the most vulnerable hydrological systems, as most of these precautions are of low impact on foresters' practices;
- such "*best practices*" for protecting the quality of water resources are the main topic of the *fourth part of the book* with the gathering of the recent experiences that gave rise to several practical booklets dealing with this topic and that are already available to professionals. These experiences are the outcome both from the SEMEAU project (4.3 *Sabot et al.*, 4.4 *Almérás*), and the GESTOFOR (4.1 *Rouyer et al.*) and ALPEAU (4.2. *Mabboux*) projects. A case study illustrating the role of a forest manager for the restoration of wetlands and watercourses in forested areas is also presented (4.5 *Prinet*). It particularly appears that a dialogue between

- the stakeholders in charge of potable water protection (registered hydrogeologists, administrations, water resource managers, etc.) and foresters (forest owners, managers/operators) can limit the impact and cost of water resource protection in forested areas;
- however, even if such a dialogue may even be difficult between forest owners or managers, and water managers, mainly for economic reasons, the *fifth part of the book* confirms that *Payment for Environmental Services* (5.1 Gault) or alternative solutions such as “contractualization” (5.4 Wilhelm and Fiquepron) or solutions favouring the local economic development, for instance for natural mineral water protection in mostly private owned forests (5.2 Defrance and Bertin) are of high interest. Original solutions such as those developed for potable water protection in public forests (5.3 Fiquepron) are also presented;
 - finally, the *case studies constituting the sixth part of the book* illustrate how to combine forest management, water resources protection, and also local economic development in various contexts. It includes: the century long experiences of the cities of Saint-Etienne (France) and Yokohama (Japan) for potable water supply (6.1 Albouy and 6.2 Izumi), the role of the Himalayan forest in supplying drinking water to the Uttarakhand state in India (6.3 Sharma), initiatives dealing with reforestation of groundwater protection zones with the aim of potable water quality recovery (6.4 Persuy), and also the principles of the forest policies adopted by the Danone group for the protection of its natural mineral water springs, with an emphasis on the Volvic watershed, France (6.5 Beley et Lachassagne).

We thank the more than 50 authors of the chapters for their decisive contribution to the edition of this book, but also for their patience during the long process of preparing this book, and their scientific and technical inquisitiveness. All the chapters have had several reviews, at least by both the two editors. Marie Desmarais (EVW) performed the appropriate layout of the MSWord files of each chapter. The English language has been revised and/or translated by the professional team from Technicis, which is kindly acknowledged. We would also like to thank the European Commission (LIFE+ Environment programme), and the “Water Institute by evian” (EVW-Danone Waters) for their financial support (contributions to the SEMEAU project and the SEMEAU Conference and preparation of the book).

PREFACE

PATRICK LACHASSAGNE

WATER INSTITUTE BY EVIAN, EVIAN-VOLVIC-WORLD,

DANONE WATERS

AND MICHEL LAFFORGUE

SUEZ CONSULTING

Du fait de l'exode rural qui sévit, notamment en Europe, depuis plusieurs dizaines d'années, les espaces boisés se sont considérablement accrus, tout particulièrement dans les régions de bocage et de moyenne montagne, telles, par exemple, que le Massif central en France. Du fait de leur pluviométrie importante et de la moindre évapotranspiration, liées à l'altitude, ces régions sont souvent assimilées à des « châteaux d'eau » qui alimentent en eau les régions périphériques. La « consommation en eau », principalement par évapotranspiration, d'une unité de surface forestière étant en général sensiblement supérieure à celle d'autres occupations du sol (agriculture non irriguée notamment), cet important changement de l'occupation des sols est susceptible d'avoir un impact non négligeable sur le bilan hydrologique des bassins versants considérés et, par conséquent, sur l'alimentation en eau des régions périphériques.

Sur le plan de la préservation de la qualité des ressources en eau, cette augmentation de la superficie des espaces boisés au détriment de celle des espaces agricoles est globalement très positive. Certaines précautions sont néanmoins nécessaires durant les différentes phases de la croissance, de l'entretien, de l'exploitation (coupes) et de la replantation qui suit, tant pour préserver la ressource en eau (quantité, qualité) que pour maintenir les revenus et patrimoines forestiers. Sur ce dernier point, et compte tenu notamment de la crise conjoncturelle que subit actuellement la filière bois, il est nécessaire de trouver, au moins pour le court et le moyen terme, des solutions complémentaires à la seule exploitation forestière, pour le financement de l'entretien de ce patrimoine forestier et sa préservation pour les générations futures. Par ailleurs, il convient aussi de garantir que les politiques de protection des ressources en eau, mises en œuvre notamment dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau en Europe,

peuvent se concilier avec la protection à long terme du patrimoine forestier.

En outre, à long terme, le renchérissement des matières premières énergétiques non renouvelables et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre vont nécessairement conduire à une poursuite, voire une intensification, de la demande en bois de chauffage. Cela va se traduire en termes d'opportunités pour les régions boisées considérées, mais aussi en termes de risques en ce qui concerne les autres fonctions de la forêt (quantité et qualité des ressources en eau, biodiversité, paysages, accueil du public, tourisme, etc.). Ces risques et opportunités se doivent aussi d'être anticipés.

Ce contexte général étant posé, le présent ouvrage résulte en premier lieu du projet SEMEAU (2009-2013 ; www.life-semeau.eu), cofinancé dans le cadre du programme européen LIFE+ Environnement. Ce projet a fait suite à plusieurs autres projets portant sur une thématique similaire (notamment les projets européens Interreg ALPEAU et SYLVAMED et le projet GESTOFOR et l'action conjointe INRA et IDF « Forêt et Eau » en France). Il avait pour objectif de rapprocher les communautés (communautés des scientifiques, des bureaux d'études, des gestionnaires, des exploitants, des maîtres d'ouvrage, etc.) de la forêt d'une part et des ressources en eau d'autre part, tant du point de vue des approches scientifiques (quantité, qualité, biologie...) que juridiques, économiques et sociologiques. Il s'agissait notamment de faciliter le dialogue entre forestiers et acteurs en charge de la gestion et de la protection de la ressource en eau et, notamment, de rendre plus aisées et plus efficaces, pour toutes les parties, les actions de protection réglementaires (périmètres de protection des captages) et volontaires (contractualisation, paiement des services environnementaux, ...) des ressources en eau en contexte forestier. A cet effet, les différents chapitres ont été rédigés de manière à être accessibles à ces deux communautés, des forestiers et des professionnels de l'eau, et certains chapitres introductifs (notamment les chapitres 1.2 et 1.3. portant sur les « principaux concepts hydrologiques et les concepts d'hydrologie forestière » d'une part et sur les « principes généraux de la gestion forestière » d'autre part) ont été spécifiquement rédigés pour fournir aux deux communautés un « socle de langage hydrologique et forestier commun ». L'ouvrage comporte en outre de nombreux cas d'étude permettant d'abondamment illustrer les thématiques abordées.

Afin d'assurer une large diffusion de cette expérience « eau et forêt », l'ouvrage est rédigé en anglais. Néanmoins, pour en faciliter la compréhension aux lecteurs francophones, chaque chapitre est précédé de

son titre et d'un résumé en français et la présente préface est aussi disponible dans les deux langues.

Cet ouvrage est plus particulièrement issu de la conférence scientifique internationale SEMEAU intitulée « Comment combiner exploitation forestière, développement local et protection des eaux de surface et souterraines? », co-organisée par le projet SEMEAU et par le Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues, tenue à Vulcania (département du Puy-de-Dôme, France), du 17 au 19 octobre 2012 (voir les présentations sur <http://www.life-semeau.eu/>). Cette conférence avait pour ambition non seulement de présenter, partager et discuter les principaux résultats du projet SEMEAU, mais aussi d'élargir le débat à d'autres contributions, ce qui fut le cas avec plus de 120 participants, tant européens que des autres continents. La majorité des chapitres du présent ouvrage est issue d'une sélection des présentations effectuées à la conférence, dont les auteurs furent invités à contribuer au présent ouvrage. Ces contributions ont été complétées avec des chapitres additionnels pour couvrir tous les objectifs de l'ouvrage. Les présentations effectuées à la conférence ont donc été complétées et enrichies pour pouvoir figurer dans un tel ouvrage méthodologique et plusieurs contributions supplémentaires ont été adjointes. D'autres présentations effectuées à la conférence n'ont pas été intégrés au présent ouvrage pour des raisons de limitation du nombre total de pages.

Le présent ouvrage comporte 32 contributions originales (chapitres), organisés comme suit, et intègre des études, réalisées principalement en Europe, bien entendu, mais aussi en Amérique du Nord, Asie et Australie :

- après cette préface, le *premier chapitre*, rédigé par G. de Marsily (1.1), introduit les principaux objectifs de l'ouvrage, à savoir : présenter un état de l'art des interactions entre ressources en eau et forestières, tant en termes quantitatifs que de qualité de l'eau, et sur la protection des ressources en eau. Ce chapitre rappelle aussi quelques éléments scientifiques fondamentaux aux forestiers et aux hydrologues, tels que le fait que la forêt ne fait généralement pas pleuvoir à l'échelle du bassin versant ;
- par ailleurs, les *cinq derniers chapitres de l'ouvrage* proposent une synthèse de ses principaux résultats : interactions entre forêt et eau du point de vue de la quantité (7.1 *Lachassagne*) et de la qualité (7.2 *Lafforgue*), en intégrant les problématiques économiques liées à la forêt et à la protection des ressources en eau (7.3 *Lafforgue*). Ils abordent aussi les impacts du changement climatique (7.4

- Lafforgue*) et des réflexions prospectives sur les enjeux à venir concernant la forêt et les ressources en eau (*Ferry et Lachassagne*) ;
- la fin de la *première partie* de l'ouvrage (les deux derniers chapitres introductifs, par *Lachassagne et al.* et *Sardin* respectivement) ont été spécifiquement rédigés pour fournir, aux deux communautés, des forestiers d'une part et des gestionnaires des ressources en eau d'autre part, les bases d'un langage commun et de notions partagées d'hydrologie et de gestion forestière. Il comprend donc notamment la définition et l'explication des principaux processus et concepts d'hydrologie ainsi que certains approfondissements en hydrologie forestière (1.2 *Lachassagne et al.*),
 - la deuxième partie de l'ouvrage traite des *enjeux quantitatifs liés aux ressources en eau en forêt*. Elle débute avec la définition et l'explication des principaux concepts et processus hydrologiques forestiers (2.1 *Granier et Bréda*) et plusieurs cas d'étude sous climats tropicaux humide (Inde, 2.2 *Maréchal et al.*) et semi-aride/méditerranéen (Australie, 2.3 *Bren et al.*) qui montrent l'impact hydrologique de l'évapotranspiration forestière. Cette deuxième partie se poursuit avec la présentation de méthodologies spécifiquement développées pour la modélisation hydrologique des forêts, depuis l'échelle de la parcelle (2.4 *Granier et al.*) jusqu'à celle, opérationnelle en hydrologie, du bassin-versant (2.5 *Rouquet et al.*, 2.6 *McNulty et al.*). Cette partie de l'ouvrage montre clairement que le prélèvement forestier en eau par évapotranspiration doit être pris en considération, peut constituer une composante majeure du bilan hydrologique dans de nombreux bassins-versants, et que la gestion forestière peut de ce fait constituer un élément clé de la gestion des ressources en eau, et peut aussi être utilisée pour limiter les impacts du changement global. Cette partie de l'ouvrage monte aussi que ces impacts de la forêt peuvent être prévus, en particulier au moyen d'outils de modélisation hydrologique appropriés et de données pour les calibrer ;
 - la *troisième partie de cet ouvrage* aborde les *enjeux de la qualité de l'eau en forêt*. Les relations entre, d'une part, l'importance et la nature du couvert forestier et le fond hydrochimique naturel (et les flux de minéraux et de nutriments) et, d'autre part, la gestion et les pratiques forestières et les contaminants associés, sont étudiés en détail au moyen d'une revue bibliographique (3.1 *Lafforgue*). Les relations entre la reforestation et la minéralisation d'une source d'eau minérale naturelle profonde sont analysées (3.2. *Ledoux et*

al.), ainsi que les effets de la gestion forestière sur les cycles, respectivement du phosphore (3.3 *Pezet et al.*) et de l'azote (3.4 *Rouquet et al.*). Il apparaît clairement que la forêt constitue un atout important en ce qui concerne la qualité des ressources en eau, par comparaison avec d'autres types d'occupation du sol, moyennant certaines précautions. Ces mesures de précaution sont en général relativement simples, même pour les systèmes hydrologiques les plus vulnérables, car la plupart de ces précautions ont peu d'impact sur les pratiques des forestiers ;

- de telles « bonnes pratiques » pour protéger la qualité des ressources en eau sont le principal sujet de la *quatrième partie de cet ouvrage, qui rassemble les expériences récentes ayant conduit à l'édition de plusieurs guides pratiques sur ce sujet et qui sont déjà disponibles pour les professionnels*. Ces expériences constituent les livrables du projet SEMEAU (4.3 *Sabot et al.*, 4.4 *Almérás*) et des projets GESTOFOR (4.1 *Rouyer et al.*) et ALPEAU (4.2. *Mabboux*). Un cas d'étude illustrant le rôle du gestionnaire forestier pour la restauration des zones humides et des lits des cours d'eau en zone forestière complète cette présentation (4.5 *Prinet*). Il apparaît notamment qu'un dialogue entre les acteurs en charge de la protection de l'eau potable (hydrogéologues agréés, administrations, gestionnaires des ressources en eau, etc.) et les forestiers (propriétaires forestiers, gestionnaires/exploitants) peut limiter l'impact et le coût de la protection des ressources en eau en région forestière ;
- cependant, même si un tel dialogue peut éventuellement être difficile entre propriétaires ou gestionnaires forestiers et gestionnaires des ressources en eau, principalement pour des raisons économiques, la *cinquième partie de cet ouvrage* confirme que le *Paiement des Services Environnementaux* (5.1 *Gault*) ou des solutions alternatives telles que la contractualisation (5.4 *Wilhelm et Fiquepron*) ou des solutions favorisant le développement économique local, par exemple pour la protection des ressources en eau minérale naturelle au sein de forêts principalement privées (5.2 *Defrance et Bertin*) sont d'un grand intérêt. Des solutions originales telles que celles développées pour la protection des ressources en eau potable en forêt publique (5.3 *Fiquepron*) sont aussi présentées ;
- in fine, les *cas d'étude composant la sixième partie de l'ouvrage* illustrent comment combiner gestion forestière, protection des ressources en eau et aussi développement économique local, dans

des contextes variés. Ils comprennent l'expérience de plus d'un siècle des villes de Saint-Etienne (France) et Yokohama (Japon) pour l'alimentation en eau potable (6.1 *Albouy* et 6.2 *Izumi*), le rôle de la forêt Himalayenne pour l'alimentation en eau potable de l'état de l'Uttarakhand en Inde (6.3 *Sharma*), des initiatives concernant la reforestation des périmètres de protection de captages d'eau souterraine dans un but de reconquête de la qualité des eaux souterraines (6.4 *Persuy*) et aussi le principe des politiques forestières mises en œuvre par le groupe Danone pour la protection de ses sources d'eau minérale naturelle, avec le cas spécifique du bassin versant de Volvic, en France (6.5 *Beley et Lachassagne*).

Nous remercions les plus de 50 auteurs des chapitres pour leur contribution décisive à l'édition de cet ouvrage, mais aussi pour leur patience durant le long processus de préparation de ce livre et pour leur pertinence scientifique et technique. Tous les chapitres ont fait l'objet de plusieurs révisions, au moins par les deux éditeurs. Marie Desmarais (EVW) a assuré la mise en forme des fichiers MSWord de chaque chapitre. La langue anglaise a été révisée ou traduite par l'équipe professionnelle de Technicis, qui est chaleureusement remerciée pour sa contribution. Nous souhaitons aussi remercier la Commission Européenne (programme LIFE+ Environment) et le « Water Institute by evian » (EVW- Danone Waters) pour leur support financier (contributions au projet SEMEAU, à la Conférence SEMEAU et à la préparation de cet ouvrage).

References

- (2012). CONFERENCE INTERNATIONALE SEMEAU. Comment combiner gestion forestière, développement local et protection des eaux de surface et souterraines ? Vulcania, Clermont-Ferrand, France, 17-19 Octobre 2012. Diapositives présentées à la conférence SEMEAU disponibles à <http://www.life-semeau.eu/actes-du-colloque>

ABOUT THE EDITORS

A PROPOS DES ÉDITEURS

Patrick Lachassagne has been, since 2008, head of environment and water resources for Evian-Volvic-World (Danone Waters, France). He has a Bachelor of “Practical Geology” from Bordeaux III University, MS (1987) and PhD (1989) degrees in “Quantitative Hydrology and Hydrogeology” respectively from the Besançon and Paris School of Mines, and a “Professor equivalence” (HDR) from Montpellier 2 University (2008). Since 2009, Patrick has served as Deputy President of the French Chapter of the International Association of Hydrogeologists. He is also a registered hydrogeologist for public health since 1992 and, as such, has defined several water protection zones, most of them comprising forested areas.

As head of environment and water resources for Evian-Volvic-World, Patrick is in charge of research projects dealing with improving knowledge of complex natural mineral water (NMW) aquifers, and their interfaces with the surface, and with developing specific management tools and strategies for groundwater management and protection. He is also in charge of the operational development, management and protection of the Evian, Volvic, Badoit and La Salvetat NMW aquifers and the associated catchment areas.

He previously worked for 20 years at BRGM, the French Geological Survey, as a researcher, project manager, and the head of a research team dealing particularly with the hydrogeology of complex aquifers: hard rocks (HR), volcanic, geothermal, thermal and mineral, coastal, etc. aquifers, with case studies in various areas of the world (France, West Indies, Comoros, Guiana, Reunion Island, India, South Korea, Burkina Faso, Oman, etc.). At BRGM, he was also the main lecturer in hydrogeology, as well as pumping tests and geothermal energy, for internal and external training.

Patrick is the author of more than 100 scientific papers and book chapters, including 28 rank A International Journal papers, and more than 120 communications at Scientific Conferences. He directed several Ph.D theses, both at BRGM and at Evian-Volvic-World. He is also the author of more than 250, mostly BRGM, scientific and technical reports. He teaches

courses about HR aquifers structure and functioning and about NMW in several French universities for Master Degrees. He is also the Director of the “Water Institute by evian” that provides in-house training (to the Danone group) and external training about hydrogeology, NMW, groundwater protection policies, etc., and which objective is to share the EVW-Danone Waters expertise and experience in these technical fields.

As head of environment and water resources for Evian-Volvic-World, and more particularly with responsibility for the management and protection of the highly forested Volvic, Massif central, France, NMW catchment area, Patrick has been the project leader of the 2009-2013 SEMEAU LIFE+ project, and the main organizer of the 2012 SEMEAU International Conference.

Michel Lafforgue has been a project director and senior expert since 1998, and currently works at Suez Consulting (former SAFEGE engineering company). He has an MS degree in physics (Jussieu University, Paris, France, 1983), a hydraulic engineer diploma (ENSEEIH, Toulouse, France, 1985), a post graduate diploma in physico-chemistry of the environment, and a PhD degree on the modelling of physical, chemical and biological functioning of a lake (Paris School of Mines, France, 1990). He is also a lecturer and teaches drinking water supply (hydraulic and treatment) at the EIVP engineering school (Paris, France) and on the urban water cycle in the sustainable and smart city at the ENPC engineering school (Marne-la-Vallée, France). He also teaches lake diagnosis and remediation plus water treatment of emerging contaminants for an MS degree at the Montpellier University (France), and design of pumping stations at Suez Consulting (Paris, France). He has also given specific lectures on various subjects linked with water, such as drinking water network modeling (Turkey), groundwater quality (Libya), wastewater treatment (China), water quality of marine coastal waters (Honduras), and world water strategy (Master in Sustainable Development at HEC, France). He has also participated in PhD direction on pollutant fluxes on watershed. Michel is the author of 30 scientific papers and book chapters, including rank A International Journal papers, and more than thirty communications at Scientific Conferences. He is also the author of more than 300 scientific and technical reports. He is more specially a member of the SIL (International Society of Limnology) and the IWA (International Water Association).

As a senior hydraulic engineer Michel Lafforgue has strong experience of water supply systems, including the assessment of resources and demand, hydraulic analysis, environmental impact assessments and the

economic and financial evaluation of projects. He has also directed and worked on several sanitation and irrigation projects. Transient state is one of his specialist areas.

From 1992 onwards he branched out into the area of drinking water treatment, including corrosion and scaling problems and the evolution of the quality of raw and treated water (in the distribution system). Since 1999, he has broadened his focus to include wastewater treatment and the protection of water resources.

Michel Lafforgue also gained considerable experience of surface water quality issues while researching his doctoral thesis in limnology. He subsequently expanded that expertise to include the assessment and restoration of lakes, rivers and inshore marine areas in a diverse range of climates (temperate, arid, tropical)—an activity involving the planning of sampling and monitoring programmes and setting up of analytical labs. He also has an extensive experience in watershed studies and management, involving soil erosion, nutrient fluxes, microbiological aspects, the impact of soil occupancy and human activities (agriculture, forests, wetlands, urban, peri-urban, industries, etc.) on pollution and quantitative and qualitative water fluxes.

Moreover, Michel Lafforgue currently manages an internal technical network on drinking water at Suez Consulting, and participates in several internal/external research projects involving water treatment, water supply, new paradigms in water management more specially involving sustainable cities, waste management, the impact of global warming, environment and biodiversity assessment, or sanitation aspects (emerging contaminants and microbiological safety). These strong experiences provide him with a broad vision of the water and environment sectors, and constitute a key for studying multidisciplinary projects involving sustainable development. This is the reason why he has been participating in emerging projects such as the Syracuse project on water-energy-waste cycles and synergies, on alternative techniques within these cycles, on wetlands used for pollution control and remediation, on ecological transition in cities, or on water management planning at the watershed scale to protect the water resources.

LIST OF CONTRIBUTORS

LISTE DES CO-AUTEURS

ALBOUY Geneviève	Former Deputy Mayor of Saint-Etienne city, Hôtel de Ville, Service Eau, BP 503, 42007 Saint-Etienne cedex, France, valerie.chassignol@saint-etienne.fr
ALMERAS Bernard	ONF, Bureau d'études Auvergne Limousin, 12 Allée des Eaux et Forêts, 63370 Lempdes, bernard.almeras@onf.fr
BADEAU Vincent	INRA, UMR 1137 Ecologie et écophysiologie forestières (Forest Ecology and Ecophysiology), 54280 Champenoux, France, badeau@nancy.inra.fr
BELEY Jean-Jacques	Danone Waters - Danone Research, BP 87, 11 av. Général Dupas, 74503 Evian-les-Bains Cedex, France, jean-jacques.beley@danone.com
BALLUT Christelle	ONF, Bureau d'études Auvergne Limousin, 12 Allée des Eaux et Forêts, 63370 Lempdes, christelle.ballut@onf.fr
BENYON Richard G.	Department of Forest and Ecosystem Science, The University of Melbourne, Parkville, Victoria, 3010, Australia, rbenyon@unimelb.edu.au
BERTIN Sophie	EKOLOG, 1 Rue Plume-Coq, 51700 Igny- Comblizy, France, sophie.bertin@ekolog.fr
BERTRAND Philippe	CRPF de Midi-Pyrénées, Maison de la Forêt, 7 chemin de la Lacade, 31320 Auzerville-Tolosane, France, philippe.bertrand@crpf.fr

- BRAUN Jean-Jacques IRGM CRH/LAGE BP 4110 Nlongkak,
Yaoundé Cameroon, and GET, IRD, CNRS,
Université de Toulouse, 14 avenue Edouard
Belin, 31400 Toulouse, France, jean-
jacques.braun@ird.fr
- BREDA Nathalie INRA, UMR 1137 Ecologie et écophysiologie
forestières (Forest Ecology and Ecophysiology),
54280 Champenoux, France,
breda@nancy.inra.fr
- BREN Leon J. Department of Forest and Ecosystem Science,
The University of Melbourne, Parkville,
Victoria, 3010, Australia, lbren@ncable.net.au
- CALDWELL Peter USDA Forest Service, Southern Research
Station, Coweeta Hydrologic laboratory. Otto,
North Carolina, USA, pcaldwell02@fs.fed.us
- CHASSIGNOL
Valérie Direction Voirie-Infrastructure. Service Eau-
Assainissement. Hôtel de Ville, BP 503, 42007
Saint-Etienne Cedex, France,
valerie.chassignol@saint-etienne.fr
- COHEN Erika USDA Forest Service, Southern Research
Station, Eastern Forest Environmental Threat
Assessment Center, Raleigh, North Carolina,
USA, emack@fs.fed.us
- DANNEVILLE
Laurent Head of the Water and Sanitation Unit, Parc
Naturel Régional des Grands Causses, and
registered hydrogeologist, 71 boulevard de
l'Ayrolle, 12101 Millau, France,
laurent.danneville@parc-grands-causses.fr
- DEFRANCE Pierre ACTeon, 5 place Sainte-Catherine, 68000
Colmar, France
Now at AequitO, 32 chemin Commins, La
Montagne, 97417 Saint-Denis, France,
defrancep@gmail.com

- EHINGER Guillaume INRA, UMR 1137 Ecologie et écophysiologie forestières (Forest Ecology and Ecophysiology), 54280 Champenoux, France, guillaume.ehinger@gmail.com
- FAVRE D'ANNE Emmanuel Centre Régional de la Propriété Forestière AUVERGNE, Maison de la forêt et du Bois, 10 allée des Eaux et Forêts, Site de Marmilhat, 63370 LEMPDES, emmanuel.favre@crpf.fr
- FEIKEMA Paul M. Department of Forest and Ecosystem Science, The University of Melbourne, Parkville, Victoria, 3010, Australia, pfeikema@unimelb.edu.au
- FERROUD Anouck Water Institute by evian. Evian-Volvic-World. Danone Waters, BP 87, 11 av. Général Dupas, 74503 Evian-les-Bains Cedex, France, and Université du Québec à Chicoutimi, 555 boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec) Canada g7h 2b1, anouck.ferroud1@uqac.ca
- FERRY Olivier Wood and Services Commercial Manager, French National Forestry Board (ONF) Rhône-Alpes Division, 6 Avenue de France, 74000 Annecy, France, olivier.ferry@onf.fr
- FIQUEPRON Julien Centre National de la Propriété Forestière – Institut pour le Développement Forestier, 11 Rue de la Commanderie, 54000 Nancy, France, julien.fiquepron@cnpf.fr
- GAULT Jean Ministère de l'Agriculture, Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux, 251 rue de Vaugirard, 75732 Paris cedex 15, France, jean.gault@agriculture.gouv.fr
- GRANIER André INRA, UMR 1137 Ecologie et écophysiologie forestières (Forest Ecology and Ecophysiology), 54280 Champenoux, France, andre.granier@nancy.inra.fr

- GREENWOOD
Ashley J.B. Department of Forest and Ecosystem Science,
The University of Melbourne, Parkville,
Victoria, 3010, Australia,
ashleyjg@student.unimelb.edu.au
- GROSDIDIER Marie INRA, UMR 1137 Ecologie et écophysiologie
forestières (Forest Ecology and Ecophysiology),
54280 Champenoux, France,
marie.grosdidier@nancy.inra.fr
- IZUMI Keiko Faculty of Policy Studies, Iwate Prefectural
University, 152-52, Sugo, Takizawa, Iwate,
0200693 Japan, izumi_k@iwate-pu.ac.jp
- LACHASSAGNE
Patrick Water Institute by evian. Evian-Volvic-World.
Danone Waters, BP 87, 11 av. Général Dupas,
74503 Evian-les-Bains Cedex, France,
patrick.lachassagne@danone.com
- JEANTON Erick ONF, Bureau d'études Auvergne Limousin, 12
Allée des Eaux et Forêts, 63370 Lempdes,
erick.jeanton@onf.fr
- LAFFORGUE Michel Suez Consulting (SAFEGE), Le Bruyère 2000,
Bâtiment 1, Zone du Millénaire, 650 Rue Henri
Becquerel, CS79542, 34961 MONTPELLIER
CEDEX 2 – France, michel.lafforgue@safège.fr
michel.lafforgue@suez.com
- LEDoux Emmanuel Mines Paristech, PSL Research University,
Centre for Geosciences and Geoengineering, 35
rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex,
France, emmanuel.ledoux@mines-paristech.fr
- MABBOUX Jean-Luc Office National des Forêts, 82 passage du Bargy
74130 Bonneville, France,
Jean-Luc.Mabboux@onf.fr
- MARECHAL Jean-
Christophe BRGM, Water Environment & Ecotechnologies
Division, 1039 rue de Pinville, 34000
Montpellier, France, jc.marechal@brgm.fr