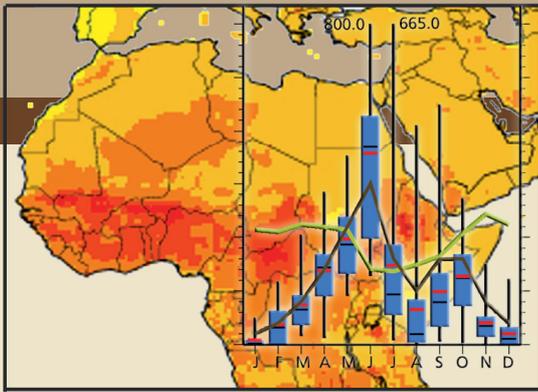


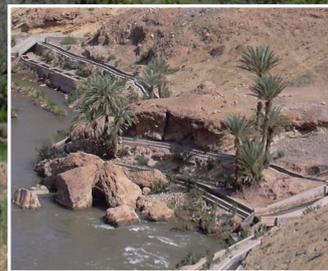
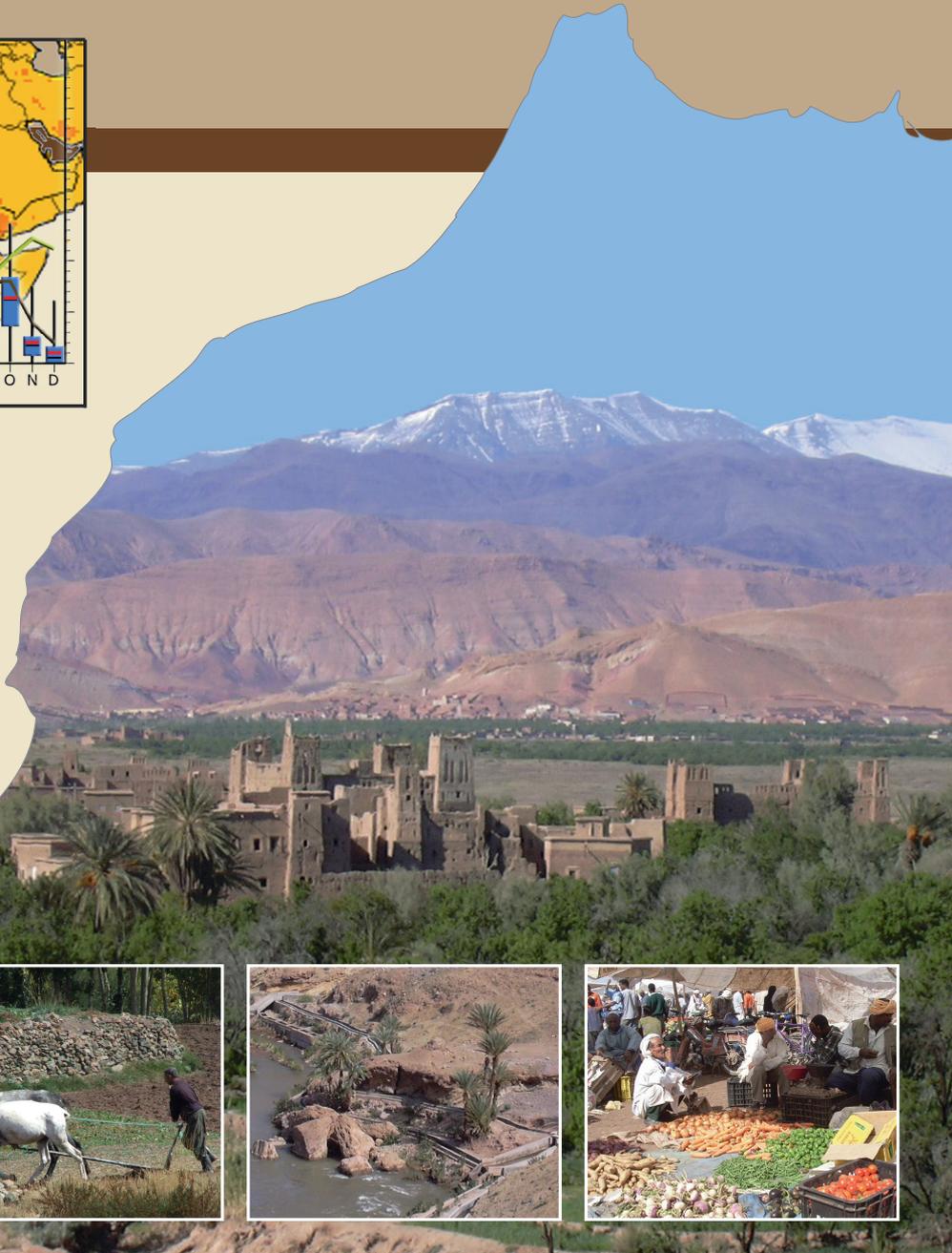


IMPETUS Atlas du Maroc

Résultats de Recherche 2000 – 2007



Troisième Édition



Universität zu Köln

Ministry of Innovation, Science, Research
and Technology of the German State of
North Rhine-Westphalia



Federal Ministry
of Education
and Research

universität**bonn**

IMPETUS Atlas du Maroc

Résultats de Recherche 2000 – 2007

Troisième Édition



Editeurs en chef:

Dr. Oliver Schulz
Dr. Michael Judex

Comité de rédaction:

Dr. Michael Christoph
Prof. Dr. Bernd Diekkrüger
PD Dr. Andreas Fink
Dr. Simone Giertz
Moritz Heldmann
Ralf Hoffmann
Dr. Arnim Kuhn
Dr. Hans-Peter Thamm

© 2008, Projet IMPETUS

Troisième édition traduite en français

ISBN 978-3-9810311-7-1

Cette publication peut être reproduite intégralement ou partiellement à des fins pédagogiques ou non lucratives sous quelque forme que ce soit sans autorisation spéciale du détenteur du droit d'auteur, à condition de mentionner la reconnaissance de la source.

Aucun usage de cette publication ne peut être fait à des fins de revente ou commerciales sans autorisation préalable écrite délivrée par le Projet IMPETUS.

Une version imprimée de l'Atlas peut être commandée auprès du bureau de IMPETUS

Dr. Michael Christoph
Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität Köln
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne
e-mail: christoph@meteo.uni-koeln.de

Pour des besoins de références bibliographiques et de citation, cette publication devrait être citée de la manière suivante:

Schulz, O. et Judex, M. (éditeurs) (2008): IMPETUS Atlas du Maroc. Résultats de Recherche 2000 – 2007. Troisième édition. Institut de Géographie, Université de Bonn, Allemagne.

Idée: Dr. Hans-Peter Thamm

Conception et Mise en page: Dr. Michael Judex, Dr. Oliver Schulz, Tim Breuer, Dominique Kohn

Consultation: Gregor Fellenz (wikisquare.de)

Impression: Eichberger Digital-Print, Troisdorf, Imprimé en Allemagne

Photos: Anna Klose (pp. 23 – 24, 57 – 58 et page couverture : la seconde à partir de la gauche), Sebastien Cappy (p. 1 – 2), Kristina Piecha (p. 9 – 10), Oliver Schulz (p. 7: gauche, second et quatrième à partir de la gauche, 41 – 42 et couverture de façade: arrière-plan, la gauche et le troisième à partir de la gauche), Christina Rademacher (p. 7: troisième à partir de la gauche), Henning Busche (couverture de façade: droite).

L'usage de noms descriptifs généraux, les noms agréés, marques, etc. dans cette publication, n'implique pas, même en l'absence d'une déclaration spécifique, que de tels noms sont exemptes des lois et règlements protecteurs pertinents et par conséquent libres d'utilisation générale.

Toutes les démarcations utilisées dans cet atlas n'impliquent aucune demande de complément, de correction ou d'autorité administrative.

Le projet IMPETUS a été supporté financièrement par le Ministère Fédéral Allemand de l'Éducation et de la Recherche (BMBF), No. d'aide financière 01 LW 06001 A et No. 01 LW 06001 B, et du Ministère de la Innovation, des Sciences, de la Recherche et de la Technologie (MIWFT) du land de la Rhénanie-du-Nord-Westphalie, No. d'aide financière 313-21200200.



Universität zu Köln

Ministry of Innovation, Science, Research
and Technology of the German State of
North Rhine-Westphalia



Federal Ministry
of Education
and Research

universität**bonn**

Préface

Au sein du projet IMPETUS, beaucoup de données de qualité, des analyses complètes et des résultats de modèles pertinents relatifs au cycle de l'eau douce et à d'autres sujets apparentés ont été compilés. La préoccupation du projet est de pouvoir communiquer ces résultats scientifiques dans un style facile et compréhensible aux administrations locales et nationales, aux agences de développement, à la communauté scientifique en général et autres acteurs intéressés.

L'atlas IMPETUS est une approche appropriée pour combler la distance entre les scientifiques et les acteurs locaux intéressés, étant donné qu'il peut être utilisé comme une base de données complète et une base pour une analyse détaillée dans toutes les situations se rapportant aux sujets concernés. De plus, il devrait démontrer la recherche interdisciplinaire approfondie de IMPETUS pendant les sept dernières années. Pour assurer la fiabilité de l'atlas, chaque contribution a été revue et examinée à fond par deux membres expérimentés du projet. Un atlas spécifique a été préparé pour chacune des deux régions d'étude au Maroc et au Bénin.

Les contributions individuelles de cet atlas n'auraient jamais été possibles sans l'aide de beaucoup d'institutions et collègues qui ont partagé leurs données et leurs expériences. Nous remercions tout particulièrement la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau à Rabat, la Direction de la Météorologie Nationale à Casablanca, le Service Eau de Ouarzazate, l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate, et beaucoup d'autres. Nous remercions aussi les assistants étudiants Tim Breuer, Ulla Kutsch, Dominique Kohn, Philipp Aben et Arthur Rachowka qui ont fait un travail formidable pendant la mise en forme et la réalisation des cartes.

La traduction de l'Atlas de l'Anglais en Français a été assurée par Dr. Vincent Orekan, Dr. Francois Tchibozo, Dr. Cossi J. Houndagba et l'équipe du Laboratoire de Bio-géographie et Expertise Environnementale du Département de Géographie à l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin. Merci beaucoup pour votre soutien.

Nous remercions très sincèrement Marcel Kohn qui a relu et corrigé des parties de l'atlas.

L'atlas est structuré en plusieurs chapitres qui reflètent divers sujets de la recherche à différentes échelles spatiales.

Les nombreux liens entre les différentes contributions sont indiqués par une référence entre parenthèses (↗) qui renvoie le lecteur au numéro d'une contribution.

Une multitude de publications scientifiques et de thèses de doctorat sont parus ces dernières années. La plupart des thèses de doctorat sont publiées en ligne et accessibles sur les sites web des bibliothèques:

http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/ ou

<http://kups.ub.uni-koeln.de>

D'autres résultats du projet IMPETUS non résumés dans cet atlas peuvent être retrouvés sur le site web du projet:

<http://www.impetus.uni-koeln.de>

Les cartes de cet atlas seront rendues disponibles par l'utilisation de la version électronique « Atlas numérique interactif de IMPETUS » qui sera bientôt publiée peu après la parution de la présente version imprimée (<http://www.impetus.uni-koeln.de/iida>). De nouvelles améliorations viendront compléter et élargir la version imprimée; par exemple, l'outil d'agrandissement, création de carte personnalisée et la récupération d'informations à partir des données de la carte.

Au nom de toute l'équipe du projet et de tous ceux ayant apporté leurs contributions, les éditeurs ont la ferme conviction que l'atlas peut être utilisé comme un outil précieux d'échange et de vulgarisation des nouveaux résultats de recherche et pour faciliter la communication, servant ainsi comme une référence pour les sujets appliqués.

Oliver Schulz

Michael Judex

Table des matières

Introduction

1	IMPETUS - Une approche intégrée pour la gestion efficiente des ressources hydriques limitées en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest	3
	<i>Andreas Fink, Barbara Reichert et Michael Christoph, Direction d'IMPETUS</i>	
2	Maroc	5
	<i>Holger Kirscht et Oliver Schulz</i>	
3	Le bassin du Drâa	7
	<i>Oliver Schulz</i>	

Climat - Conditions actuelles et impacts des changements climatiques

4	La variabilité des précipitations en Afrique du Nord-Ouest	11
	<i>Andreas Fink, Kristina Piecha, Tim Brücher et Peter Knippertz</i>	
5	Zones de fluctuation du climat dans le nord-ouest du Maghreb	13
	<i>Kai Born, Kristina Piecha et Andreas Fink</i>	
6	Caractéristiques régionales des pluies et températures dans la région du Drâa	15
	<i>Kai Born, Kristina Piecha et Andreas Fink</i>	
7	Réseau de surveillance climatique de IMPETUS	17
	<i>Oliver Schulz</i>	
8	Précipitations dans les bassins du Haut et Moyen Drâa	19
	<i>Oliver Schulz</i>	
9	Une carte bioclimatique pour le sud du Maroc	21
	<i>Jens Oldeland, Manfred Finckh et Kai Born</i>	

Environnement naturel

10	Carte satellitaire du bassin du Drâa	25
	<i>Pierre Fritzsche</i>	
11	Modèle numérique de terrain du bassin du Drâa	27
	<i>Pierre Fritzsche</i>	
12	Unités de paysage du bassin du Drâa	29
	<i>Manfred Finckh et Pierre Fritzsche</i>	
13	Carte de végétation du bassin du Drâa	31
	<i>Manfred Finckh et Peter Poete</i>	
14	Propriétés du sol dans le bassin du Drâa	33
	<i>Anna Klose</i>	
15	Salinité du sol – Etude de cas de Ouled Yaoub	37
	<i>Anna Klose</i>	
16	Risque d'érosion du sol dans le bassin du Drâa	39
	<i>Anna Klose</i>	

Disponibilité en eau

17 L'hydrologie du bassin du Drâa _____	43
<i>Henning Busche</i>	
18 Carte hydrogéologique du bassin du Drâa _____	45
<i>Stephan Klose</i>	
19 Le réservoir Mansour Eddahbi et ses affluents _____	47
<i>Henning Busche</i>	
20 Hydrogéologie du bassin de Assif-n-Ait Ahmed _____	49
<i>Sébastien Cappy, Stephan Klose, Harald Hoffmann, Volker Osterhold et Simone Bell</i>	
21 Qualité des eaux souterraines à Ouled Yaoub _____	51
<i>Stephan Klose et Klaus Haaken</i>	
22 Variabilité de la couverture de neige dans les montagnes du Haut Atlas Central _____	53
<i>Oliver Schulz</i>	
23 Modélisation de la fonte de neige dans les montagnes du Haut Atlas Central _____	55
<i>Oliver Schulz</i>	

Population, utilisation des terres et sécurité de la subsistance

24 Croissance actuelle de la population dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora _____	59
<i>Stephan Platt</i>	
25 Développement des régions urbanisées dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora à l'horizon 2020 _____	61
<i>Stephan Platt</i>	
26 Destinations de travail de la main-d'œuvre migrante de Ouled Yaoub _____	63
<i>Christina Rademacher</i>	
27 Effets de la sécheresse sur l'élevage _____	65
<i>Claudia Heidecke et Andreas Roth</i>	
28 Utilisation des terres agricoles _____	67
<i>Claudia Heidecke et Tanja Schmidt</i>	
29 Structure agricole dans le village Ouled Yaoub _____	69
<i>Andreas Roth</i>	
30 Irrigation dans la région du Drâa en 2005 _____	71
<i>Claudia Heidecke</i>	
31 Stratégies agricoles : gestion de l'irrigation, minimisation des risques et rotation des cultures à Tichki _____	73
<i>Holger Kirscht</i>	
32 Irrigation traditionnelle et moderne à Ouled Yaoub _____	75
<i>Christina Rademacher</i>	
33 Investissements dans les droits de la terre et de l'eau à Ouled Yaoub _____	77
<i>Christina Rademacher</i>	

Auteurs

Simone Bell
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne

Dr. Kai Born
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-221-4703686
e-mail: kai.born@uni-koeln.de

Tim Breuer
Centre de la Télédétection
de la Surface terrestre (ZFL)
Université de Bonn
Walter-Flex-Str. 3
53113 Bonn, Allemagne
e-mail: tbreuer@uni-bonn.de

Tim Brücher
Institut de Géophysique et de
Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne

Henning Busche
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn
Tel.: ++49-(0)-228-731682
e-mail: hbusche@uni-bonn.de

Dr. Sébastien Cappy
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne

Dr. Michael Christoph
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-221-4703690
e-mail: christoph@meteo.uni-koeln.de

Dr. Manfred Finckh
Centre Biologique Klein Flottbeck
Section de la Systématique des Plantes
Ohnhorststr. 18
22609 Hamburg, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-40-42816549
e-mail:
mfinckh@botanik.uni-hamburg.de

Dr. HD habil Andreas Fink
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-221-4703819
e-mail: andreas.fink@uni-koeln.de

Pierre Fritzsche
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-734970
E-Mail:
p.fritzsche@geographie.uni-bonn.de

Klaus Haaken
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne

Claudia Heidecke
Institut de l'Economie agro-alimentaire
et des Ressources naturelles (ILR)
Université Bonn
Nussallee 21
53115 Bonn, Allemagne

Harald Hoffmann
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne

Dr. Michael Judex
Centre de la Télédétection
de la Surface terrestre (ZFL)
Université de Bonn
Walter-Flex-Str. 3
53113 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-734910
e-mail: m.judex@uni-bonn.de

Dr. Holger Kirscht
Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle
Université de Cologne
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-69-78801125
e-mail: h.kirscht@uni-koeln.de

Anna Klose
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-731601
e-mail: aklose@giub.uni-bonn.de

Stephan Klose
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-739774
e-mail: stklose@uni-bonn.de

Dr. Peter Knippertz
Institut de la Physique de l'Atmosphère
Université de Mainz
Becherweg 21
55099 Mainz, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-6131-3926756
e-mail: knippertz@uni-mainz.de

Dominique Kohn
Centre de la Télédétection
de la Surface terrestre (ZFL)
Université de Bonn
Walter-Flex-Str. 3
53113 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-731831
e-mail: demm@uni-bonn.de

Ulla Kutsch
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne

Jens Oldeland
Centre Biologique Klein Flottbeck
Section de la Systématique des Plantes
Ohnhorststr. 18
22609 Hamburg, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-40-42816407
e-mail:
oldeland@botanik.uni-hamburg.de

Volker Osterhold
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne

Kristina Piecha
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-221-4703692
e-mail: kpiecha@meteo.uni-koeln.de

Stephan Platt
Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle
Université de Cologne
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln, Allemagne

Peter Poete
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne

Christina Rademacher
Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle
Université de Cologne
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-9639366
e-mail: c.rademacher@uni-koeln.de

Prof. Dr. Barbara Reichert
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nussallee 8
53115 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-732490
e-mail: b.reichert@uni-bonn.de

Andreas Roth
Institut INRES
Section de Nutrition des Plantes
Université de Bonn
Karlrobert-Kreiten-Str. 13
53115 Bonn, Allemagne

Tanja Schmidt
Institut de l'Economie agro-alimentaire
et des Ressources naturelles
Université de Bonn
Nussallee 21
53115 Bonn, Allemagne

Dr. Oliver Schulz
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
Tel.: ++49-(0)-228-731601
e-mail: oschulz@uni-bonn.de



Dunes et tente des nomades dans le sud du bassin du Drâa Moyen.



Introduction

IMPETUS – Une approche intégrée pour la gestion efficiente des ressources hydriques limitées en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest

Andreas Fink, Barbara Reichert et Michael Christoph (Direction d'IMPETUS)

La disponibilité en eau potable est une condition fondamentale pour la vie humaine et un des plus grands défis pour les prochaines décennies, surtout en Afrique. Pour résoudre les problèmes actuels et éventuellement futurs liés à l'approvisionnement en eau potable, il est nécessaire de faire recours à une approche interdisciplinaire et holistique assez claire impliquant les sciences naturelles, socio-économiques, et de la santé.

Pour l'Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest, l'initiative de IMPETUS – un projet commun des Universités de Cologne et de Bonn en Allemagne, adopte une telle approche intégrée pour deux bassins représentatifs. Les fleuves Oued Drâa au sud-est du Maroc et l'Ouémé au Bénin ont été choisis pour leur superficie raisonnable (< 100 000 km²), la disponibilité de données existantes, la stabilité politique, leur importance et enfin leur représentativité. Le bassin du Drâa dans le sud-est du Maroc est typique d'un transect de montagnes subtropicales humides/semi-humides à leurs contreforts arides; le bassin de l'Ouémé au Bénin est typique des variations de climat sub-humide des tropiques externes à l'intérieur (saison des pluies bi- /unimodale). Le fleuve Ouémé draine environ la moitié du Bénin, tandis que l'Oued Drâa est le plus important fleuve qui coule de la montagne de l'Atlas vers le Sahara.

La gestion durable de l'eau requiert des données et projections fiables pour une planification régionale et pour les décideurs politiques. Un diagnostic complet du cycle de l'eau a été réalisé au cours de la première phase du projet (2000–2003). Au cours de la deuxième phase (2003–2006), des modèles qualitatifs et quantitatifs ont été adaptés ou élaborés pour les deux régions. Les projections de développements futurs ont été dérivées de calculs de scénarii, la compréhension du processus, et de l'expérience des experts. Au cours de la dernière phase du projet (2006–2009), les systèmes spatiaux de support à la prise de décision (SSPD) et les systèmes d'information (SI), ainsi que les outils de surveillance (OS), ont été élaborés à partir d'un ensemble de « nœuds complexes de recherche multi-disciplinaires ». Une variété de nœuds complexes de recherche a été définie pour traiter les problèmes complexes restés sans solutions adéquates. Les nœuds complexes sont des problèmes qui exigent une analyse multi-disciplinaire pour tirer des conclusions au regard des développements futurs. Les nœuds complexes sont regroupés en quatre sous-domaines thématiques: sécurité alimentaire, hydrologie, utilisation des terres, société et santé.

Les SSPD, SI et OS élaborés dans les nœuds complexes de recherche sont disponibles en ligne à <http://www.isdss.de>. Cependant, un grand nombre de résultats plus pertinents sur les régions d'étude au Bénin et au Maroc ont été obtenus dans le cadre du projet IMPETUS.

La publication de la version imprimée de cet atlas et de sa modification numérique (<http://www.impetus.uni-koeln.de/iida>) vise à rendre ces résultats largement accessibles aux scientifiques, aux administrations régionales, et au public. Le présent atlas donne un aperçu de la diversité d'analyse des facteurs d'influence et de la résolution des problèmes relatifs à la question de l'eau. Il présente quelques-uns des résultats de recherche les plus importants obtenus aux échelles spatiales et temporelles. Les cartes thématiques et les explications supplémentaires permettent à une large audience d'accéder à l'information relative à l'eau.

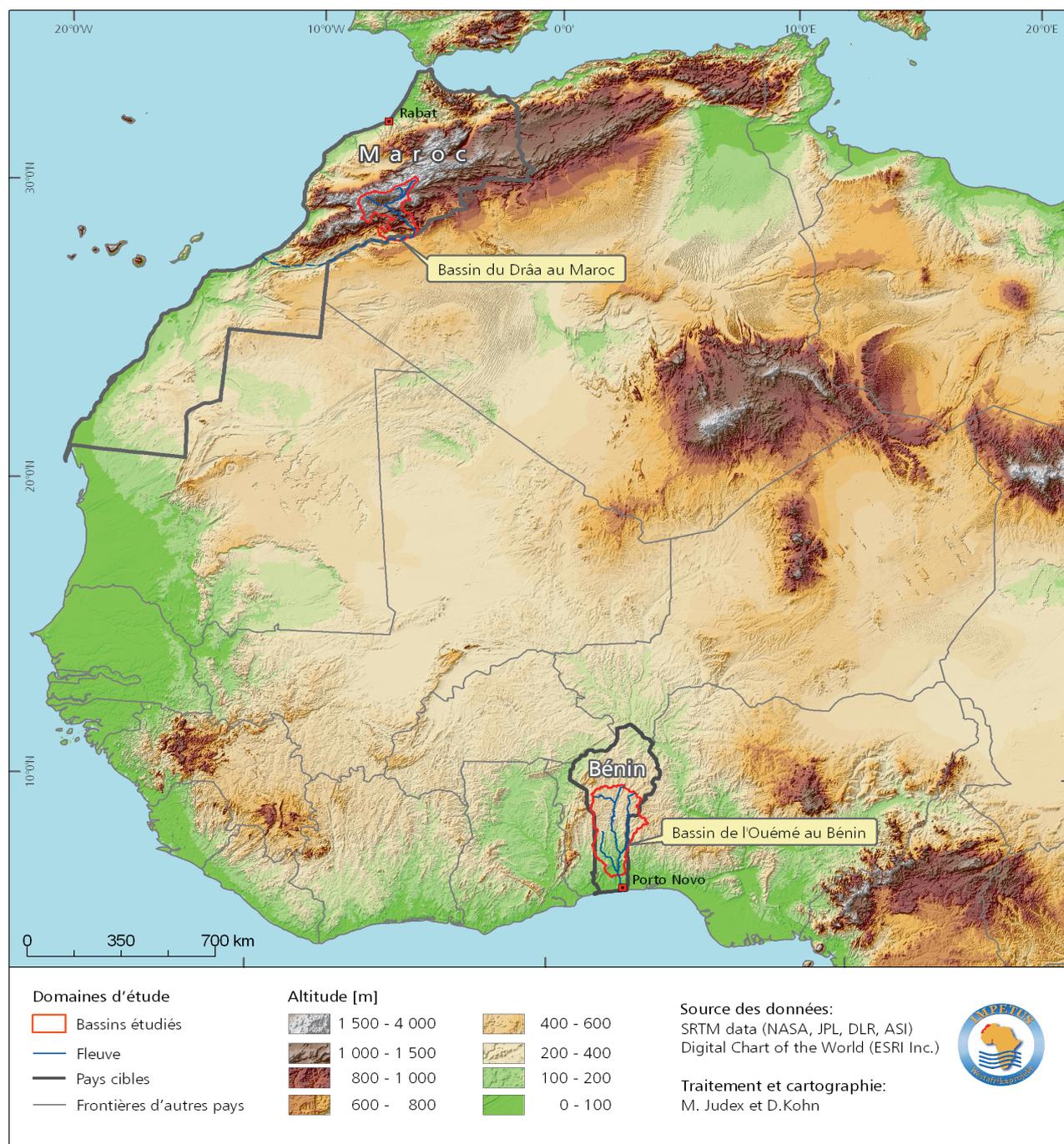


Fig. 1: Les bassins versants étudiés en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest

2 Maroc

Holger Kirscht et Oliver Schulz

Le Royaume du Maroc (Al Mamlaka al Maghribiya) est situé à l'extrême nord-ouest de l'Afrique du Nord et est limité au nord par l'Océan Atlantique et la Méditerranée. A la zone de transition avec le désert du Sahara, il a des frontières communes avec l'Algérie et la Mauritanie. La géographie du Maroc est riche. Les plaines dans le nord et entre l'Océan Atlantique et les montagnes de l'Atlas sont fertiles et relativement bien exploitées. De pair avec les régions urbaines industrialisées autour de Casablanca et autres villes côtières et du nord, les plaines forment l'épine dorsale de l'économie du pays. Les zones montagneuses et la région au sud de la chaîne des montagnes de l'Atlas ont été longtemps économiquement laissées pour compte.

En 2007, le PIB par habitant au Maroc était de \$ 3 800 avec un taux de croissance annuel de 2,1 %. Aujourd'hui, les

transferts des résidents marocains à l'étranger comptent pour la principale source de revenu extérieur du Maroc, suivie par le tourisme. Mais la migration nationale est importante aussi.

En 2000, le Maroc est entré en accord d'association avec l'Union Européenne.

La population totale est d'environ 31 millions dont 51 % sont des jeunes de moins de 25 ans (2008). Quatre-vingt-dix-neuf pour cent de la population sont musulmans, avec des minorités de chrétiens et de juifs. L'arabe est la langue officielle, mais aussi le français est considéré comme la langue des affaires, du gouvernement, de l'éducation et de la diplomatie. Environ 12 millions de personnes (40 % de la population), vivant principalement dans les régions rurales, parlent le Berbère.

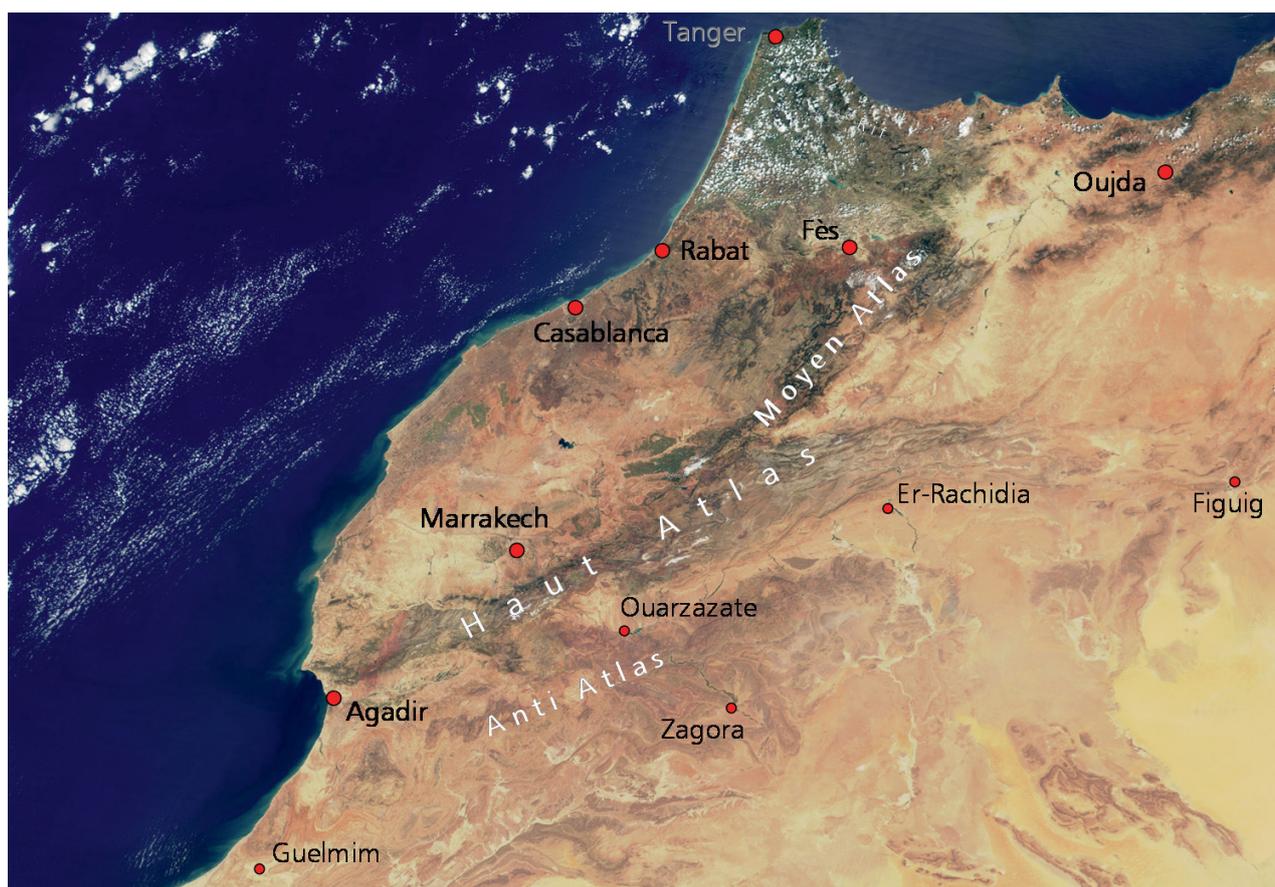


Fig. 1: Image satellitaire du nord et du centre du Maroc. Image MODIS (23 avril 2000, vraies couleurs) avec la permission de Jacques Descloitres, MODIS Land Group, NASA/GSFC. Modifications et mise en forme par O. Schulz. L'image est disponible et téléchargeable sur http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=673

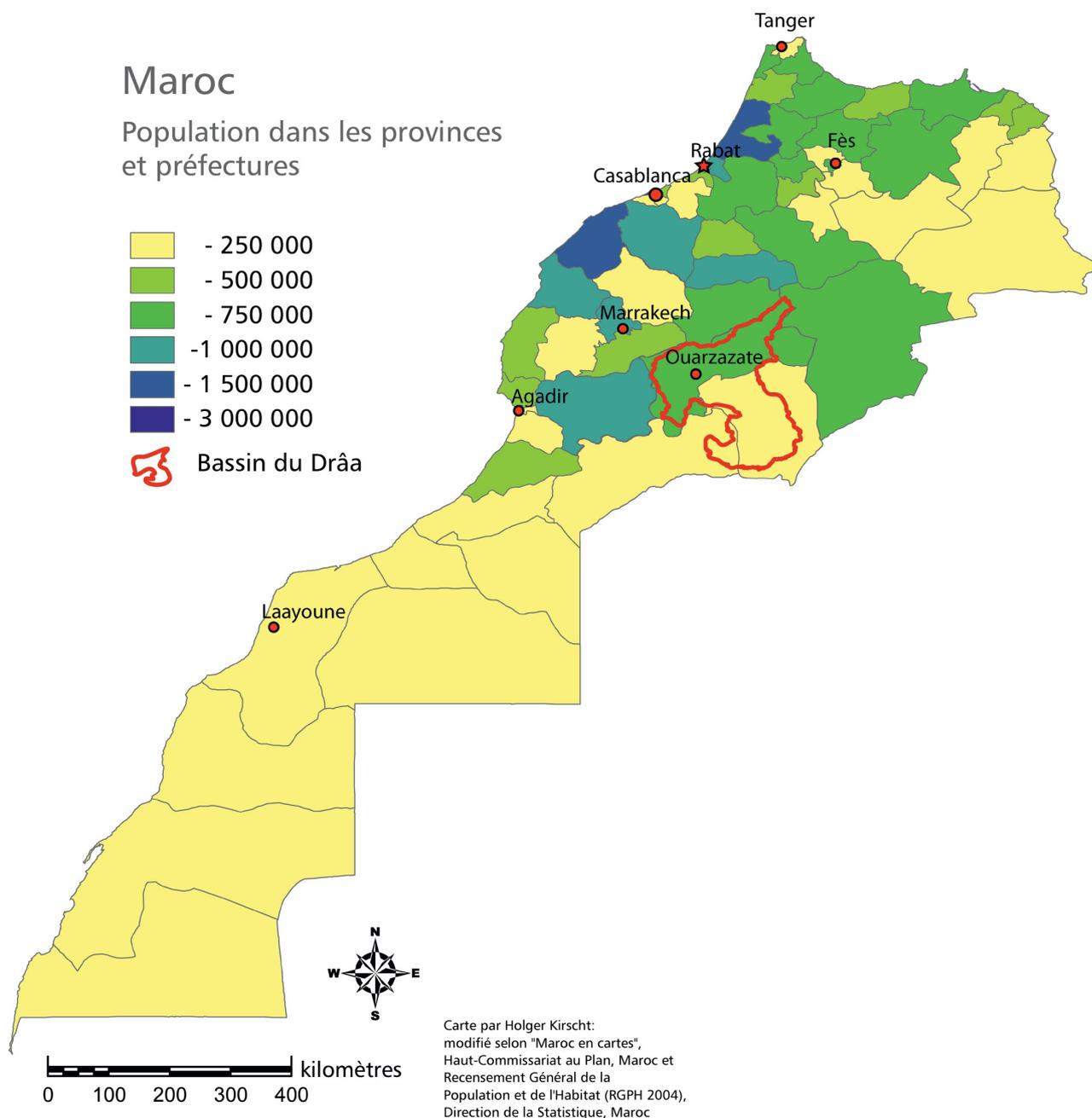


Fig. 2: Maroc, population des provinces et préfectures

De 1912 jusqu'à son indépendance en 1956, lorsque Mohammed V est monté au trône, le Maroc était un protectorat français. Aujourd'hui, le Maroc est une monarchie constitutionnelle. L'actuel Roi, Mohammed VI, a succédé à son père Hassan II qui a gouverné le pays comme un chef politique et spirituel de 1961 à 1999. Du point de vue administratif, le

pays est divisé en 16 régions et est subdivisé en 62 préfectures et provinces dirigées par des gouverneurs. Sous les provinces, se trouvent 162 cercles composés de 1 497 communes administrées par les représentants élus.

Le bassin du Drâa

Oliver Schulz

Le bassin versant du Oued Drâa s'étend des montagnes du Haut Atlas Central vers le sud aux basses collines présahariennes. La plupart des activités du projet IMPETUS sont concentrées sur le Haut et Moyen Drâa (5°30' – 7°45' Ouest et 29°45' – 32° Nord), tandis que le lit de la rivière du Bas Drâa, en prédominance sec, s'écoule plus en aval vers l'Océan Atlantique.

Les bassins versant du Haut et Moyen Drâa (superficie : 28 428 km²) incluent ceux de Ouarzazate et Tazenakht, six oasis de rivière avec des palmeraies en aval du réservoir Mansour Eddahbi, des parties du Haut Atlas et montagnes de l'Anti-Atlas d'une part, et de Jebel Saghro, Jebel Siroua, et Jebel Bani d'autre part (↗ 10 – 12; Figs. 1 et 2).

Tandis que le bassin du Haut Drâa supérieur est une partie de la Province de Ouarzazate, celui du Moyen Drâa appartient à la Province de Zagora (Fig. 2). La population totale des deux provinces est d'environ 780 000 habitants, avec une densité de population moyenne de 29 habitants par kilomètre carré. En dehors des villes capitales à croissance rapide telles que Ouarzazate et Zagora (↗ 24, 25), les plus dominantes populations, Berbères et Arabes, sont concentrées dans les villes et villages situés près des affluents du Oued Drâa.

Seules les fleuves M'Goun et Dadès sont pérennes toute l'année, avec des sources alimentées par une bonne pluviométrie et la neige dans la haute montagne au nord-est du Haut Drâa. L'érosion du lit du fleuve dans le Moyen Drâa est contrôlée par les lâchers à partir du réservoir en amont (↗ 17–23).

Il y a une forte variation de précipitation en fonction de la topographie des montagnes semi-arides du Haut Atlas dans le nord (> 700 mm, plus de 4 071 m : Jebel M'Goun) aux bassins arides des chaînes de montagnes basses dans le sud (~ 50 mm, 450 m : Lac Iriki), alors que la température de l'air et l'évaporation augmentent le long du gradient d'aridité du promontoire présaharien (↗ 4–9).

La végétation change en fonction de ce gradient climatique, des savanes méditerranéennes aux biomes désertiques sahariens (↗ 13). L'agriculture n'est possible qu'avec l'irrigation en utilisant soit l'eau de rivière canalisée, soit l'eau souterraine pompée; ce dernier nécessite un nombre croissant de pompes à moteur (↗ 27–33). L'agriculture irriguée est réalisée sur 2 % de la superficie du bassin (superficie totale d'ensemble des oasis).

Les sols dans le bassin du Drâa sont sous exploités développés et souillés par leur fort degré de salinité (↗ 14–16); ce qui entraîne de faibles rendements et des récoltes de mauvaise qualité, particulièrement des dattiers dans les palmeraies du Moyen Drâa.

Le tourisme est un secteur expansif mais limitatif, mais l'agriculture en déclin et l'absence des industries offrent seulement quelques opportunités d'emplois à la population croissante. La migration à la recherche d'emploi, surtout hors du bassin du Drâa, est fréquente pour soutenir les familles momentanément abandonnées (↗ 26).

Les infrastructures en expansion tels que les téléphones cellulaires, l'électricité, les routes, et les systèmes d'approvisionnement en eau au plan national et local sont des investissements importants dans cette région éloignée du Maroc.



Fig. 1: Impressions sur le bassin du Drâa: Montagnes du Haut Atlas couvert avec de la neige, canaux d'irrigation primaire dans la Vallée du Drâa Moyen, agriculture irriguée dans la palmeraie de Tinzouline, dunes de sable au sud de Mhamid (de la gauche vers la droite). Photos: O. Schulz et C. Rademacher

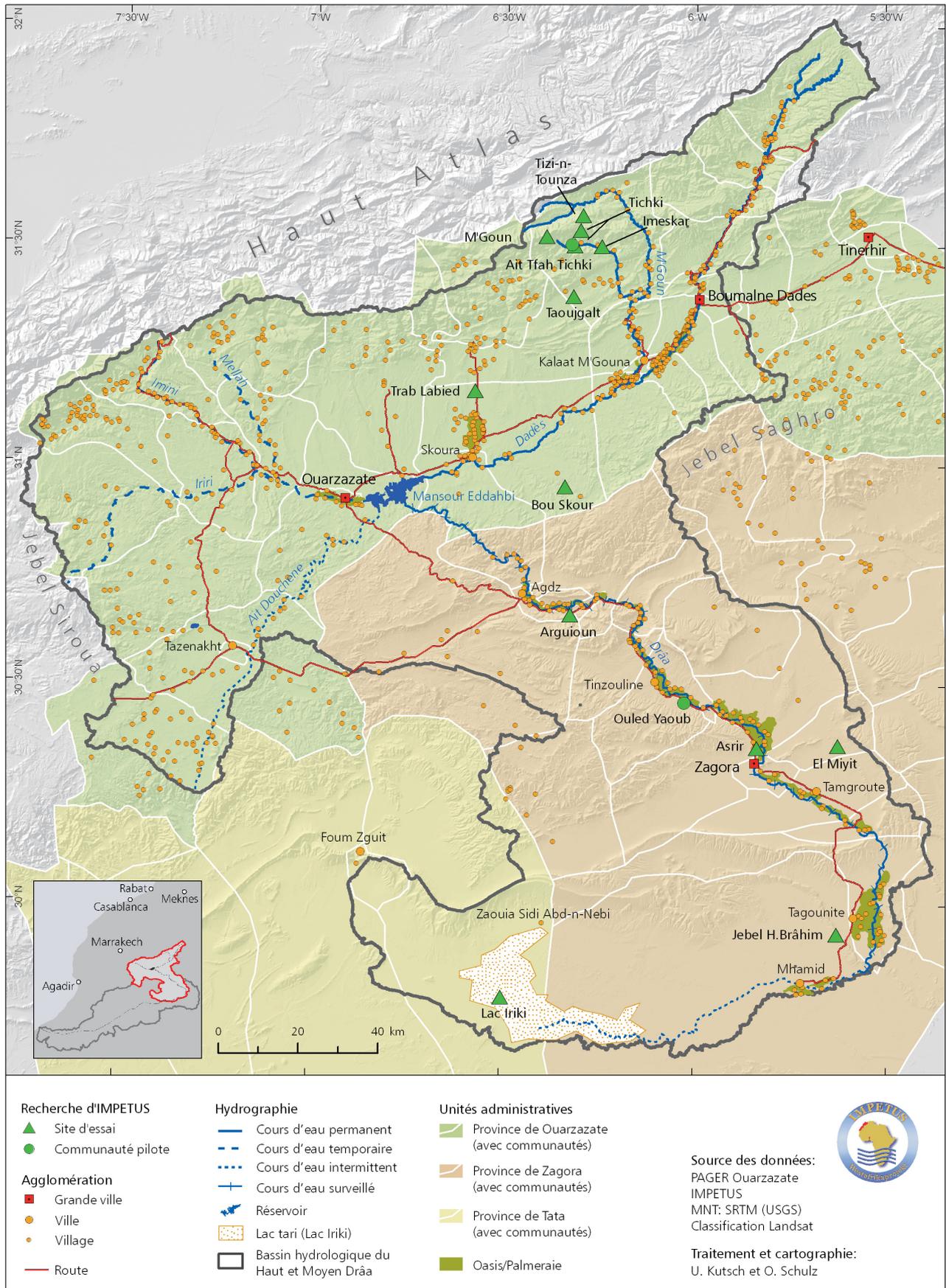


Fig. 2: Carte des bassins du Haut et Moyen Drâa



Averse dans le bassin de Ouarzazate près de la palmeraie de Skoura.

A landscape photograph showing a dry, rocky plain in the foreground. In the distance, there are low mountains or hills. The sky is filled with large, dark, grey clouds, with some lighter patches where the sun is breaking through. Rain is visible falling from the clouds in the distance. The overall mood is dramatic and somewhat somber.

Climat - Conditions actuelles et impacts des changements climatiques

La variabilité des précipitations en Afrique du Nord-Ouest

Andreas Fink, Kristina Piecha, Tim Brücher et Peter Knippertz

La quantification de la variabilité interannuelle à celle multi-décennale des précipitations a une multitude d'applications dans les recherches liées à l'eau et à la planification. Pour trois régions homogènes en précipitations en Afrique du Nord-Ouest, un indice des précipitations a été calculé pour la période allant de 1900 à nos jours.

Introduction

Les climats subtropicaux de l'Afrique du Nord-Ouest sont caractérisés par une grande variabilité annuelle et décennale des précipitations. Il est crucial d'avoir une compréhension physique des processus régissant les variations du climat et l'histoire du changement climatique récent en vue d'évaluer les projections climatiques régionales (Christensen et al., 2007). La création d'un indice des précipitations des séries chronologiques pour trois régions homogènes de précipitations en Afrique du Nord-Ouest permet la quantification de la variabilité et des tendances pour le principal paramètre climatique. Les données de précipitations à partir de pluviomètres ont permis de couvrir la période 1900/1901 à 2006/2007 (↗ 5, 6).

Données et Méthodes

Les données de précipitations cumulées mensuelles utilisées pour cette étude avant 2000 sont tirées de la série de données du Global Historical Climatology Network (GHCN, Vose et al., 1992), fournies par Office of Climatology of Arizona State University. Nous avons sélectionné 37 stations au Maroc et à l'Ouest de l'Algérie avec des séries chronologiques suffisamment longues. Les rapports des stations marocaines obtenus auprès de la Direction de la Météorologie Nationale ont été ajoutés pour combler certaines lacunes dans les données GHCN, en particulier pendant les années 1980s et 1990s. Si seulement un mois d'une année manque de données, le vide est comblé par la moyenne mensuelle de long terme, calculée à partir de toutes les données disponibles pour le mois considéré. Les précipitations totales mensuelles actualisées pour les six années hydrologiques 2000/01 à 2006/07 sont basées sur les rapports climatique et synoptique ; ce qui explique la réduction du nombre de stations au cours des dernières années (lignes noires dans la Fig. 1).

À partir de ces données mensuelles de stations, les précipitations cumulées annuelles ont été calculées. Etant donné que la saison des pluies au Maroc est le semestre d'hiver, ces valeurs se réfèrent à l'année hydrologique (septembre à août de l'année suivante). Puisque de nombreuses stations pluviométriques, en particulier semi-arides, ont des distributions non Gaussiennes, lorsque la précipitation mensuelle ou annuelle est considérée (Nicholson, 1986), le calcul de l'indice des précipitations se fait sur la base des quintiles. Chaque

valeur de précipitations cumulées de 12 mois est affectée à l'une des cinq catégories en fonction de la portion des 20 % de la distribution à laquelle elle appartient (classe 1 pour les 20 % plus faibles valeurs, la classe 2 pour les valeurs faibles de 20–40 %, etc.).

L'indice des précipitations est défini comme la moyenne de ces quintiles déterminée sur toutes les stations disponibles dans une région à un moment donné. Les anomalies d'indice des précipitations peuvent alors être calculées en soustrayant la valeur médiane de 3, donnant une gamme de valeurs d'indice de -2 à +2.

Résultats

Knippertz et al. (2003a) ont trouvé trois régions homogènes de précipitations (Fig. 1) : les parties nord et ouest du Maroc (« région de l'Atlantique » (ATL)), le nord-est du Maroc et le nord-ouest de l'Algérie près de la côte méditerranéenne (« région méditerranéenne » (MED)), et les stations marocaines et algériennes au sud de l'Atlas (« Région au sud de l'Atlas » (SOA)). La série chronologique de l'indice des précipitations (Fig. 1) calculée pour l'année hydrologique, révèle des variabilités interannuelles et décennales considérables : dans la région MED, des précipitations en dessous de la valeur moyenne ont prévalu depuis la fin des années 1970, tandis que dans la région ATL, les précipitations étaient faibles à partir de la fin des années 1970 jusqu'au début des années 1990, mais avec quelques années humides au cours de la fin des années 1990. Les précipitations de la région SOA (↗ 7, 8) ont été au-dessus de la moyenne durant la plupart des années après le milieu des années 1980, notamment au cours des cinq dernières années.

Alors que le décalage éventuel de l'est des Hautes Açores aux simulations de changements climatiques suggère une réduction des précipitations hivernales dans les régions ATL et MED, la région de SOA peut recevoir des précipitations un peu plus élevées et plus intenses. Cette conclusion se déduit d'une désagrégation statistico-dynamique et de la détection de l'importance des interactions tropicales-extratropicales du climat actuel (Knippertz et al., 2003b; Knippertz, 2003).

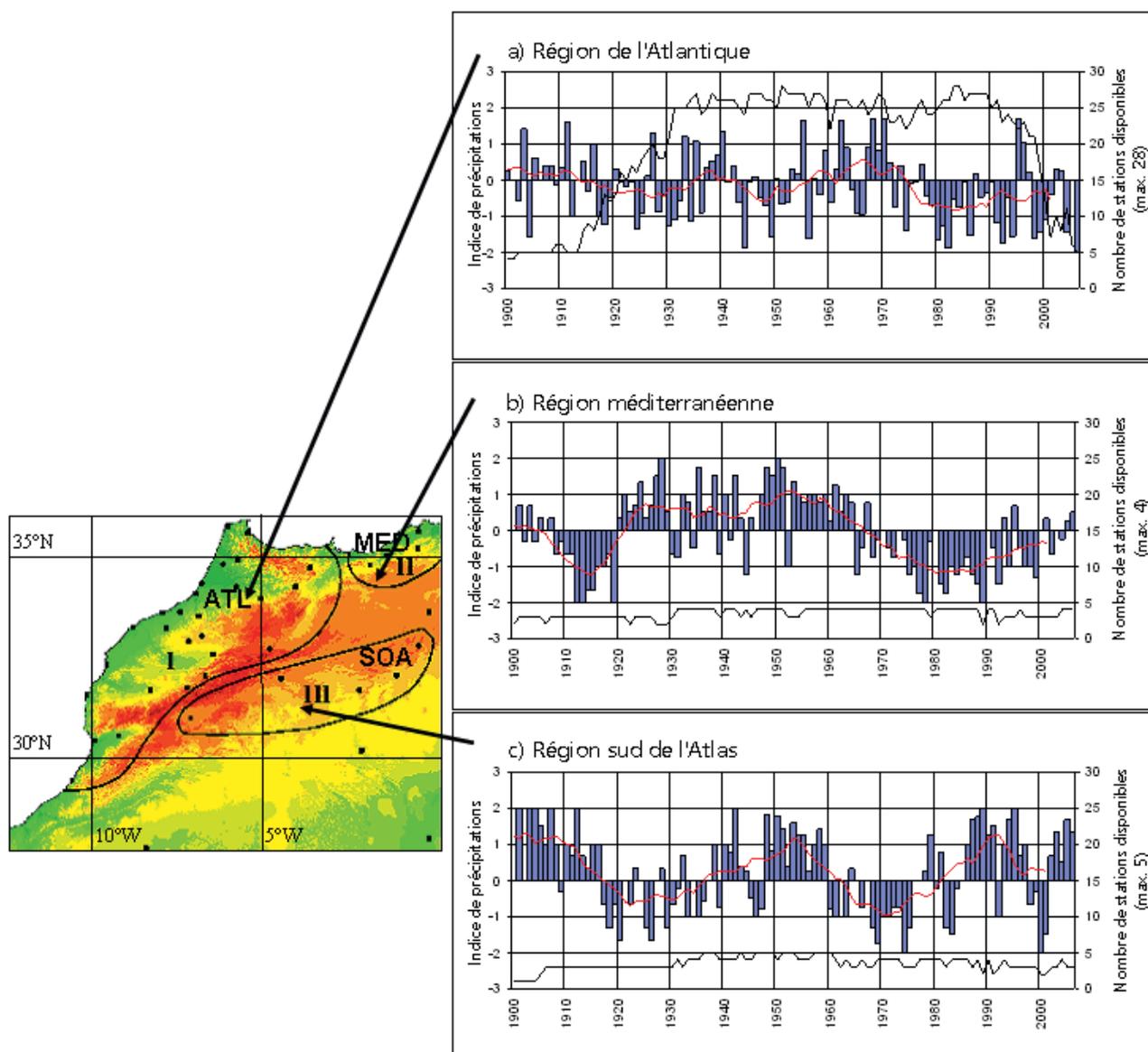


Fig. 1: Anomalies des précipitations septembre-août, 1900/01-2006/07 pour les trois régions: (I) la région de l'Atlantique, (II) la région méditerranéenne et (III) le region au sud de l'Atlas (histogramme bleu). Les 11 ans de la moyenne (mince ligne rouge) et la disponibilité des données pour le nombre de stations pluviométriques utilisées (lignes noires minces) sont également affichés

Remerciements

Nous sommes très reconnaissants à la Direction de la Météorologie Nationale du Maroc pour l'obtention des rapports des stations marocaines.

Références

Christensen, J.H. et co-auteurs (2007): Regional Climate Projections.

In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Knippertz, P. (2003): Tropical-extratropical inter-actions causing precipitation in Northwest Africa: Statistical analysis and seasonal variations. *Mon. Wea. Rev.*, 131(12), 3069-3076.

Knippertz, P., Christoph, M., et Speth, P. (2003a): Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 83, 67-88.

Knippertz, P., Fink, A., Reiner, A. et Speth, P. (2003b): Three late summer/early autumn cases of tropical-extratropical interactions causing precipitation in northwestern Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 131 (1), 116-135.

Nicholson, S. E. (1986): The spatial coherence of African rainfall anomalies: Interhemispheric teleconnections. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 25, 1365-1381.

Vose, R. S., Schmoyer, R. L., Steuer, P. M., Peterson, T. C., Heim, R., Karl, T. R. et Eischeid, J. K. (1992): The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. NDP-041. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.

Zones de fluctuation du climat dans le nord-ouest du Maghreb

Kai Born, Kristina Piecha et Andreas Fink

Le climat marocain varie du modéré au désertique à la limite nord du Sahara, influencé par l'Atlantique maritime et les systèmes du temps méditerranéens. Nous utilisons les techniques classiques de classification du climat selon Köppen et Walter & Lieth pour visualiser les conditions climatiques passées et futures. Les climats futurs sont obtenus à partir des scénarii du GIEC qui prennent en compte le climat de IMPETUS.

Classification traditionnelle du climat selon Köppen

La description du climat est basée sur les données d'observation. Ces dernières constituent un point de départ pour les caractéristiques spatiales des paramètres apparentés du climat et qui peuvent être calculés en utilisant plus ou moins des techniques sophistiquées d'interpolation. Deux sources de données importantes proviennent des observations, à savoir : les données du climat de Climate Research Unit of the University of East Anglia (CRU, Mitchell & Jones, 2005) et les données de précipitation de VASCLIMO (Beck et al., 2005), existant comme un produit de grille pour le globe entier. Les données de CRU contiennent des informations au sujet d'un plus grand nombre de paramètres du climat comme l'humidité, les précipitations et la température, alors que VASCLIMO est constitué uniquement de données des précipitations. Pour décrire le climat, la classification du climat de Köppen a été appliquée, dans une version réduite (Guetter et Kutzbach, 1990), aux données combinées de CRU/VASCLIMO. La Figure 1 montre les classes du climat marocain. Pour mieux appréhender les climats futurs, la même classification est présentée pour les données climatiques de modélisation du climat régional au moyen de REMO. Pour les données d'observation, la figure montre le déplacement des zones du climat au 20e siècle. Pour le modèle REMO (scénario futur), les cartes révèlent un biais de modèle quant aux climats arides, mais montrent aussi que la tendance observée entre les condi-

tions sèches et arides est continue et amplifiée dans l'exécution des scénarii A1B du GIEC.

Zones d'aridité similaire

Les diagrammes climatiques décrivent les caractéristiques des climats locaux, mais sont seulement représentatives aux points d'observation (lorsque appliquées aux données de station). Pour distinguer des zones de conditions climatiques similaires, des indices appropriés peuvent être calculés à partir des paramètres climatiques de base. Dans cette région, l'aridité est d'intérêt majeur. Par conséquent, nous avons calculé un indice d'aridité du cycle annuel de température et de précipitation : ici, T_m est la température moyenne à long terme, 2 m au-dessus de la terre dans le mois m et P_m est la moyenne des totaux pluviométriques dans ce mois.

$$A_i = \sum_{m=1}^{12} \{P_m\} - 2 \cdot \{T_m\}$$

Les valeurs de T_m et P_m sont interpolées en utilisant une régression multiple qui prend en compte l'exposition et la hauteur de surface sur une grille à 1 km de résolution. L'index qui en résulte est utilisé pour définir les zones caractérisées par des conditions d'aridité similaires. Pour la période 1961–1990, les zones définies pour la partie entière du nord du Maroc sont montrées à la Figure 2.

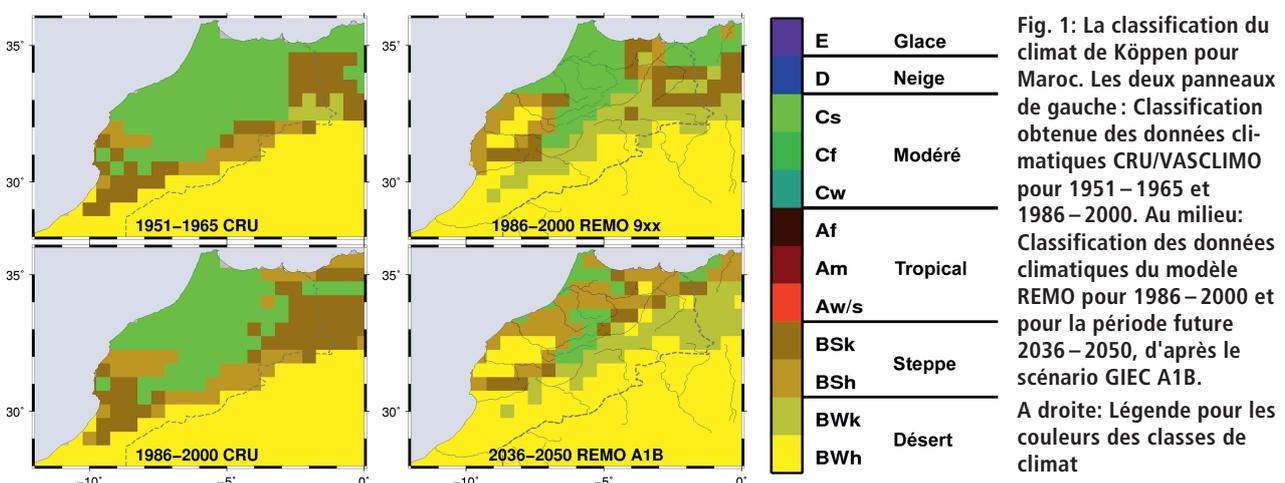


Fig. 1: La classification du climat de Köppen pour Maroc. Les deux panneaux de gauche : Classification obtenue des données climatiques CRU/VASCLIMO pour 1951–1965 et 1986–2000. Au milieu : Classification des données climatiques du modèle REMO pour 1986–2000 et pour la période future 2036–2050, d'après le scénario GIEC A1B.

A droite: Légende pour les couleurs des classes de climat

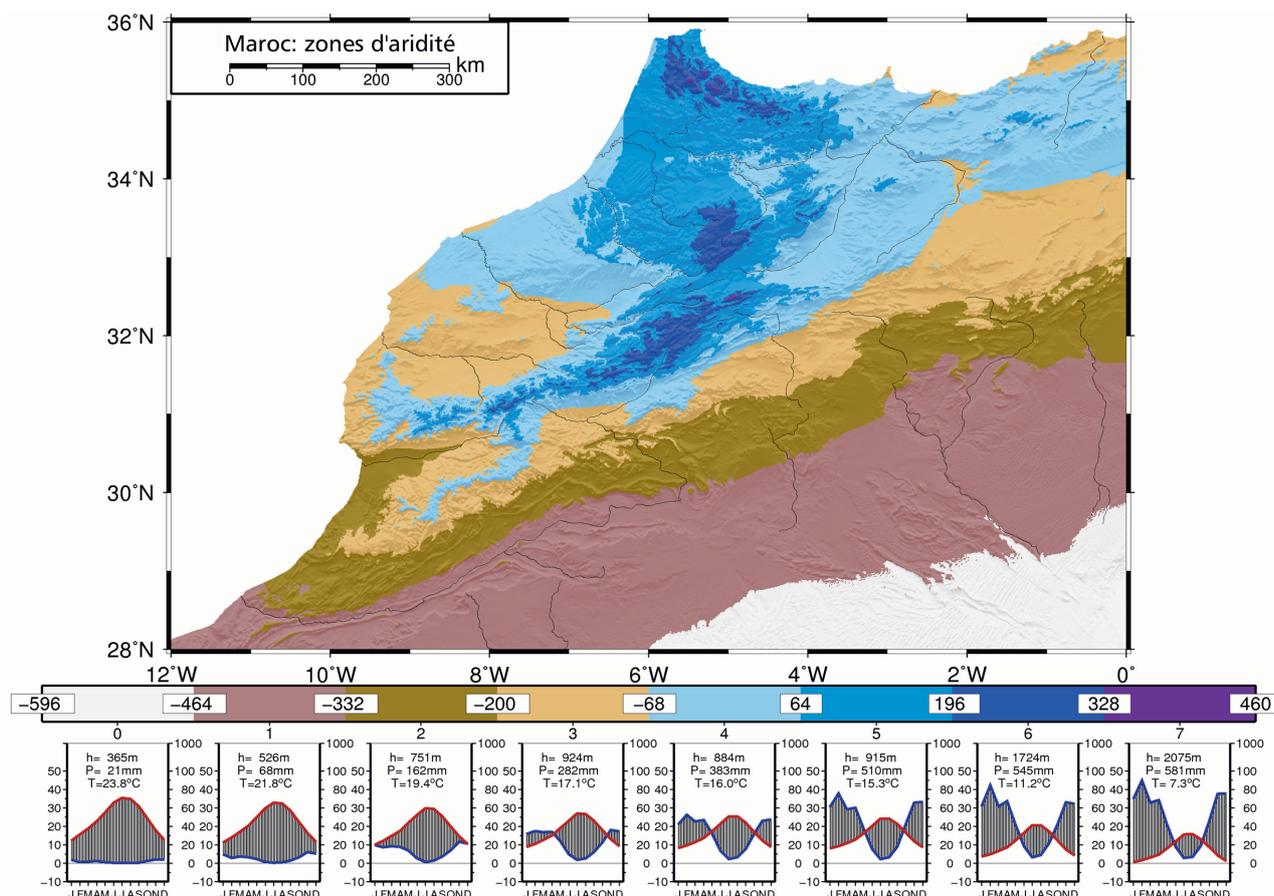


Fig. 2: Les zones d'aridité semblables ont été obtenues à partir de données CRU/VASCLIMO (haut) et les diagrammes climatiques correspondants selon Walter et Lieth (bas) pour la période 1961–1990. La barre des couleurs montre les nombres de zones climatiques et les valeurs d'indice d'aridité correspondantes (encadrés). Les diagrammes contiennent le cycle saisonnier moyen de température (ligne rouge), les précipitations (ligne bleue) et, comme chiffres, la hauteur moyenne de surface, les précipitations annuelles et la moyenne 2m-température. Notez le changement de modèle saisonnier de précipitation mensuelle du sud-est au nord-ouest.

De plus, les diagrammes de la moyenne Walter-Lieth sont représentés pour chaque zone. La transition du climat maritime vers le climat désertique, aussi bien du terrain plat et accidenté que dans les régions de montagne, s'est reflétée dans ces diagrammes.

Outre les plus fortes températures du sud, la variation saisonnière (en particulier les précipitations) montre une grande hétérogénéité entre zones. Dans la partie nord où le climat est beaucoup plus influencé par les systèmes de temps extratropicaux, le maximum se produit en hiver/début printemps, tandis que vers le sud des Montagnes de l'Atlas, le maximum se produit en automne et l'amplitude du cycle saisonnier est très courte. Pour les régions extratropicales en général, les maximums de précipitations d'hiver sont associés aux climats maritimes, tandis que les climats qui sont plus continentaux ont un maximum en été en raison de la forte occurrence des précipitations convectives. Au sud du

Maroc par contre, cette caractéristique n'est pas évidente, parce que la subsidence à grande échelle d'air dans les régions subtropicales étouffe les précipitations convectives pendant l'été boréal. Ainsi, le pic du cycle saisonnier s'observe pendant les périodes de transition, tel qu'il a été observé dans les autres montagnes subtropicale et continentale (↗ 4, 5, 8).

Références et lecture complémentaires

- Beck, C., J. Grieser et Rudolf, B. (2005): A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. Published in Climate Status Report 2004, pp. 181–190, German Weather Service, Offenbach, Germany
- Guetter, P. J. et Kutzbach, J. E. (1990): A modified Koeppen classification applied to model simulations of glacial and interglacial climates, *Clim. Change* 16, 193–215.
- Mitchell, T. D., et Jones, P. D. (2005): An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids. *Int. J. Climatol.* 25, 693–712.

Caractéristiques régionales des pluies et températures dans la région du Drâa

Kai Born, Kristina Piecha et Andreas Fink

La variabilité et les changements climatiques affectent la végétation, l'agriculture et l'économie de plusieurs façons. Pour comprendre l'impact de la variabilité du climat dans le temps et dans l'espace dans les bassins du Drâa supérieur et moyen, nous présentons les traits régionaux de quelques caractéristiques de paramètres climatiques (principalement les précipitations et les températures), et discutons les conditions actuelles et les changements au regard des scénarii climatiques A1B/B1 du GIEC RSSE.

Méthode de régionalisation

La variabilité du climat est importante aux échelles mondiale et locale. La connaissance de la variabilité du climat aux échelles locales est très limitée. Dans le passé comme à l'heure actuelle, particulièrement en Afrique du nord, la densité d'observations fiables est un facteur critique. Pour les périodes futures, la résolution spatiale basse de simulation du climat transitoire restreint l'interprétation de scénarii climatiques. Les méthodes appliquées aux échelles régionales et locales peuvent être utilisées pour combler ces lacunes. En général, ces méthodes utilisent des relations statistiques entre les données d'observation ou de modélisation à grande échelle et des conditions climatiques locales. Les séries chronologiques sur le long terme sont construites à partir de la combinaison du climat force à grande échelle et des traits climatiques pertinents à l'échelle locale. La simple façon de régionaliser est d'utiliser la méthode statistique de désagrégation spatiale dans laquelle les traits sont affinés en utilisant des régressions linéaires multiples. Pour évaluer les effets des phénomènes climatiques à l'échelle locale, la seconde méthode de désagrégation spatiale dynamique incorpore des modèles atmosphériques à haute résolution dans des données de climat force à grande échelle à partir des modèles climatiques ou des observations. Les résultats présentés ici ont été obtenus en utilisant une combinaison des méthodes de désagrégation spatiale, statistique et dynamique. Au départ, le modèle climatique régional REMO a été imbriqué dans les données du modèle climatique mondial ECHAM5 (Paeth et al., 2005, 2007). Le scénario RSSE A1B des gaz à effet de serre prescrit un changement du climat force à l'échelle mondiale. La méthode de désagrégation spatiale statistique subséquente à l'échelle locale produit des caractéristiques climatiques réparties spatialement dans la région du Drâa (↗ 4).

Evaluation des changements climatiques régionaux

Pour évaluer l'impact du changement climatique sur la végétation, l'agriculture et l'économie, les caractéristiques des données relatives aux précipitations et aux températures sont utilisées. A titre d'exemple, nous présentons ci-dessous quatre paramètres du climat et leur développement éventuel sous

le scénario du climat pour les bassins supérieur et moyen du Drâa. Le résultat du modèle REMO est regroupé dans les zones représentant des conditions d'aridité similaires qui reflètent le mieux la variabilité du climat causée par les variations orographiques (↗ 5).

Les figures ci-après présentent les données obtenues à partir des simulations du modèle REMO avec la dégradation spatiale statistique subséquente. Dans toutes les figures, les panneaux de la gauche indiquent l'état moyen entre 1986–2000, les panneaux de la droite, le signal d'évaluation du changement du climat et les petits bras sur le panneau de la droite, la signification des modèles spatiaux (c'est-à-dire que le signal du changement calculé n'est pas aléatoire mais reflète plutôt des valeurs moyennes mobiles). La signification statistique est calculée en utilisant un test basé sur la distribution t de Student. Ce test est important pour interpréter des signaux du changement du climat, car un signal calculé peut être complètement caché par la variabilité naturelle et l'incertitude du modèle et, donc peut ne pas être pertinent pour l'impact du changement climatique. Les valeurs de signification au-dessus de 95 % sont généralement considérées comme un signal pertinent.

La Figure 1 montre les précipitations moyennes annuelles de la période de référence 1986–2000 pour REMO. Elles sont un peu plus petites que la série des données suggérées par CRU et VASCLIMO (↗ 5, 7, 8), mais valent mieux avec les observations faites dans la région du Drâa (sans indication). Dans le panneau de la gauche, le gradient pluviométrique du sud-est au nord-ouest est la plus remarquable caractéristique. Les précipitations varient de moins de 100 mm pour la zone sud à plus de 200 mm dans les régions de hautes montagnes du nord. Ces valeurs reflètent les moyennes obtenues sur l'ensemble de ces zones ; les précipitations locales pouvant être plus fortes. Le signal du changement climatique montre un assèchement général qui est statistiquement significatif dans la région des montagnes et dans la zone du sud. Dans la région de l'Atlas, les précipitations climatiques sont affectées par un changeant de comportement des systèmes climatiques extratropicaux. Dans la zone du sud, les précipitations sont très faibles, au point où la variance tem-

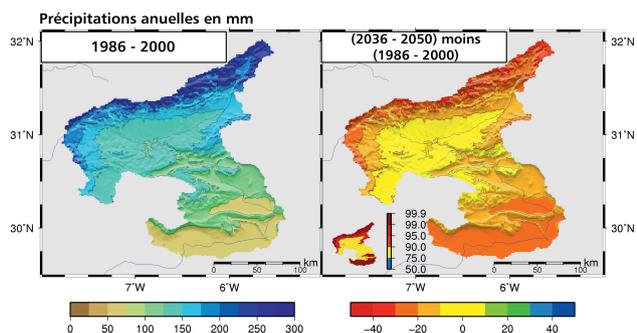


Fig. 1: Précipitations moyennes annuelles 1986–2000 en mm (gauche) et la différence entre les périodes (2036–2050) moins (1986–2000). La petite carte dans le panneau de la droite montre la signification du signal de changement climatique

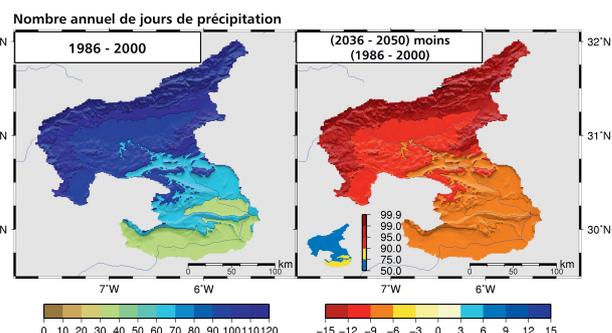


Fig. 2: comme Figure 1, pour le nombre de jours de pluie

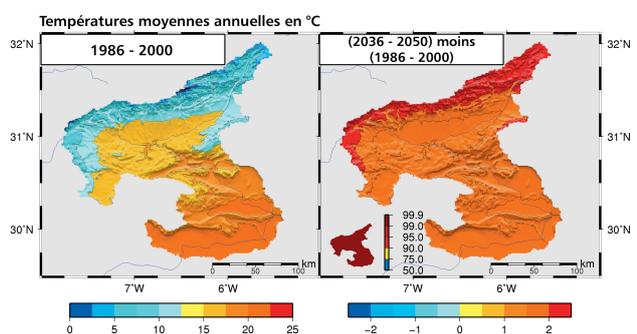


Fig. 3: Comme dans la Figure 1, pour les températures moyennes annuelles 2 m au-dessus du sol

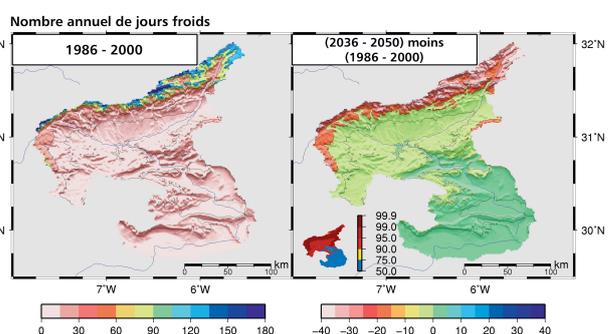


Fig. 4: Comme dans la Figure 1, pour le nombre de jours de pluie avec une température moyenne (2 m) au dessous de 0 °C

porielle est petite et produit un signal relativement fort en fonction du bruit.

Un autre facteur clé pour la végétation est le nombre de jours pluvieux. La Figure 2 présente le nombre total de jours. Comme prévu, les traits caractéristiques des valeurs moyennes et des différences se rapprochent étroitement de ceux des précipitations. Partout dans la région, le nombre de jours de précipitation décroît dans le scénario climatique. Néanmoins, la signification statistique du changement est très petite. Cela indique que, contrairement aux précipitations annuelles, de légères différentes variations du scénario climatique peuvent changer le signe du nombre de jours de précipitation.

La Figure 3 montre la température moyenne annuelle à hauteur de 2 m au-dessus du sol. Une situation de réchauffement est clairement significative avec de forts changements dans les montagnes. Le taux de réchauffement estimé varie de 1,8 °C/50 ans dans les régions du sud à 2,2 °C dans le nord. La signification statistique de 99 % est plus importante pour la région entière.

Enfin, la Figure 4 montre le nombre de jours froids, définis comme jours avec une température moyenne en dessous de 0 °C. Seules les zones du nord affichent des valeurs différentes de zéro. Comme attendu, le nombre de jours froids décroît dans le scénario RSSE A1B. Il est intéressant de constater que le changement le plus prononcé ne s'observe pas

dans la zone la plus élevée dans les Montagnes de l'Atlas, mais plutôt dans la zone qui couvre les vallées au sud de la corniche de l'Atlas.

En conclusion, les scénarii du climat forcés par le scénario RSSE A1B du gaz domestique à effet de serre produit des conditions chaudes et, moins significativement, sèches dans la région du Drâa. Bien que nous devrions retenir que la variabilité naturelle et l'incertitude du modèle sont encore très hautes, les résultats de modélisation du climat régional pourraient être compris comme un signal fort : la probabilité que le stress de l'eau dans la région augmente dans le futur est considérablement plus grande et difficile à supporter.

Références

- Paeth, H., Born, K., Podzun, R. et Jacob, D. (2005): Regional dynamic downscaling over West Africa: Model evaluation and comparison of wet and dry years. *Meteorol. Z.* 14, 349–367.
- Paeth, H., K. Born, R. Girmes, R. Podzun et Jacob, D. (2007): Regional Climate change in tropical and northern Africa due to greenhouse forcing and land use changes. Submitted to *J. Climate*.

Réseau de surveillance climatique de IMPETUS

Oliver Schulz

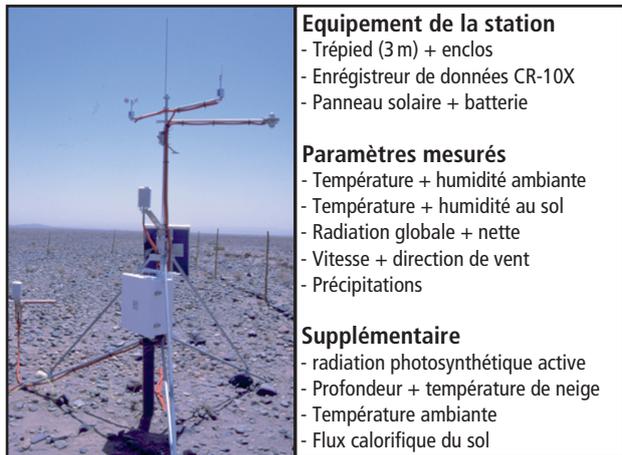
La surveillance du climat fournit d'importantes données environnementales pour l'analyse, l'évaluation et la modélisation des ressources en eau. Par conséquent, il a été mis en place un réseau de surveillance du climat respectant le gradient depuis l'Haut Atlas semi-aride aux paysages pré-sahariens arides.

Concept de sites d'essai

Plusieurs disciplines travaillent ensemble sur les sites d'expérimentation de IMPETUS installés au début du projet en 2000. Des compromis avaient été faits par rapport aux différentes demandes des sciences environnementales (géologie, climatologie, météorologie, hydrologie, écologie de la plante, agriculture, etc.), et sociales (anthropologie culturelle et agro-économie) impliquées. En général, les sites d'essai sont équipés de stations climatiques automatiques (Fig.1). Les sites ont été sélectionnés pour couvrir la variété des principales unités topographiques et géologiques et suivent un gradient de température et d'aridité du nord au sud (Figs.2 et 3) (↗ 5, 6, 9, 12). Le réseau initial de surveillance climatique a été étendu à 13 postes, en fonction des besoins de recherche qui ont évolué pendant le projet. Parmi ces postes, le groupe de six postes dans la région du Jebel M'Goun (1 870 à 3 850 m d'altitude) est unique pour les hautes montagnes d'Afrique du Nord.

La différenciation du climat dans le bassin du Drâa

Après six années de mesures intensives, le climat et sa variabilité, notamment pour les données de précipitation, ont été quantifiés (↗ 8, 9). En général, les températures ambiantes mensuelles moyennes (niveau 2 m au-dessus du sol) atteignent leur maximum en juillet et leur minimum en janvier (en février dans la haute région de montagnes). Tandis qu'à la station de M'Goun, la température moyenne de l'air du mois le plus chaud n'atteint pas 10 °C et est inférieure à -10 °C en janvier et février, la zone de température moyenne au-dessus de 0 °C dans tous les mois commence en dessous de 3 000 m. Dans la vallée du Drâa Moyen, seuls quelques jours de gel se produisent et le maximum absolu en été atteint 48 °C. Les diagrammes de la Figure 3 montrent le gradi-



Equipement de la station
- Trépied (3 m) + enclos
- Enregistreur de données CR-10X
- Panneau solaire + batterie
Paramètres mesurés
- Température + humidité ambiante
- Température + humidité au sol
- Radiation globale + nette
- Vitesse + direction de vent
- Précipitations
Supplémentaire
- radiation photosynthétique active
- Profondeur + température de neige
- Température ambiante
- Flux calorifique du sol

Fig. 1: Station météorologique automatique à Trab Labied (gauche), et une liste décrivant la configuration typique

ent de précipitation qui est fortement corrélé avec l'élévation du terrain (↗ 9).

Données de surveillance du climat : les applications

Les cartes de température et de précipitation ont été réalisées au moyen des variables mesurées basées sur les extrapolations conceptuelles et statistiques sur tout le bassin. En combinant avec les données du climat à long terme disponibles au Service Régional de l'Eau à Ouarzazate, les données de IMPETUS constituent aussi bien des données d'entrée pour la cartographie et l'analyse de la végétation que des moyens pour la validation des modèles météorologiques. Les données ponctuelles de température du sol et d'humidité, de neige, de température de surface de la neige et la radiation expliquent et valident les modèles physiques détaillés de balances hydrologiques et d'énergie (↗ 5, 6, 13, 19, 20, 23).

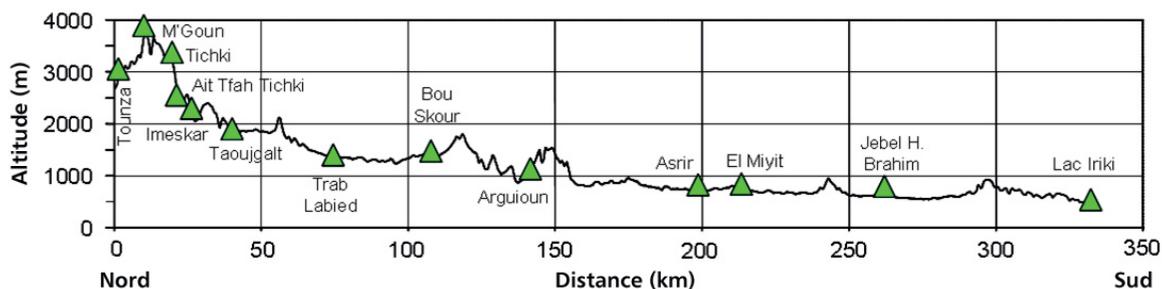


Fig. 2: Profil topographique des 13 sites d'essai de IMPETUS et les stations météo automatiques

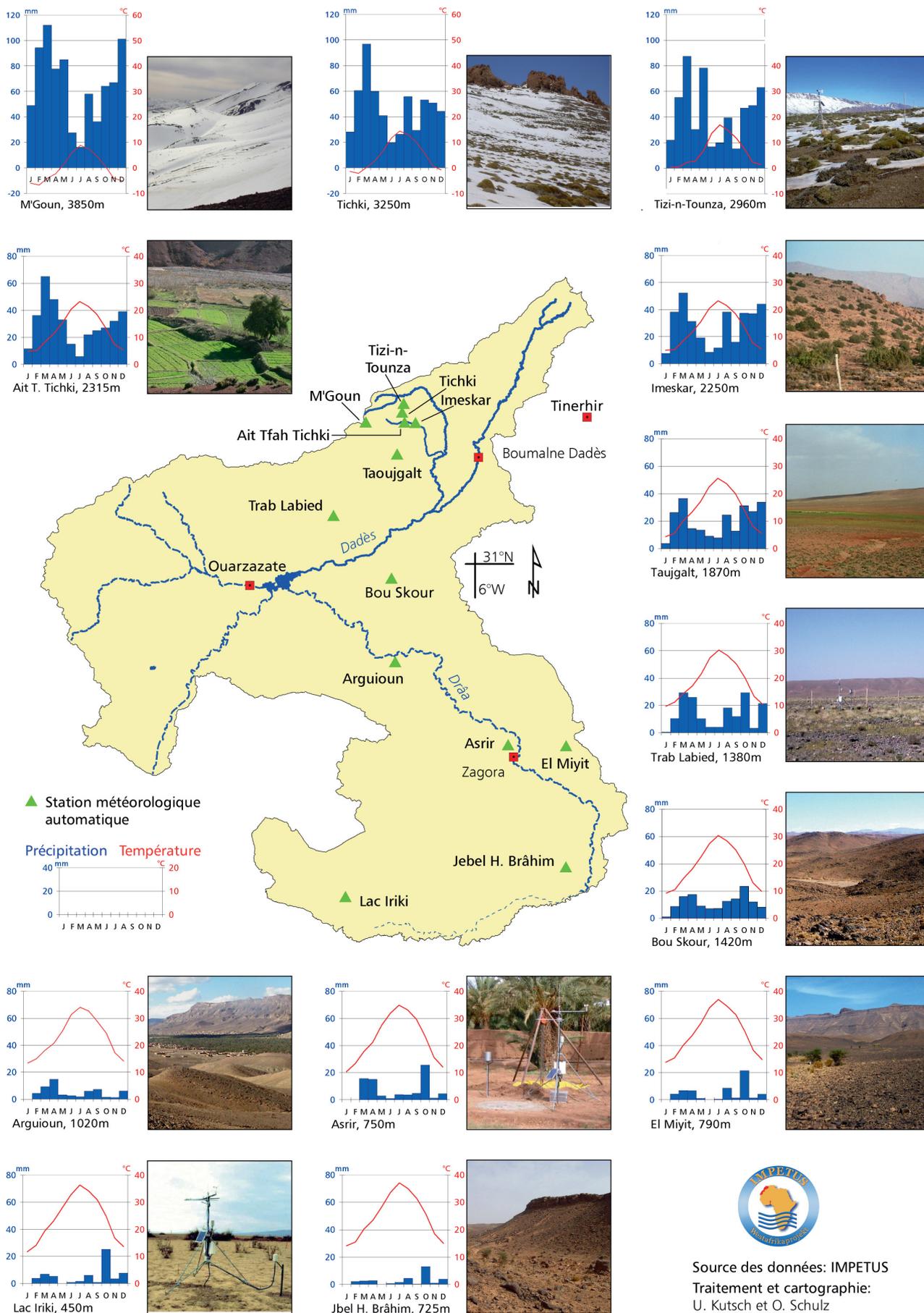


Fig. 3: Le réseau de surveillance climatique de IMPETUS dans le bassin du Drâa



Source des données: IMPETUS
 Traitement et cartographie:
 U. Kutsch et O. Schulz

Précipitations dans les bassins du Haut et Moyen Drâa

Oliver Schulz

Le climat du bassin versant de l'Oued Drâa est influencé par sa position géographique au sud de la démarcation météorologique et hydrologique des montagnes du Haut Atlas, qui sépare la région en deux unités : la Vallée du Drâa semi-aride à aride du climat méditerranéo-atlantique plus humide dans le nord-ouest du Maroc. Les flancs du sud du Haut Atlas reçoivent toujours des précipitations considérables, en partie comme neige en hiver, tandis que la Vallée du Drâa connaît peu mais quelques fois des événements pluvieux intenses, caractéristiques des climats désertiques et de la steppe.

Introduction

La variabilité spatio-temporelle des précipitations, y compris les événements extrêmes, affecte la situation hydrologique locale et régionale par la configuration topographique, géologique, pédologique et la couverture végétale. Ainsi, les cartes de précipitation peuvent servir aussi bien d'outils de planification pour l'approvisionnement en eau (agriculture irriguée, eau potable) que de base de données pour des analyses scientifiques et la modélisation régionale du bilan de l'eau, y compris la recharge de la nappe phréatique et les effets différés de la fonte de neige sur la nappe et la recharge de la rivière (↗ 19, 20, 23). Les cartes de précipitations peuvent aider aussi à expliquer les caractéristiques de l'occupation du sol et de l'utilisation des terres (↗ 13).

Méthodes

Les précipitations dans les régions semi-arides et arides sont généralement très variables. Pour cartographier la situation moyenne, et dans le cas d'espèce les totaux pluviométriques annuels (Fig. 3), il était nécessaire d'inclure suffisamment de longues séries de mesures distribuées. Pour obtenir l'état des dernières décennies, seules les données de la période 1984–2004 ont été sélectionnées pour des raisons de disponibilité de données. Les données ont été fournies par le Service Régional de l'Eau à Ouarzazate pour la période 1984–2004 et par le réseau de surveillance du climat de IMPETUS pour 2001–2004. Les données de IMPETUS ont été exploitées pour extrapoler les données des stations officielles (généralement situées dans les vallées) aux régions montagneuses. Le gradient calculé (Fig. 1), qui allie les précipitations croissantes (pluie et neige) aux altitudes croissantes de terrain, a été bien vérifié pendant les années 2001–2004. La distribution spatiale des précipitations a été calculée à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) avec un Système d'Information Géographique (SIG), puis lissée en vue d'obtenir un résultat amélioré (↗ 7, 11).

Totaux pluviométriques et variabilité

Les totaux pluviométriques annuels varient de moins de 50 mm au sud du bassin du Drâa Moyen à plus de 700 mm dans la

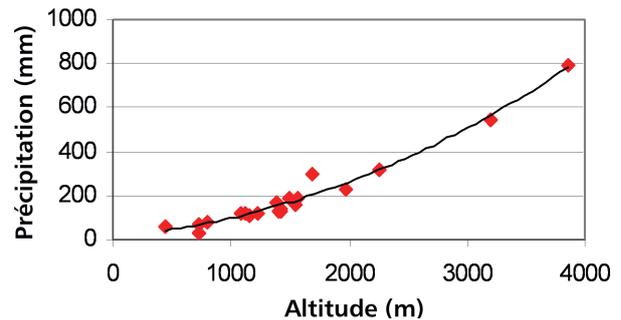


Fig. 1: Gradient de précipitation avec altitude dans le bassin du Drâa. Losanges rouges marquent les totaux annuels des mesures aux stations (source des données : Service Eau et IMPETUS)

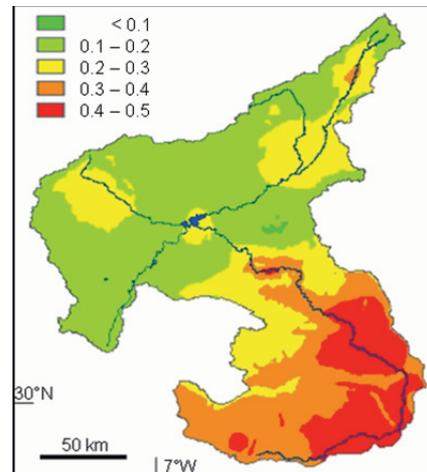


Fig. 2: Coefficient de variation pour totaux annuels de précipitations (années hydrologiques 2001/02 – 2003/04) dans le bassin du Drâa

région de la montagne du Jebel M'Goun (Fig. 3, ↗ 7). Cela peut être expliqué par la distance croissante de la démarcation météorologique des montagnes du Haut Atlas et une couche superficielle extrêmement sèche dans le promontoire qui provoque l'évaporation des gouttes de pluie avant qu'elles n'atteignent les sols de la vallée. Alors que le bassin entier du Drâa reçoit des précipitations (parfois abondantes) pendant l'interaction atmosphérique tropicale et extra-tropicale au printemps et en automne, le Haut Atlas et le bassin

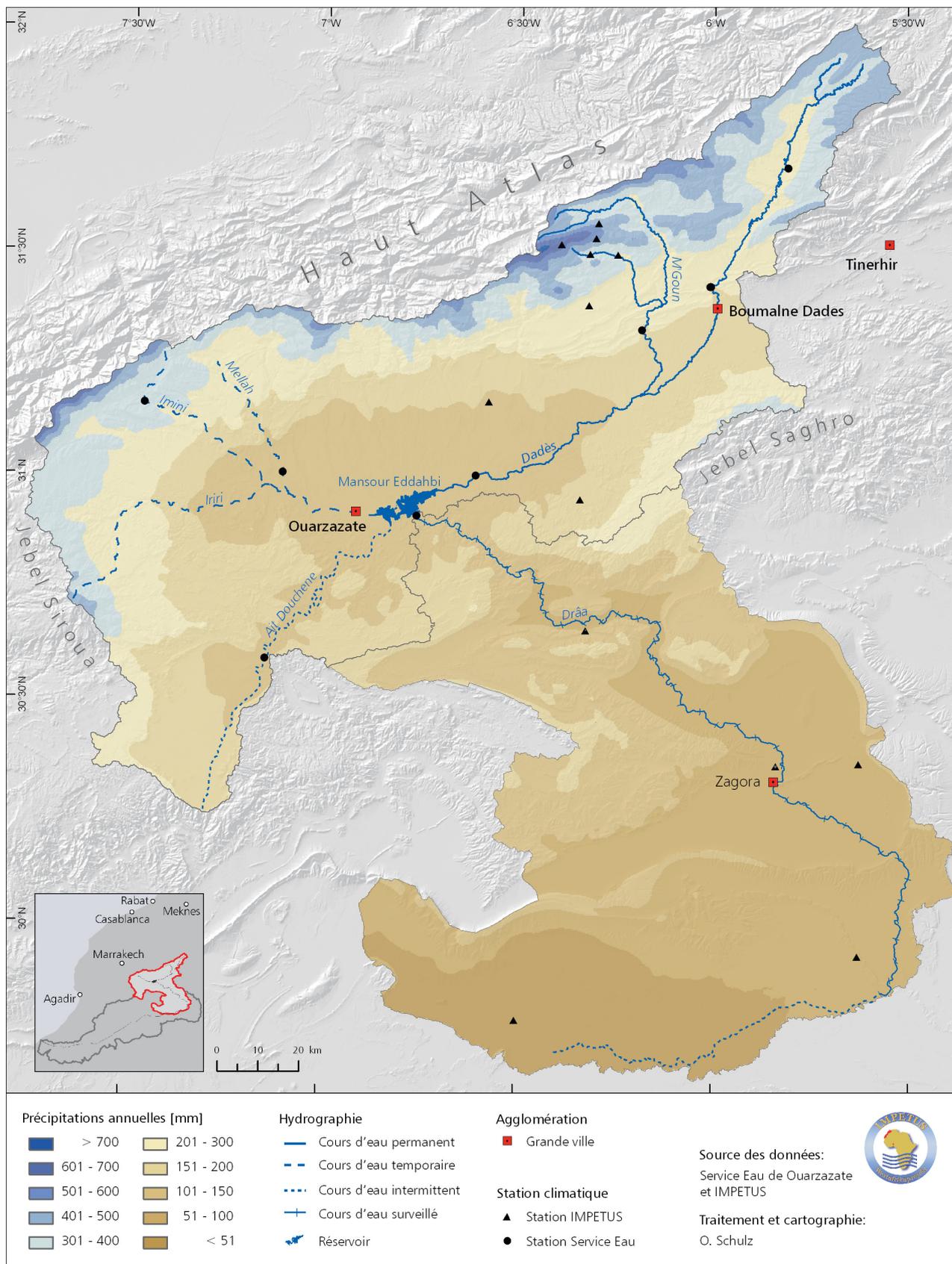


Fig. 3: Totaux pluviométriques annuels dans le bassin du Haut et Moyen Drâa (moyenne 1984–2004)

du Haut Drâa reçoivent une humidité supplémentaire propagée de l'ouest par les tempêtes hivernales Atlantiques. Plus en aval, l'effet de « l'ombre de pluie » devient de plus

en plus agissant. Dans le bassin du Drâa Moyen, la variabilité des précipitations croît tandis que les précipitations décroissent (Fig. 2) (↗ 4,5,6,9).

Une carte bioclimatique pour le sud du Maroc

Jens Oldeland, Manfred Finckh et Kai Born

Cette carte montre la distribution potentielle de zones bioclimatiques selon l'indice d'Emberger pour le bassin du Drâa. Son calcul est basé sur deux facteurs qui limitent la croissance et la distribution des plantes : la température et les précipitations. La variation thermique indique la survenance de valeurs seuil, tel que l'événement du gel. Ensuite, les totaux pluviométriques annuels fixent la valeur initiale du bilan de l'eau. Les zones bioclimatiques qui en résultent peuvent servir d'indice pour des unités potentielles de végétation.

Introduction

Les indices bioclimatiques ont été développés comme outils d'explication de la distribution spatiale des unités de végétation par la combinaison de différents facteurs climatiques (Gavilan, 2005). Ils sont de plus en plus importants parce qu'ils facilitent le transfert des résultats de modélisation du climat à l'utilisation des terres et à la science de végétation. Ils aident aussi à prédire les tendances de désertification à long terme (↗ 5).

Méthodologie

La moyenne des températures minimum du mois le plus froid (T_m), la moyenne des températures maximum du mois le plus chaud (T_M) et les totaux pluviométriques annuels (P) ont été déduites pour le bassin du Drâa et ses environs de la base de données CRU pour la période 1961 – 1990. Ces variables sont nécessaires pour calculer le Quotient Pluviométrique (Q) d'Emberger (1930) :

$$Q = \frac{(P * 2000)}{(T_M + T_m)(T_M - T_m)}$$

En combinaison avec la série des T_m , cet indice définit la classification des zones bioclimatiques d'après une situation qui varie du plus sec au plus humide et du plus chaud au plus froid. Pour calculer les variantes du thermique, nous avons utilisé la température minimum altitude-ajustée de la chaîne de modèle l'ECHAM4 -REMO.

Luis Emberger a élaboré cet index comme un outil pour analyser les zones de végétation de Maroc. Il l'appliqua plus tard à la région Méditerranéenne entière où il est encore largement utilisé. Daget (1977) a affiné la classification en esquissant plus précisément les seuils climatiques des différentes

classes. Ces zones bioclimatiques ont été calculées en utilisant la fonction Raster Calculator de Arc-GIS 9.2 (ESRI).

Carte bioclimatique

La Figure 1 montre la distribution de 10 différentes unités bioclimatiques au sein du bassin du Drâa. Le bioclimat peraride dans ses variantes thermique tempérée et fraîche, comprend les plus larges régions (approximativement 40 %, Tableau 1). Ces régions correspondent généralement à des unités de végétation dominées par la flore saharienne.

Les bioclimats peraride froid, aride froid et aride très froid prédominent dans les chaînes de montagnes du Haut Atlas du Jebel Siroua et de l'Anti Atlas. Au total, cette classe de bioclimat couvre environ 35 % du bassin du Drâa. Ces zones sont principalement caractérisées par les steppes de l'armoise ibero-mauritanéenne et constituent les parcours principaux pour les pastoralistes transhumants d'automne au printemps.

Le bioclimat semiaride dans la variante froide à très froide caractérise 20 % de la région. Ils est limité aux hautes chaînes de montagnes le long de la ligne de partage des eaux au nord-ouest du bassin du Drâa. Dans ces régions, la végétation change vers un tapis de xérophytes épineux qui servent de pâturages en été notamment pour les moutons et les chèvres (↗ 10,12,13).

Références

- Emberger, L. (1930): Sur une formule applicable en géographie botanique. Cah. Herb. Seanc. Acad. Sci., 191, 389–390.
- Daget, P. (1977): Mediterranean Bioclimate - General Characteristics and Modes of Definition. Vegetatio, 34, 1–20.
- Gavilán, R. (2005): The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case study in the Spanish Sistema Central. Int. J. Biometeorol, 50, 111–120.

Tableau 1: Proportion de zones bioclimatiques de la région du Drâa

variante / bioclimat	froid	frais	doux	tempéré	superficie totale [%]
subhumide	0,4	-	-	-	0,4
semiaride	17,8	2,9	-	-	20,7
aride	6,4	18,2	1,7	-	26,3
peraride	0,8	11,2	17,8	22,7	52,6
superficie totale [%]	25,4	32,3	19,5	22,7	100,0

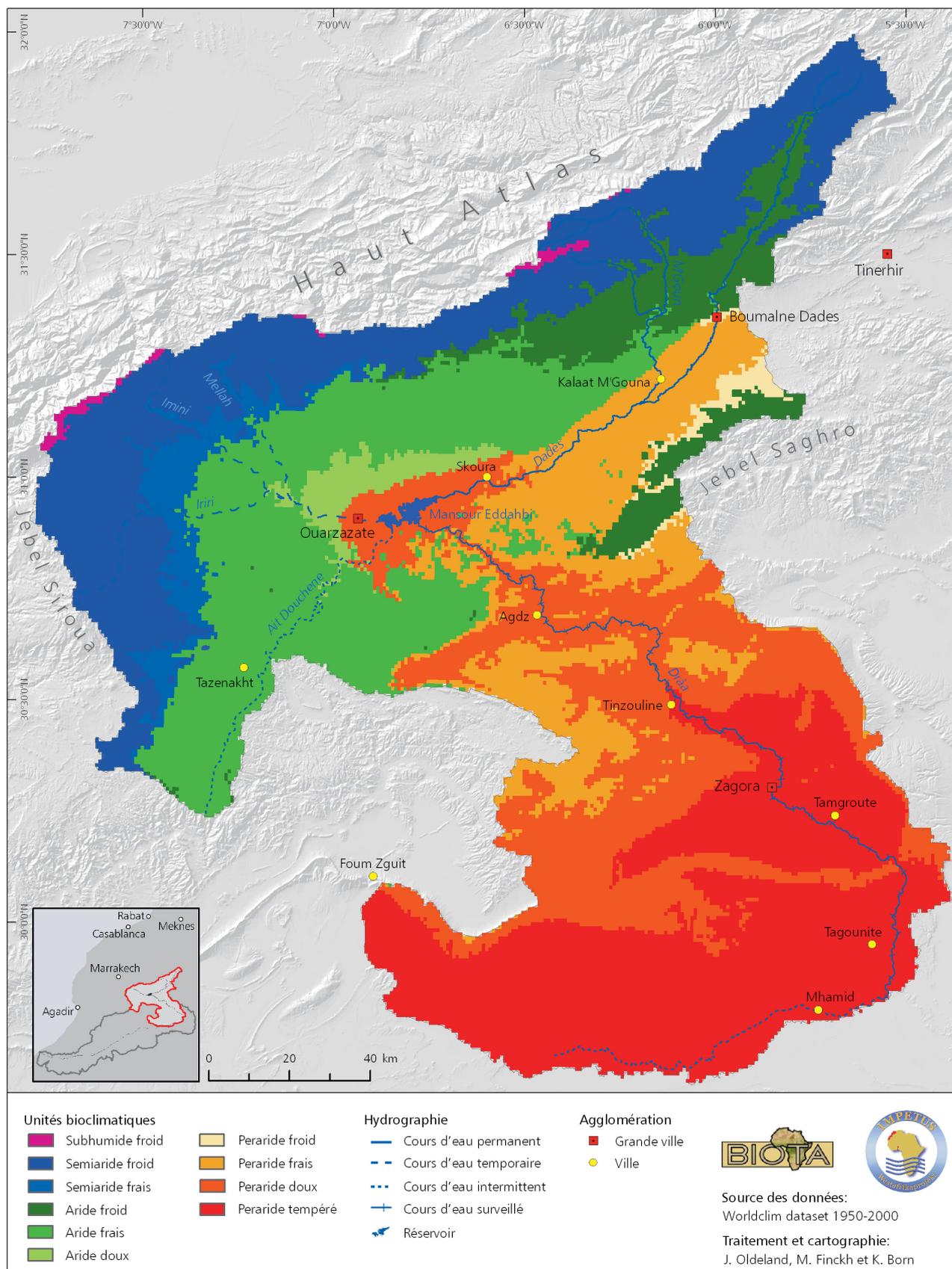


Fig. 1: Carte bioclimatique du bassin du Drâa (distribution potentielle de l'Index d'Emberger)



Formes de l'érosion du sol sur le plateau de Taoujgalt/Ait Toumert, Haut Atlas Central. Au milieu le Jebel Aklim (3438 m d'altitude), à gauche la crête du Jebel M'Goun couverte de neige (4071 m).



Environnement naturel

Carte satellitaire du bassin du Drâa

Pierre Fritzsche

Nous avons réalisé une carte satellitaire de l'atlas IMPETUS en utilisant les données de télédétection du satellite Landsat. La carte donne une vue d'ensemble du bassin du Drâa, faisant ressortir les détails de la topographie et de l'occupation du sol.

La carte ci-après a été réalisée en faisant une mosaïque de cinq scènes d'images Landsat 7 ETM+. C'est une image infra-rouge faux de couleur combinant les canaux 4 (rouge), 3 (vert) et 1 (bleu). La carte a été projetée suivant la projection conique conforme de Lambert qui est la projection standard adoptée par IMPETUS au Maroc. Pour faciliter la interprétation visuelle, les routes, rivières et noms des hautes chaînes de montagnes y sont ajoutés, y compris les stations météorologiques d'IMPETUS (↗ 3, 7).

Méthode

Le programme Landsat a été inspiré par les missions Apollo sur la lune pendant les années 1960. La version améliorée, Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+), utilisée ici, a été introduite avec Landsat 7, une initiative conjointe de U.S. Geological Survey (USGS) et la National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Les séries d'images Landsat sont lancées en 1984. Elles photographient les mêmes bandes spectrales pour permettre la détection du changement de l'occupation du sol à travers le temps (Tableau 1).

Tableau 1: Les paramètres de Landsat 7

Couverture:	185 kilomètres
Temps de répétition:	16 jours
Altitude:	705 kilomètres
Croisement à l'équateur:	heure à la descente ; 10:00 +/- 15 min
Date de lancement:	Avril 1999

Lorsque les données de l'image sont enregistrées par les capteurs à bord des satellites et des avions, elles peuvent contenir des erreurs dans la géométrie et les valeurs de luminosité mesurées des pixels (Richards, 2006). Le calibrage des images est fait en deux étapes : à bord du satellite et au sol. Les calibrages à bord sont faits avec les systèmes de calibrage thermiques (Markham et al., 1997). Pour le calibrage au sol, le système de traitement de Landsat (LPS) est utilisé, y compris les corrections radiométriques et géométriques (Barsi et al., 2003; NASA 2007).

Résultats

La carte satellitaire est imprimée sous forme d'une carte physique montrant les détails de la topographie, de l'occupa-

tion du sol et la distribution spatiale de la végétation actuelle. L'utilisation des vastes régions du spectre solaire permet d'identifier et d'évaluer les objets à la surface et leurs propriétés spatiales (Richards, 2006). Les régions de dense végétation, tels que les oasis, apparaissent rougeâtre sur l'image à cause de leur réflectance spécifique dans le proche infra-rouge (Tableau 2). Le même mécanisme nous permet de classifier en détail la variabilité des différentes régions à la périphérie du bassin. Celles-ci varient de la région désertique (surfaces blanches au sud de Jebel Banin) aux régions de steppe (brun/rouge, au nord de Ouarzazate).

La résolution spatiale est décrite comme la dimension du pixel, ceci selon la résolution radiométrique, (Tableau 2).

Tableau 2: Champ spectral et résolution au sol de Landsat 7 ETM+ par bande

Numéro de canal	Champ spectral (nm)	Résolution au sol (m)
1	450 à 515	30
2	525 à 605	30
3	630 à 690	30
4	750 à 900	30
5	1 550 à 1 750	30
6	10 400 à 12 500	60
7	2 090 à 2 350	30
Pan	520 à 900	15

Références

- Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., Helder, D. L., Hook, S. J., Markham, B. L., Chander, G. et O'Donnell, E. M. (2003): Landsat TM and ETM+ thermal band calibration, *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, 141–153.
- Helder, D., Barker, J., Boncyk, W. et Markham, B. (1996): Short term calibration of Landsat TM: recent findings and suggested techniques. *Proceedings of the IGARSS'96 Symposium: Remote Sensing for a Sustainable Future*, Lincoln, Nebraska, 1286–1289.
- Markham, B. L., Boncyk, W. C., Helder, D. L., et Barker, J. L. (1997): Landsat-7 enhanced thematic mapper plus radiometric calibration. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 4, 318–332.
- NASA (2007): recallable <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>
- Richards, A. et Xiupong, J. (2006): *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Vol. 4, Springer, Berlin Heidelberg.

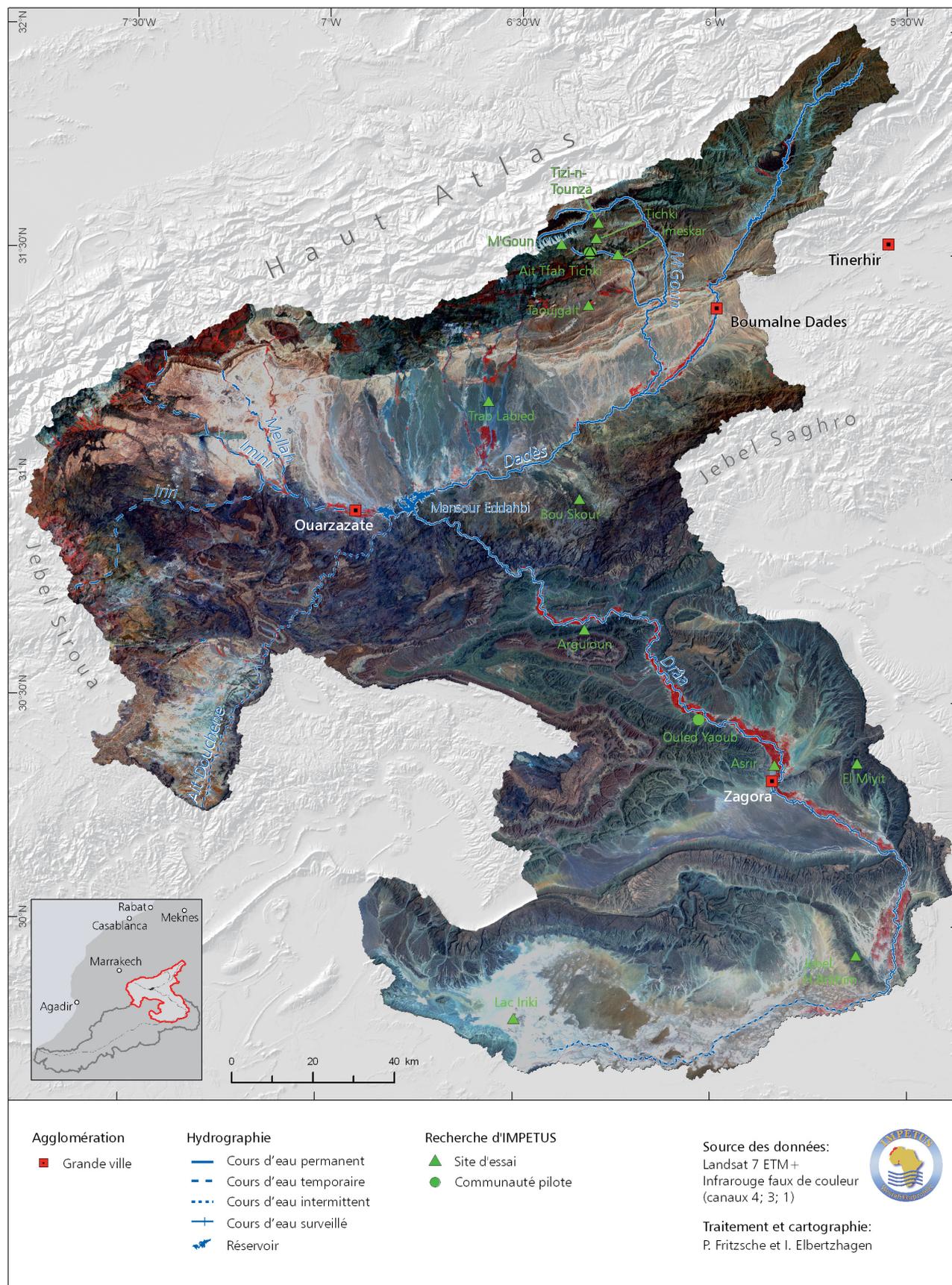


Fig. 1: Carte satellitaire du bassin du Drâa

Modèle numérique de terrain du bassin du Drâa

Pierre Fritzsche

Le bassin du Drâa (28 428 km²) est caractérisé par les gradients topographiques extrêmes entre les chaînes de montagnes du Haut et de l'Anti Atlas dans la partie nord et centre et les flancs salins étendus avec de bas profils dans le sud. La disponibilité d'un modèle numérique de terrain précis (MNT) est une condition préalable fondamentale pour presque toutes disciplines travaillant dans un contexte spatial.

Le bassin du Drâa, situé au sud du Maroc, est caractérisé par les chaînes de l'Atlas et de l'Anti-Atlas et de grands bassins (↗ 3, 12). La carte ci-après a été conçue comme une carte de base physique. Les couleurs du MNT (↗ 3, 7) varient du vert (altitudes inférieures, commençant par 421 m) en passant par le jaune, aux teintes brunâtres (plus hautes altitudes, maximum à 4 091 m d'altitude). Cette dernière valeur représente le Jebel M'Goun (4 071 m). Les emplacements exacts des 13 stations météorologiques de IMPETUS, les réseaux routiers et hydrologiques, la localisation des agglomérations et les noms des chaînes de montagnes les plus importantes sont superposés au MNT. La carte est projetée dans la projection conique conforme de Lambert qui est la projection standard adoptée par IMPETUS au Maroc.

Méthodes

Les modèles numériques de terrain (MNT) sont des représentations spatiales des altitudes (les points les plus hauts en dessous d'un observateur nominal, y compris bâtiments, arbres et tous autres objets saillants à la surface de la terre et observables par l'observateur) à des intervalles régulièrement espacés. Le MNT utilisé ici a été enregistré lors de la Mission SRTM (Space Shuttle Radar Topography Mission). La hauteur d'un point h est donc donnée par la formule:

$$h_t = h_p - p \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{\lambda \Phi}{2\pi B} \right) + \alpha \right]$$

avec h_p la hauteur de la plate-forme (altitude de l'antenne en ce qui concerne l'ellipsoïde de référence WGS84), p la gamme, Φ la phase interférométrique mesurée, α l'angle de rotation de base, λ la longueur d'onde observée, et B la longueur de base (Farr, 2007). Cette mesure prend en compte tous les objets qui se trouvent à la surface de la terre.

En général, en déduisant le MNT des données du SRTM, toutes les sources d'erreur sont considérées.

L'erreur moyenne mesurée est de 1,3 m sur un écart-type de 3,8 m et une erreur absolue de 6 m (90 %) (Rodriguez, 2006). Pour le secteur de recherche du projet IMPETUS, l'erreur de la racine carrée moyenne (rmse) est de 18,55 m ($r = 0,99$), avec une variabilité maximale de 97,14 m, basée sur des mesures de 194 points avec un GPS différentiel (Klose,

en préparation). Le MNT utilisé ici a une résolution au sol originelle de 90 m, convertie à 30 m.

Résultats

La carte montre des zones de circonvolution dans la région. De plus, on peut voir la structure saillante de la chaîne de l'Anti-Atlas aux flancs et bassins de la région sub-saharienne. L'altitude varie de 4 092 à 427 m d'altitude.

Les chaînes de l'Atlas et l'Anti-Atlas suivent principalement l'axe OSO-ENE. L'Haut Atlas forme la frontière naturelle nord de la région d'enquête. Ces régions sont caractérisées par une forte topographie et un réseau différentiel de fleuves principalement orientés N-S.

Le bassin de Ouarzazate est situé entre la chaîne de l'Atlas et de l'Anti-Atlas, identifiable comme une dépression avec les teintes verdâtres. La chaîne de l'Anti-atlas présente des altitudes très faibles. Vers le sud, la Vallée du Drâa Moyen s'ouvre, incluant l'Oued Drâa et quelques zones de dépressions (nommées *fejjas*) (Riser, 1988). Dans le sud, le Jebel Bani est un véritable repère qui précède les bassins pré-sahariens du Lac Iriki, caractérisés par leurs profils bas et de faibles variations d'altitude (↗ 10, 12).

Références

- Farr, T. G., et al. (2007): The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophysics, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Klose, A. (in preparation): Soil degradation in the Drâa Catchment (Morocco), PhD-thesis, Bonn.
- Riser, J. (1988): Le Jbel Sarhro et sa retombée saharienne (Sud-Est Marocain) - Étude Géomorphologique. Notes et Mémoires du Service Géologique No. 317. Direction de la Géologie. Ministère de l'Énergie et des Mines, Royaume du Maroc. Rabat.
- Rodriguez, E., et al. (2006): An Assessment of the SRTM Topographic Products, In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Journal of the American Society for Photogrammetry And Remote Sensing, Volume 72, No. 3.

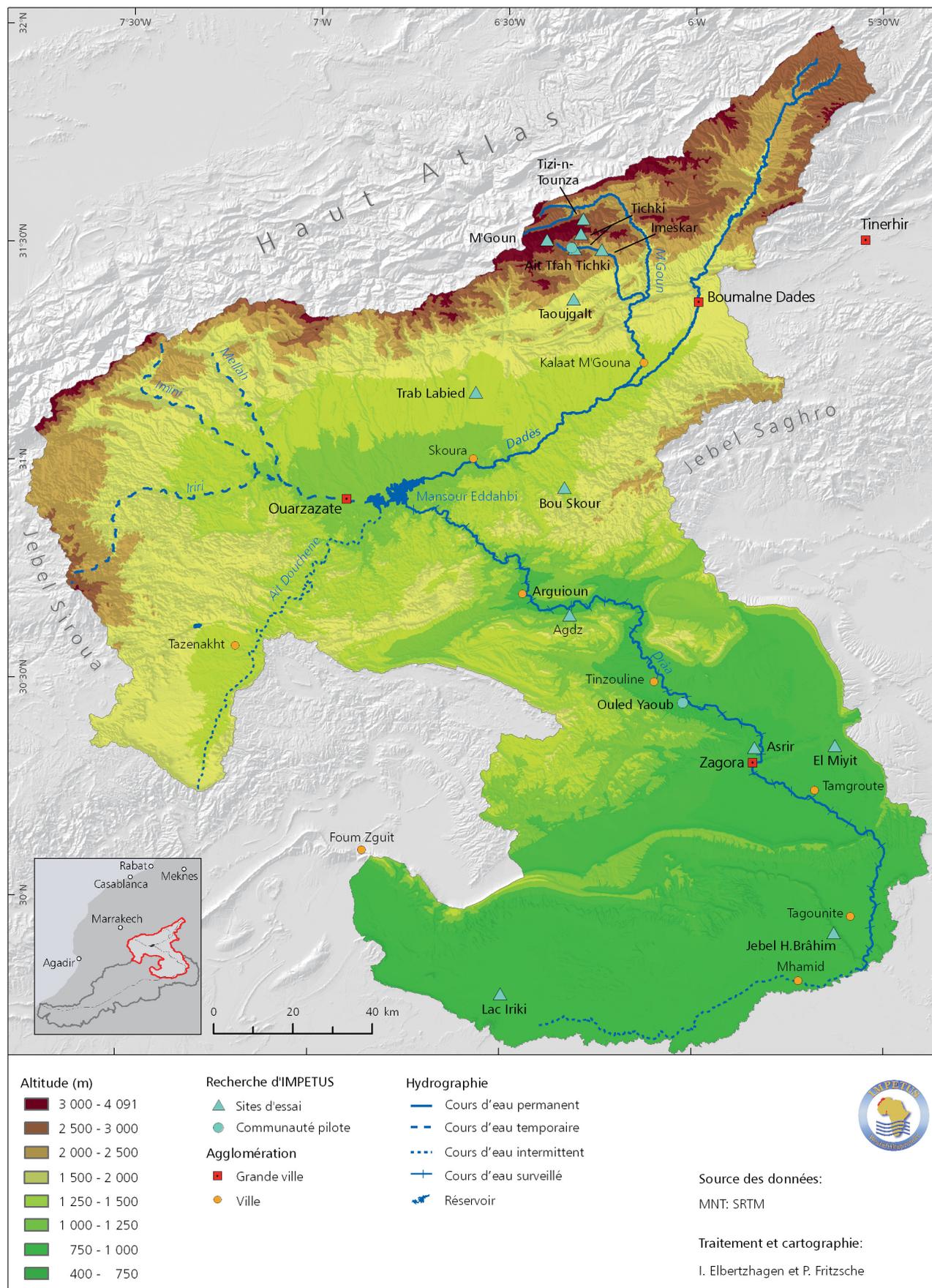


Fig. 1: Modèle numérique de terrain du bassin du Drâa

Unités de paysage du bassin du Drâa

Manfred Finckh et Pierre Fritzsche

La carte montre les unités du paysage du bassin du Drâa. Elles délimitent des régions présentant des conditions climatiques, topographiques, géomorphologiques et édaphiques similaires. Elles illustrent ainsi des écosystèmes ayant des contraintes environnementales comparables et par conséquent des utilisations potentielles similaires des terres.

Cette carte est basée sur l'interprétation du Modèle Numérique de Terrain SRTM 30 et des images Landsat ETM+ composition d'infrarouge faux de couleur du bassin du Drâa (↗ 10, 11). Elle est générée par l'utilisation de l'approche multi-échelle pour la classification du paysage selon ses traits géographiques (Meynen et Schmithüsen, 1962, Arbeitskreis Standortkartierung, 2003).

Méthodes

Tout d'abord, la classification du paysage a été basée sur le relief global et les facteurs climatiques. Quatre unités macro ont été délimitées : le Haut Atlas, la zone sudatlasique, l'Anti-Atlas et la zone nord-saharienne. Ces unités sont équivalentes aux zones de modélisation de IMPETUS (Speth et Christoph, 2003). Le bassin versant du Drâa a été désigné par la suite comme la cinquième unité macro due à la particularité de son régime hydrologique et le mode d'occupation des dattiers (↗ 10).

Deuxièmement, ces cinq zones ont été divisées en 27 méso-unités naturelles d'après des critères géologiques fondamentaux et des paramètres du relief. A cette étape, nous avons, par exemple, différencié le précambrien et les plus récentes chaînes de montagnes de l'Anti-Atlas (teintes verdâtres), entre les couches calcaires et les substrats de silicate du Haut Atlas (teintes rouge/brun), et les chaînes dominées par des rochers et les bassins comblés de sédiments (teintes jaune/orange) (Riser, 1988). Ces méso-unités représentent des paysages relativement homogènes et sont donc utiles pour une planification spatiale à l'échelle régionale (↗ 17, 18).

Troisièmement, ces 27 méso-unités ont été ensuite subdivisées d'après le critère de la lithologie et du substratum. Les résultats de ces subdivisions (micro-unités) reprécisent les régions ayant des conditions physiques homogènes et la disponibilité en ressources. Elles constituent ce qui peut être raisonnablement considéré comme des unités de planification spatiale à l'échelle locale. Elles ne sont pas affichés dans la version imprimée de l'Atlas.

Pour des fins d'orientation, les stations météorologiques du projet IMPETUS et les agglomérations importantes au sein du bassin versant ont été présentées (↗ 3, 7).

Résultats

L'agriculture intensive se pratique principalement dans les sept oasis de la Vallée du Drâa et presque exclusivement à une

moindre ampleur dans les oasis de la rivière de la Zone sud de l'Atlas, dans le Haut Atlas (par exemple, le long de l'Oued Dadès, Oued Fintt et l'Oued Ouarzazate) et le bassin de Tazenakht. La plupart de la population autochtone et les agglomérations importantes se trouvent dans ces régions (↗ 3, 24, 25, 10).

Les versants semi-arides et les plateaux du Haut Atlas, le Jebel Saghro, et l'Anti-Atlas de l'ouest (y compris le Jebel Siroua) ont moins de villages permanents, mais constituent des importantes ressources en pâturage. Les chaînes de montagnes sédimentaires au sud du Jebel Saghro appartiennent aux écosystèmes désertiques arides à perarides et ont une valeur pastorale très faible. La plupart des activités d'élevage au sud du Jebel Saghro se pratique le long des wadis et dans les bassins intercalés, par exemple, les bassins et feijas autour de Zagora, Tagounite et Fom Zguid. Dans les dernières décennies, il y a de plus en plus des rivalités pour telles ressources entre des pastoralistes et des petites fermes irriguées par des pompes à gasoil (Werner, 2006) (↗ 9, 13, 27, 28, 29, 30).

Les ressources touristiques d'importance économique croissante sont les dunes de sable (*Ergs*) de Mhamid et Cheguga et les plaines d'argile et de sel du Lac Iriki. Ces régions sont visitées par les agences touristiques provenant de Marrakech, Agadir, Ouarzazate et Zagora. Un projet du parc national pour cette région est en cours.

Références

- Arbeitskreis Standortkartierung (2003): Forstliche Standortaufnahme. Eching.
- Meynen, E. et Schmithüsen, J. (1953–1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen.
- Riser, J. (1988) : Le Jbel Sarhro et sa retombée saharienne (Sud-Est Marocain) - Étude Géomorphologique. Notes et Memoires du Service Géologique No. 317. Direction de la Géologie. Ministère de l'Énergie et des Mines, Royaume du Maroc. Rabat.
- Speth, P. et Christoph, M. (2003): IMPETUS West Africa, An integrated approach to the efficient Management of scarce water resources in West Africa – case studies for selected river catchments in different climatic zones. In: Water in the Middle East and in North Africa (F. Zereini and W. Jaeschke, eds.) pp. 275–286.
- Werner, J. (2006): Nomades entre marginalisation, entrepreneuriat et conflits. Kommunikation und Beratung – Sozialwissenschaftliche Schriften zur Landnutzung und ländlichen Entwicklung 70. Margraf Publishers, Weikersheim.

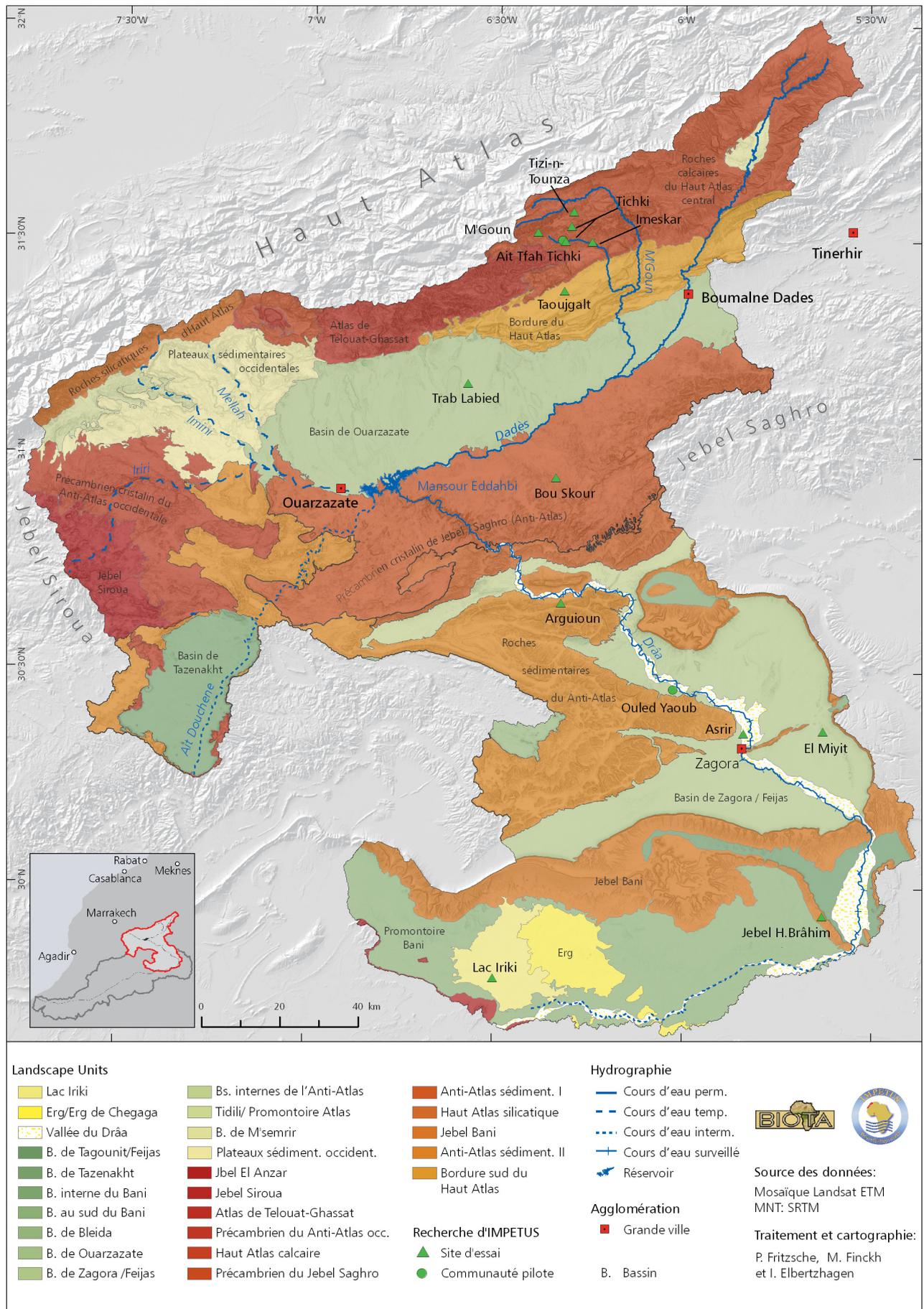


Fig. 1: Unités du paysage du bassin du Drâa

Carte de végétation du bassin du Drâa

Manfred Finckh et Peter Poete

La végétation du bassin du Drâa couvre la zone de transition entre les forêts méditerranéennes et les biomes désertiques sahariens au sud. Du Haut Atlas vers le sud, la végétation suit à la fois des gradients en altitude et en aridité qui causent une transition nette entre les écosystèmes subhumides et arides. L'utilisation du sol modifie et dégrade les traits caractéristiques de la végétation.

Régions floristiques

Trois grandes régions floristiques contribuent à la phytodiversité du bassin du Drâa (Fig. 1).

Les grandes élévations du Haut Atlas, Jebel Siroua et Jebel Saghro (au-dessus d'environ 2 200 m) sont couvertes par les écosystèmes oroméditerranéens (↗ 9). Leur flore provient notamment de sources méditerranéennes. La végétation est dominée par des xérophytes épineux, une forme de vie qui reflète des adaptations microclimatiques et anti-herbivores.

Dans la zone de transition vers les steppes d'armoises se trouvent trois espèces de genévriers (*Juniperus thurifera* L., *J. oxycedrus* L. et *J. phoenicea* L.), en partie mélangées aux chênes (*Quercus rotundifolia* Lam.) et frênes (*Fraxinus xanthoxyloides* Wall.). Cette limite sud de la forêt sempervirente méditerranéenne est actuellement fortement dégradée et sur-exploitée.

Les versants sud du Haut Atlas entre 1 400–2 400 m de même que l'étage altitudinale correspondant des Jebel Siroua et Jebel Saghro sont couvertes par des steppes ibéro-mauritaniennes dominées par des chaméphytes comme *Artemisia herba-alba* Asso, *A. mesatlantica* Maire, *Teucrium mideltense* Humb., et par des graminées pérennes comprenant *Lygeum spartum* L. et *Stipa* spp. Une multitude de térophytes émerge en printemps et celles-ci contribuent à la richesse floristique remarquable de ce biome steppique. Les steppes d'Armoises sont de caractère continental prononcé et couvrent de vastes étendues dans les terrains montagneux marocains de l'est.

La flore présaharienne et saharienne constitue le troisième élément floristique d'importance dans la région du Drâa. Les semi-déserts présahariens et les steppes rocailleuses composées de *Convolvulus trautmanianus* Schweinf. et Muschl. et *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin commencent à apparaître dans le Bassin de Ouarzazate et l'étage inférieure du Jebel Saghro. Cependant, ils se trouvent principalement dans les chaînes sédimentaires du sud de l'Anti-Atlas et les bassins intercalés. *Hammada scoparia* à lui seul domine les pédiments et les sols argileux. Les espèces annuelles moins dominantes et les espèces géophytes n'apparaissent qu'en printemps.

Inférieur à 1 000 m d'altitude, la végétation des oueds est dominée par des arbres (par exemple *Acacia raddiana* Savi, *A. ehrenbergiana* Hayne, *Maerua crassifolia* Forssk.) et des herbes vivaces C4 (par exemple, *Panicum turgidum* Forssk., *Penisetum dichotomum* Delile) d'origine Sahélienne. Le régime

bimodal de précipitation de la région sud du Drâa, avec des maxima de pluie en printemps et au début de l'automne, ont permis l'existence d'espèces adaptées aux pluies estivales (↗ 3, 7).

La végétation extrazonale le long des cours d'eau et les systèmes agricoles montrent une transition des écosystèmes méditerranéens aux écosystèmes sahariens. A environ 2 000 m d'altitude, les cours d'eau dans le Haut Atlas sont accompagnés de fragments de forêts alluviales méditerranéennes, avec des espèces telles que *Fraxinus angustifolia* Vahl, et des espèces de *Populus* et *Salix*. Ces forêts riveraines sont aujourd'hui remplacés pour la plupart par des champs et des vergers de pommiers oliviers ou noyers. Entre 2 000–1 200 m, il domine la végétation alluviale méditerranéenne avec *Nerium oleander* L. et *Tamarix* spp., ou les vergers méditerranéens avec amandiers, caroubiers et oliviers. Au-dessous de 1 200 m, les terrasses fluviales sont couvertes de *Tamarix amplexicaule* Ehrenb. et la végétation des oasis est dominée par les palmiers dattiers sahariens (*Phoenix dactylifera* L.).

Finalement, le bassin du Drâa (↗ 12) inclut d'importantes régions à caractère azonal telles que les plaines argileux du lac Iriki caractérisé par des halophytes éphémères (par exemple, *Frankonia pulverulenta* L., *Mesembryanthemum nodiflorum* L.). D'autres régions azonales incluent les dunes de l'erg Chegagua, avec des spécialiste de sable tels qu'*Aristida pungens* Desf., *Calligonum polygonoides* L., *Tamarix aphylla* (L.) Karst et, sur les sites rudéralisés, *Calotropis procera* (Aiton) Aiton fil.

Les impacts anthropiques transforment non seulement les terres irriguées, mais aussi les steppe arides et semi-arides (↗ 10). La dégradation générale de ces écosystèmes se doit à l'exploitation du bois de feu et au surpâturage continu.

Références

- Ozenda, P. (1977): Flore du Sahara, Editions du CNRS, Paris.
 Quezel, P. et Barbero, M. (1981): Contribution à l'étude des formations présteppiques à genévriers au Maroc. Bol. Soc. Brot., Ser. 2 53, 1137–1160.

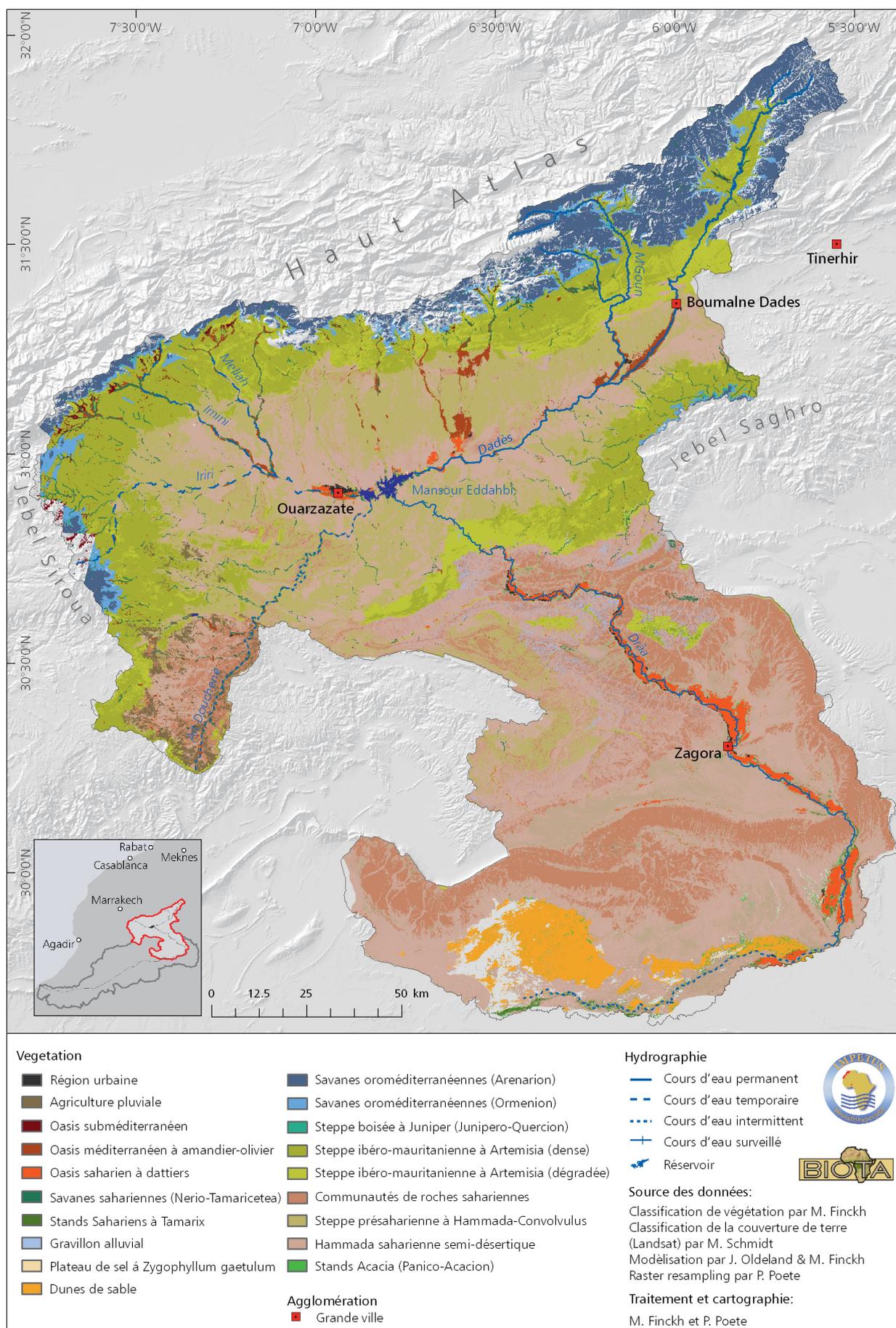


Fig. 1: Carte de la végétation du bassin du Drâa

Propriétés du sol dans le bassin du Drâa

Anna Klose

La disponibilité d'informations sur le sol dans le bassin du Drâa se limite aux régions d'oasis sous agriculture irriguée, couvrant environ 2 % du bassin. La gestion efficace des ressources du sol et de l'utilisation des terres requiert une connaissance de la distribution spatiale du sol. Par conséquent, les cartes des propriétés du sol sont dérivées de données de profil du sol et des relations empiriques avec les données environnementales disponibles.

Données de profil du sol

211 profils du sol dans le bassin du Draa, proviennent du ROSELT/OSS (HCEFLCD, 2004) et le projet IMPETUS, ont été analysés pour déterminer leur teneur en squelette, leur texture, leur composition en carbonate, carbone organique, en azote et leur pH. Pour déterminer les propriétés hydrauliques du sol, les fonctions du pedotransfer ont été appliquées, y compris une correction du teneur en squelette. Les profils sont classés d'après la Base de la Référence Mondiale pour les ressources du sol (WRB) (↗ 15,16).

Régionalisation des propriétés du sol

L'approche CORPT est basée sur l'analyse des relations entre les propriétés du sol et les cinq facteurs de formation du sol (climat, micro-organismes, lithologie et temps; Jenny, 1941). Les paramètres connus qui représentent ces facteurs sont la température et les précipitations (C), le type de végétation (O), divers attributs de terrain déduits du modèle de l'élévation numérique (R) de même que les attributs de la carte au 1:500 000 géologique (P) (↗ 8, 11, 13, 18). L'information sur le temps (T) n'est pas disponible. Des régressions linéaires multiples y compris des variables factices (ce dernier représentant des paramètres nominaux) sont utilisés pour évaluer les relations de façon statistique. Les résultats de l'analyse sont résumés dans le Tableau 1. Les équations de régression ont été utilisées pour produire des cartes des sols et de leurs propriétés (exemples dans les Figs. 1, 2 et 3).

Références

- HCEFLCD (Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification) (2004): Rapport intermédiaire du deuxième avenant de l'observatoire ROSELT/OSS d'Issougui.
- Jenny, H. (1941): Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. New York, Dover Publications Inc.

Tableau 1: Valeurs statistiques estimées des propriétés du sol et qualité de régionalisation.

Soil Property	moyenne	ET	R ²	RMSE
Profondeur du sol [cm]	85,59	66,93	0,47	49,22
sup. profondeur [%]	43,59	28,71	0,42	22,42
sup. teneur en squelette [%]	43,49	23,42	0,79	10,77
sup. sable [%]	44,87	20,04	0,57	13,29
sup. limon [%]	37,93	16,71	0,47	12,26
sup. argile [%]	17,13	9,38	0,69	5,18
sup. CaCO ₃ [%]	11,80	12,68	0,49	9,43
sup. carbone org. [%]	0,67	0,72	0,56	0,48
sup. azote [%]	0,06	0,07	0,58	0,04
sup. pH	8,45	0,48	-	-
inf. profondeur [%]	64,42	20,57	0,52	14,28
inf. teneur en squelette [%]	48,83	25,73	0,54	17,41
inf. sable [%]	42,45	21,51	0,55	14,41
inf. limon [%]	36,82	16,71	0,56	11,07
inf. argile [%]	20,70	11,20	0,56	7,44
inf. CaCO ₃ [%]	17,19	16,80	0,35	14,25
inf. carbone org. [%]	0,52	0,59	0,84	0,24
inf. azote [%]	0,06	0,10	0,89	0,03
inf. pH	8,41	0,49	0,64	0,29

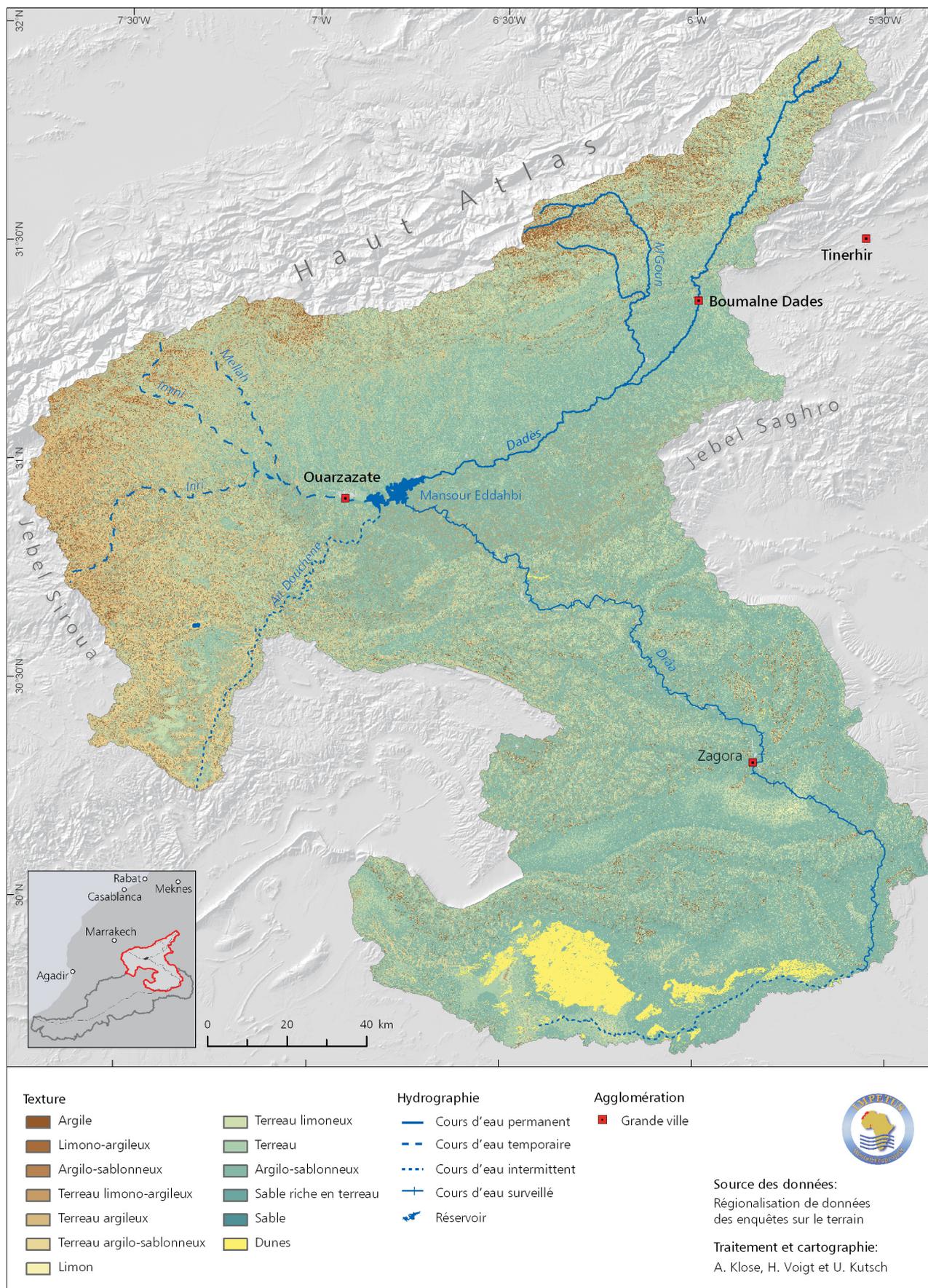


Fig. 1: Texture de l'horizon supérieur du sol dans le bassin du Drâa

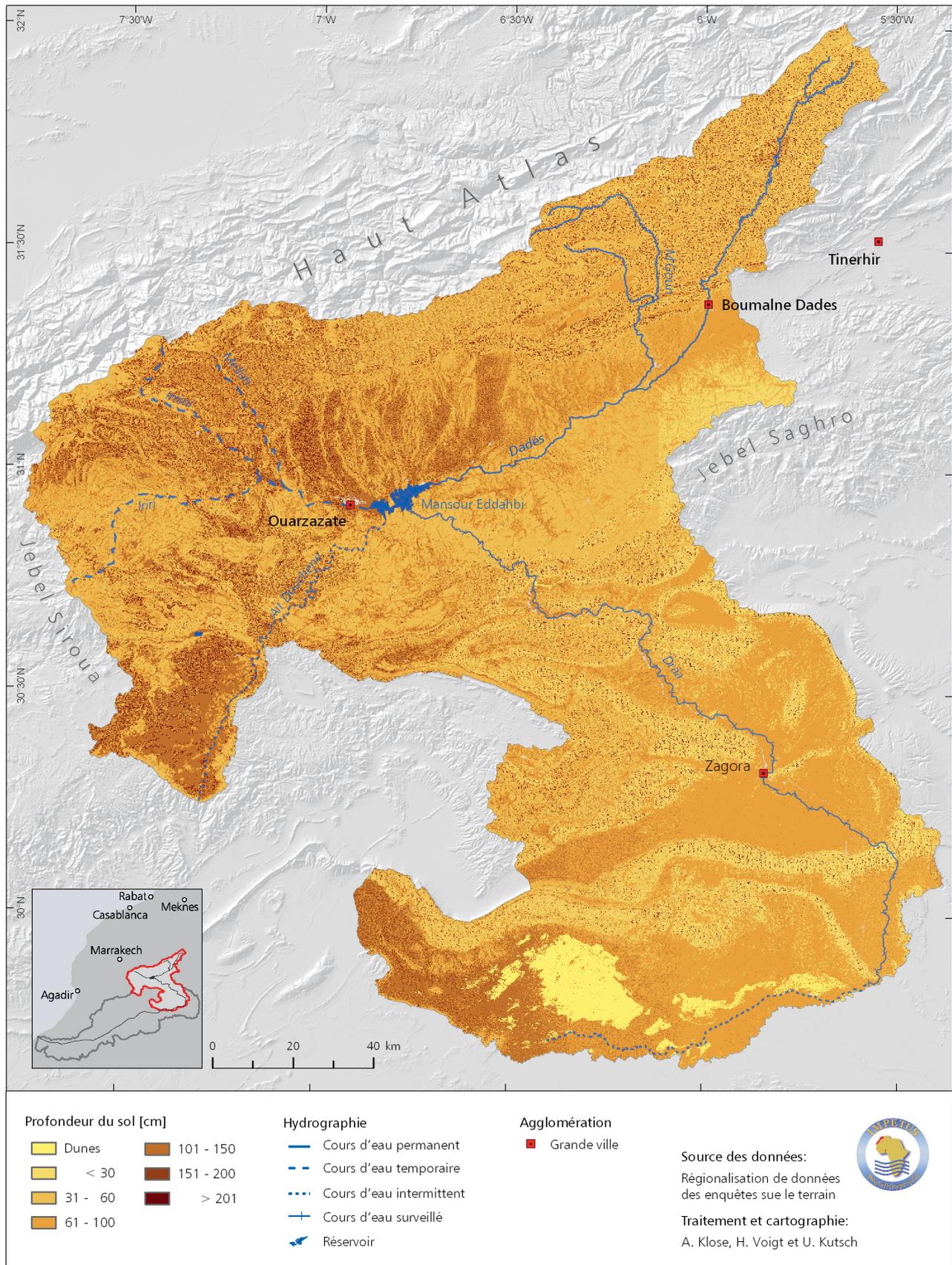


Fig. 2: Profondeur du sol dans le bassin du Drâa

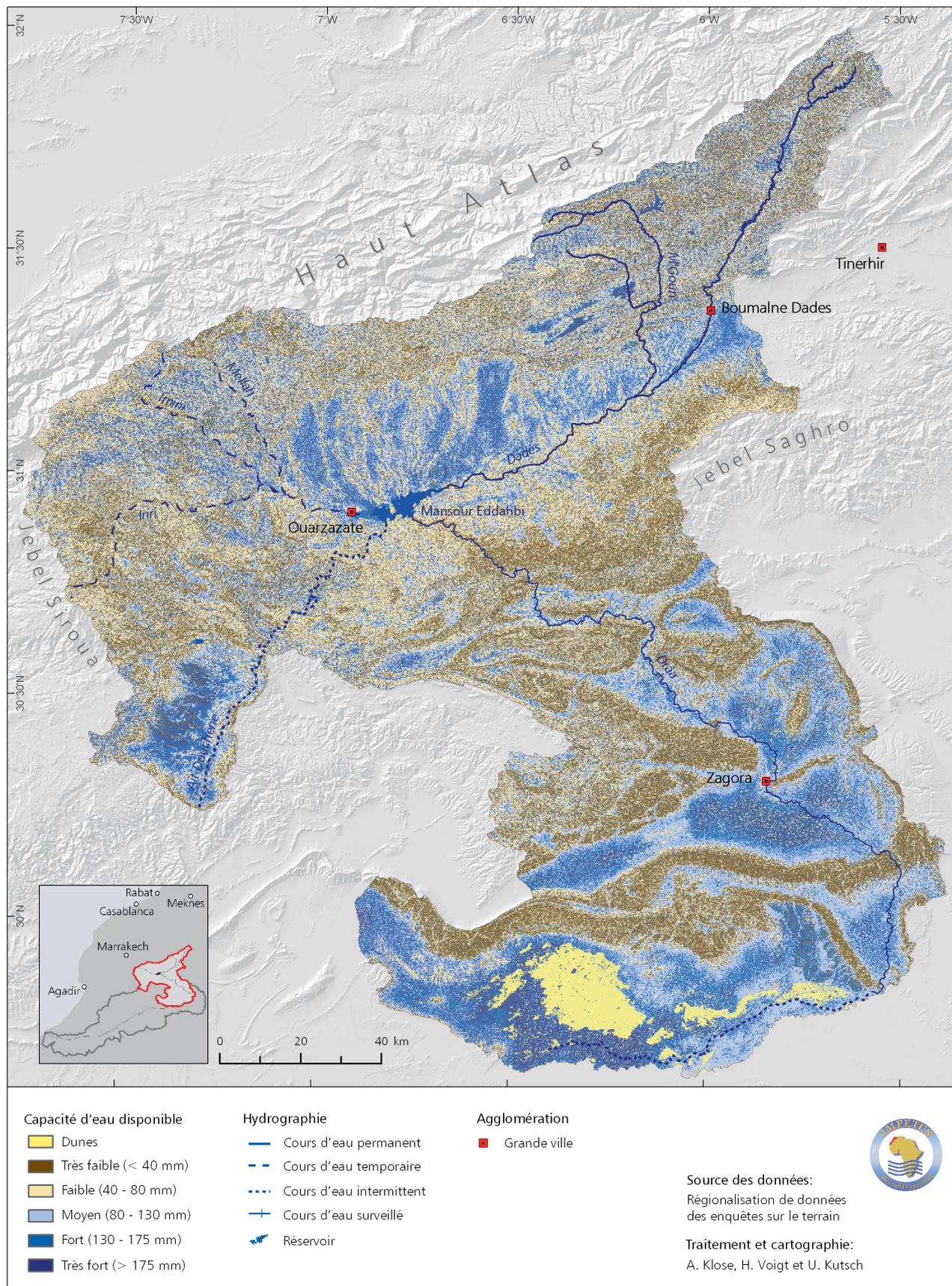


Fig. 3: Capacité de l'eau disponible dans le bassin du Drâa

Salinité du sol – Etude de cas de Ouled Yaoub

Anna Klose

La salinisation du sol est l'une des contraintes majeures en agriculture irriguée. L'irrigation des dattiers dans les palmeraies le long de l'Oued Drâa dépend des lâchers de l'eau du réservoir Mansour Eddahbi. En période de sécheresse, ces lâchers sont irréguliers et insuffisants, ainsi l'irrigation est faite avec l'eau de la nappe de qualité douteuse conduisant à une augmentation de la salinité du sol. Nous présentons ici l'exemple des champs du village Ouled Yaoub (palmeraie de Tinzouline).

Salinité dans les palmeraies du Drâa

La salinité du sol aboute à une perte de récolte et entraîne l'instabilité structurale du profil de sol si le pourcentage du sodium est élevé. Si les sels sont soit lessivés ou accumulés dans le sol après irrigation avec de l'eau salée, cela dépend de la quantité d'eau apportée, des propriétés du sol, des fruits des champs cultivées et du drainage. Dans le bassin du Drâa, la salinité de l'eau de surface et de la nappe (les deux sources d'eau pour l'irrigation), augmente du nord au sud. Par conséquent, la salinité du sol augmente, bien qu'une relation simple entre l'eau et la qualité du sol n'existe pas. Le problème se complique quand on remarque que globalement la salinité du sol a augmenté entre 1968 et 1980 (Fig. 1).

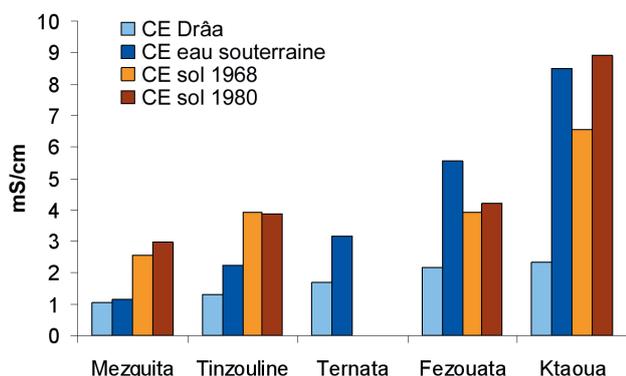


Fig. 1: Salinité moyenne d'eau de la surface, d'eau souterraine et du sol (pâte saturée, données pour Ternata manquantes) dans les oasis du Drâa, selon la conductivité électrique (CE) (source: Bouidida, 1990)

Etude de cas de Ouled Yaoub

Le village Ouled Yaoub est situé au sud de la palmeraie de Tinzouline (Fig. 2). Ce village a été choisi comme site test à cause de sa position en amont d'une barrière hydrogéologique. La région agricole qui appartient à Ouled Yaoub couvre approximativement une superficie de 90 ha.

Des échantillons composites ont été pris sur 1 ha (15–20 échantillons / ha) dans 26 régions et ont été analysés par rapport à leur teneur en squelette, leur texture (Fig. 3), au carbone organique (Co), en azote, en carbonate, en pH, la conductivité électrique (CE) et la composition ionique de l'eau échantillonnée du sol (van Reeuwijk, 1995, Tableau 1).

Tableau 1: Propriétés du sol à Ouled Yaoub (SD = Ecart type)

	moyenne	SD	Min	Max
squelette [%]	0,67	0,63	0,0	2,55
CED [vol.-%]	16,93	0,95	14,6	18,6
Ks [cm/day]	89,68	90,59	14,1	355,3
Co [%]	0,95	0,21	0,56	1,25
azote [%]	0,08	0,03	0,0	0,11
proportion C/N	12,4	1,39	9,71	16,2
carbonate [%]	8,28	2,07	4,3	11,4
pH	8,2	0,21	8,04	8,57
CE [mS/cm]	5,6	2,11	2,27	11,6
RAS	3,74	0,99	0,92	5,52
PSE	4,07	1,36	0,10	6,44

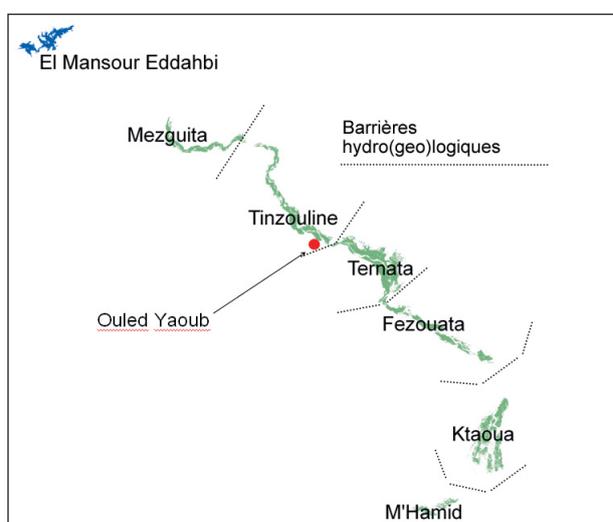


Fig. 2: Position du site d'essai à Ouled Yaoub

La conductivité hydraulique saturée (Ks) et capacité de l'eau disponible (AWC) sont dérivées à partir des fonctions pédotransfert. Le ratio d'absorption du sodium (SAR) et le pourcentage du sodium échangeable (ESP) sont des mesures pour la saturation du sodium (Tableau 1).

Le teneur en squelette est négligeable. En raison de sa texture limoneuse, la capacité de l'eau disponible est moyenne à fort. La moyenne Ks peut être classée comme fort, mais l'écart type est aussi fort; les valeurs variant de moyen à très fort. Le carbone organique et le contenu de l'azote sont généralement bas, alors que les proportions C/N indiquent une qualité d'humus de moyen à fort. Les sols sont faiblement carbonatés à carbonate-riches. Co, azote et CaCO₃ sont clairement et positivement corrélés au contenu de l'argile ($r^2 = 0,71; 0,73; 0,61$). La pédoséquence de la rive montre que le contenu en argile augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lit de la rivière pour atteindre son maximum à 500–800 m, puis baisse à nouveau (Fig. 3, $r^2 = 0,62$). Cette caractéristique, aussi bien que la corrélation avec éléments nutritifs et le CaCO₃, indique un méandre mort ou les particules les plus fines qui sont déposées (là où la vitesse du courant est le moins fort), tandis que l'évaporation laisse en arrière le contenu du carbonate. Cependant, les valeurs de CE du sol ne montrent pas une caractéristique spatiale claire ou une corrélation avec d'autres facteurs (Fig. 4). A partir de la classification de Ritzema (1994), les sols varient de légèrement à fortement salés. Les sols ne peuvent pas être classés comme sodiques, puisque les valeurs maximales de ESP et SAR sont considérablement en dessous des valeurs critiques (Ritzema, 1994). Au regard des propriétés physiques, les sols de Ouled Yaoub peuvent être considérés comme adéquate pour une utilisation agricole. L'approvisionnement du sol en nutriments naturels est faible; il est donc nécessaire d'y appliquer des engrais. Du fait de la forte teneur en carbonate, les croûtes peuvent se former et restreindre l'enracinement. Comme conséquence de la salinité, les fruits des champs devraient être au moins modérément sel-tolérants (14, 21, 29, 32).

Références

Buidida, A. (1990): Salinité des eaux de la vallée du Drâa - situation actuelle et évolution. Institut Agronomique et Vétérinaire. Rabat, Université Hassan II. Diplôme: 146.
 Van Reeuwijk, L. P. E. (1995): Procedures for soil analysis. Wageningen, The Netherlands, ISRIC.
 Ritzema, H. P. E. (1994): Drainage Principles and Applications. 2nd Edition. Wageningen, ILRI.

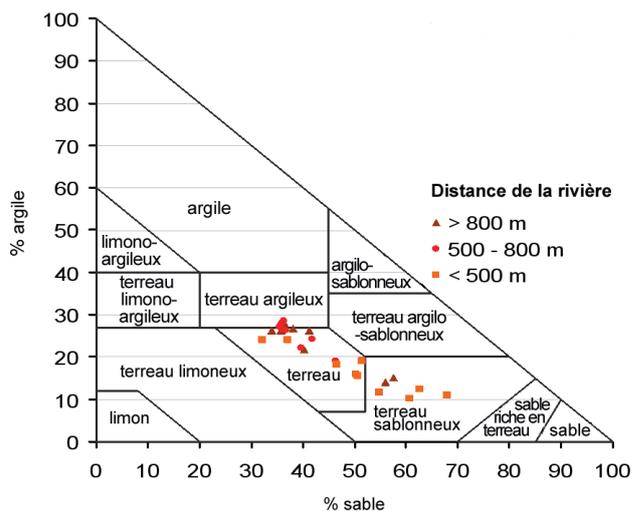


Fig. 3: Texture du sol à Ouled Yaoub

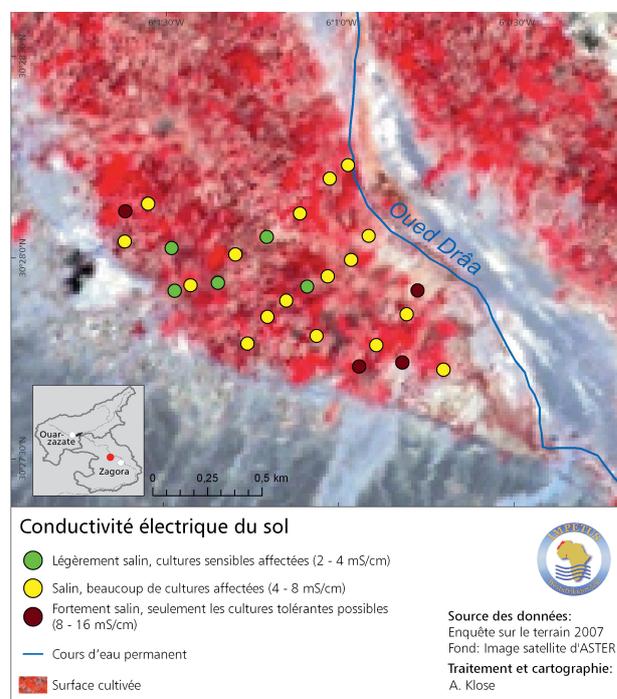


Fig. 4: Salinité du sol à Ouled Yaoub

Risque d'érosion du sol dans le bassin du Drâa

Anna Klose

En raison de la déclivité forte du terrain, du surpâturage, de la végétation clairsemée et de l'agressivité des précipitations, le bassin du Drâa est particulièrement vulnérable à l'érosion du sol. Les effets hors site, tel que l'ensablement du réservoir Mansour Eddahbi, causent des problèmes pour l'agriculture irriguée en aval. Pour exécuter des mesures anti-érosives effectives, il est crucial de déterminer des régions à haut risque d'érosion. Du fait de l'inexistence de mesures, le risque d'érosion est évalué à l'aide du modèle PESERA (Pan European Soil Erosion Risk Assessment).

Ampleur de l'érosion dans le bassin du Drâa

Les données sur l'ampleur d'érosion du sol proviennent de relevés bathymétriques du réservoir Mansour Eddahbi, situé près de la ville de Ouarzazate (↗ 17, 19). La superficie du réservoir du bassin est de 15 000 km² et s'étend du Haut Atlas au bassin de Ouarzazate. Le réservoir a perdu 25 % de sa capacité en 26 années (1972–1998), correspondant à un taux d'érosion de 4,6 t/ha*an. La Figure 1 montre les extrapolations linéaires et polynomiales basées sur ces données jusqu'en 2025.

La différence entre les deux tendances montre leurs limites à prédire l'érosion et leur manque d'information au sujet de la distribution spatiale d'érosion du sol.

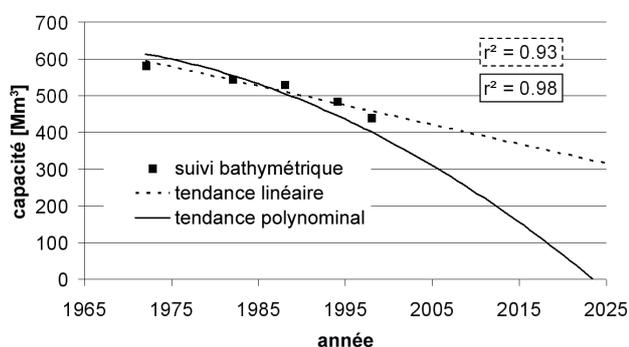


Fig. 1: Relevés bathymétriques dans le réservoir Mansour Eddahbi et extrapolation à 2025 (source de données: DRH de Sous-Massa et Drâa)

Approche de modélisation

L'ampleur et la distribution d'érosion du sol sont modélisées en utilisant PESERA (Pan European Soil Erosion Risk Assessment). Le modèle a été développé dans la structure du projet homonyme (Kirkby et al., 2004) pour simuler le risque de l'érosion du sol pour toute Europe. C'est un modèle de physique de type raster capable d'estimer les taux d'érosion mensuelle (t/ha) dans les grands bassins. Il est adapté aux conditions semi-arides et n'exige généralement que peu des paramètres d'entrée disponibles. Le risque de l'érosion est calculé en fonction de la topographie, du sol, de la végétation et du climat (↗ 5, 6, 8, 11, 13, 14).

Les résultats du modèle ne peuvent pas être directement comparés aux simples données du réservoir étant donné que PESERA ne considère pas les processus de déposition. Ainsi, comme un premier test, les résultats sont comparés à un modèle statique développé pour le Maroc (Yassin, 1996). Ces résultats s'accordent bien (coefficient de kappa pondéré = 0,76), indiquant l'applicabilité du modèle pour simuler les processus dans le bassin enquêté. Les résultats préliminaires de PESERA sont donnés dans la Figure 2.

Références

- Kirkby, M. J., Jones, R. J. A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A. J. J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G. J. et Huting, J. (2004): Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Yassin, M., Bouh, S. et Akdim, I. (1996): Approche méthodologique de cartographie de l'érosion dans le bassin versant de Qued Korifla. Annales de la Recherche Forestière du Maroc 29: 133–150.
- Zeyen, A. et Diekkrüger, B. (2006): Modelling Soil Erosion by Water in the Drâa Catchment (South Morocco) with PESERA. 14th International Soil Conservation Organization Conference, Marrakech, Morocco.

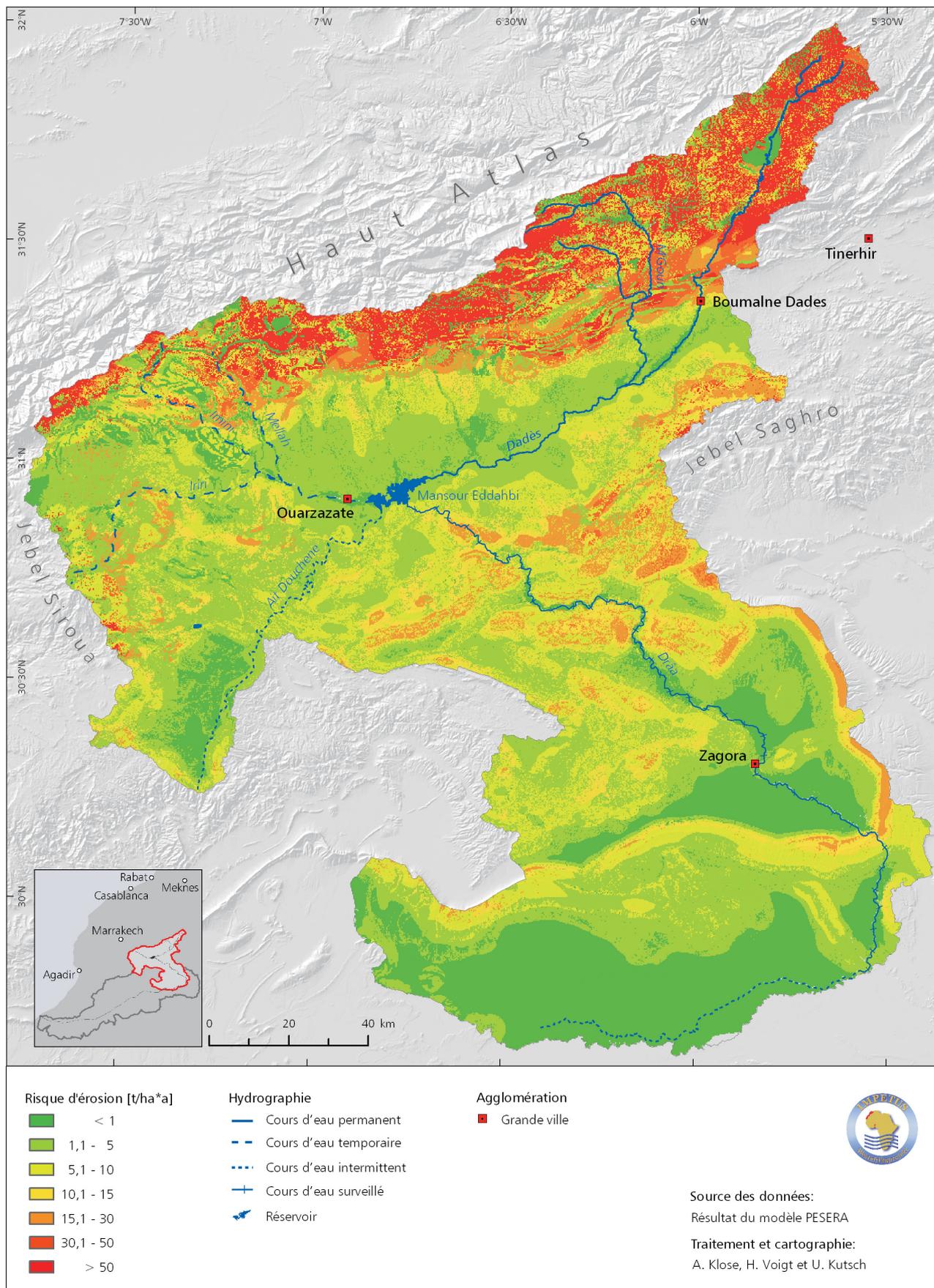


Fig. 2: Estimation de risque d'érosion dans le bassin du Drâa



Réservoir Mansour Eddahbi près de Ouarzazate.



Disponibilité en eau

17 L'hydrologie du bassin du Drâa

Henning Busche

Des précipitations très variables et les grandes pertes par évaporation causent d'importants problèmes de gestion de l'eau au Maroc. Ceci est particulièrement vrai pour la région sud de la montagne du Haut Atlas à la frontière du Sahara. La disponibilité de l'eau dépend de différents processus hydrologiques dans les montagnes et dans le bassin de Ouarzazate, ainsi que dans la Vallée du Drâa Moyen. Ici, le système de crues naturelles a été remplacé par un régime contrôlé des débits, depuis que le réservoir Mansour Eddahbi a été mis en service.

Haut Atlas

De grandes quantités de précipitations (neige et pluie) dans les montagnes du Haut Atlas sont les plus fiables sources d'eau douce dans les basses terres, même si environ 75 % est perdu par évaporation. Les seules rivières pérennes du domaine d'étude, M'goun et Dadès sont alimentées par les aquifères karstiques de la crête montagneuse du nord-est du Haut Atlas (jusqu'à 4 071 mètres d'altitude). Cet aquifère est alimenté par la fonte de neige et l'infiltration de l'eau à travers les lits de graves hautement perméables des canaux affluents. Exceptés les événements de crues, environ 80 % des eaux de ruissellement et d'infiltration atteignent le canal principal, conduisant à un écoulement souterrain presque constant toute l'année (Fig. 1a). Dans d'autres rivières montagneuses, des débits périodiques surviennent de l'automne au printemps en raison de l'augmentation des tempêtes et la fonte des neiges, mais il n'y a pratiquement pas d'écoulement souterrain en été, étant donné que la roche fracturée ne dispose pas d'attributs tampon du karst. Lors des crues, la géologie est d'une importance mineure, comme le ruissellement est le processus majeur (↗ 8, 18, 19, 20, 23).

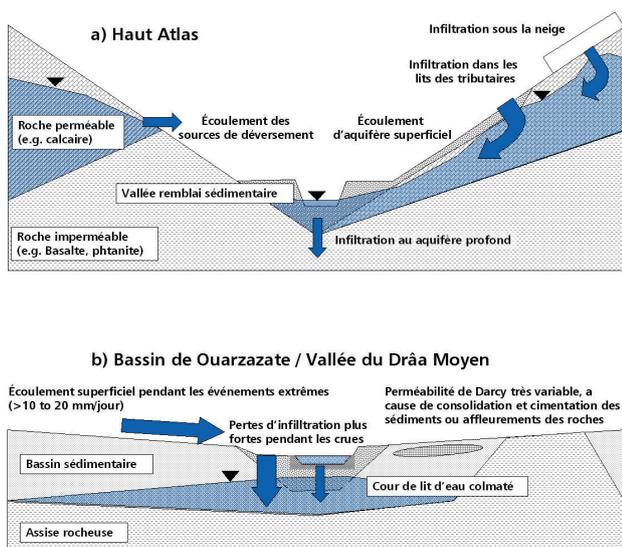


Fig. 1: Procédure de génération de la décharge (a) dans l'Haut Atlas et (b) dans le bassin de Ouarzazate / Vallée du Drâa Moyen

Le bassin de Ouarzazate et la Vallée du Drâa Moyen

L'écoulement souterrain du Haut Atlas est acheminé par le bassin de Ouarzazate. Les pertes par transmission sont faibles, étant donné que le lit du canal est en grande partie naturellement scellé. Des événements extrêmes rares amènent l'ensemble du bassin et de la vallée à contribuer épisodiquement au ruissellement (Fig. 1b). Comme la capacité d'infiltration de la couche rocheuse peu profonde du sol est rapidement dépassée pendant les fortes pluies, de vastes zones génèrent des eaux de ruissellement. Dans ce cas, de grandes quantités d'eau s'infiltrent dans les plaines inondables perméables et le lit de la rivière, rechargeant ainsi les nappes souterraines. Avant la construction du réservoir, les eaux de ruissellement atteignaient le Lac Iriqui - lac endoréique du Drâa et un pan d'argile sèche - seulement pendant les crues, puisque la quantité d'eau est insuffisante pour parcourir les derniers 750 km le séparant de l'océan Atlantique (Basse Vallée du Drâa) (↗ 18, 19, 21, 30, 32, 33).

Régime contrôlé par l'homme

En 1972, la construction du réservoir Mansour Eddahbi a été terminée. Depuis lors, le débit d'écoulement dans la Vallée du Drâa Moyen se déroule par portions contrôlées appelées lâchers. Le réservoir remplit trois objectifs:

- Assurer l'irrigation,
- Générer de l'énergie hydroélectrique, et
- Réduire les risques d'inondation pendant des crues

Idéalement, sept lâchers, de 35 millions m³ chacun, sont libérés chaque année au cours de la période de production. Tant que ce volume est fourni par la pluie, la disponibilité de l'eau est prévisible et l'usage de l'eau peut être optimisé. La plupart des palmeraies ont leurs propres petits réservoirs, qui sont remplis en commençant par le réservoir Bounou dans le sud et se terminant avec le réservoir Agdz dans le nord. Pour couvrir les périodes entre les lâchers, les eaux souterraines sont utilisées pour l'irrigation, via l'utilisation d'un nombre croissant de moto-pompes. Dans les années de sécheresse, une petite quantité d'eau est libérée du réservoir pour recharger les systèmes aquifères des oasis. L'eau d'irrigation est alors uniquement tirée à partir des puits.

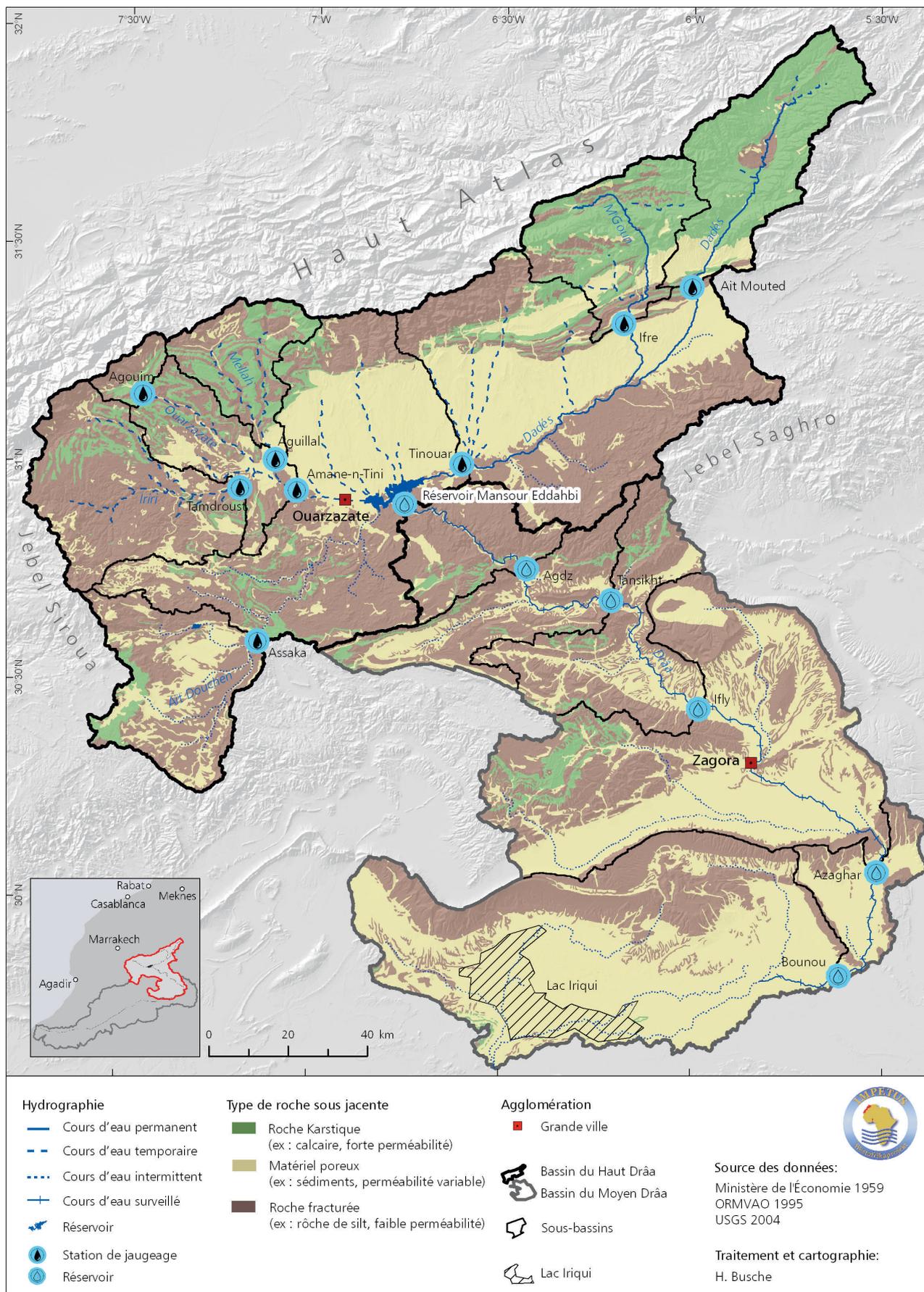


Fig. 2: Hydrographie des bassins du Haut et Moyen Drâa

Carte hydrogéologique du bassin du Drâa

Stefan Klose

La carte hydrogéologique du bassin versant du Drâa à 1:500 000 donne une vue d'ensemble des propriétés hydrogéologiques principales du substratum peu profond. Afin de contribuer à une gestion intégrée des eaux souterraines, les données ont été évaluées et combinées sur les cartes thématiques, présentant une gamme possible des paramètres hydrogéologiques.

Information hydrogéologique

La carte hydrogéologique des bassins versants du Haut et Moyen Drâa à 1:500 000 présente des informations hydrogéologiques sur le substratum peu profond. Cette carte est réalisée à partir de la carte géologique du Maroc, feuille Ouarzazate à 1:500 000, qui a été numérisée et interprétée. Les unités géologiques sont classifiées en termes de leurs caractères géochimiques généraux, types des porosités et conductivités hydrauliques.

Par conséquent, des attributs hydrogéologiques sont assignés à chaque unité stratigraphique basée sur des descriptions lithologiques dérivées de la légende de la carte géologique et des enquêtes sur le terrain. Ainsi, l'évaluation de la structure des complexes d'aquifères est ajustée sur les unités géologiques identiques et sur les supports lithologiques similaires. Toute l'information est implémentée dans le Système d'Information Géographique (SIG) ArcView.

Attributs hydrogéologiques

Les différents thèmes hydrogéologiques peuvent être visualisés en utilisant leurs attributs hydrogéologiques. La porosité et la conductivité hydrauliques sont choisies comme des principaux attributs pour caractériser globalement la configuration de la couche aquifère. Par ailleurs, d'autres caractéristiques simples (par exemple données géochimiques) sont également disponibles.

Tous les attributs sont classifiés fondamentalement selon la carte hydrogéologique de l'Allemagne à 1:200 000, qui représente une contribution au Programme International Hydrologique (PHI) de l'UNESCO (URL 1; Dörhöfer et al., 2001). En conséquence, les catégories géochimiques de base sont siliceuses, carbonatiques, sulfatiques, halitiques et organiques.

Afin de classier le type de porosité, les catégories courantes comme poreus, fracturée et karstique sont aussi bien employés que des combinaisons de ces classes.

La conductivité hydraulique est désignée par des valeurs K classifiées. Les valeurs minimum et maximum possibles de K sont définies sur la base de la gamme des conductivités hydrauliques indiquées par Freeze et Cherry (1979). Les classes de conductivité hydraulique sont ajustées sur la base de la classification de la carte hydrogéologique de l'Allemagne à 1:200 000 (URL 1).

Carte hydrogéologique

La carte hydrogéologique numérique du bassin supérieur et moyen de Draa à 1:500 000 montre aussi bien des thèmes simples que des ensembles combinés. Un masque combiné de type de porosité et de conductivité hydraulique est choisi comme carte de base. Pour une première évaluation des mesures de gestion des eaux souterraines, les caractéristiques hydrogéologiques régionales peuvent être triés de cette carte (↗ 17, 20, 21).

Références

- URL 1: http://www.bgr.bund.de/cln_011/nn_330804/DE/Themen/Wasser/Projekte/Berat__Info/Huek200/huek200__projektbeschr.html
 Dörhöfer, G., Hannappel, S. et Voigt, H. J. (2001): Die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland (HÜK200). Z. angew. Geol., 47, 2.
 Freeze, R. A. et Cherry, J. A. (1979): Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 604 p.

Tableau 1: Classification de la conductivité hydraulique

Classe de la conductivité hydraulique	K [m/s]
Très fort	$>10^{-2}$
Fort	$>10^{-3} - 10^{-2}$
Moyen	$>10^{-4} - 10^{-3}$
Modéré	$>10^{-5} - 10^{-4}$
Modéré à faible	$>10^{-6} - 10^{-4}$
Faible	$>10^{-7} - 10^{-5}$
Très faible	$>10^{-9} - 10^{-7}$
Ultra faible	$<10^{-9}$
Faible à hyper faible	$<10^{-5}$
Fortement variable	si la gamme des valeurs de K ne correspond pas aux classes au-dessus

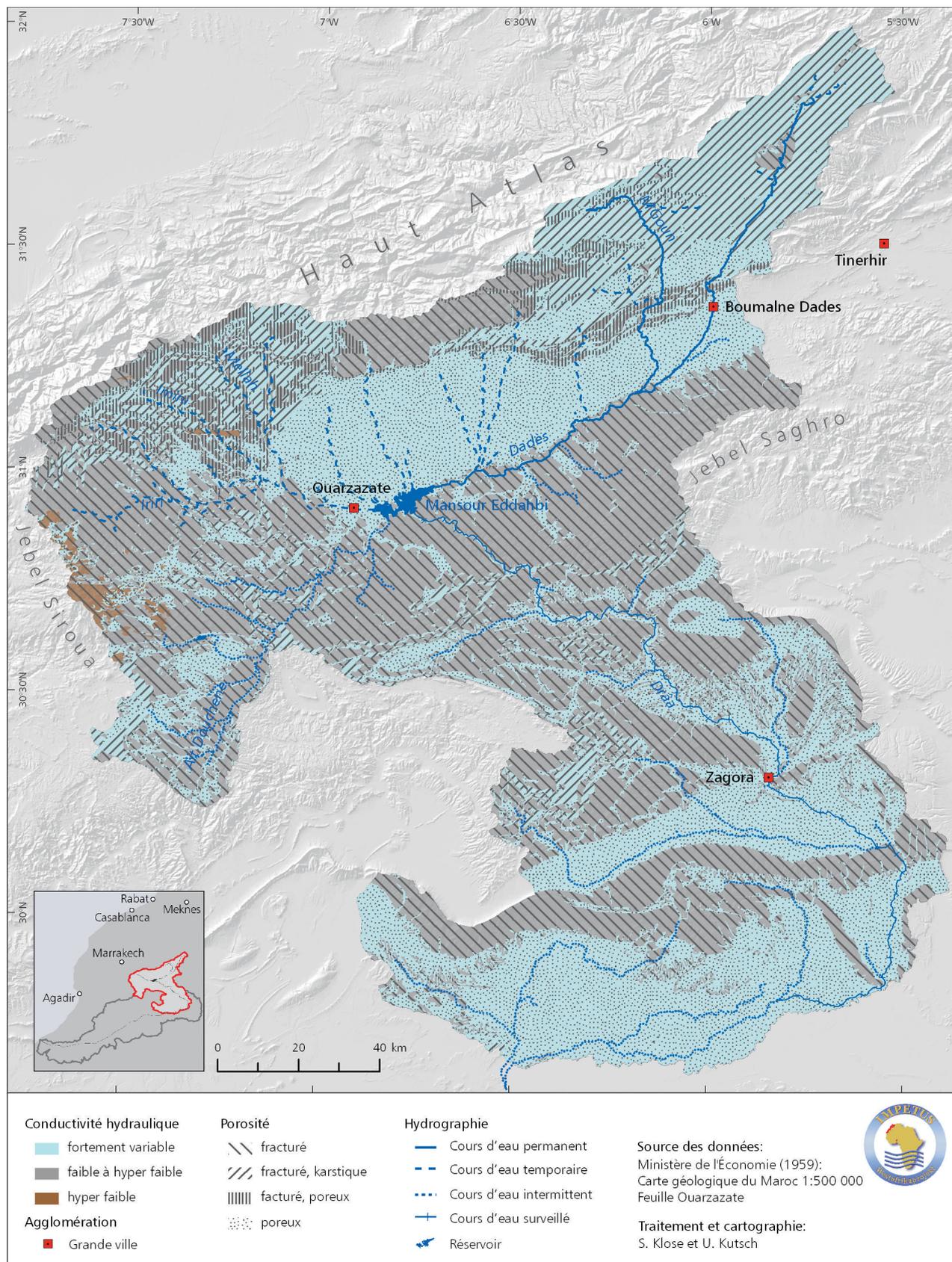


Fig. 1: Hydrogéologie des bassins du Haut et Moyen Drâa

Le réservoir Mansour Eddahbi et ses affluents

Henning Busche

Le bassin du Haut Draa est sous l'influence du régime hydrologique du climat subtropical semi-aride. La recharge du réservoir dépend des aquifères pérennes de l'Oued Dadès, des aquifères saisonniers de l'Oued Ouarzazate et des eaux de ruissellement issues des orages. Les processus qui sous-tendent la genèse de l'écoulement sont différents dans chaque cas et leur importance varie, particulièrement entre les périodes sèches et humides.

Le processus général de recharge

Approximativement le quart des précipitations totales enregistrées dans le secteur d'étude tombe dans la région montagneuse au-dessus de 2 500 mètres d'altitude, et couvre environ le huitième de la superficie. Par conséquent, la procédure de genèse de la recharge en haute altitude doit être minutieusement étudiée. Le régime des nappes phréatiques (eaux souterraines) généré en haute altitude au nord-est du bassin (Jauges Ifre et Ait Mouted) alimente l'Oued Dadès, le seul affluent permanent du réservoir Mansour Eddahbi (Fig. 3). Le réservoir a également des affluents temporaires qui contribuent à son alimentation en automne et au printemps, en raison de la fréquence saisonnière des activités orageuses et de la fonte de neige (Jauges Tamdroust, Agouillal et Amane-n-Tini). Les affluents intermittents (Jauge Assaka et le bassin central non jaugé, de même que l'Anti-Atlas) contribuent seulement pendant des événements extrêmes de crues (↗ 6, 8, 17, 23).

Sensibilité de la recharge

Le bassin de Ouarzazate est sous l'influence d'un régime de précipitation fortement variable. Cependant, la variabilité du rendement annuel de l'eau est presque deux fois plus forte que la variabilité de la précipitation annuelle (Fig. 1). Cela est dû à l'influence des crues extrêmes avec des coefficients d'écoulement élevés. En années sèches, les crues extrêmes sont rares; ainsi, l'écoulement souterrain permanent du Dadès est la seule recharge qui atteint le réservoir.

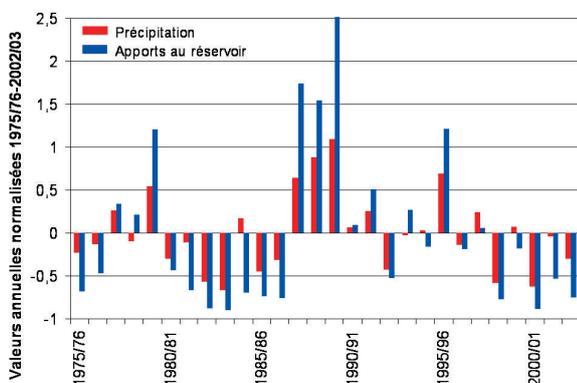


Fig. 1: Flux normalisé du réservoir Mansour Eddahbi et précipitation normalisée dans le bassin de Ouarzazate (Stations Ouarzazate, Ifre, Ait Mouted et M'Semrir; Source: Service Eau et ORMVAO, Ouarzazate)

Écoulement souterrain

Même en années de sécheresse, le système de circulation des eaux souterraines des régions nord-est reste actif, fournissant ainsi une base fiable pour l'irrigation dans la Vallée du Dadès et l'apport presque constant de 50 millions de m³ par an au réservoir (Fig. 2). C'est ce qui permet, même en années de sécheresse grave que le réservoir ne tarisse.

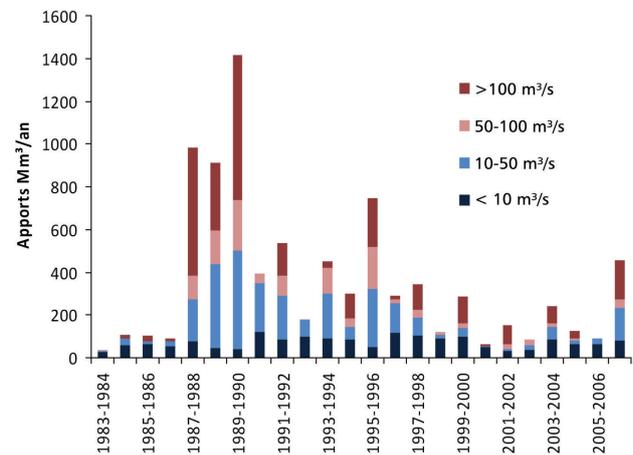


Fig. 2: Flux annuel du réservoir Mansour Eddahbi et la distribution des crues (Source: ORMVAO)

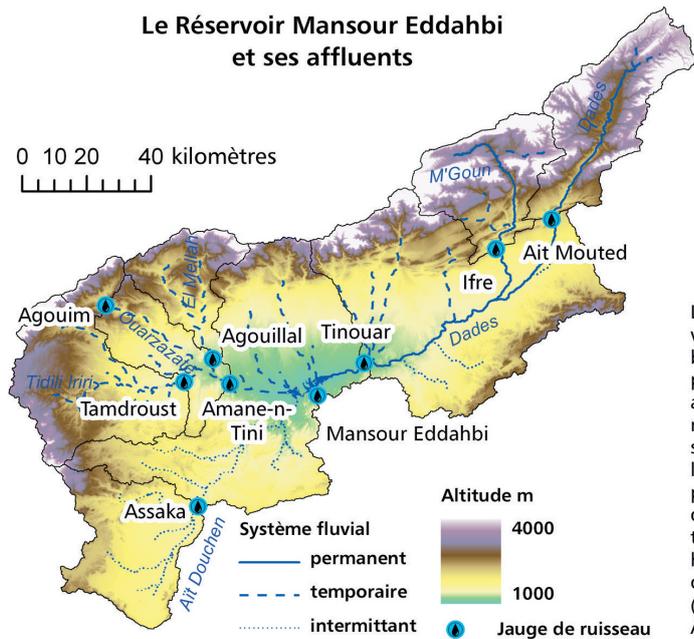
Crues

Pour assurer l'irrigation aux palmeraies de la Vallée du Drâa Moyen, 245 millions de m³ d'eau sont nécessaires tous les ans, de sorte que les 7 lâchers requis (35 millions de m³) puissent être approvisionnés (ORMVAO, 1995).

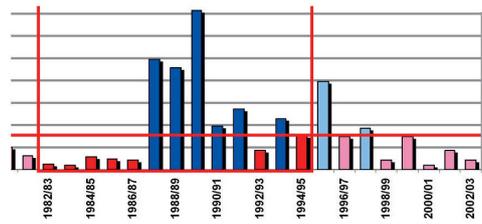
Approximativement 56 millions de m³ d'eau additionnel sont perdus par évaporation, pertes d'infiltration, et approvisionnement en eau pour la ville de Ouarzazate. Les crues sont donc nécessaires pour couvrir les besoins en irrigation de la Vallée du Drâa Moyen (↗ 21, 28, 29, 30, 32, 33).

Références

ORMVAO (1995): Etude d'amélioration de l'exploitation des systèmes d'irrigation et de drainage de l'ORMVAO. Vol. 1.



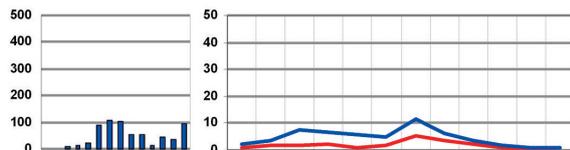
Recharge du réservoir Mansour Eddahbi



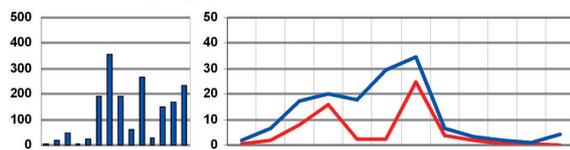
Les années où une recharge de 300 millions de m³ d'eau au réservoir n'est pas atteinte sont considérées comme années sèches (les barres rouges) ou alors années humides (barres bleues). Pour la période 1982-1996 (couleurs noires) la recharge annuelle des affluents principaux est donnée ci-dessous, de même que la recharge mensuelle pendant les années sèches et humides séparément. Les affluents orientaux permanents fournissent l'alimentation en eau tout au long de l'année, bien que les années particulièrement humides soient caractérisées par des activités distinctes d'orage en automne. Les affluents périodiques occidentaux en général fournissent peu de recharge en été. Les années humides sont caractérisées par une recharge accrue seulement d'automne au printemps. Les affluents intermittents du sud-ouest (aussi bien les parties centrales du bassin que les parties de l'Anti-Atlas) fournissent seulement la recharge en quelques années.

Affluents temporaires:

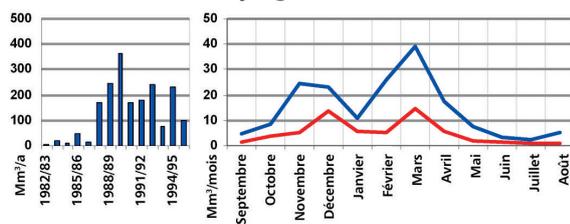
El Mellah à la jauge de Agouillal



Tidili Iriri à la jauge Tamdroust

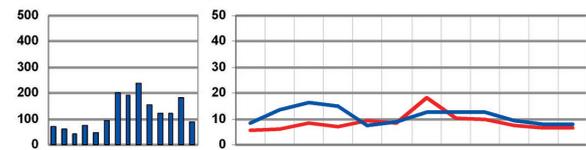


Oued Ouarzazate à la jauge Amane-n-Tini

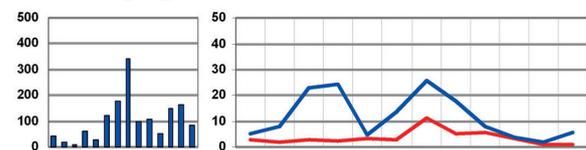


Affluents permanents:

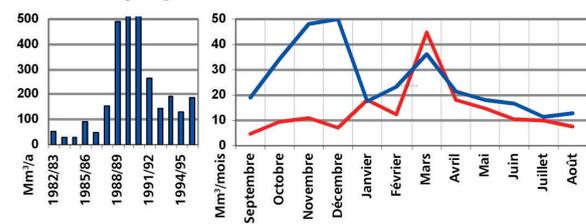
Oued M'Goun à la jauge Ifre



Dades à la jauge Ait Mouted

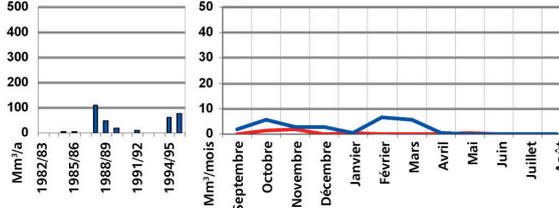


Dades à la jauge Tinouar



Affluents intermittants:

Ait Douchen à la jauge Assaka



Traitement et cartographie:
H. Busche
H. Voigt

Source des données:
ORMVA Ouarzazate
Service Eau Ouarzazate

Fig. 3: Le Réservoir Mansour Eddahbi et ses affluents

20 Hydrogéologie du bassin de Assif-n-Ait Ahmed

Sébastien Cappy, Stephan Klose, Harald Hoffmann, Volker Osterholt et Simone Bell

Le bassin versant Assif-n-Ait Ahmed est un sous-bassin du bassin du Haut Drâa localisé dans les montagnes du Haut Atlas. La distribution des unités géologiques et leurs caractéristiques hydrogéologiques ont été étudiées en vue de mettre au point un modèle conceptuel hydrologique. En outre, l'hydrochimie et les isotopes donnent un aperçu du système d'écoulement des eaux souterraines locales.

Caractéristiques des bassins

Le bassin de Assif-n-Ait Ahmed est situé au sud de la chaîne de montagnes du Haut Atlas Central, adjacent à la crête de Jbel M'Goun (4071 m d'altitude). Il couvre une superficie d'environ 110 km², avec une altitude allant de 2 000 à 4 071 m d'altitude. Le climat est de type semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles varient entre 250 et 800 mm selon l'altitude (Schulz, 2006). Le bassin de Assif-n-Ait Ahmed est alimenté par de nombreuses sources. Il est un affluent du Oued M'Goun qui se déverse dans le bassin de Ouarzazate. La morphologie est dominée par des éboulis de pentes, des éventails de débris, des débris des chenaux et des oueds profondément incisés (De Jong et al., 2004) (↗ 8, 9, 11, 12, 19, 31).

Cadre géologique

La structure géologique du bassin Assif-n-Ait-Ahmed est caractérisée par un anticlinal de direction est-ouest qui expose des roches du Trias. Les formations du Lias de la « Nappe Toundoute » repose sur les roches de Trias par un cheveu-

chement (El Harfi et al., 2001). Les schistes du Trias, à contenu partiellement sablonneux sont retrouvés au pied de la pente. Ils contiennent des roches évaporitiques comme le gypse et le halite. Les basaltes du Trias sont intercalés et affleurent généralement sur les pentes. Les formations du Trias couvrent environ 24 % de la superficie du bassin. Le faciès du grès carbonatique apparaît localement à la base des formations du Lias; ce qui est constitué principalement de calcaires et de dolomites qui composent les crêtes. Les formations du Lias couvrent environ 60 % de la superficie du bassin versant; les dépôts récents du Quaternaire couvrent les 16 % restants. Les sédiments quaternaires consolidés affleurent comme des parcelles de brèches; les lits de rivières et les débris sont formés par des sédiments caillouteux et sablonneux.

Des informations géologiques détaillées sont fournies par la carte géologique du bassin de Assif-n-Ait Ahmed à 1:25 000, et ceci d'après une cartographie de plusieurs campagnes de terrain au sein du projet IMPETUS (Fig. 1).

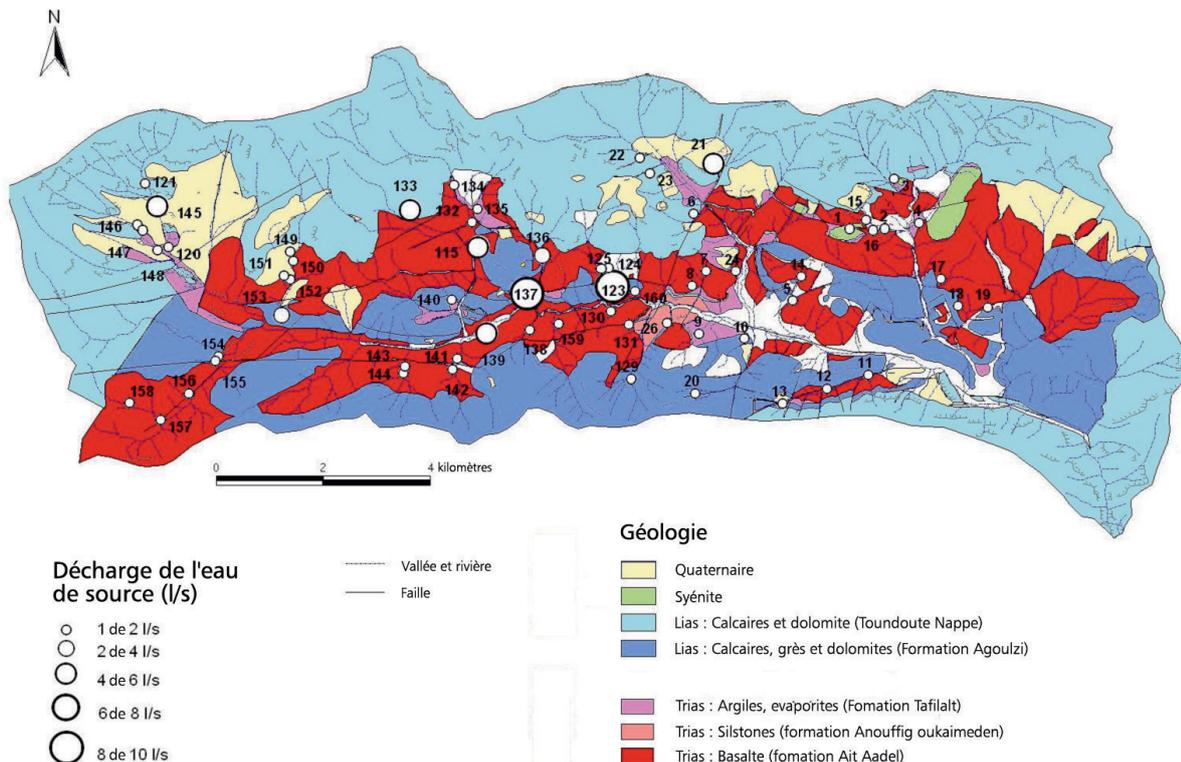


Fig. 1: Carte géologique détaillée du bassin de Assif-n-Ait Ahmed avec les quantités de la décharge moyenne de l'eau de source (Cappy, 2006)

Cadre Hydrogéologique

Pour définir la structure de la nappe aquifère, des propriétés hydrauliques ont été attribuées aux unités géologiques basées sur des classifications générales (Freeze et Cherry, 1979) (↗ 17,18).

Les dépôts poreux du Quaternaire forment un aquifère très perméable. Les formations du Lias fissurées et partiellement karstifiées présentent de variables perméabilités, variant du faible au fort (Cappy, 2006). En général, ces roches servent comme un aquifère. Les schistes du Trias ont une perméabilité allant du faible au plus faible et sont donc classifiés comme des aquitards. A cause des différents degrés de fissuration et la densité, les basaltes présentent une perméabilité allant du faible au fort et se comportent par conséquent, soit comme des aquitards, soit comme des aquifères.

A cause de la morphologie et de la structure des aquifères, la plupart des points d'eau sont des sources d'affleurement du Lias et des aquitards et aquicludes du Trias sous-jacente.

Cappy (2006) a mis au point un modèle hydrogéologique conceptuel en guise de résultat issu des recherches hydrochimiques et isotopiques détaillées (Fig. 2). Deux principaux types de sources d'eau ont été distingués :

- L'eau de source faiblement minéralisée à dominance Ca-Mg-HCO_3 , qui draine la nappe aquifère du Lias au-dessus de 2 400 m d'altitude, avec un temps de séjour moyen de stagnation de 4 à 8 ans.
- L'eau de source fortement minéralisée à dominance Na-Ca-Cl-SO_4 , qui draine la nappe du Lias à une altitude située entre 2 200 et 2 300 m avec un temps de séjour moyen d'au moins 4 ans, mais qui est influencé par le lessivage des roches évaporitiques des aquitards du Trias.

La recharge de la nappe prend place principalement dans la région au-dessus de 3 200 m d'altitude pour les deux types de source d'eau. Pour cette raison, l'eau de source fortement minéralisée transite rapidement par des zones d'écoulements préférentiels tels que les fissures et les canaux de Karst (↗ 23).

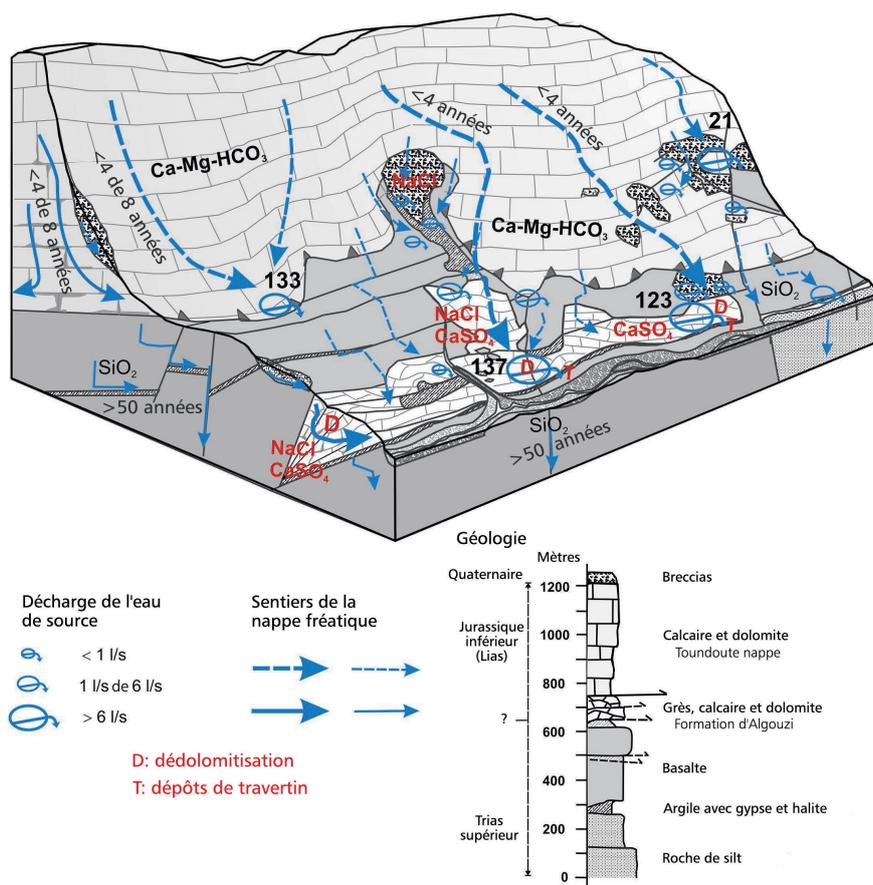


Fig. 2: Modèle hydrogéologique conceptuel du bassin de Assif-n-Ait Ahmed (Cappy, 2006)

Références

- Cappy, S. (2006): Hydrological characterization of the Upper Drâa Catchment: Morocco. PhD-Thesis, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Bonn.
- De Jong, C., Machauer, R., Reichert, B., Cappy, S., Viger, R. et Leavesley, G. (2004): An integrated geomorphological and hydrogeological MMS modelling framework for a semiarid mountain basin in the High Atlas, southern Morocco. In: Pahl-Wostl, C., Schmidt, S., Rizzolo, A. E. and Jakeman, A. J. (Eds.): Complexity and Integrated Resources Management, Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the Int. Environ. Modelling and Software Society, iEMSs: Manno, Switzerland, 736–741.
- Freeze, R. A. et Cherry, J. A. (1979): Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 604 p.
- El Harfi, A., Lang, J., Salomon, J., Chellai et E. H. (2001): Cenozoic sedimentary dynamics of the Ouarzazate foreland basin (Central High Atlas Mountains, Morocco). Int. J. Earth Sciences, 90, 393–411.
- Schulz, O. (2006): Analyse schneehydrologischer Prozesse und Schneekartierung im Einzugsgebiet des Oued M'Goun, Zentraler Hoher Atlas (Marokko). PhD-Thesis. Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Bonn.

Qualité des eaux souterraines à Ouled Yaoub

Stephan Klose et Klaus Haaken

Il est nécessaire de contrôler la qualité des eaux souterraines pour les besoins d'approvisionnement en eau potable et pour l'irrigation. Les recherches hydrogéologiques donnent un aperçu de la variabilité de la qualité des eaux souterraines près du village Ouled Yaoub dans la région méridionale de la palmeraie de Tinzouline.

Introduction

Une caractérisation hydrochimique des eaux souterraines a été préparée sur la base de deux campagnes d'échantillonnage (novembre 2005 et mars 2007) avec l'appui des études anthropologiques, pédologiques et agronomiques. Dix-huit échantillons d'eau, prélevés des puits d'irrigation dans la palmeraie et des puits d'eau potable autour de Ouled Yaoub et de l'Oued Drâa, ont été analysés.

Cette étude vise uniquement les composantes inorganiques de l'eau. La qualité de l'eau potable a été évaluée à partir du standard Marocain (Secrétariat d'Etat chargé de l'eau, 2003). La qualité de l'eau pour des besoins d'irrigation a été évaluée en utilisant le Ratio d'Absorption de Sodium (RAS), le Carbonate de Sodium Résiduel (CSR) et la Conductivité Electrique (CE) comme indicateurs (Ayers et Westcot, 1994; Carrow et Duncan, 1998).

Cadre hydrogéologique

Le site d'étude couvre environ 10 km² et est situé à la limite sud-ouest des régions agricoles de la palmeraie de Tinzouline le long de l'Oued Drâa. La terre cultivable repose sur les dépôts alluviaux qui forment un aquifère poreux très perméable, de 20 m d'épaisseur au maximum (Source: Service Eau Ouarzazate). En dessous de la nappe alluviale, les silts et les schistes forment un aquifère fracturé de faible perméabilité. Les roches sédimentaires paléozoïques qui affleurent, adjacentes aux dépôts alluviaux, offrent généralement une faible perméabilité mais présentent des zones d'écoulements préférentiels à travers des compartements très fracturés (↗ 18).

Distribution des types d'eaux souterraines

Deux principaux types d'eaux souterraines ont été distingués, visualisés par les diagrammes de Stiff (Fig. 1). Type A, affluence latérale, provient de roches sédimentaires adjacentes et réapprovisionne la nappe alluviale avec de l'eau à dominance du bicarbonate. Type B, eau d'oasis, s'observe dans la nappe alluviale, et est semblable à l'eau de l'Oued Drâa, mais elle est relativement très minéralisée. L'eau de l'oasis est classifiée comme une eau à dominance de sulfate.

La composition de l'eau souterraine ne présente pas un modèle clair dans la nappe alluviale, ce qui laisse présager d'influences locales telle que la salinisation des eaux souterraines par des flux de retour après d'irrigation gravitaire.

Qualité de l'eau potable

Cette évaluation de la qualité de l'eau dépend des ions inorganiques alors que les constituants organiques n'étaient pas analysés. L'affluence latérale de l'eau est relativement moins minéralisée de « qualité moyenne » parce qu'elle contient jusqu'à 27 mg/l de nitrate. La concentration élevée de nitrate sont localisées dans les zones d'habitation, offrant ainsi un indice à propos de l'infiltration à partir des latrines.

L'eau d'oasis est relativement très minéralisée et de « très mauvaise qualité » parce qu'elle contient plus de 400 mg/l de sulfate.

L'eau de l'Oued Drâa contient une teneur moyenne des solutés minéraux et est classée comme une eau de « mauvaise » qualité parce que la concentration en sulfate dépasse 250 mg/l.

Qualité des eaux d'irrigation

La qualité des eaux d'irrigation a été seulement évaluée à partir des puits dans l'oasis. Le RAS et le RAS ajusté sont moins de 6 et le CSR à des valeurs négatives. Donc, le risque d'une infiltration réduite et d'une disponibilité diminuée de l'eau pour les plantes par la dégradation de la structure du sol est insignifiant. A cause de CE de 2 080 à 3 420 µS/cm de l'eau d'oasis, une baisse du rendement de 20 % est attendue pour alfalfa. Cependant, la poussée des herbes, de l'orge et des dattiers n'est pas limitée par la qualité des eaux d'irrigation (↗ 29, 32).

Références

- Secrétariat d'état chargé de l'eau (2003): Etat de la qualité des ressources en eau au Maroc 2000/2001. Royaume du Maroc, Ministère Charge de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Rabat.
- Ayers R.S. et Westcot D.W. (1994): Water quality for agriculture. FAO – Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 29 Rev. 1, Rome.
- Carrow R.N. et Duncan R.R. (1998): Salt-affected Turfgrass sites: Assessment and Treatment. Ann Arbor Press, Chelsea.

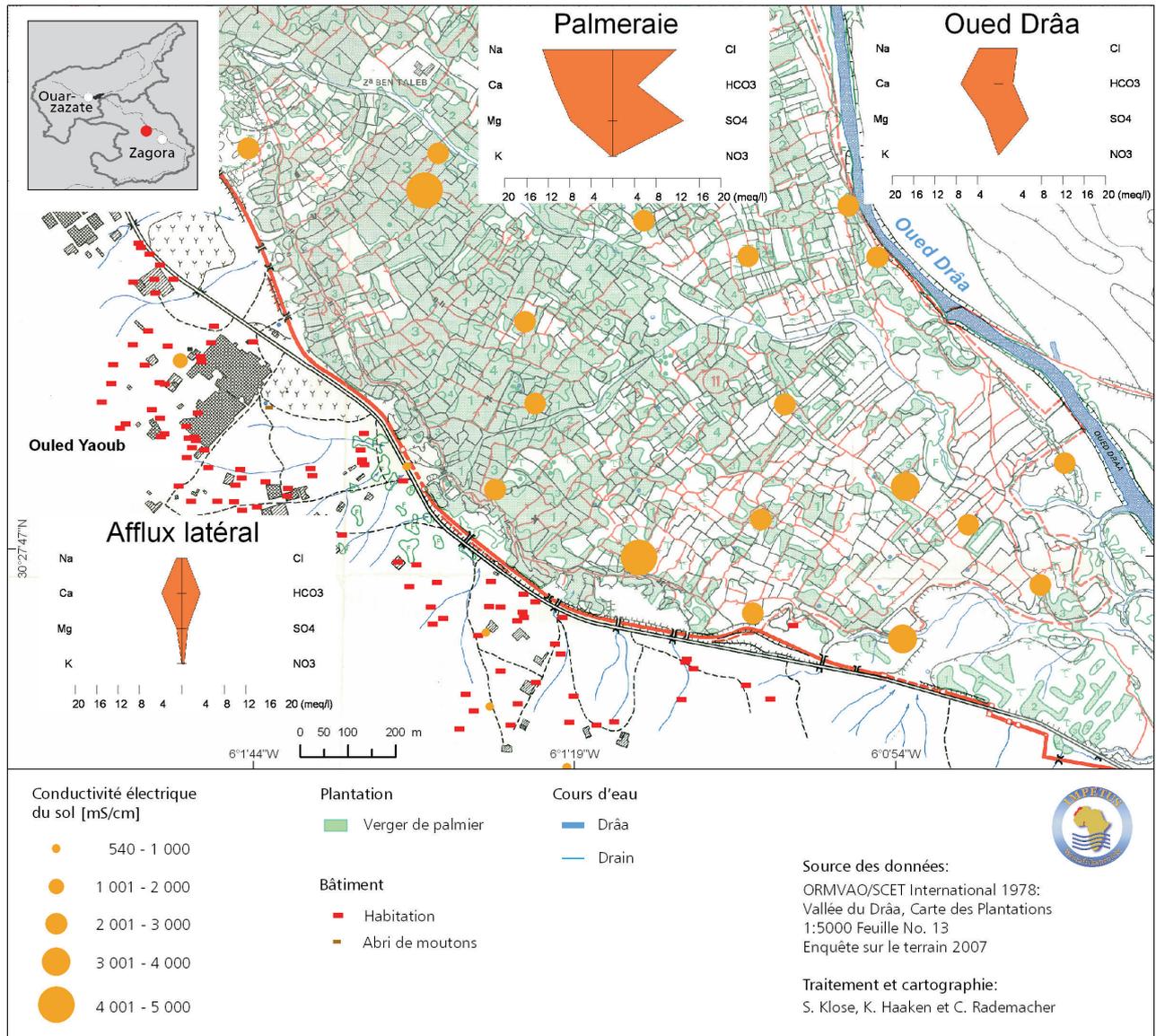


Fig. 1: Conductivité électrique de l'eau souterraine à Ouled Yaoub

Variabilité de la couverture de neige dans les montagnes du Haut Atlas Central

Oliver Schulz

Le Haut Atlas constitue une importante ressource en eau pour le Maroc. A certains temps d'hiver, les précipitations tombent sous forme de neige qui se comporte comme un réservoir d'eau naturel. Au printemps, la couverture de neige fondant nourrit rivières et réservoirs du bassin du Haut Drâa.

Introduction

La neige sur les versants de montagne représente de l'eau disponible après sa fonte. La couverture de neige dans les montagnes du Haut Atlas est en train d'être affecté par les changements climatiques qui sont déjà visibles dans un déplacement global des zones climatiques au Maroc. Dans les scénarios du climat futur, la tendance vers la sécheresse et les conditions plus chaudes se confirme. En guise de conséquence, moins de précipitations tombent sous forme de neige, alors que dans le même temps, la limite de la neige croît. La distribution future de l'eau de la montagne aux promontoires dans un contexte de changement climatique nécessite des investigations supplémentaires ; par exemple, les changements du régime de précipitation à la baisse mais plus intensive pourraient équilibrer la fraction d'eau de neige s'amincissant (↗ 4, 5, 6).

La Figure 3 montre la durée de couverture annuelle en neige pour les régions du Haut Atlas Central appartenant au bassin du Drâa au cours des années récentes (2001 – 2006). Il fournit des informations de base pour des applications environnementales diverses (modélisation en hydrologie, météorologie, et en botanique).

Méthode

Pour dresser une carte de la dynamique de couverture de neige, les produits de l'imagerie satellitaire TERRA-MODIS ont été analysés. Avec une résolution spatiale moyenne (463 m) mais à haute résolution temporelle (1 jour nominal), le capteur convient aux conditions régionales de couverture de neige de plusieurs cycles de précipitations et de fonte de neige hivernale. La méthode de la classification d'Indice de Neige par Différence Normalisée (NDSI) a été appliquée à une série de 500 images (100 pour chaque période de couverture de neige 2001 – 2006, datant d'Octobre/Novembre à Mai/Juin). Les valeurs de couverture de neige calculées et cartographiées indiquent une durée minimum, puisque la couverture de neige entre deux images a été supposée ininterrompue si la neige était présente sur les deux images. Autrement, la couverture de neige est prise en compte seulement pour le jour avec un enregistrement de neige.

La variabilité de la couverture de la neige

Comme le bassin du Haut Drâa s'étend de 1 050 m (réservoir Mansour Eddahbi) à 4 070 m (Jebel M'Goun) (↗ 11), la durée de couverture moyenne de neige (2001 – 2006) varie de moins d'un jour dans le bassin inférieur à cinq mois sur la crête du Jebel M'Goun (Fig. 1). Les différences entre les neuf sous-bassins sont en rapport avec l'altitude et le temps. Les parties occidentales du bassin du Haut Drâa (Jebel Siroua, Haut Atlas) enregistrent plus de neige en faible altitude

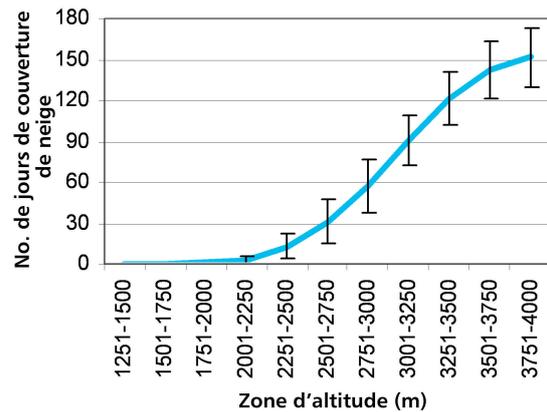


Fig. 1: Durée moyenne de couverture de neige et son écart-type temporel (2001 – 2006) dans le bassin du Haut Drâa (classes d'altitude de tous les sous bassins)

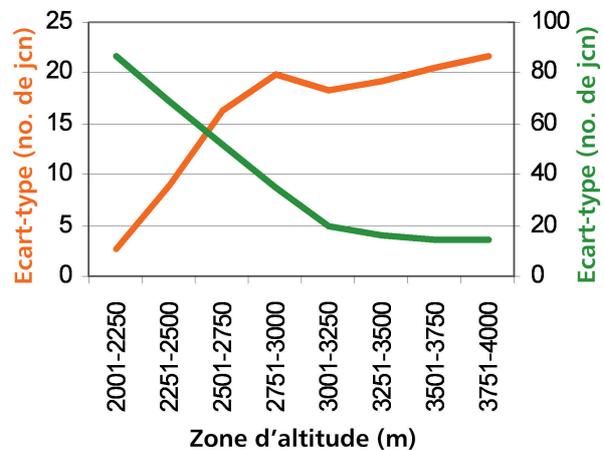


Fig. 2: Ecart-type temporel de la durée de couverture de neige (2001 – 2006) en jours et en pourcentage de période de couverture de neige pour le bassin du Haut Drâa (classes d'altitude de tous les sous bassins ; jcn = jours de couverture de neige)

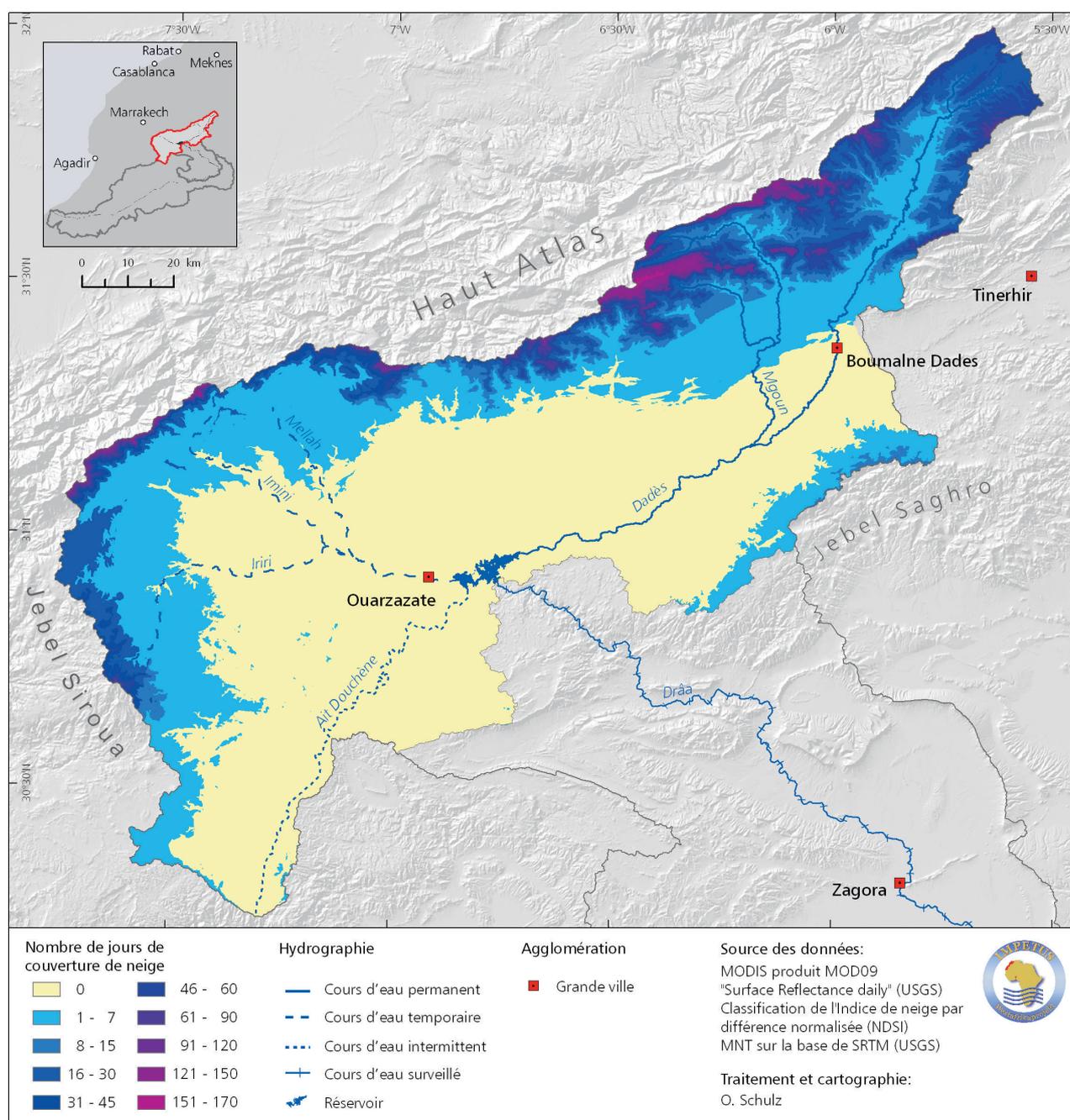


Fig. 3: Durée de couverture moyenne de neige pour les années 2001–2006 dans le bassin du Haut Drâa

que les parties orientales. En général, le sous-bassin Imini à l'extrême nord-ouest près du col de Tichka est aussi neigeux à altitudes égales.

La variabilité temporelle est exprimée en écart-type pour la période 2001–2006 qui inclut des années neigeuses avec plus d'une année et demi de couverture de neige dans les plus hautes régions (2003/04) et les années sèches sans couverture de neige à faibles altitudes (2002/03, 2004/05). Aux dernières, la variabilité annuelle du nombre de jours de couverture de neige, exprimée en pourcentage, est plus forte (ligne verte dans Fig. 2). Au-delà de 3 000 m d'altitude, la variabilité atteint un niveau constant de 15–20 %. Les périodes choi-

sies représentent des hivers légèrement trop secs à humides. Par conséquent, la durée moyenne de couverture de neige en 2001–2006 et sa variabilité se révèlent représentatives de l'état actuel de couverture de neige dans la région du Haut Drâa (↗ 23).

Références

1. TERRA-MODIS satellite images (MOD09 product "Surface Reflectance daily" provided by the United States Geological Survey (USGS) and available free of charge on the internet at <http://ed-cimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>
2. SRTM Digital Elevation Model (USGS)

Modélisation de la fonte de neige dans les montagnes du Haut Atlas Central

Oliver Schulz

La couverture de la neige dans les montagnes du Haut Atlas est une importante ressource d'eau pour l'irrigation dans la Vallée du Drâa. Etant donné que plus de la moitié des précipitations en altitude prennent la forme de neige dans la Vallée du Haut Drâa, la modélisation de l'écoulement pluvial avec un accent particulier sur la dynamique de la fonte de neige constitue une base d'importance pour déterminer la disponibilité de l'eau au plan régional.

Introduction

La neige dans les montagnes du Haut Atlas est une principale source pour le renouvellement d'eau douce et pour la disponibilité de l'eau dans les plaines arides du sud-est du Maroc. La neige représente moins de 20 % à plus de 80 % des précipitations totales sur les sites d'essai d'IMPETUS dans la région du Jebel M'Goun (Fig. 1; Schulz et de Jong, 2004; Schulz, 2006) (↗ 7, 8). La couverture de la neige à une altitude moyenne (2 000–3 000 m) est éphémère à cause d'un taux élevé de fonte. Au-delà de 3 000 m, l'évaporation de la neige réduit considérablement l'équivalent en eau de la neige pendant l'hiver.

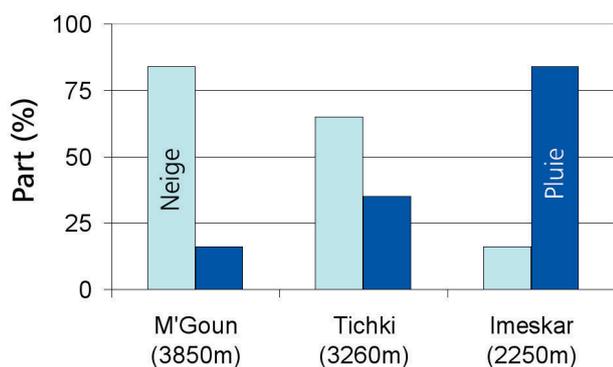


Fig. 1: Proportions de neige et de précipitations liquides dans trois sites de IMPETUS dans la région de M'Goun (2001–2005)

Méthodes

Pour gérer ces situations dynamiques, la couverture de neige a été examinée de trois manières dans le temps et dans l'espace : par télédétection, par des mesures de neige au sol, par les caractéristiques météorologiques et la modélisation de la fonte de neige.

A l'échelle locale, j'ai choisi le Modèle à base physique UEB (Utah Energy Balance Model par Tarboton et Luce, 1996). Ce modèle calcule le bilan d'énergie locale et étudie minutieusement la fonte et l'évaporation. Un grand nombre de données à recueillir est nécessaire pour le modèle, données fournies sur mesures dans les stations météo automatiques IMPETUS.

A l'échelle régionale, de telles données détaillées ne sont pas disponibles. Pour une modélisation régionale, j'ai appliqué

le modèle conceptuel de la fonte de neige SRM (Snowmelt Runoff Model par Martinec, 1975; Martinec et al., 1998) au bassin versant montagneux de M'Goun. Sur la base de l'approche « degree-jour », la fonte journalière de neige dans différentes zones d'altitudes et les déversions subséquents des rivières peuvent être calculées à partir de la température ambiante, des précipitations et de la distribution de la couverture de neige.

L'ablation de la neige à l'échelle locale

Sublimation (évaporation de neige) a lieu partout dans le monde où le climat est froid et sec. Des signes visibles de la sublimation aiguë sont les pointes de neige communément appelés « pénitents ». Ces derniers indiquent le niveau initial de la neige et semblent s'élever de la couverture de la neige alors que ce niveau de neige est gravé entre les pointes lors de l'ablation de la neige. Des « pénitents » de neige ont été observés à haute altitude dans les chaînes de M'Goun indiquant des conditions climatiques stables, favorables pour la sublimation pendant plusieurs semaines. La neige en sublimation est retirée du système hydraulique local et n'est souvent pas prise en compte dans les évaluations du bilan d'eau.

La modélisation physique de l'ablation de la neige à partir du modèle UEB confirme que jusqu'à 40 % de l'équivalent de l'eau en neige à hautes altitudes (> 3 000 m) est perdu à cause de la sublimation. Les résultats de la modélisation du UEB ont été validés avec des mesures exemplaires de neige sur le terrain (équivalent de l'eau de neige, Fig. 2 et température de surface de neige).

Neige et écoulement à l'échelle régionale

Environ 10 à 20 % seulement des eaux de précipitations provenant des régions de hautes montagnes atteignent le réservoir Mansour Eddahbi dans le bassin de Ouarzazate. Les affluents du nord-est, Oued M'Goun Oued Dadès, sont les seules rivières permanentes et sont alimentées par la fonte de neige et les eaux de ruissellement. Les précipitations aiguës et la fonte dans les montagnes constituent le support permanent du débit d'eau dans le réservoir. La Figure 3 présente les mesures du déversement et les résultats de la modélisation SRM pour le sous-bassin montagneux de l'Oued M'Goun

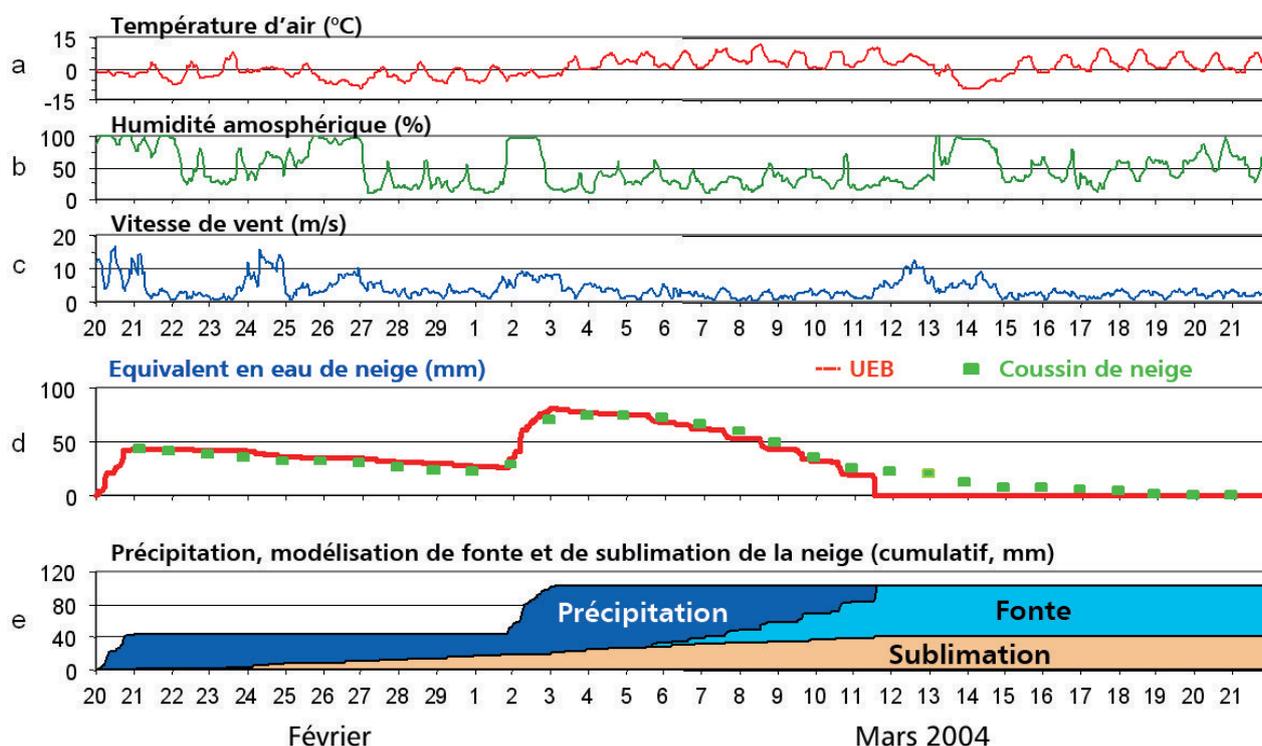


Fig. 2: Mesures à la station de Tounza (a, b, c: les données météo à partir de la station météo automatique de Tounza, d): équivalent en eau de neige calculé à partir du poids de la neige sur un coussin de neige « snow pillow » et e): processus de l'ablation de neige modélisés avec UEB (fonte et évaporation; les précipitations ont été mesurées)

au cours des années 2003/2004. Deux et trois événements pluvieux respectivement moyens ont causé un déversement croissant, tandis que pendant le reste de l'année, la pluie et l'écoulement des eaux de ruissellement à partir de la neige ont occasionné un déversement de la base (↗ 19).

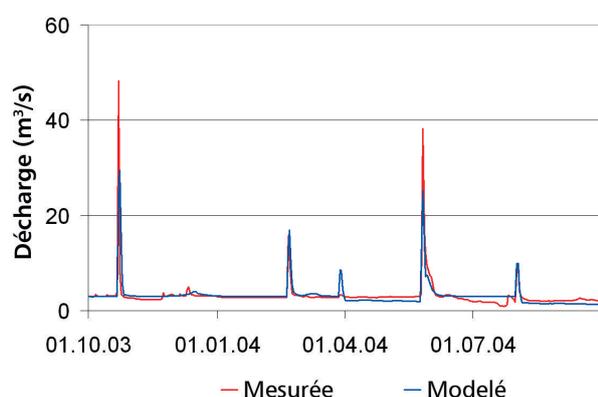


Fig. 3: Écoulement mesuré à la station de jaugeage Ifre (Bassin de M'Goun) et les résultats de modélisation SRM (source des données: Service Eau de Ouarzazate, IMPETUS)

Conclusion

La modélisation physique détaillée UEB nous permet de mieux comprendre l'interaction des processus d'ablation de la neige dans les régions de hautes montagnes et renforce plus le paramétrage du modèle conceptuel régional SRM. Les résultats de la surveillance minutieuse de la couverture de la neige de même que la modélisation de l'écoulement en gé-

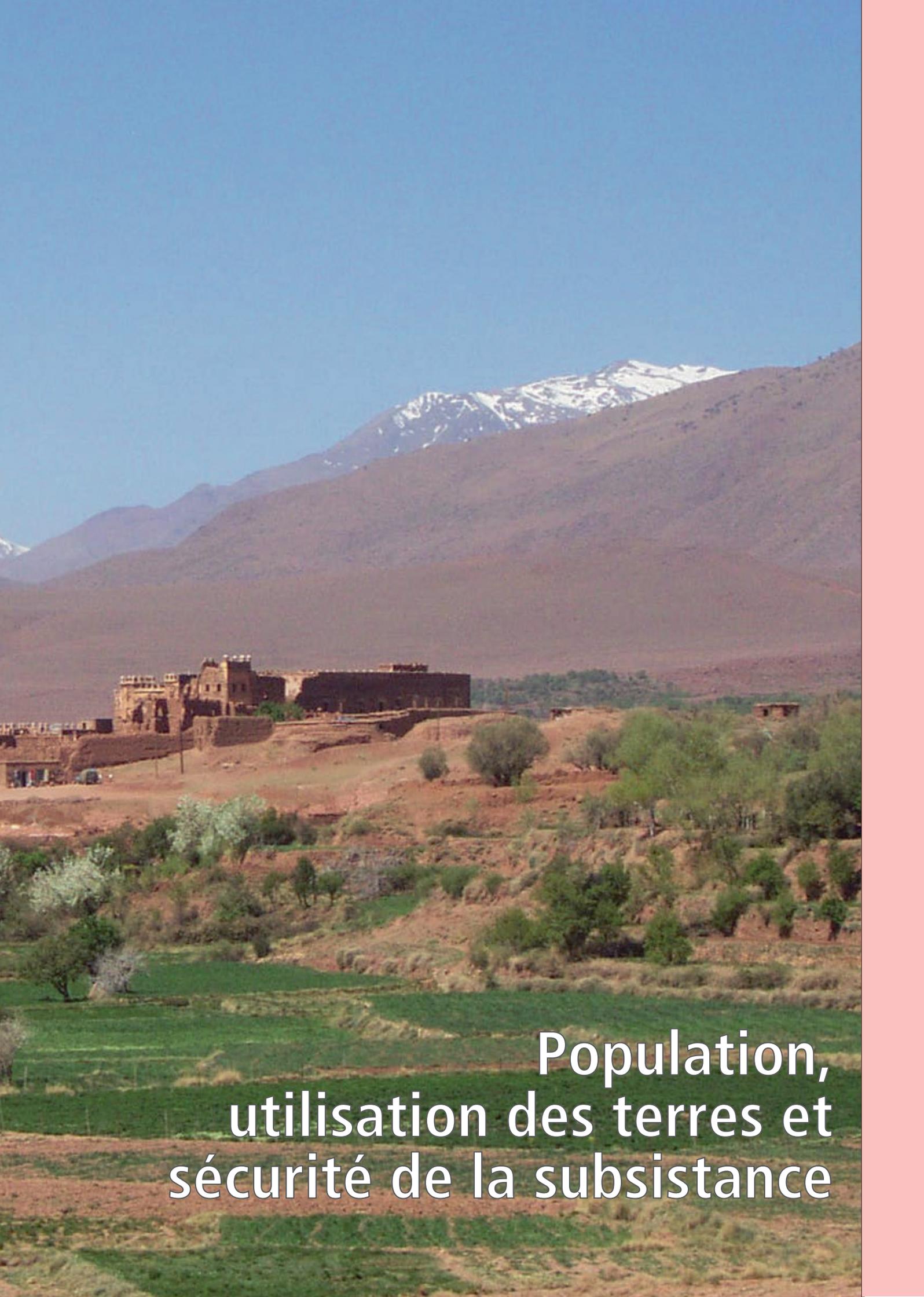
néral et à partir de la fonte de neige en particulier soulignent bien l'importance des averses pour une fourniture efficace d'eau dans le réservoir. À part les pertes d'eau dues au taux d'évaporation et les périodes de sublimation de la neige en hiver, cette étude confirme que pendant presque toute l'année, des déversements sont occasionnés par les eaux de ruissellement. Seules les grandes averses produisent les crues et remplissent le réservoir Mansour Eddahbi près de Ouarzazate. Par contre, seul l'écoulement de base des rivières permanentes compense les pertes d'eau du réservoir à travers l'évaporation et la consommation d'eau potable (↗ 17, 19).

Références

- Martinez, J. (1975): Snowmelt-Runoff model for stream flow forecasts. *Nordic Hydrology* 6(3), 145–154.
- Martinez, J., Rango, A. et Roberts, R. (1998): Snowmelt Runoff Model User's Manual. Geogr. Bernensia, Series P, Vol. 35, Bern.
- Schulz, O. (2006): Analyse schneehydrologischer Prozesse und Schneekartierung im Einzugsgebiet des Oued M'Goun, Zentraler Hoher Atlas (Marokko). PhD thesis at the University of Bonn, Germany. http://hss.uni-bonn.de/diss-online/math-nat-fak/2007/schulz_oliver/index.htm
- Schulz, O. et de Jong, C. (2004): Snowmelt and sublimation: field experiments and modelling in the High Atlas Mountains of Morocco. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(6), 1076–1089.
- Tarboton, D. et Luce, C. (1996): Utah Energy Balance Accumulation and Melt Model (UEB). Computer model technical description and user's guide. <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/>



Palais du Telouat près du col de Tichka,
Haut Atlas Central.



Population,
utilisation des terres et
sécurité de la subsistance

Croissance actuelle de la population dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora

Stephan Platt

La croissance de la population dans la région du bassin du Draa, représentée par les provinces de Ouarzazate et de Zagora, est réciproquement en relation avec la consommation et la disponibilité en eau dans cette région. Les provinces jouent un rôle marginalisé, aux plans économique, infrastructurel et social au sein du Royaume du Maroc.

Aridité et démographie

Il y a quelques décennies, des périodes arides récurrentes, ont sérieusement affecté l'économie de la région basée sur les activités agricoles. En plus de la pénurie croissante de la quantité d'eau disponible pour l'irrigation, la quantité et la qualité d'eau domestique ont diminué. Mise à part les conséquences économiques indirectes, par exemple la migration croissante de la main d'oeuvre, les impacts négatifs directs de la crise de l'eau sont perceptibles dans les domaines de la nutrition, de l'hygiène, de la santé de reproduction et de la qualité de vie. Aussi bien la migration que la malnutrition influencent, par conséquent, les indicateurs réponse du développement démographique : l'urbanisation, la structure de l'âge, la fertilité et la mortalité (Fig. 1; ↗ 3, 6, 17, 21, 25, 26, 28, 30, 32, 33).

En entreprenant une analyse sociologique de comment l'eau et l'occupation du sol affectent les conditions de vie des populations du bassin de la région du Draa, il est important d'examiner la dynamique de la population, parce qu'elle constitue des indicateurs économique et socioculturel des transformations sociales et ils exercent une certaine influence sur le développement futur de la région.

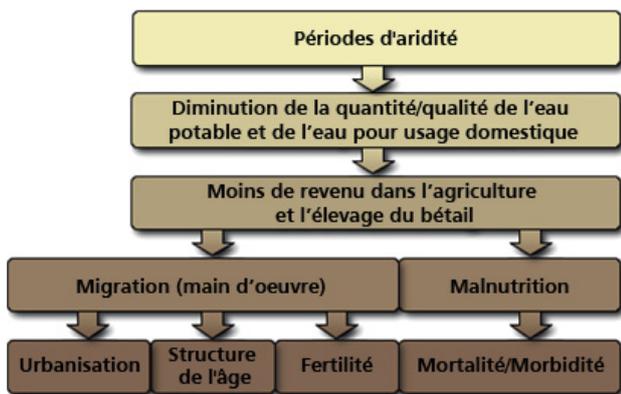


Fig. 1: Corrélations entre périodes d'aridité et les facteurs démographiques

Population et progrès

Les provinces en majorité rurales de Ouarzazate, et de Zagora sont, comparées avec les régions prospères au nord-ouest du Maroc, généralement caractérisés par une faible densité de population, une population jeune, un fort taux de reproduction et une forte mortalité post-natale.

L'accroissement de la population de la région du bassin de Draa peut être analysée d'après les données du recensement national de 1994 et 2004 (Fig. 2). La distribution spatiale du taux de croissance de la population est très hétérogène. Dans certaines régions, l'augmentation de la population a même atteint une valeur négative. En dehors de l'influence des migrations nationales et internationales, l'augmentation négative de la population résulte des mouvements migratoires régionaux. Les populations émigrent des régions les plus marginalisées vers les communes de plus en plus urbanisées le long des fleuves Drâa et Dadès. Ces régions offrent des revenus alternatifs, en particulier dans le secteur du tourisme et de l'agriculture de subsistance.

Par ailleurs, le point le plus important pour le développement économique régional, est l'agglomération urbaine de Ouarzazate et Tabount qui avaient enregistré un accroissement annuel de la population de 3,3 % entre 1994 et 2004. Les 74 600 habitants en 2004 représentaient 15 % de la population totale de la province de Ouarzazate. En plus du développement du secteur du tourisme, l'industrie cinématographique - Ouarzazate étant l'une des villes les plus développées dans cette branche économique sur le continent africain - joue un rôle capital dans la création d'emplois.

Sources des données

Direction de la Statistique (1995): Population Légale du Royaume d'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (Septembre 1994). Rabat.

Haut Commissariat au Plan, Centre de Lecture Automatique de Documents (2005): Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2004. Rabat.

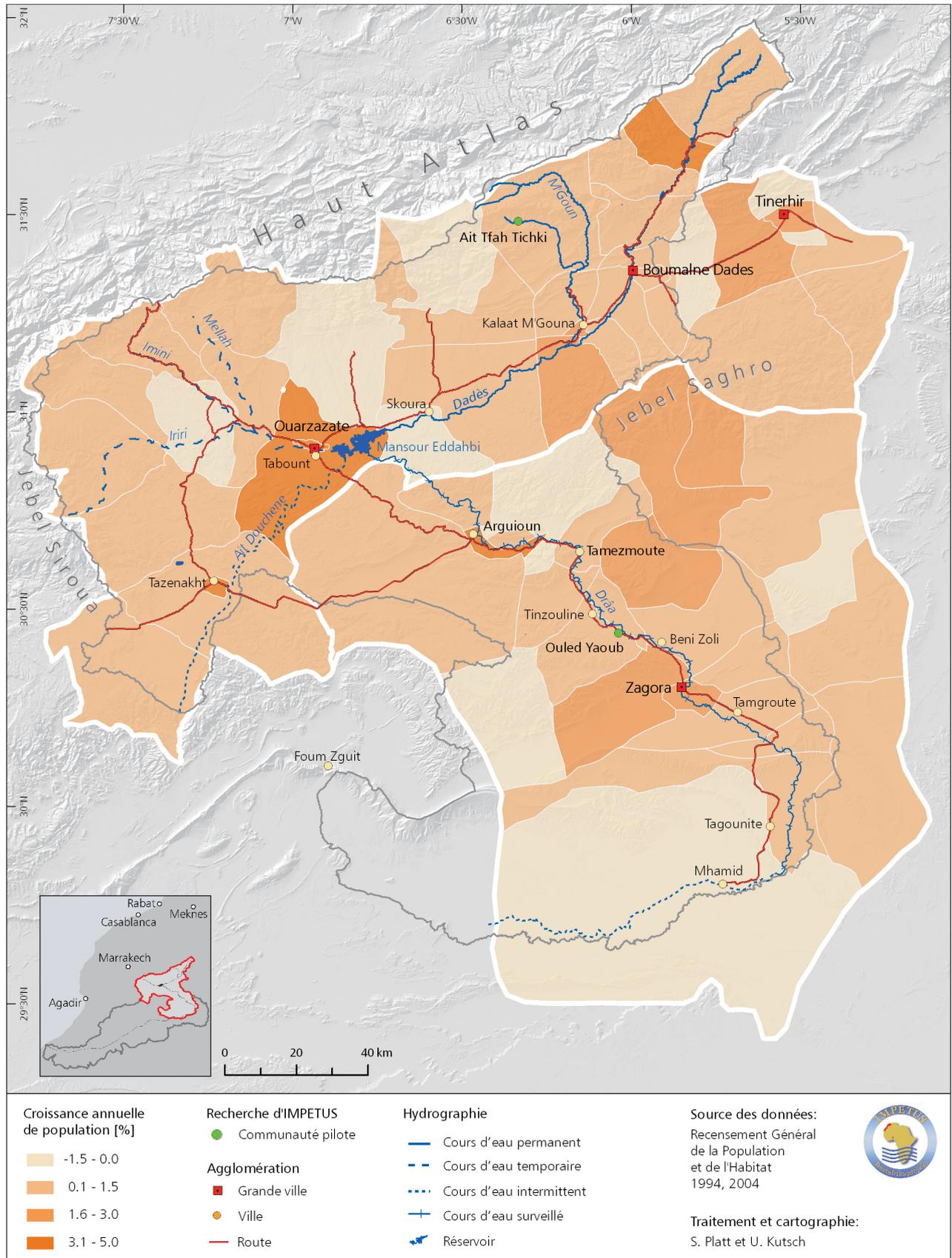


Fig. 2: Croissance annuelle de population 1994–2004 dans les communes des provinces de Ouarzazate et de Zagora

Développement des régions urbanisées dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora à l'horizon 2020

Stephan Platt

De nos jours le phénomène démographique le plus important dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora est la migration intense des régions marginalisées des communautés rurales vers les centres urbains. A la recherche des opportunités alternatives de revenus autres que l'agriculture de subsistance, les populations migrent non seulement aux plans national et international, mais aussi sur le plan intra-régional. Les tendances à la migration et à l'urbanisation représentent par conséquent les principaux indicateurs de la pénurie d'eau et affectent sérieusement le développement des régions.

Urbanisation et migration

La dynamique démographique d'une société est déterminée par de nombreux facteurs interdépendants (Fig. 1). L'urbanisation et la migration influencent la fertilité et la structure de l'âge de la population d'une société en modifiant les comportements à la reproduction (↗ 3, 24, 26).

En dehors de la migration (de travail mobile) vers les agglomérations urbaines prospères du nord, les mouvements migratoires régionaux sont courants. Par conséquent, il y a une forte urbanisation des communautés déjà urbanisées dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora. Les facteurs qui poussent à la migration sont la rareté des ressources en eau la pauvreté économique et en infrastructures de base. Les facteurs qui attirent la migration partent des possibilités économiques diversifiées, une meilleure éducation et l'acquisition des infrastructures qui présentes dans les centres urbains.

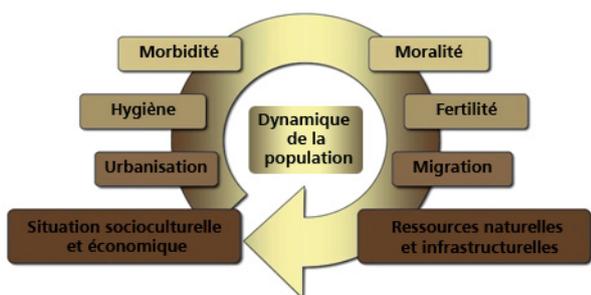


Fig. 1: Facteurs importants affectant réciproquement la dynamique d'une population

Régions urbanisées le long des fleuves

Le modèle numérique SPECTRUM/Demproj utilise les données quantitatives concernant les migrations, la fertilité, la mortalité, la pyramide des âges, et l'urbanisation pour déterminer l'évolution future d'une population donnée (Fig. 2).

Puisque les centres urbains croissent beaucoup plus rapidement (accroissement annuel moyen par an de 3,1 %) que les zones rurales (accroissement annuel moyen par an de 0,8 %), les zones urbanisées de la région jouent un rôle crucial dans le développement démographique de de cette dernière.

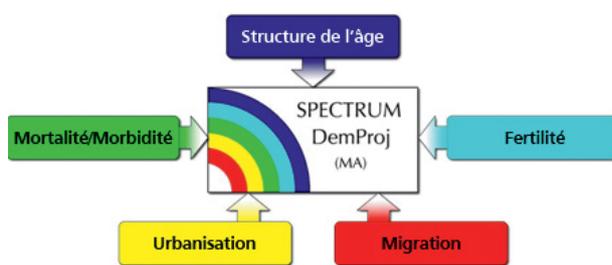


Fig. 2: Variables du SPECTRUM/DemProj

La taille future de la population des agglomérations urbaines régionales dans la région du bassin du Drâa a été projetée à l'horizon 2020 sur la base des données du recensement national de 2004 (Fig. 3). Le recensement a inscrit un total de neuf agglomérations urbaines. En 2004, les effectifs de la population varient de 2 800 habitants à Skoura, à 53 500 habitants à Ouarzazate. Les 187 800 habitants représentaient 24,1 % de la population totale des provinces de Ouarzazate et de Zagora. Les quatre régions urbaines, Ouarzazate, Tabount, Zagora, et Tinerhir, comptent 77,6 % de la population urbaine et 18,7 % de la population totale des deux provinces. Par rapport à la projection à court terme pour l'année 2020, peu de changements significatifs sont attendus. La raison est que les processus démographiques réagissent lentement aux changements des paramètres initiaux. Par conséquent, un accroissement disproportionnel de la population ne peut être attendu dans un avenir proche.

Références

Direction de la Statistique (1995): Population Légale du Royaume d'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (Septembre 1994). Rabat.
 Haut Commissariat au Plan, Centre de Lecture Automatique de Documents (2005): Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2004. Rabat.
 POLICY Project, The Futures Group International (1997): SPECTRUM. Policy Modeling System. Washington.

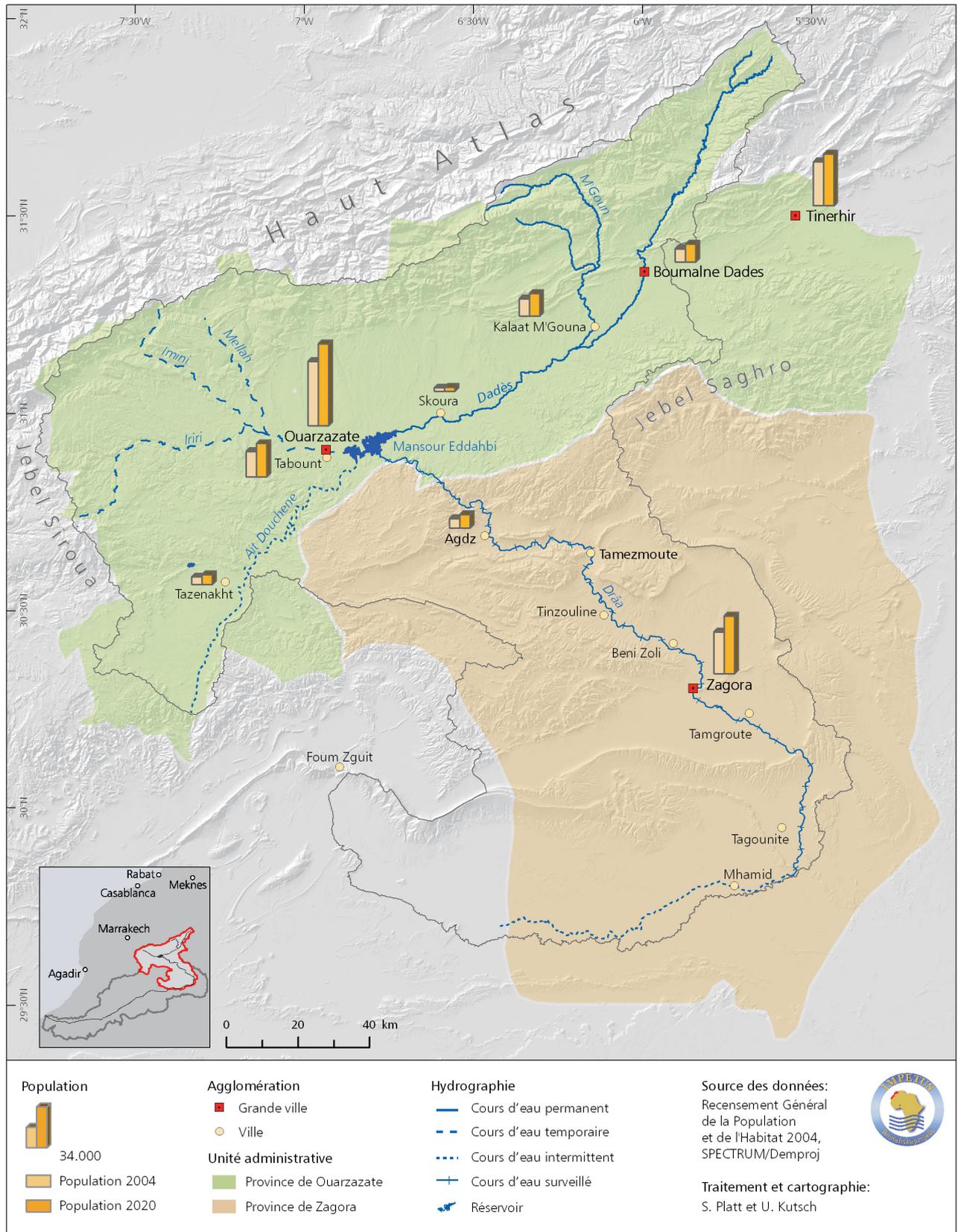


Fig. 3: La Population en 2004 et projetée pour 2020 des régions urbanisées dans le bassin du Drâa

Destinations de travail de la main-d'œuvre migrante de Ouled Yaoub

Christina Rademacher

Le bassin du Drâa fait partie de la ceinture migratoire marocaine. La région, dominée par l'agriculture, marginalisée et possédant peu d'industries en dehors du secteur touristique, « exporte » de façon prédominante la main-d'œuvre masculine vers d'autres régions du pays. Un faible pourcentage des ouvriers du bassin du Drâa émigre également au plan international. La plupart de ces émigrants travaillent dans les constructions comme ouvriers non qualifiés. L'objectif fondamental de ces émigrants est de chercher les moyens pour sécuriser de la subsistance de leurs familles restées au village.

Présentation

L'objectif de cette recherche est de déterminer les effets et les conséquences de la migration sur la vie socio-économique des différents groupes ethniques en particulier ceux d'Ouled-Yaoub, un village de 1 000 habitants situé à 30 km au nord de Zagora. Sur la base des données de cette recherche, l'augmentation des migrants, la situation et le lieu de travail, et quelques nouvelles tendances sont présentées (↗ 2, 3, 32, 33).

Méthodes

Au cours des enquêtes à long terme (2002 – 2006), les entretiens avec les experts locaux, des interviews de qualité ont été organisées avec les migrants et leurs familles aussi bien dans le village que dans les différentes villes. En outre, des enquêtes quantitatives ont été également organisées sur la croissance du nombre des migrants. Les résultats de cette étude ont été également comparés avec ceux obtenus par entretien.

Développement de la migration

Depuis l'indépendance du Maroc en 1956, la migration de la main-d'œuvre de la vallée du Drâa vers les villes marocaines et en direction des pays étrangers, est devenue la plus importante stratégie de revenu. Ceci s'explique à la fois par le fait que l'agriculture ne peut à elle seule générer des revenus suffisants et par la rareté d'autres opportunités d'emploi. Cette activité qui a commencé avec les jeunes, les hommes célibataires quittant périodiquement le village pour aller chercher du travail, surtout sur les chantiers de construction partout au Maroc, est devenue une stratégie utilisée par toutes les tranches d'âge. Les jeunes de treize à quatorze ans jusqu'aux hommes mariés de soixante ans migrent dans le but d'assurer la survie de leurs familles qui sont restées au village. Ces hommes continuent la migration de travail des migrants durant toute leur vie. L'analyse des données obtenues montre que 57 % des migrants ont trouvé du travail sur les chantiers de construction, 12 % dans le secteur du service, et le reste dans divers secteurs. La plupart de ces ouvriers bénéficiaient d'une rémunération modeste (1 250 – 1 500 DH/mois). Seulement 3 % des migrants ont

trouvé du travail comme fonctionnaires du service public avec des salaires réguliers et comparativement élevés. Les salaires bas perçus par la majorité des migrants s'expliquent par le niveau d'éducation assez bas de la plupart d'entre eux. Même jusqu'à nos jours, l'abandon des classes est encore courant après cinq à six années passées à l'école primaire.

Selon les migrants, le coût de vie cher dans les villes empêche un grand nombre d'entre eux à faire déplacer leurs familles vers les villes. De plus, les pressions familiales et sociales obligent les hommes à s'occuper financièrement de leurs parents âgés, mais la plupart d'entre eux n'ont pas la capacité de subvenir financièrement aux besoins de deux foyers. En conséquence, les liens de familles sont rompus.

Comment la migration du bassin du Drâa a-t-elle évolué depuis l'indépendance du Maroc jusqu'à nos jours?

Depuis les années 1960, la migration a été la stratégie la plus adoptée pour avoir de revenus pour les différents groupes socioculturels (Fig. 1).

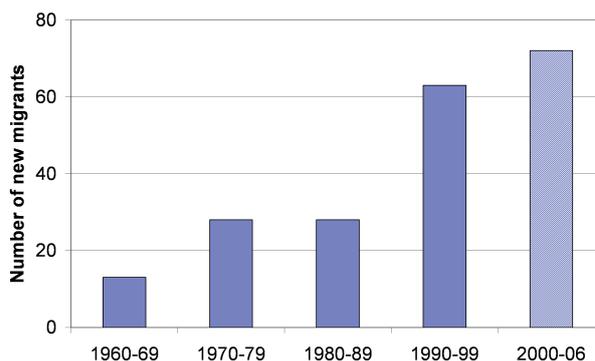


Fig. 1: Migration initiale par décennie à Ouled Yaoub. Source des données: Enquêtes 2004/05 et 2006

Tandis que l'exode des jeunes hommes du village a été vu avec soupçon par les gens au cours des années 1960, ce mouvement est devenu ordinaire avec l'affaiblissement de la situation socio-économique du village. Par conséquent, pendant des décennies, la migration est devenu un genre de rituel, un « rite de passage » pour les jeunes garçons faisant leur entrée dans le cercle des adultes. L'âge à partir duquel

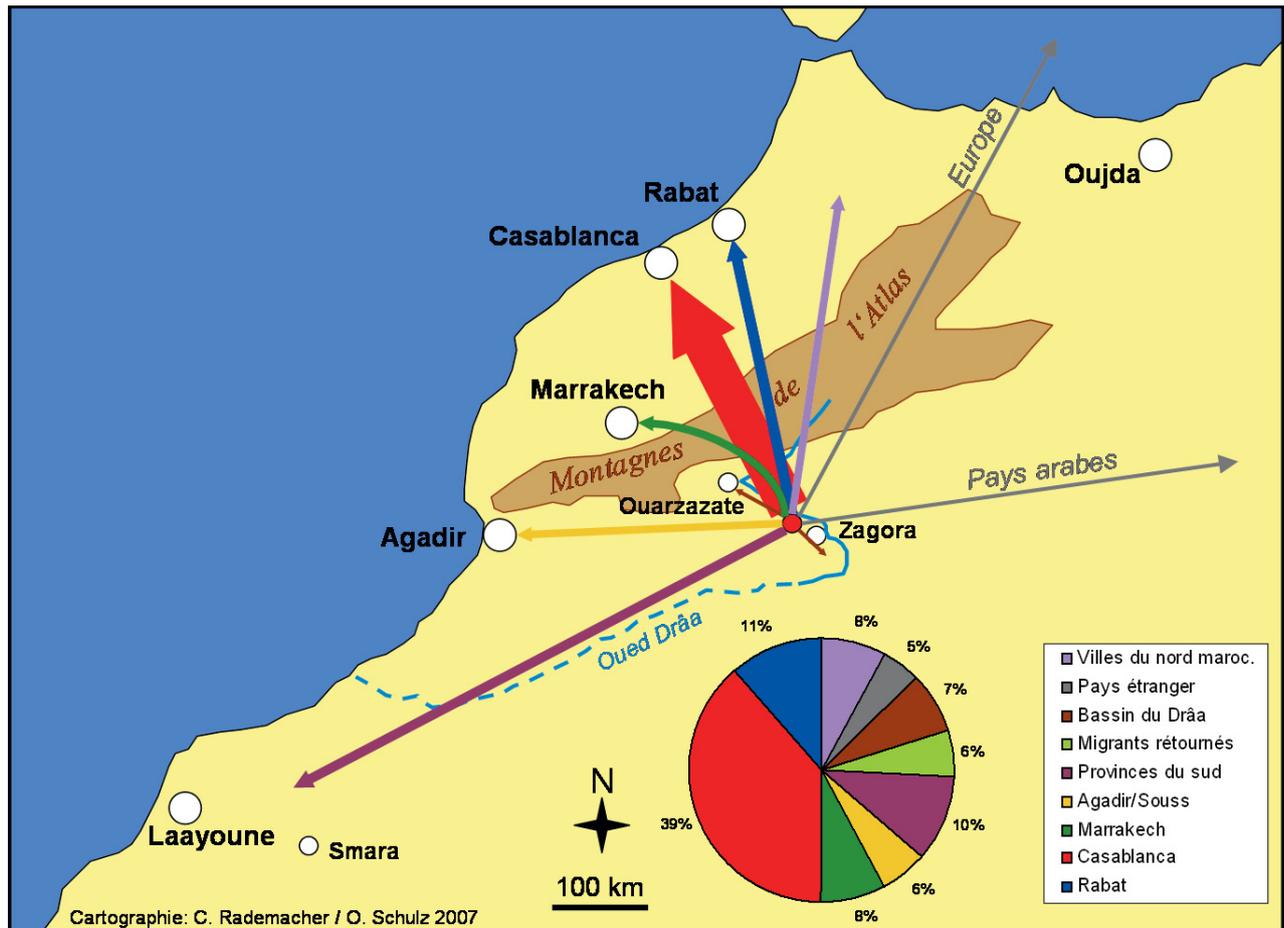


Fig. 2: Destinations de la main-d'œuvre de Ouled Yaoub (2004)

un jeune fait ses premiers pas dans la migration - que ce soit pour le travail ou pour l'éducation - dépend de la situation socio-économique de sa famille, la considération que cette dernière accorde à l'éducation et aux aspirations personnelles de la jeunesse.

Lieux de travail des ouvriers

La plupart des ouvriers qui travaillent sur les chantiers de construction sont des personnes très mobiles à la quête d'opportunités de travail à travers le pays. Par conséquent, l'information donnée sur la carte en date de mars 2004 est très variable et reflète les différentes situations des centres économiques du pays (Fig. 2).

De 1980 à 1990, un nombre croissant de migrants d'Ouled Yaoub voyage vers la Province du Sud en quête de travail. La préférence pour le Sud de Ouled Yaoub s'explique aussi bien par le coût de la vie relativement moins cher et le plein essor que connaît le Sud dans le secteur de construc-

tion. Cette tendance a changé pendant ces dernières années. Aujourd'hui, les opportunités de bon boulots se font rares. Par exemple, en 2006 seize des vingt migrants sont allés vers les villes du nord, telles que Casablanca, Rabat, et Marrakech, tandis qu'un ouvrier a pu trouver du travail dans la ville de Smara.

La migration internationale de Ouled Yaoub est faible (5%), avec quelques pays européens, Arabie-Saoudite, et Libye qui sont les principales destinations.

Une nouvelle tendance ayant commencé autour du siècle est le déplacement entier des familles. Vivre en famille, même dans les conditions économiques difficiles dans les villes, est préférable aux investissements dans l'agriculture non rentable dans le bassin du Drâa. Depuis 2000, quinze familles ont quitté le village.

Effets de la sécheresse sur l'élevage

Claudia Heidecke et Andreas Roth

L'élevage est une source importante de revenus pour des familles dans la région du Drâa. Le nombre de têtes d'animaux est difficile à compter et varie au cours des années et du nord au sud. Pendant les années de sécheresse, le manque de fourrage contribue à la réduction de la taille du troupeau.

Introduction

Le cheptel dans la région du Drâa est constitué principalement de chèvres et de moutons, et rarement le gros bétail. La plupart des fermiers possèdent également un âne pour le transport des marchandises, ou des dromadaires dans les palmeraies méridionales. En dehors du fait que le bétail représente une source de revenus, il constitue également une source d'approvisionnements alimentaires, de couverture financière et de prestige. La taille du bétail varie dans le temps et selon les régions. Le présent document donne un aperçu général et, fait l'analyse des données disponibles et une comparaison avec celles collectées par IMPETUS en 2005. Par ailleurs, l'effet de la sécheresse sur le nombre d'animaux est analysé.

Le bétail dans la région du Drâa

La Figure 3 illustre la taille du bétail, de moutons, de chèvres et de dromadaires par hectare au niveau communal dans la région du Drâa. Les statistiques ont été faites à partir du recensement agricole le plus récent de 1996. Dans les régions montagneuses du nord, le nombre d'animaux par hectare est beaucoup plus élevé que dans le sud du fait d'une plus grande disponibilité de fourrage et d'eau dans les hautes montagnes de l'Atlas et donc plus de transhumance. Dans la Vallée du Drâa Moyen, la transhumance est restreinte et la plupart des fermiers gardent leurs animaux sur place. Il y a beaucoup plus de moutons et de chèvres que de gros bétail, car ces derniers sont plus coûteux à entretenir et ont besoin de plus de fourrage.

En 2005, après une longue période de sécheresse, une enquête agricole a été effectuée par IMPETUS dans les Vallées du Drâa Moyen et du Dadès avec un groupe de 280 fermiers. La Figure 1 montre le nombre d'animaux (en 2000 et 2005) par fermier interviewé. Cependant, l'échantillon n'a tenu compte que des animaux sédentarisés dans les fermes et n'inclut donc pas la transhumance. En raison des années sèches pendant ladite période, beaucoup d'animaux ont été perdus ou ont été vendus principalement en raison du manque de fourrage, de maladies ou pour l'auto-consommation. Dans la Vallée du Drâa Moyen, la diminution des animaux, toute catégorie confondue, est assez prononcée à cause de l'insuffisance des précipitations et, par conséquent, la faible disponibilité de fourrage dans la région. Le nombre de têtes de mules par fermier est assez stable étant donné que les mules sont importantes pour le transport et pour les travaux champêtres.

Effets de la sécheresse sur le bétail

La Figure 2 est étroitement liée à la Figure 1, et illustre la relation entre l'eau et le bétail. La Figure 2 montre aussi bien le nombre de chèvres, de moutons et de gros bétail entre 1980 et 2003 dans la région que la précipitation annuelle en millimètre. Le nombre d'animaux varie en raison de la disponibilité variable de fourrage en conséquence de la variabilité des précipitations. Ceci est dû principalement au stress latent de l'eau pour les plantes. Les précipitations provoquent un développement important des plantes herbacées telles que la pelouse et favorisent une augmentation du nombre d'animaux. Depuis le milieu des années 90, le nombre de chèvres et de moutons a constamment baissé en raison de la sécheresse continue. Le nombre du gros bétail a également diminué malgré leur sédentarisation. Mais, leur diminution n'a pas la même ampleur que a celle observée au niveau des moutons ou des chèvres (↗ 17, 19, 28, 31).

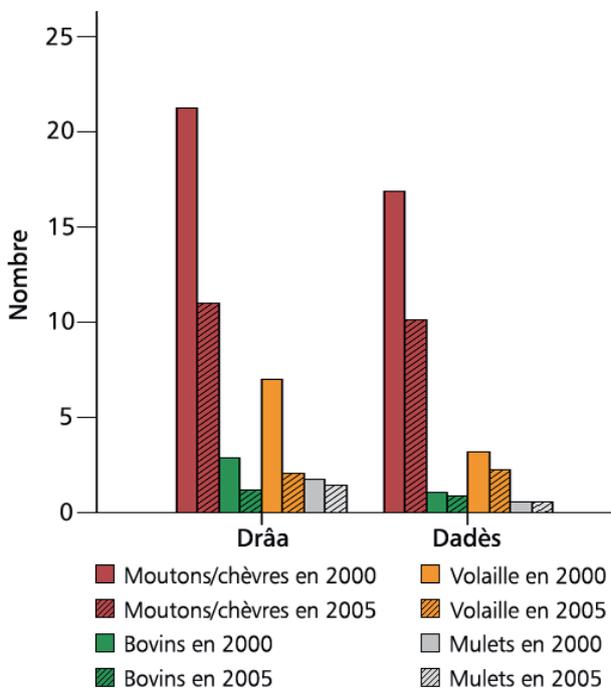


Fig. 1: Nombre d'animaux par fermier en 2000 et 2005

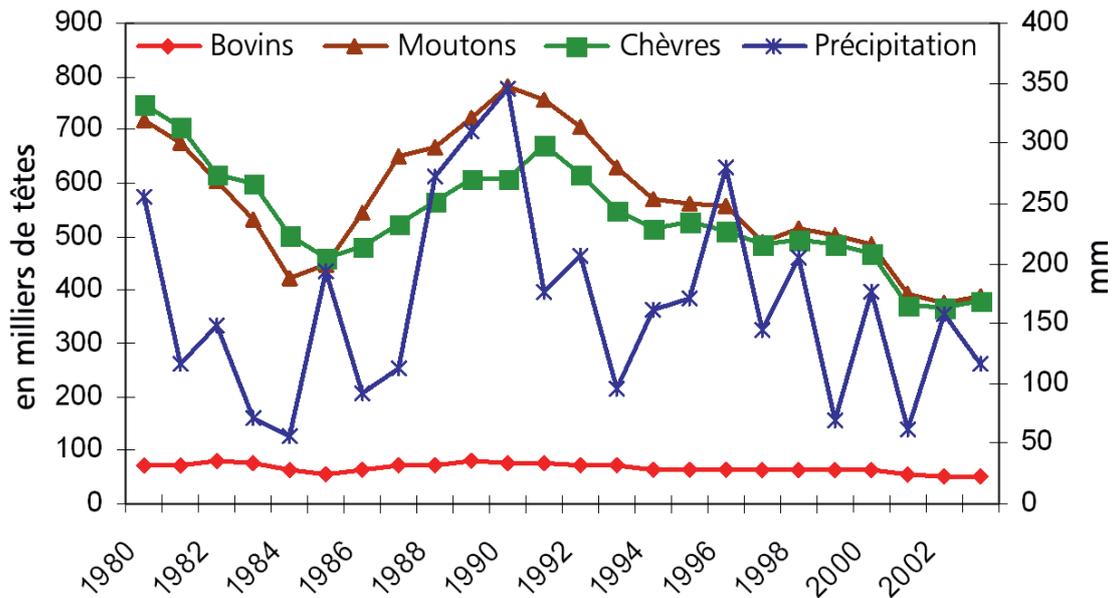


Fig. 2: Nombre d'animaux dans la région du Drâa de 1980 à 2003, Source: ORMVAO, 2003

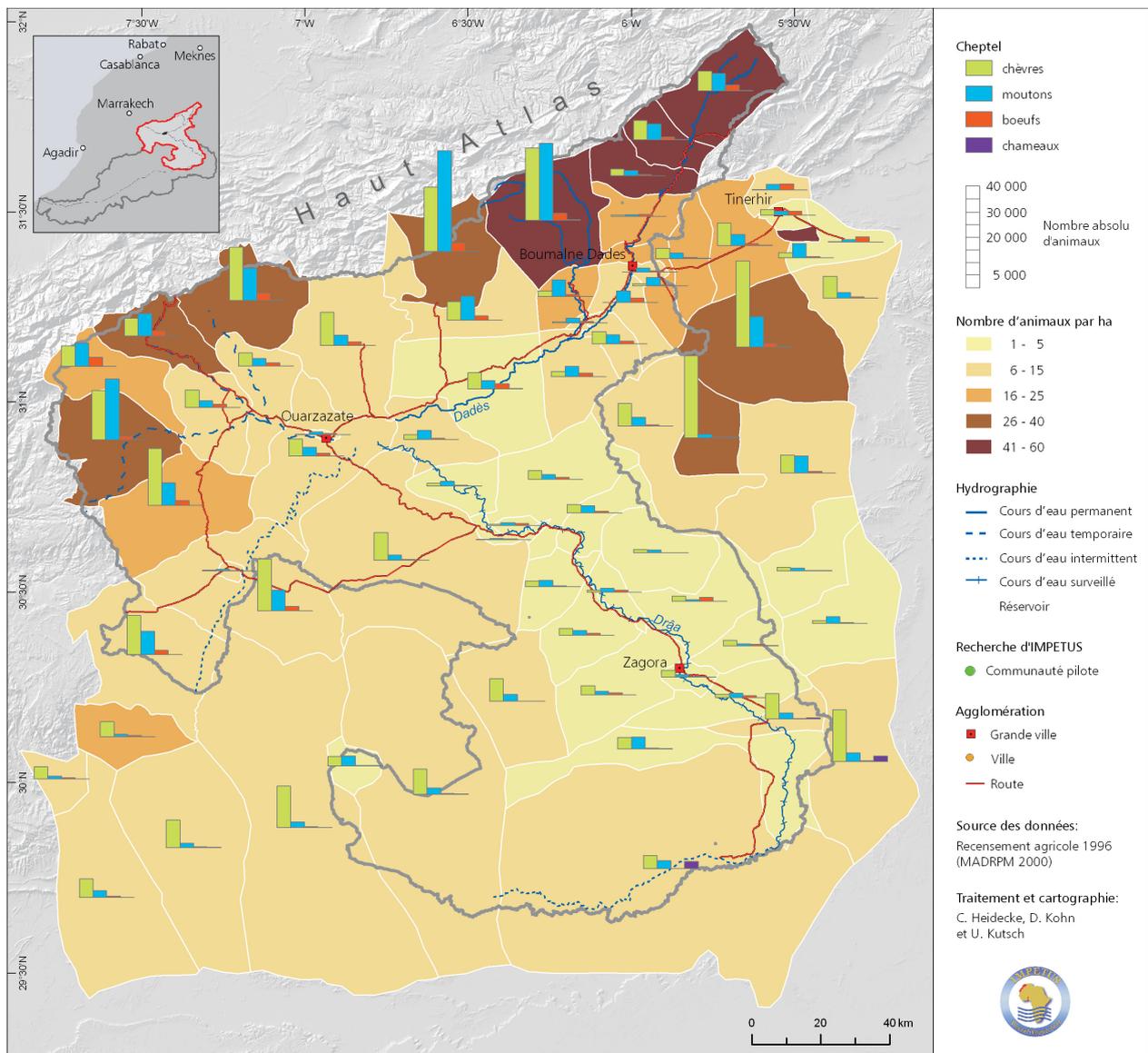


Fig. 3: Bétail dans la région du Drâa au niveau communal en 1996

28 Utilisation des terres agricoles

Claudia Heidecke et Tanja Schmidt

L'agriculture est la principale activité des populations dans la région du Drâa. Les produits agricoles sont surtout utilisés pour l'autoconsommation pour nourrir de grandes familles mais sont aussi des sources de revenu subsidiaire. Les céréales et les fourrages pour les animaux sont les récoltes majeures. Les dattiers et le henné étaient habituellement cultivés comme cultures de rente, mais pendant les années dernières, ces produits ont été beaucoup plus utilisés aussi pour l'autoconsommation.

Introduction

Le dernier recensement agricole dans la région du Drâa a eu lieu en 1996. Depuis lors, la production agricole a considérablement changé dans la région. En raison des sécheresses et du changement des prix, les systèmes de culture sont modifiés ; beaucoup de personnes ont migré vers les grandes villes et mis en location leurs terres à leurs voisins. Par conséquent, les données du recensement agricole sont comparées aux données plus récentes d'une enquête agricole conduite dans les palmeraies (↗ 5, 6, 19, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33).

Méthodologie

Une enquête agricole a été exécutée en 2005 et 2006 pour connaître les caractéristiques de production agricole, d'irrigation et de stratégies agricoles dans la région du Drâa. Au total, 280 paysans des six palmeraies du Drâa Moyen, Mezquita à Mhamid, et des régions de Ouarzazate, Skoura, Kalaat Mgouna et Boumalne de Dadès ont été interviewés avec un questionnaire standard.

L'échantillon n'est pas représentatif de toute la région, puisque les fermiers dans le Haut Atlas et les pâturages ne sont pas inclus et l'échantillon et l'enquête couvrent principale-

ment les plus grandes exploitations agricoles (Fig. 1). Surtout dans le bassin du Drâa Moyen, une superficie moyenne de ferme de 4,5 ha dépasserait la superficie totale cultivée. En 1996, 22 489 exploitants ont cultivé 37 049 ha dans la province de Zagora, ce qui correspond à une superficie moyenne exploitée de 1,6 ha/paysan (recensement agricole de 1996). Donc l'échantillon représente plus les grands fermiers dans le bassin du Drâa Moyen que les moyens.

Production agricole

Les principaux produits cultivés dans la région du Drâa sont des céréales et des fourrages pour le bétail (environ 90 %) (↗ 27). La principale céréale cultivée est le blé. Le maïs croît pendant la période d'été et exige beaucoup d'eau (Fig. 2).

En plus des récoltes annuelles, les dattiers et les fruitiers constituent aussi une source de revenu. D'après les données d'enquête, un paysan moyen possède environ 300 dattiers dans la région du Drâa. Une bonne partie des dattes est vendues dans les marchés locaux. Dans la Vallée du Dadès, les roses, oliviers et pommiers constituent des sources du revenu.

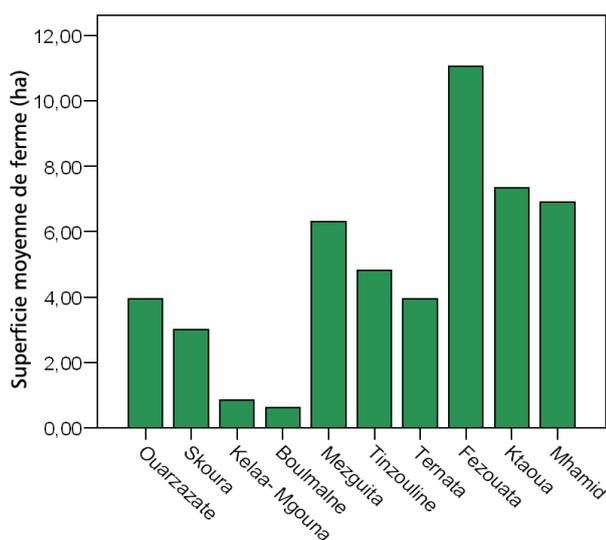


Fig. 1: Superficie moyenne de ferme de différents palmeraies dans la Vallée du Drâa en 2005

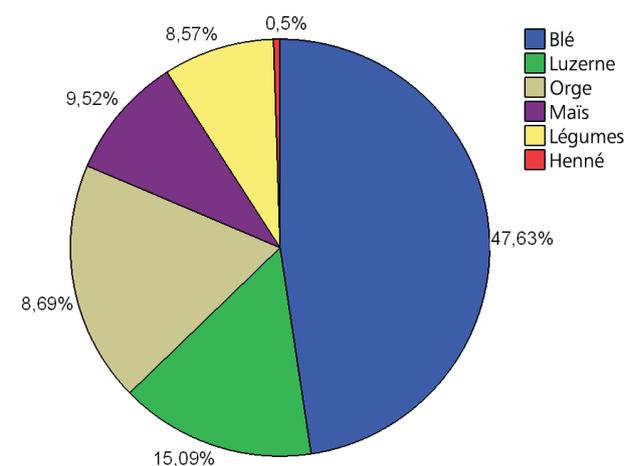


Fig.2: Les produits cultivés dans la région du Drâa (en %)

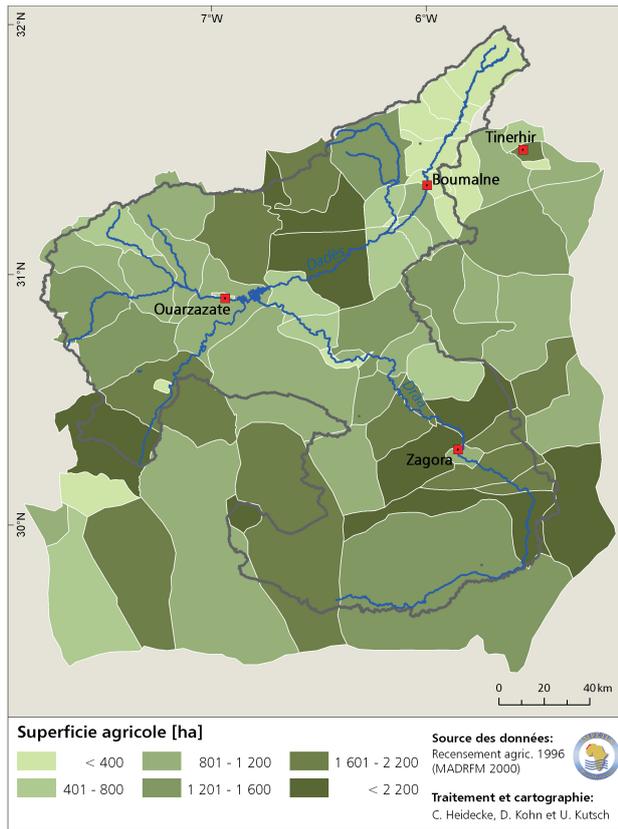


Fig. 3: Superficie agricole (niveau communal en 1996)

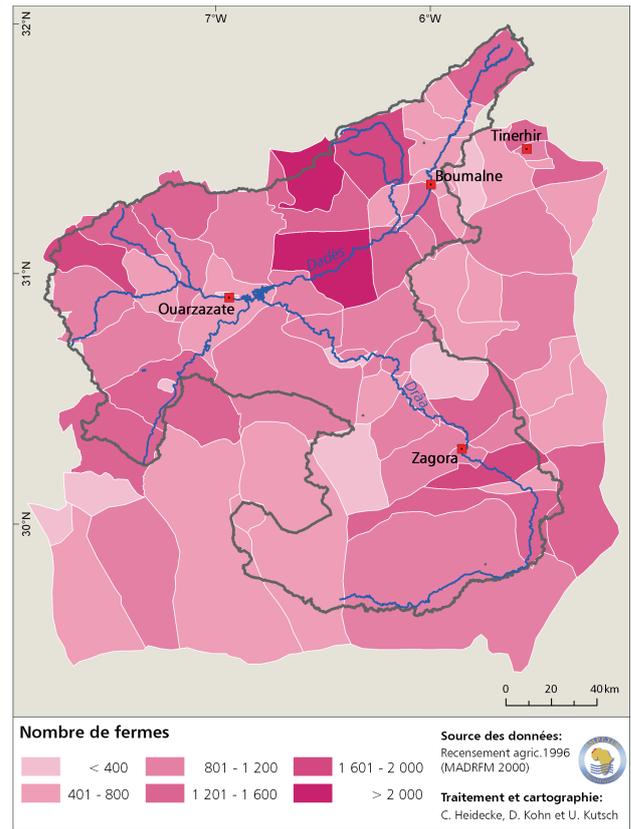


Fig. 4: Nombre de fermes (niveau commune en 1996)

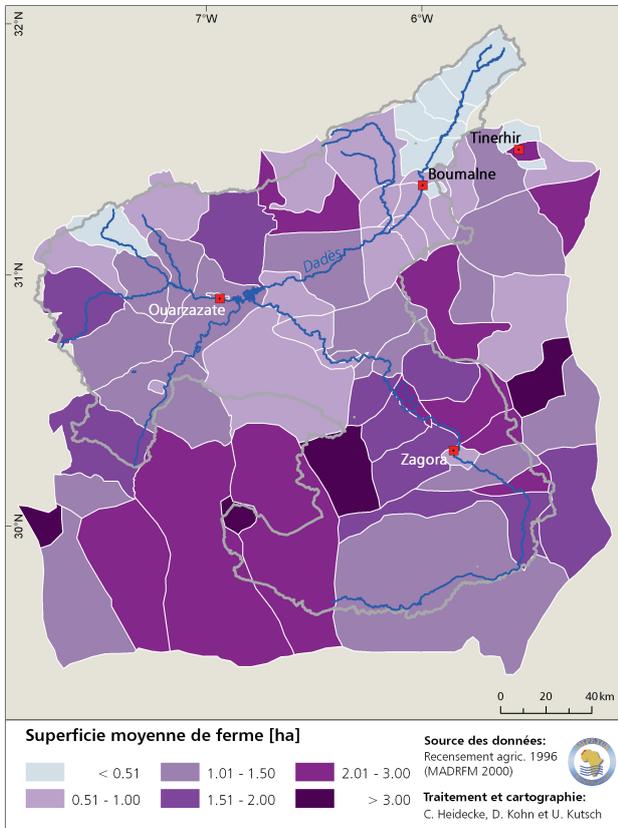


Fig. 5: Superficie moyen de ferme (niveau communal en 1996)

Les Figures 3 à 5 présentent la superficie agricole totale, le nombre de fermes et la superficie moyenne de ferme au niveau communal. Les données du nombre de fermes et de la superficie agricole totale sont issues du recensement agricole Marocain, permettant la détermination de la superficie moyenne de ferme. Les terres agricoles comprennent les terres arables (terre cultivée pour des cultures annuelles au moins une fois pendant les quatre années précédant le recensement agricole) et les terres cultivées avec des récoltes permanentes.

Sources des données

Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes (ed.)(2000): Recensement Général de l'Agriculture: Résultats par Commune, Région: Souss-Massa et Draa

Structure agricole dans le village Ouled Yaoub

Andreas Roth

L'agriculture demeure la source de revenus la plus importante dans la région du Drâa Moyen. Les données agricoles étant souvent fournies à l'échelle régionale, nous avons conduit une étude de cas plus détaillée dans le village Ouled Yaoub (palmeraie de Tinzouline, région du Drâa Moyen). Nous avons évalué la répartition des cultures et le régime de l'eau dans les champs pour obtenir la plupart des paramètres requis pour évaluer l'utilisation et la productivité des terres au niveau local.

Introduction

L'agriculture dans la région du Drâa est la plupart du temps pratiquée pour la subsistance et la consommation locale ; les produits commercialisables y jouent un rôle mineur. La production de dattes en constitue une exception, car elle génère un revenu supplémentaire. La plupart des fermiers font des mélanges de cultures similaires qui se composent de luzerne, céréales (maïs doux, orge, maïs), henné (dans le sud) légumes (tomate, pommes de terre, oignon, betterave), arbres fruitiers et dattiers. L'agriculture est largement pratiquée dans cette région pour générer de revenus supplémentaires (↗ 27). Nous décrivons et analysons la structure agricole de Ouled Yaoub comme un exemple concret de la région du Drâa Moyen (↗ 15, 21, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33).

Méthodologie

Le Tableau 1 indique les superficies en pourcentages et en hectare des différents produits agricoles cultivées dans le village de Ouled Yaoub en octobre 2005.

La superficie globale emblavée dans cette palmeraie est de 7,07 ha, donc plus de la moitié de cette zone demeure en friche en raison de pratique de la jachère, de la pénurie d'eau et pour d'autres raisons. La luzerne, le blé et les légumes occupent des superficies similaires, et en automne ceux-ci représentent les cultures les plus importantes, soit plus de 72,8 % de toutes les cultures pratiquées.

Tableau 1: Association de cultures à Ouled Yaoub, pourcentages et superficies (octobre 2005)

Fruits/cultures	Superficie [%]	Superficie [ha]
Luzerne	24,8	0,64
Orge	1,6	0,04
Dattiers	15,9	0,41
Henné	3,9	0,10
Friche		4,59
Maïs doux	1,9	0,05
Légumes	23,6	0,61
Blé	24,4	0,63
Total	96,1	7,07

Divers légumes sont cultivés toute l'année, selon les préférences. Ainsi, les légumes sont particulièrement importants, et leur culture est facilitée par l'eau d'irrigation venant des puits. Les dattiers bénéficient très bien du système d'irrigation, et occupent apparemment un petit espace représentant, pour ainsi dire, des allées entre les parcelles et servent d'ombrage aux cultures. Les superficies emblavées pour l'orge et le maïs doux montrent l'importance de ces récoltes. Le henné, avec seulement 3,9 %, prend la cinquième place, mais est culturellement très important. Les différentes figures illustrent la superficie cultivée relativement petite comparée au potentiel existant. Nous posons l'hypothèse que cela peut s'expliquer par le manque d'eau. La carte des produits agricoles est faite sur la base des travaux cartographiques sur le terrain de la zone agricole dans les limites administratives d'Ouled Jaoub (Fig. 1). Les chiffres des produits agricoles ont été obtenus par l'analyse de cette carte.

La carte de base a été rendue disponible par l'autorité agricole ORMVAO.

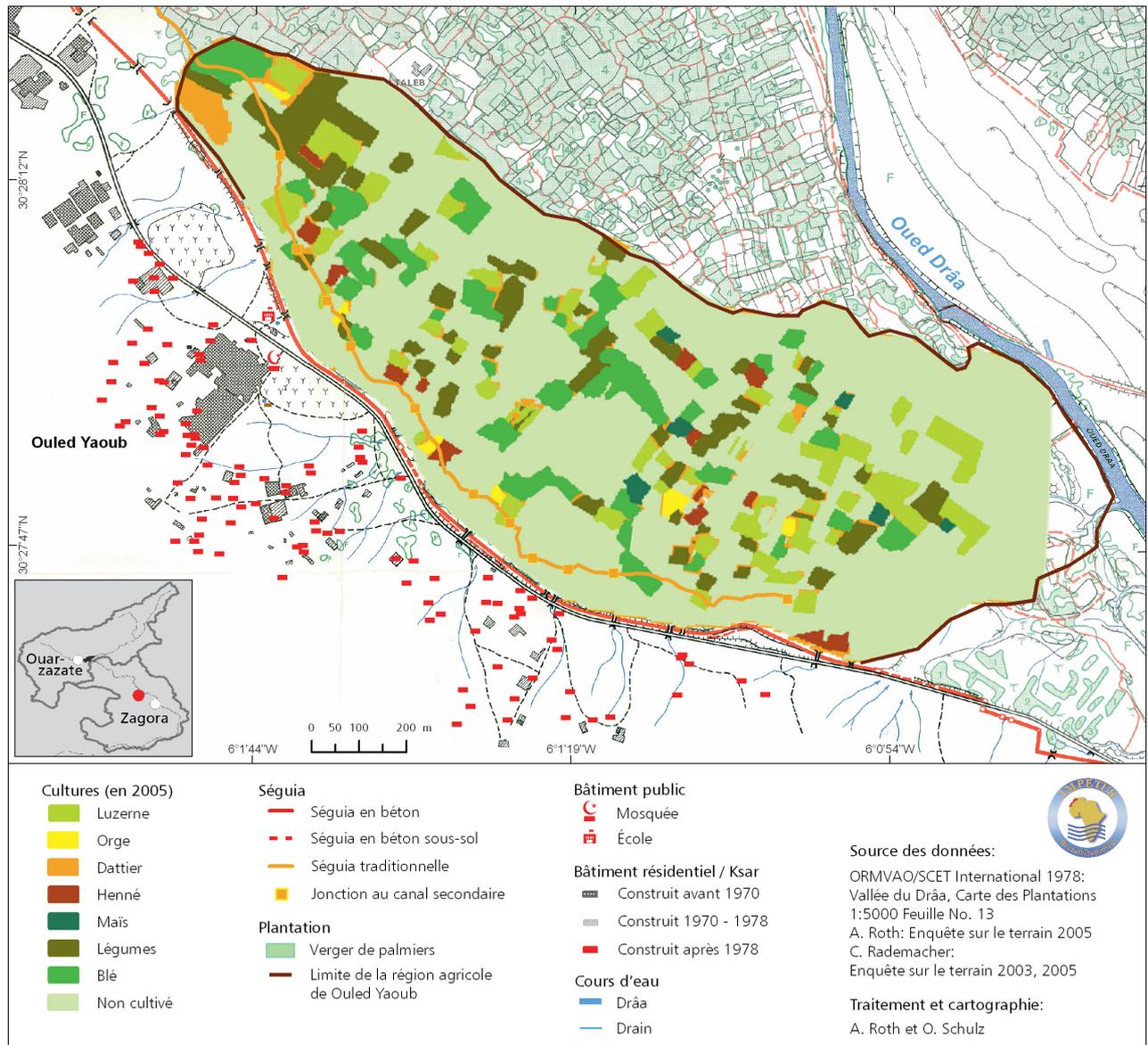


Fig. 1: Types de cultures à Ouled Yaoub (Palmeraie de Tinzouline, Vallée du Drâa Moyen) en 2005

Irrigation dans la région du Drâa en 2005

Claudia Heidecke

Après la construction du barrage Mansour Eddahbi en 1972, le nombre de motopompes a considérablement augmenté dans la Vallée du Drâa Moyen comparée à la vallée supérieure. Les résultats d'une enquête agricole en 2005 ont confirmé cette situation en indiquant que la plupart des fermiers dans la Vallée du Drâa Moyen possèdent plus d'une moto-pompe. Le nombre d'heures de pompage par jour est également significatif.

Méthodologie

Une enquête agricole a été conduite en 2005 et 2006 pour analyser les aspects de la production agricole, de l'irrigation et des stratégies agricoles dans la région du Drâa. Au total, 280 fermiers des six palmeraies de Mezguita à Mhamid, de même que ceux d'Ouarzazate, Skoura, Kalaat Mgouna et Boumalne de Dadès ont été interviewés. L'échantillon n'est pas représentatif pour toute la région, car les fermiers du Haut Atlas et des terres de montagnes n'étaient pas pris en compte et l'échantillon prend principalement en compte les grandes exploitations agricoles (↗ 28).

Eau d'irrigation

La plupart des fermiers dans la vallée du Drâa dépendent de l'irrigation pour la production agricole (↗ 17, 18, 28, 29, 32, 33).

Dans les années 70, l'eau pour l'irrigation dans la vallée du Drâa Moyen a été principalement fournie par les lâchers du barrage Mansour Eddahbi, mais pendant les dernières décennies, l'irrigation avec de l'eau de surface a été de plus en plus complétée ou substituée par l'irrigation avec l'eau souterraine par les fermiers. Dans les années de sécheresse, les fermiers dans la Vallée du Drâa utilisent principalement l'eau souterraine pour l'irrigation, tandis que dans la région du Dadès, l'eau de surface semble toujours être la source d'eau principale (Fig. 1, ↗ 31).

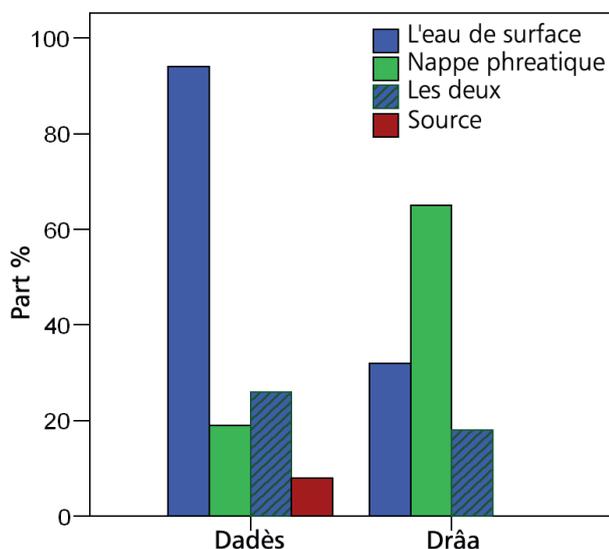


Fig. 1: Sources d'eau d'irrigation (nombre de fermiers)

Quantités d'eau pour l'irrigation

Beaucoup de fermiers de la Vallée du Drâa Moyen se sont plaints de la baisse d'eaux souterraines et donc du coût élevé de pompage d'eau.

Les coûts variables de pompage d'eau souterraine ont été analysés. Le Tableau 1 montre des résultats pour des coûts de pompage variables par palmeraie, y compris les coûts de gaz, de pétrole et d'entretien. Il fournit également les coûts totaux par mètre cube en supposant qu'en moyenne une motopompe débite 17 m³ par heure (mesure prise par Klose, 2005). Les coûts varient par palmeraie, particulièrement en fonction des différents coûts d'entretien des motopompes.

En moyenne, un mètre cube d'eau souterraine pompée coûte à un fermier 0,58 Dirhams Marocain en 2005. Ceci excède l'opération et les coûts d'entretien facturés pour l'irrigation dans la plupart des autres bassins de fleuves au Maroc (Tsur et al., 2004).

Le nombre moyen de puits et de pompes par exploitation agricole est montré dans la Figure 2. La grande différence entre les vallées du Drâa et du Dadès est assez évidente. Cependant, une moyenne de 1,5 motopompes dans la vallée du Drâa est seulement réaliste pour les plus grandes exploitations agricoles.

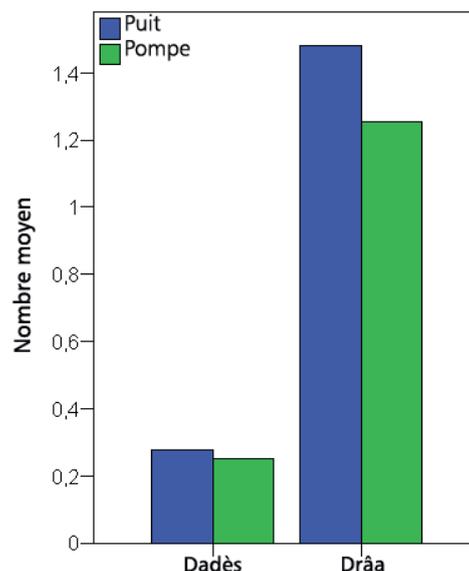


Fig. 2: Nombre de puits et de pompes par fermier

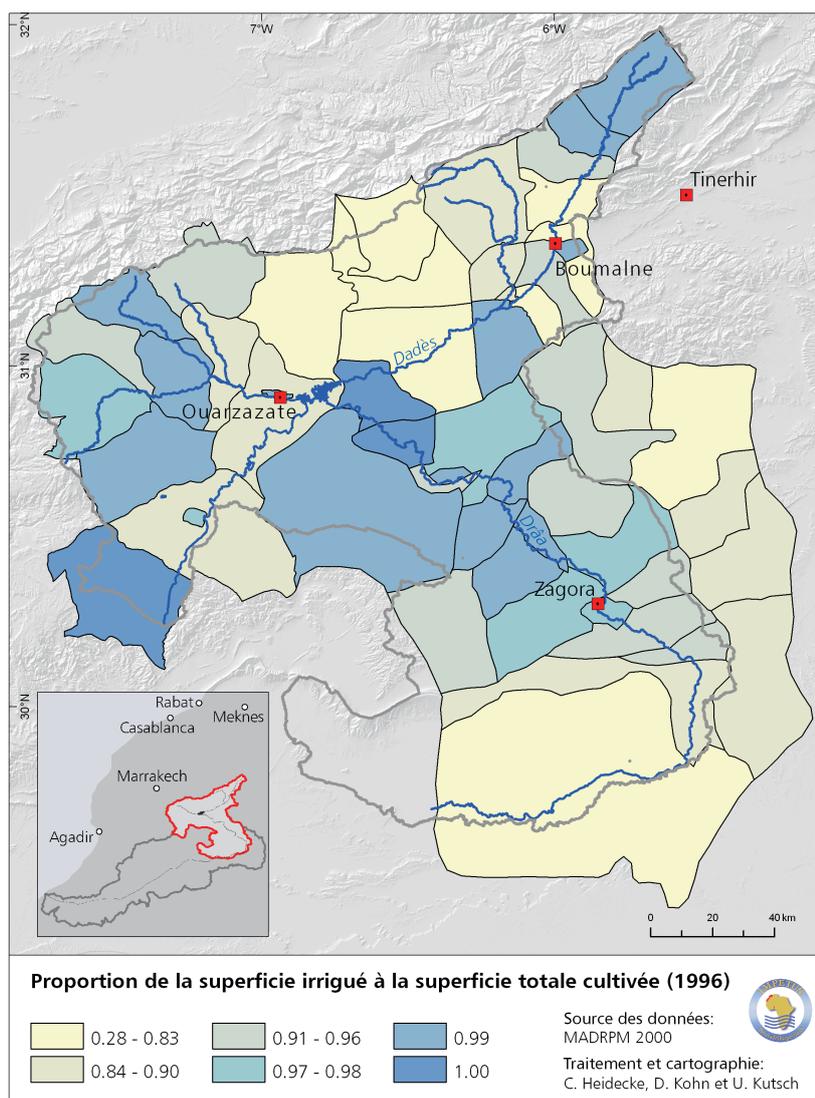


Fig. 3: Région irriguée dans la région du Drâa au niveau communal

Surface irriguée au niveau communal

La Figure 3 montre le pourcentage de la superficie irriguée à la surface totale utilisée pour la production des cultures. Les données illustrent les résultats du dernier recensement agricole marocain effectué en 1996–1997 (Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes, 2000). La définition du secteur irrigué se présente comme suit: une parcelle de terrain est marquée comme irriguée si elle était irriguée artificiellement au moins une fois pendant l'année agricole 1995–1996 (septembre 1995–août 1996). A noter que la précipitation en 1995/96 était plus élevée que la moyenne.

Références

- Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes (ed.) (2000): Recensement Général de l'Agriculture: Résultats par Commune, Région: Sous-Massa-Draa, Rabat
- Tsur et al. (2004): Pricing irrigation water – Principles and cases from developing countries. Resources for the future, Washington D.C.

Tableau 1: Coûts de pompage dans la Vallée du Drâa Moyen en 2005

	Mètres cubes (m ³ /jour/pompe)	Coût total (Dh/m ³)
Mezquita	127,84	0,63
Tinzouline	88,45	0,63
Ternata	76,50	0,62
Fezouata	127,50	0,49
Ktaoua	34,27	0,46
Mhamid	55,13	0,63
Coûts moyens	84,95	0,58

Stratégies agricoles: Gestion de l'irrigation, minimisation des risques et rotation des cultures à Tichki

Holger Kirscht

Cette étude de cas porte sur les stratégies de gestion pratiquées par les fermiers dans la communauté de montagne de Tichki qui est localisé dans le Haut Atlas Central. Bien que la région de l'Atlas ait un surplus de précipitation, les cultures exigent une irrigation à cause de la distribution inégale des précipitations dans la région. A l'instar d'autres régions du secteur d'étude, différents codes fonciers et de l'eau coexistent. Les stratégies employées par les fermiers locaux pour les besoins de garantie de bons niveaux de production et de niveau minimum de risques d'échec conviennent bien à l'environnement semi-aride montagneux de Tichki.

Introduction

Cette étude examine comment une communauté locale s'adapte à un milieu environnemental caractérisé par des ressources naturelles limitées. Les stratégies économiques des fermiers ont été étudiées par rapport au potentiel écologique de l'environnement. Bien que la disponibilité de l'eau dans le Haut Atlas ne soit pas aussi limitée que dans les autres régions du bassin du Drâa, il est clair que l'eau est le plus important facteur limitant pour la production agricole (↗ 6, 8, 17, 19, 20, 28, 29).

Tichki – la vallée

Habiter en permanence dans le village Tichki (2 200 m d'altitude) est un phénomène relativement récent. Jusque dans les années soixante-dix, peu de familles y avaient établi des habitations permanentes. Tichki est un petit village avec environ 290 habitants qui vivent dans 28 ménages. La taille moyenne du ménage est plutôt petite (7,5 p/h) en rapport avec la moyenne nationale. Les familles appartiennent à une des quatre lignées ou « grandes familles » qui sont les autochtones ou premiers colons permanents dans la vallée.

Irrigation traditionnelle

Pour l'irrigation à Tichki, les populations comptent sur deux sources: la rivière principale et les affluents qui alimentent la rivière par une vallée latérale. L'eau est « appropriée » et distribuée d'après deux systèmes de code de l'eau. Le système *mulk* qui est pratiqué dans la vallée principale de la rivière, et l'*allam* ou le système *afalys*, pratiqué dans la vallée latérale. Dans le système *allam*, les droits de l'eau sont attachés à la propriété de parcelles de terre spécifiques. La terre peut être vendue seulement ou peut être héritée avec des droits de l'eau concomitants aux parcelles de terre. L'irrigation dépend de l'emplacement d'un champ et la demande de la récolte. Les champs sont irrigués dans l'ordre, sans se soucier de qui est le propriétaire du champ. Seize secteurs d'irrigation existent. Un cycle d'irrigation complète prend neuf à douze jours approximativement. Le système *allam-afalys* est utilisé si les ressources en eau sont suffisantes. Les arrangements

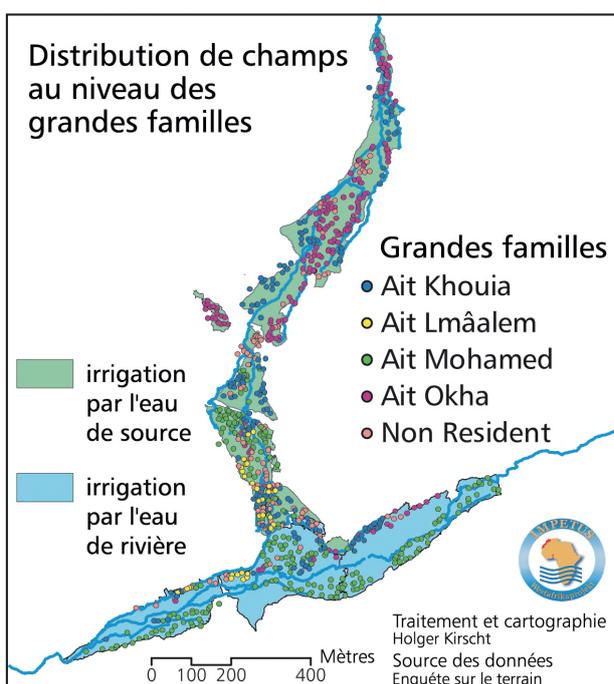


Fig. 1: Distribution des champs

entre les propriétaires riverains en amont et en aval sont aussi nécessaires. Dans le système *mulk*, les droits de l'eau sont indépendants des droits sur le foncier. L'eau et la terre peuvent être données, vendues, ou peuvent être héritées indépendamment. Les familles ou individus s'approprient des parties des canaux d'irrigation et le droit d'utiliser de l'eau de l'irrigation pendant des périodes fixes de temps (*nouba*). Pendant ce créneau, le fermier est habilité pour irriguer ses champs, quelle que soit la position de son champ. Neuf *noubas* existent dans Tichki et chacun dure une journée. L'eau est partagée par les quatre lignées et les villages en aval de Tichki Tahtani. La lignée Ait Khouia et autres reçoivent quarante-huit heures d'eau, celle Ait Mohammed, quatre-vingt-seize heures, la lignée Ait Lmaalem, douze heures, la lignée Ait Okha, douze heures, et les familles du Tichki inférieur, quarante-huit heures. Le système *nouba* est utilisé pour gérer les ressources rares et contestées (↗ 30, 32, 33).

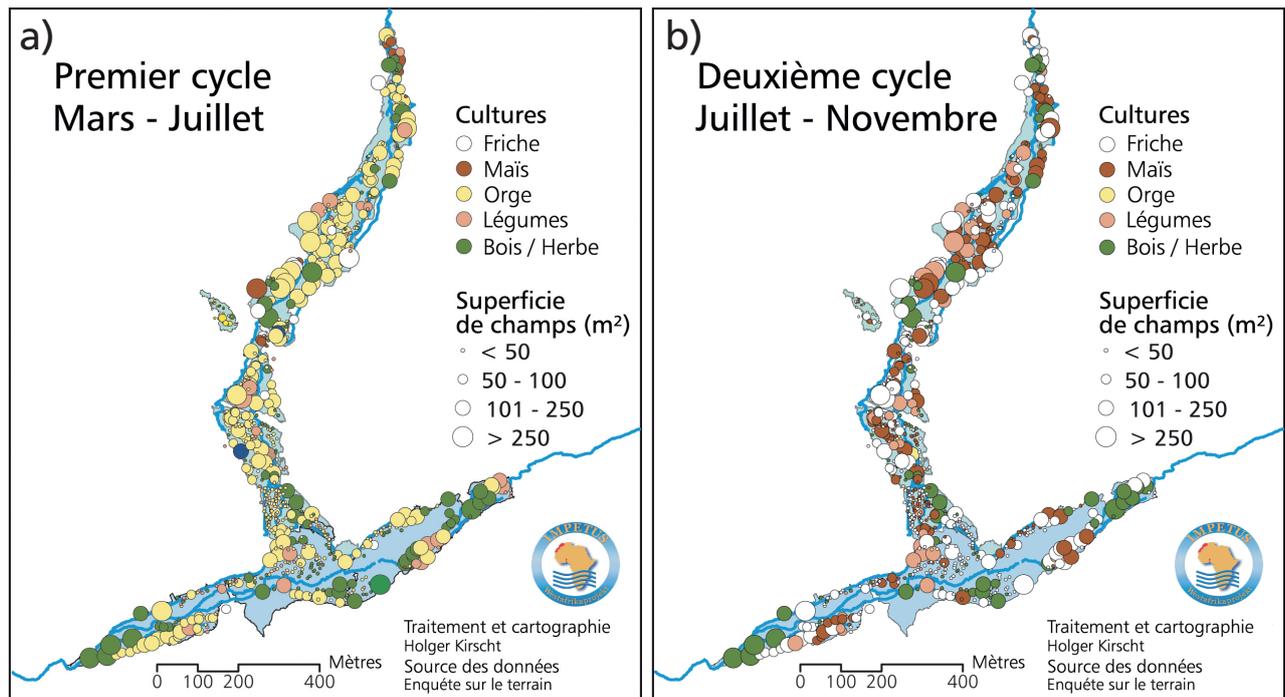


Fig. 2: Distribution des cultures (a) de printemps et (b) d'été

Stratégie – Propriété de champ diversifiée

Bien que les lignées et familles individuelles aient tendance à diversifier spatialement leur propriété de champs, il existe cependant certains modèles de propriété du fait des processus originaux d'acquisition des terres (Fig. 1).

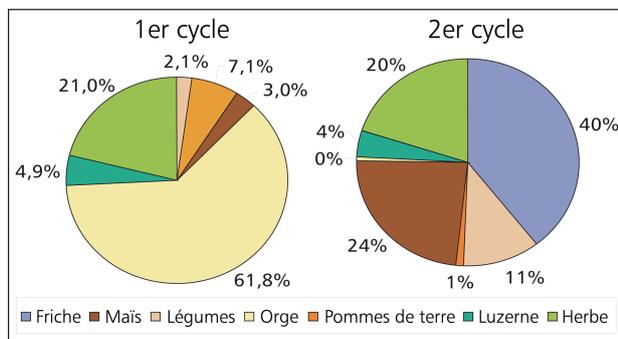


Fig. 3: Pourcentage de cultures principales durant le premier et le second cycle de culture

Les lignées préfèrent posséder des terres à la fois dans le lit et sur le versant de la vallée: une telle diversification de propriété permet aux lignées de se protéger d'éventuelles catastrophes qui peuvent survenir à la suite d'une baisse du niveau de l'eau ou d'un glissement de terrain.

Stratégie - sélection et rotation de cultures

Deux cultures sont faites par an (Figs. 2, 3). L'orge et les pommes de terre sont les premières cultures dominantes, et sont faites au printemps. Le maïs et les légumes, les deuxièmes cultures dominantes faites en été et en automne. Les

cultures sont faites à l'origine pour la consommation domestique. Noix et, plus récemment, les pommes constituent les cultures de rente les plus importantes.

Les cultures sont faites en continu; seuls quelques champs sont laissés en jachère en automne. Trois cycles de rotation de cultures sont pratiqués (Tableau 1). Aussi bien les arbres fruitiers et ceux à noix que les prairies et peupliers, qui ont crû près des cours d'eau, sont des cultures permanentes. La rotation des cultures et le rendement dépendent de la qualité du sol et l'emplacement des champs dans le système d'irrigation.

Tableau 1: Cycles de rotation des cultures

1ère culture	2ème culture	cycle
orge	jachère	1 an
orge	maïs	1 an
orge	maïs	} 4 ans
orge	pommes de terre	
orge	maïs	
orge	carotte / rave	

Conclusion

Les populations de Tichki utilisent des systèmes de gestion des terres et d'eau écologiquement adaptées. Cependant, la population grandissante de Tichki et ses contraintes environnementales forment un défi majeur pour ses terres et les systèmes de gestion de l'eau. Étendre les superficies agricoles n'est pas une option, car pour ce village, ni la terre ni l'eau ne sont assez disponible. La culture itinérante est souvent considérée comme la seule option alternative pour l'agriculture locale (↗ 26).

Irrigation traditionnelle et moderne à Ouled Yaoub

Christina Rademacher

Dans les régions arides, les systèmes d'irrigation sont d'importance cruciale pour l'agriculture d'oasis. Dans la Vallée du Drâa, des systèmes d'irrigation divers existent avec des droits de propriété différents. Parfois les droits sur l'eau sont en relation avec les droits sur la terre (la terre ne peut pas être achetée ou vendue sans droits sur l'eau) et dans d'autres règlements, les droits sur l'eau peuvent être achetées et vendues de façon indépendante. Les aspects positifs et négatifs des systèmes d'irrigation traditionnels et modernes seront clarifiés à partir d'un exemple d'étude de cas.

Introduction

Cette étude explique le fonctionnement de l'irrigation traditionnelle sans frais à Ouled Yaoub et les raisons qui justifient aujourd'hui l'usage intensif de l'irrigation moderne à coût élevé avec la moto-pompe. Les situations actuelles d'approvisionnement en eau, les besoins en eau pour l'agriculture et l'usage domestique sont tous aussi importants.

Méthodes

Pendant les travaux de terrain sur une longue période (2002–2006), tous les puits servant à l'agriculture et à l'usage domestique ont été recensés par GPS et cartographiés sur la « carte de plantations » (ORMVAO, 1975). Des déclarations recueillies au plan local au sujet de la qualité et de la quantité de l'eau, de même que des informations sur les stratégies d'adaptation des agriculteurs, ont été recensées.

Irrigation traditionnelle

L'irrigation traditionnelle a été effectuée selon un programme général: l'eau est détournée du Oued Drâa par l'intermédiaire des canaux d'irrigation (*seguia*) aux champs (Fig. 2). Chaque agriculteur possède un droit de jouissance sur la terre et sur l'eau. Après la construction du barrage Mansour Eddahbi en 1972, les lâchers d'eau ont été limités à trois ou quatre fois en années sèches (↗ 17, 29, 30).

En décembre 2005, l'eau était disponible pendant six jours à Ouled Yaoub. Selon un système complexe de distribution, chaque agriculteur a été assigné à une période fixe pour l'irrigation, en fonction des droits personnels et de la disponibilité de la quantité d'eau totale. Le moment et le jour pour l'irrigation ont été fixés par des choix aléatoires. Il est important de noter que pendant chaque lâcher, l'équivalent de temps de l'unité d'irrigation (*nouba*) est fixé à nouveau. En mars 2004, une *nouba* a duré six heures, tandis qu'en décembre 2005 elle a été seulement de deux heures.

Indépendamment du nombre et de la taille de leurs champs, 19 % des propriétaires d'eau ont bénéficié de moins de deux heures d'irrigation et autres 19 % ont été alimentés pendant moins de quatre heures (Fig.1). Même les culturellement les plus privilégiés ont pu irriguer seulement pendant dix-neuf heures. Il faut comparer cette quantité d'eau d'irrigation aux traditions locales en irrigation, où un champ de

blé d'une étendue de 3 000 m² est arrosé sept fois pendant dix-huit heures jusqu'à ce qu'il soit moissonné.

On peut conclure que le système d'irrigation traditionnel modifié ne satisfait les besoins des agriculteurs en eau.

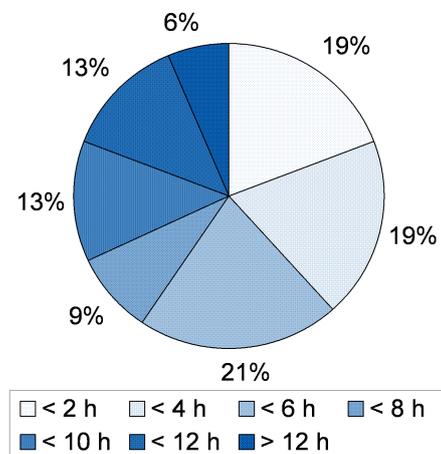


Fig. 1: Distribution d'eau d'irrigation par propriétaire de droits de l'eau. Lâcher décembre 2005, cycle de 6 jours

Irrigation par moto-pompe

Il y a eu une très forte augmentation du nombre de puits dans la Vallée du Drâa suite à la construction du barrage (Faouzi, 1986). La carte montre la répartition des puits pour l'usage agricole et domestique à Ouled Yaoub. La plupart des soixante-trois puits agricoles ont des moto-pompes. L'utilisation des nappes aquifères a conduit à une baisse du niveau d'eau souterraine et de sa qualité.

Irrigation domestique

En plus, les femmes des 102 ménages permanents prennent l'eau des 61 puits domestiques. Les résultats d'une enquête de consommation de l'eau en 2005 ont indiqué que 21 à 40 litres (selon la taille de la famille) ont été utilisés par personne par jour (↗ 15, 21, 33).

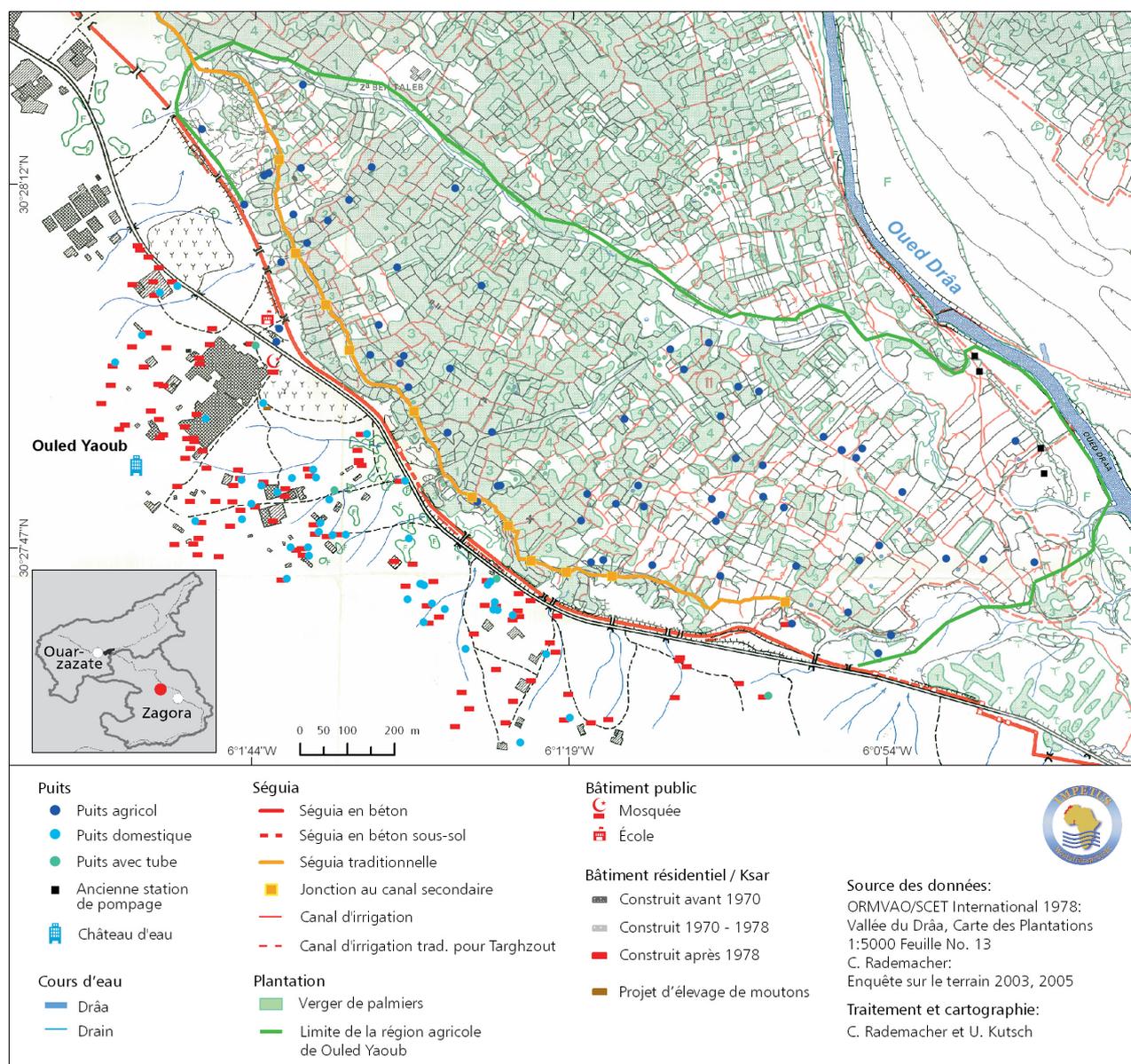


Fig. 2: Approvisionnement en eau pour les ménages et l'agriculture à Ouled Yaoub, palmeraie de Tinzouline, Vallée du Drâa Moyen

Conclusion

Ni le vieux système d'irrigation ni les motopompes modernes ne satisfont pas aux besoins pressants en eau des agriculteurs. L'irrigation moderne est assez coûteuse (c.-à-d. construction, gasoil pour les pompes) car chaque ménage qui a l'intention d'utiliser la technologie moderne d'irrigation, doit avoir plus d'un revenu. La migration est devenue la stratégie la plus commune de la survie dans l'oasis. Les remises des migrants ont permis aux villageois de financer l'agriculture locale et les outils modernes d'irrigation (↗ 26).

Source des données

Enquête sur le terrain et interviews: C. Rademacher
ORMVAO (1975) : Vallée du Drâa, Carte des plantations 13, 1:5 000.
Faouzi, A. (1986) : Distribution de l'eau dans le Drâa Moyen, ORMVAO.

Investissements dans les droits de la terre et de l'eau à Ouled Yaoub

Christina Rademacher

Pour une société traditionnellement basée sur l'agriculture, la possession de la terre et l'eau est un indicateur important de statut, déterminant si un individu est honorable ou si son origine est ambiguë selon les attributs sociaux et locaux. Investir dans les droits d'utilisation de la terre et de l'eau constitue un des moyens de réaliser à la fois le bonheur et le prestige.

Introduction

Trois différents groupes ethniques résident dans le village Ouled Yaoub: Les groupes arabes, le Draoua, et le Haratin (ces termes sont basés sur la classification locale). Ces groupes ethniques variables sont socio-politiquement organisés en quatre *firaq* (groupes). Ils sont divisés en deux groupes arabes, un groupe mixte qui contient des Arabes et Haratin, et un quatrième groupe qui se compose des Draoua. Des 102 ménages, 65 % sont d'origine Arabe, 30 % sont d'origine Draoua et seulement 5 % sont d'origine Haratin.

Dans les sociétés hiérarchiquement organisées, les groupes ethniques dominants possèdent la majorité des terres comme le faisaient dans le passé les Arabes à Ouled Yaoub. La question se pose de savoir si cette situation a changé aujourd'hui avec la forte migration de tous les groupes ethniques. En outre, s'il y a eu des changements, quelles sont les raisons de ces changements? Le présent document s'intéresse à la façon dont l'ordre social a changé, avec une référence particulière à la façon dont la distribution de la terre et de l'eau a fonctionné comme indicateur de statut social.

Méthodes

En 2003, une enquête a été conduite pour évaluer la possession de terres de chaque ménage. Cependant, il était impossible de connaître la taille exacte de tous les champs, car les agriculteurs ne pouvaient pas fournir une telle information et parce qu'il était impossible de mesurer la superficie de chaque champ. Des interviews ont été conduites sur le régime foncier avec les experts en matière de droits de la terre et de l'eau pour appréhender aussi bien la situation passée que présente, de même que les changements observés dans le temps. La base de la comparaison détaillée de cette étude était le cadastre agricole de l'ORMVAO (1978). Ces données fournissent des informations au sujet de la propriété totale de chaque ménage et sur les superficies des champs.

Historique

La Vallée du Drâa, ayant été éprouvée par plusieurs vagues d'immigration durant toute son histoire, est un creuset de différents groupes ethniques. A chaque incursion, ces vagues d'immigration ont apporté des changements à l'organisation sociopolitique. Dans la première moitié du 20^e siècle, les

groupes arabes ont pris possession de plusieurs parties de la vallée.

A Ouled Yaoub, les Arabes étaient de grands propriétaires terriens qui ont employé Draoua et Haratin pour travailler leurs champs. Les Draoua et les Haratin ont travaillé sur la base des rapports patron-client (*khammes*) pour un cinquième de la moisson.

Après l'indépendance du pays en 1956, la migration vers les nouveaux centres économiques du Maroc a commencé et s'est rapidement étendue. À partir des années 1970, les gens appartenant aux groupes sociaux désavantagés tels que les Draoua, mais également les Arabes, étaient en pleine migration. Les migrants ont commencé à envoyer de l'argent à leurs familles et les villageois pouvaient investir dans le logement et l'agriculture (↗ 3, 26).

Droits de la terre et de l'eau

Les investissements dans l'agriculture comprennent l'acquisition des terres, les droits de l'eau, et l'achat de motopompes. La répartition de la terre et de l'eau aujourd'hui, après presque quatre décennies de migration, est présentée dans Figure 1.

Les Draoua, qui contient 30 % des ménages, possèdent 42 % des terres. Les Arabes, par contre, représentant 65 % des ménages, possèdent 53 % des terres. Comme source traditionnelle d'irrigation, l'eau de surface de l'Oued Drâa est moins importante aujourd'hui pour les agriculteurs. Les vil-

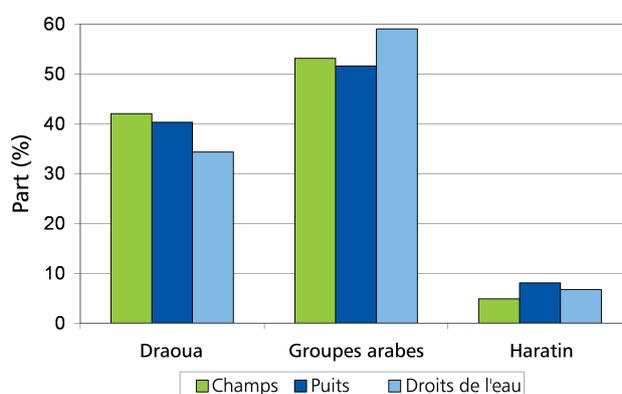


Fig. 1: Distribution des champs, des puits et des droits de l'eau pour chaque groupe ethnique en 2003

lageois préfèrent investir dans l'installation des puits munis de motopompes (↗ 30, 32).

Il est important de comprendre comment la situation actuelle se présente, comparée à l'état des lieux à la fin des années 70, quand la migration ouvrière a connu le jour.

Le nombre des champs et de leurs superficies dans « l'Etat parcellaire » en 1978 a pratiquement la même valeur numérique qu'en 2003; ce qui permet de faire une comparaison de la répartition des champs entre ces deux dates.

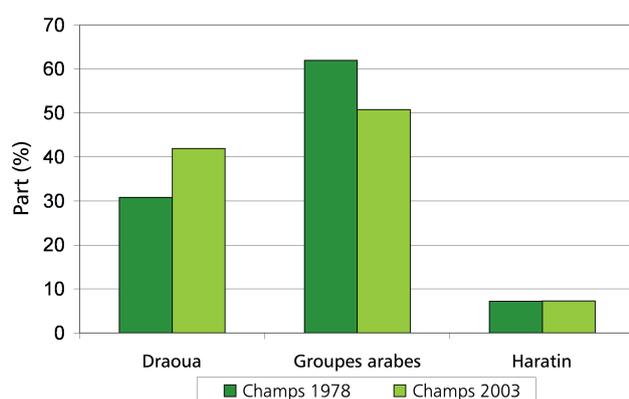


Fig. 2: Distribution comparative des champs en 1978 et 2003

La Figure 2 montre que le Draoua, autrefois désavantagés, sont devenus financièrement capable d'investir aussi bien dans la terre que dans les techniques traditionnelles et modernes d'irrigation. Comparé aux groupes arabes, les Draoua ont investi plus dans l'agriculture que leurs anciens patrons. Puisque chaque groupe a participé à la migration, il est intéressant de constater que les groupes diffèrent par leur niveau d'investissement agricole. La composition des ménages indique que les groupes arabes ont eu une tendance de former des familles de taille moyenne ou petite. Des trois groupes arabes, seulement 7–23 % ont plus de 10 personnes par ménage, tandis que 40 % des ménages Draoua sont des familles élargies. La division des ménages implique la division des propriétés, tandis que dans les familles nombreuses, la propriété est acquise en commun. Visiblement, les Draoua conservent les normes et traditions de familles élargies.

Vu sous l'angle de la possession de terres par *firqa*, les Draoua possèdent plus de terres que n'importe quel groupe. En terme de politique locale, c'est important parce que les conflits internes qui infestent les groupes arabes donnent aux Draoua une position bien plus importante dans des processus décisionnels locaux.

Aujourd'hui, les Arabes investissent plus dans l'enseignement supérieur de leurs enfants que dans l'agriculture, tandis que les Draoua continuent d'investir dans la terre.

Investissements dans l'agriculture

Une classification des sources de revenus de chaque ménage examiné selon une enquête en 2006 (20 ménages) indique que la migration est considérée comme première ou deuxième priorité, avant agriculture, les activités commerciales, l'élevage, ou le salaire local. La répartition des revenus se présente comme suit: 69 % du revenu global de tous les ménages examinés se composent de l'argent transféré par les migrants (remises), de 18 % d'agriculture et de 13 % d'autres sources. Les ménages pratiquant la migration internationale ont investi plus dans l'agriculture que les ménages qui ont des membres dans la migration nationale. Par conséquent, les ménages pratiquant la migration internationale ont eu un revenu agricole plus élevé. Une opération de calcul coût-bénéfice a révélé que dans la plupart des cas, l'agriculture est devenue si chère (c.-à-d. motopompe, gasoil, engrais), qu'elle n'est plus rentable. Les gens ont estimé qu'il était moins cher pour eux de s'approvisionner en légumes au marché local (*souq*) que d'en produire. Ainsi, 30 % des ménages ont cessé de pratiquer de l'agriculture, tandis que 25 % des ménages produisent juste assez pour l'autoconsommation.

Chaque ménage qui a fait un bénéfice net l'a eu par sources de revenus autres que l'agriculture, tels que les taxis ou la location des équipements agricoles, pour ne citer que ceux-là (↗ 15, 17, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32).

Source des données

Enquête sur le terrain et interviews: C. Rademacher
Données du Cadastre agricole: ORMVAO 1978

Abréviations

A1B	Scénario de changement climatique sur la base de RSSE, défini par le GIEC	RSSE	Rapport spécial sur les scénarios d'émissions
ATL	Région de l'Atlantique	SE	Service Eau
B1	Scénario de changement climatique sur la base de RSSE, défini par le GIEC	SI	Système d'Information
CE	Conductivité Electrique	SIG	Système d'Information Geographique
CRU	Climate Research Unit (à l'Université d'East Anglia)	SOA	Région au sud de l'Atlas
DRH	Direction Régionale Hydraulique	SRM	Snowmelt Runoff Model
ECHAM	European Centre Hamburg Model	SRTM	Space Shuttle Radar Topography Mission
ESRI	Environmental Systems Research Institute	SSPD	Système Spatiale de Support à la Prise de Décision
ET	Ecart Type	SYNOP	Surface Synoptic Observations
ETM	Enhanced Thematic Mapper	UEB	Utah Energy Balance Model
GHCN	Global Historical Climatology Network	UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat	USGS	United States Geological Survey
GLOWA	Globaler Wasserkreislauf (Changement Global et le Cycle Hydrologique)	VASCLIMO	Variability Analysis of Surface Climate Observations
GPS	Système de Positionnement Global	WGS84	World Geodetic System 1984
ha	hectare	WRB	World Reference Base for soil resources
HCEFLCD	Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification		
IMPETUS	Integratives Management-Projekt für einen effizienten und tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika Approche Intégrée pour la Gestion Efficente des Ressources Hydriques Limitées en Afrique de l'Ouest		
MED	Région Méditerranéenne		
MNT	Modèle Numérique du Terrain		
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer		
NASA	National Aeronautics and Space Administration		
NDSI	Normalized Difference Snow Index		
ORMVAO	Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate		
OS	Outil de Surveillance		
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel		
PESERA	Pan European Soil Erosion Risk Assessment		
PHI	Programme Hydrologique International		
PIB	Produit Intérieur Brut		
REMO	Regional Model		
RMSE	Root Mean Square Error (erreur de la racine carrée moyenne)		
ROSELT	Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme		

