



Etude sur les potentiels de biomasse dans la région de l'Oriental

Rapport Final - Version Préliminaire

giz



aderee
Agence Nationale pour le Développement
des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique

Commettants

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – Coopération Technique Allemand (GIZ)



Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l’Efficacité Energétique



Mandataire

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement – Institut de la Gestion des Flux de Matières (IfaS)

Université des Sciences Appliquées de Trèves - Umwelt-Campus Birkenfeld



Gestion du Projet

Prof. Dr. Peter Heck (Directeur IfaS)

Moulay Radi El Harrak (Directeur IfaS Maghreb)

Elaboré par

Nina Runge, Dipl.-Betriebswirtin (FH), M.Sc., M.Eng.

Nele Sutterer, M.Sc. agr.

Dr. Michael Knaus

Jörg Böhmer, Dipl.-Ing. agr.

Frank Wagener, Dipl.-Ing. agr.

Note préliminaire

Dans le cadre de la présente étude, l'Institut de la Gestion des Flux de Matériaux (IfaS) a réalisé une collecte et une analyse de données à grande échelle. Un soin particulier a été apporté à l'évaluation des données.

Cependant il n'est pas à exclure que, vu la disponibilité réduite de données dans la région, l'étude présente des carences ou des erreurs.

Aussi nous demandons aux lecteurs spécialisés dans ce domaine de faire parvenir à la GIZ et aux auteurs toutes indications complémentaires. Merci de vous adresser à: Katharina.Hay@giz.de.

La GIZ et les auteurs ne peuvent se porter garants de l'exactitude des données de cette étude; en outre, ils n'engagent aucune responsabilité concernant toute perte ou dommage résultant de l'utilisation de ces données.

Remerciements

La réalisation de l'étude présente sur le potentiel de la biomasse dans la région de l'Oriental n'aurait pas été possible sans le soutien des partenaires de projet et des experts locaux.

Nous tenons tout d'abord à remercier l'Agence Nationale de Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (ADEREE) pour l'organisation des manifestations locales et l'effort déployé afin d'assurer la coordination entre les différents acteurs. Nous sommes également reconnaissants envers l'agence pour le soutien apporté lors de la collecte de données.

- Monsieur Mohamed Berdai, ADEREE
- Monsieur Mohamed Makaoui, ADEREE
- Monsieur Mourad Hajjaji, ADEREE
- Monsieur Redouan Yessouf, ADEREE
- Monsieur Abdelhaq Amahrouch, ADEREE

La participation des acteurs locaux et les vives discussions dans le cadre des différents ateliers, formations, présentations, visites et interviews ont permis à faciliter la collecte et vérification des données spécifiques concernant le potentiel de biomasse dans la région de l'Oriental.

Nous aimerais remercier tout particulièrement les institutions et personnes suivantes pour l'excellente et étroite collaboration tout au long de la durée du projet :

- Monsieur Prof. El Afilal, Université Mohamed I
- Madame Nadia Belakhdar, Université Mohamed I
- Monsieur Ismail Zouggar, Université Mohamed I
- Monsieur Yahya Tabet, Wilaya d'Oujda
- Monsieur Najjari Miloud, Wilaya d'Oujda
- Monsieur Mohammed Ouled Hadj, Conseil Régional de l'Oriental
- Monsieur Mohamed Akrouni, Conseil Régional de l'Oriental
- Monsieur M'bark Ech-chine, Délégation de la Commerce et de l'Industrie
- Monsieur Abdelghani Abdellaoui, Ingénieur, Direction Régionale d'Agriculture Oujda (DRAO)
- Monsieur Abdelhafid Fekkoul, Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM)
- Monsieur Abdellah Bouyadid, Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM)
- Monsieur Thami Kchit, Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM)
- Monsieur Khalid Iharchine, *Direction Régionale des Eaux et Forêts* (DREF), Oujda/Oriental
- Monsieur Hassane Mokhtari, Province Berkane
- Monsieur Abdennasser Belhaouari, Municipalité Berkane
- Monsieur Driss Bouda, Municipalité Taourirt
- Monsieur Nour-Eddine Bougrien, Municipalité Jerada
- Monsieur Abdelkader Kheir, Commune Urbaine Oujda, Centre d'Enfouissement Technique (C.E.T.)
- Monsieur Adnane Elghazi, Commune Urbaine Oujda
- Monsieur Rachida Bougroun, Haute Commissariat au Plan (HCP)
- Monsieur Hamid Dane, Office Nationale de l'Electricité (ONE)
- Monsieur Mohammed Serhouchni, Office Nationale de l'Electricité (ONE)

- Monsieur Kasmi El Khatir, *Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité d'Oujda* (RADEEO)
- Salima Demnati, Département de l'Environnement
- Monsieur Abdelmajid Jaafar, Architecte
- Monsieur Redouane Karmoud, ISTA Zraib Berkane
- Monsieur Dr. DRISS, Office Nationale de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA)
- Monsieur Dr. Khadija Lahbil, Abattoir communale Oujda
- Monsieur Ankiz Benyounes, Abattoir communale Oujda
- Monsieur Hsini, *Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité d'Oujda* (RADEEO)
- Monsieur Majid Beraja, Abattoir avicole KPCD, Oujda
- Monsieur Metaich, Groupement de l'Environnement, Nador
- Monsieur Salah Nahid, Sucrerie SUCRAFOR, Zaio
- Monsieur Khalid Kaaouachi, Cimenterie HOLCIM
- Madame Bakali Fouzia, Conservation d'olives, Taourirt
- Madame Nadia Hallou, Coopérative Laitière du Maroc Oriental (COLAIMO), Oujda

Sommaire

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCTION..... | 1 |
| 2 | OBJECTIFS | 3 |
| 3 | PROCEDE..... | 4 |
| 3.1 | DEFINITION DU TERME POTENTIEL..... | 7 |
| 3.2 | ANALYSE DES FLUX DE MATIERES..... | 8 |
| 3.2.1 | <i>Détermination du potentiel énergétique (kWh)</i> | 8 |
| 3.2.2 | <i>Détermination de l'équivalent pétrole (tep).....</i> | 9 |
| 3.2.3 | <i>Détermination du potentiel de réduction en CO₂.....</i> | 9 |
| 4 | LA ZONE D'ETUDE: LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 11 |
| 4.1 | RELIEF | 12 |
| 4.2 | HYDROLOGIE | 13 |
| 4.3 | SOL..... | 15 |
| 4.4 | CLIMAT..... | 15 |
| 4.5 | VEGETATION NATURELLE | 17 |
| 4.6 | DEMOGRAPHIE..... | 17 |
| 4.7 | ECONOMIE | 18 |
| 4.8 | INFRASTRUCTURE..... | 19 |
| 5 | ANALYSE DE FLUX DE MATERIAUX | 20 |
| 5.1 | AGRICULTURE | 20 |
| 5.1.1 | <i>Acteurs.....</i> | 23 |
| 5.1.2 | <i>Démarche</i> | 23 |
| 5.1.3 | <i>Potentiels.....</i> | 25 |
| 5.1.3.1 | <i>Production végétale</i> | 25 |
| 5.1.3.2 | <i>Elevage animal.....</i> | 35 |
| 5.1.3.3 | <i>Autres matières premières issues de l'agriculture</i> | 38 |
| 5.1.4 | <i>Conclusion</i> | 39 |
| 5.1.5 | <i>Digression : Le Plan Maroc Vert dans la région de l'Oriental</i> | 41 |
| 5.2 | FORESTERIE | 46 |
| 5.2.1 | <i>Acteurs.....</i> | 49 |
| 5.2.2 | <i>Démarche</i> | 50 |
| 5.2.3 | <i>Potentiels.....</i> | 51 |
| 5.2.4 | <i>Conclusion</i> | 54 |
| 5.2.5 | <i>Digression: Nappe alfatière</i> | 54 |
| 5.3 | DECHETS..... | 58 |
| 5.3.1 | <i>Acteurs.....</i> | 67 |
| 5.3.2 | <i>Démarche</i> | 68 |
| 5.3.3 | <i>Potentiels.....</i> | 69 |
| 5.3.3.1 | <i>Déchets ménagers</i> | 69 |
| 5.3.3.2 | <i>Commerce & Industrie</i> | 70 |
| 5.3.3.3 | <i>Déchets du secteur touristique</i> | 85 |
| 5.3.4 | <i>Conclusion</i> | 87 |
| 5.4 | EAU | 92 |
| 5.4.1 | <i>Eau douce</i> | 92 |
| 5.4.2 | <i>Eaux usées</i> | 94 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.4.2.1 | Infrastructure existante | 94 |
| 5.4.2.2 | Projets d'élargissement des infrastructures | 98 |
| 5.4.3 | <i>Acteurs</i> | 99 |
| 5.4.4 | <i>Démarche</i> | 99 |
| 5.4.5 | <i>Potentiels</i> | 100 |
| 5.4.5.1 | Production de biogaz à partir de boues d'épuration | 100 |
| 5.4.5.2 | Valorisation thermique des boues d'épuration | 101 |
| 5.4.5.3 | Valorisation matériel des boues d'épuration | 102 |
| 5.4.6 | <i>Conclusion</i> | 103 |
| 5.5 | ENERGIE | 106 |
| 5.5.1 | <i>Energie électrique</i> | 106 |
| 5.5.2 | <i>Energie thermique</i> | 109 |
| 6 | RESUME ET EVALUATION DES POTENTIELS | 111 |
| 6.1 | POTENTIEL SELON LES PROVINCES/PREFECTURES | 113 |
| 6.2 | ÉVALUATION DES POTENTIELS AGRICOLES SUR FOND DE MISE EN PLACE D'UNE STRATEGIE..... | 115 |
| 7 | ESQUISSES DE PROJET | 117 |
| 7.1 | VALORISATION ENERGETIQUE ET MATERIEL DES DECHETS ORGANIQUES AU NIVEAU DE L'AGROPOLE DE BERKANE | 117 |
| 7.1.1 | <i>Approche & Objectifs</i> | 117 |
| 7.1.2 | <i>Flux de matériaux & Acteurs</i> | 117 |
| 7.1.3 | <i>Technologies & Economie</i> | 120 |
| 7.1.3.1 | Dimensionnement de l'unité de biogaz..... | 120 |
| 7.1.3.2 | Possibilités d'utilisation d'électricité, de chaleur et de froid..... | 120 |
| 7.1.4 | <i>Evaluation & Perspectives</i> | 128 |
| 7.2 | VALORISATION ENERGETIQUE ET MATERIEL DES DECHETS ORGANIQUES DANS LA PROVINCE DE NADOR..... | 129 |
| 7.2.1 | <i>Approche & Objectifs</i> | 129 |
| 7.2.2 | <i>Flux de matériaux & Acteurs</i> | 129 |
| 7.2.3 | <i>Technologies</i> | 132 |
| 7.2.3.1 | Scénario 1 – Utilisation de la chaleur d'excès pour le séchage des déchets résiduels | 133 |
| 7.2.3.2 | Scénario 2 – Valorisation de la chaleur d'excès de l'unité de cogénération pour l'approvisionnement en chaleur dans une installation de carbonisation hydrothermale | 136 |
| 7.2.4 | <i>Economie</i> | 136 |
| 7.2.5 | <i>Evaluation & Perspectives</i> | 140 |
| 7.3 | VALORISATION MATERIEL DES BOUES D'EPURATION DE LA STEP DE NADOR ET DES RESIDUS INDUSTRIELS ORGANIQUES (HTC, TERRA PRETA) | 141 |
| 7.3.1 | <i>Approche & Objectifs</i> | 141 |
| 7.3.2 | <i>Flux de matériaux & Acteurs</i> | 141 |
| 7.3.3 | <i>Technologie</i> | 142 |
| 7.3.4 | <i>Conception de l'installation</i> | 144 |
| 7.3.5 | <i>Évaluation & Perspectives</i> | 146 |
| 7.4 | BOSQUET VILLAGEOIS | 148 |
| 7.4.1 | <i>Approche & Objectifs</i> | 148 |
| 7.4.2 | <i>Flux de matériaux & Acteurs</i> | 149 |
| 7.4.3 | <i>Technologies</i> | 151 |
| 7.4.4 | <i>Economie</i> | 156 |
| 7.4.5 | <i>Evaluation & Perspectives</i> | 160 |
| 7.5 | UNITE DE BIOGAZ ET RESEAU DE BIOGAZ A PETITE ECHELLE | 161 |
| 7.5.1 | <i>Approche & Objectifs</i> | 161 |
| 7.5.2 | <i>Flux de matériaux & Acteurs</i> | 161 |
| 7.5.3 | <i>Technologies</i> | 165 |
| 7.5.4 | <i>Economie</i> | 167 |

| | |
|--|------------|
| 7.5.5 <i>Evaluation & Perspectives</i> | 169 |
| 8 ANNEXE | 170 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| FIGURE 1: DEMARCHE DU PROJET | 4 |
| FIGURE 2: CATEGORIES DE POTENTIELS | 7 |
| FIGURE 3: ORGANISATION ADMINISTRATIVE DES PROVINCES/PREFECTURES DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 11 |
| FIGURE 4: LES CONDITIONS NATURELLES SPATIALES DANS LE NORD-EST DU MAROC..... | 12 |
| FIGURE 5: LES BASSINS HYDRAULIQUES DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 13 |
| FIGURE 6: REPARTITION DES PRECIPITATIONS DANS LES DIFFERENTES ZONES DE LA REGION ORIENTAL | 16 |
| FIGURE 7: PART DES SURFACES AGRICOLES UTILISEES PAR RAPPORT A LA TOTALITE DES SUPERFICIES PAR PROVINCE/PREFECTURE DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 20 |
| FIGURE 8: UNITES TERRITORIALES AGRICOLES DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 21 |
| FIGURE 9: REPARTITION DES SURFACES AGRICOLES UTILISEES EN IRRIGUEES ET BOUR (EN HA) | 22 |
| FIGURE 10: STOCKAGE DE LA PAILLE DANS UNE FERME A OUJDA POUR L'UTILISATION DANS L'ELEVAGE BOVINE..... | 26 |
| FIGURE 11: CULTURES SOUS SERRES A NADOR..... | 30 |
| FIGURE 12: CULTURES SOUS SERRES | 31 |
| FIGURE 13: PRODUCTION ARBORICOLE INTENSIVE (AGRUMES) ET EXTENSIVE (OLIVES) DANS LA PROVINCE DE BERKANE..... | 33 |
| FIGURE 14: ELEVAGE INTENSIF DE BOVINS SUR UNE EXPLOITATION DE BETAIL LAITIER A COTE DE LA VILLE D'OUJDA..... | 36 |
| FIGURE 15: POTENTIEL ENERGETIQUE ISSU DU SECTEUR AGRICOLE DANS LA REGION DE L'ORIENTAL (LES CHIFFRES EN VERT REPRESENTENT LE POTENTIEL ENERGETIQUE TOTAL DE CHAQUE PROVINCE/PREFECTURE)..... | 41 |
| FIGURE 16: DISTRIBUTION DES FORETS NATURELLES, REBOISEMENTS ET DE LA NAPPE ALFATIERE DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 46 |
| FIGURE 17: COMPOSITION DES PRINCIPALES ESPECES D'ARBRES DANS LES FORETS NATURELLES DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 47 |
| FIGURE 18: REBOISEMENT AVEC DU PIN D'ALEP DANS LA REGION DE L'ORIENTAL (PROVINCE DE TAOURIRT)..... | 47 |
| FIGURE 19: SUBDIVISION DES SUPERFICIES TOTALES DE CHAQUE PROVINCE/PREFECTURE EN : SURFACE BOISEE (FORET NATURELLE ET FORET ARTIFICIELLE), NAPPE ALFATIERE ET SUPERFICIES „NON FORESTIERES“ | 48 |
| FIGURE 20: STRUCTURES ADMINISTRATIVES ET DOMAINES DE COMPETENCES A L'INTERIEUR DU SECTEUR FORESTIER DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 50 |
| FIGURE 21 : EXPLOITATION DU BOIS BRUT DANS LA REGION DE L'ORIENTAL, SUBDIVISE EN BOIS DE SERVICE (B.S.), BOIS D'INDUSTRIE (B.I.) ET BOIS DE FEU (B.F.). | 52 |
| FIGURE 22: L'ALFA DANS LA REGION ORIENTALE | 54 |
| FIGURE 23: VIDE-ORDURES A BERKANE | 59 |
| FIGURE 24:CET D'OUJDA..... | 61 |
| FIGURE 25:TRAITEMENT DE LIXIVIAT DANS LE CET D'OUJDA | 61 |
| FIGURE 26: FRACTIONS DE DECHETS, CET D'OUJDA (2009) | 63 |
| FIGURE 27: DECHARGE DE BERKANE..... | 64 |
| FIGURE 28: COMPOSITION DES DECHETS, DECHARGE DE TAOURIRT..... | 66 |
| FIGURE 29: DECHARGE NON-CONTROLEE DE NADOR | 67 |
| FIGURE 30: DECHARGE CONTROLEE NADOR (PHASE DE CONSTRUCTION)..... | 67 |
| FIGURE 31: ELIMINATION DES DECHETS D'ABATTOIRS LIQUIDES ET SOLIDES DANS L'ABATTOIR COMMUNAL D'OUJDA..... | 71 |
| FIGURE 32: RESIDUS LIQUIDES ET SOLIDES DE LA PRODUCTION D'HUILE D'OLIVE | 76 |
| FIGURE 33: DECHETS DE PRODUCTION DANS L'ENTREPRISE D'EMBALLAGE KANTARI DE BERKANE | 82 |
| FIGURE 34: DECHETS JOURNALIERS/ HEBDOMADAIRE SUR LE MARCHE DE GROS DE FRUITS ET LEGUMES D'OUJDA..... | 83 |
| FIGURE 35: NUITEES PAR MOIS, OUJDA – SAIDIA, 2009 | 86 |
| FIGURE 36: STOCKAGE D'HERBE COUPEE DANS LE JARDIN D'UN HOTEL A OUJDA..... | 87 |
| FIGURE 37: POTENTIELS ENERGETIQUES ISSU DU SECTEUR DES DECHETS DANS LA REGION DE L'ORIENTAL (LES CHIFFRES EN BLEU REPRESENTENT LE POTENTIEL ENERGETIQUE TOTAL DE CHAQUE PROVINCE/PREFECTURE)..... | 88 |
| FIGURE 38: QUANTITES DE DECHETS DANS LA REGION DE L'ORIENTAL PAR MOIS (EN T)..... | 90 |
| FIGURE 39: STATION D'EPURATION D'OUJDA | 96 |
| FIGURE 40: DEVERSEMENT DES EAUX USEES EPURES DE LA STEP DE BERKANE DANS UN AFFLUENT DE L'OUED MOULOUYA..... | 97 |
| FIGURE 41 : STATION D'EPURATION DE NADOR | 98 |

| | |
|---|-----|
| FIGURE 42: POTENTIELS ENERGETIQUES ISSU DU SECTEUR DES EAUX USEES DANS LA REGION DE L'ORIENTAL (LES CHIFFRES EN VERT FONCE REPRESENTENT LE POTENTIEL ENERGETIQUE TOTAL DE CHAQUE PROVINCE/PREFECTURE) | 104 |
| FIGURE 43: POTENTIEL TECHNIQUE GLOBAL EN TEP/A (LES CHIFFRES EN VERT REPRESENTENT LE POTENTIEL ENERGETIQUE TOTAL DE CHAQUE PROVINCE/PREFECTURE) | 112 |
| FIGURE 44: QUANTITES DES DIFFERENTS FRACTIONS DE DECHETS PAR MOIS AU COURS DE L'ANNEE | 118 |
| FIGURE 45: DISTANCES DE TRANSPORT ACTUELLES ET FUTURES | 119 |
| FIGURE 46: QUANTITES DES FRACTIONS DES DECHETS ORGANIQUES AU COURS DE L'ANNEE | 131 |
| FIGURE 47: DISTANCES VILLE - DECHARGE..... | 135 |
| FIGURE 48: DISTANCE UNITE DE BIOGAZ - CIMENTERIE | 135 |
| FIGURE 49 : LA STATION D'EPURATION DE NADOR..... | 141 |
| FIGURE 50 : SCHEMA FONCTIONNEL D'UNE INSTALLATION HTC CONTINUELLE | 143 |
| FIGURE 51 : IMAGE MEB D'UN CHARBON HTC | 143 |
| FIGURE 52 : COMPARAISON DES POSSIBILITES DE VALORISATION EN REGARD DE L'EXPLOITATION DU CARBONE ET DU POUVOIR CALORIFIQUE | 144 |
| FIGURE 53 : SCHEMA D'UNE INSTALLATION COMBINEE BIOGAZ-HTC..... | 146 |
| FIGURE 54: SYSTEMES DE BOSQUET VILLAGEOIS..... | 149 |
| FIGURE 55: SCHEMA FILTRE PLANTE DE ROSEAU | 153 |
| FIGURE 56 : SCHEMA INFILTRATION-PERCOLATION | 154 |
| FIGURE 57 EXPLOITATION BOVINE A SAIDIA, BERKANE | 164 |
| FIGURE 58 APERCU DE L'EXPLOITATION BOVINE A SAIDIA, BERKANE (GOOGLE EARTH) | 164 |
| FIGURE 59: CYCLE DE DIGESTION ET ALIMENTATION..... | 167 |
| FIGURE 60 : DIMENSIONS DU DIGESTEUR..... | 167 |
| FIGURE 61: DESCRIPTION AZADIRACHTA INDICA..... | 172 |
| FIGURE 62: DESCRIPTION PINUS HALEPENSIS..... | 173 |
| FIGURE 63: DESCRIPTION EUCALYPTUS CAMALDULENSIS..... | 174 |
| FIGURE 64: RICINUS COMMUNIS..... | 175 |
| FIGURE 65: CALOTROPIS PROCERA | 176 |
| FIGURE 66: SIMMONDSIA CHINESIS | 177 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| TABLEAU 1: DONNEES CLIMATIQUES : DONNEES MOYENNES MENSUELLES OUJDA, MAROC | 16 |
| TABLEAU 2: DONNEES CONCERNANT LA POPULATION DANS LA REGION ORIENTAL..... | 18 |
| TABLEAU 3: POINTS FORTS DE L'ECONOMIE DANS LES PROVINCES | 19 |
| TABLEAU 4: BASE DE CALCUL POUR L'IDENTIFICATION DU POTENTIEL ENERGETIQUE ISSU DE LA PAILLE CEREALIERE DE LA REGION DE L'ORIENTAL | 27 |
| TABLEAU 5: POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE ISSU DE LA PAILLE CEREALIERE DANS LES PROVINCES/PREFECTURES DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 28 |
| TABLEAU 6: BASE DE CALCUL POUR L'IDENTIFICATION DU POTENTIEL ENERGETIQUE (THEORIQUE) ISSU DES GRAINS CEREALIERS (RESIDUS CEREALIERS) DE LA REGION DE L'ORIENTAL | 29 |
| TABLEAU 7: POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE ISSU DES GRAINS CEREALIERS (RESIDUS CEREALIERS) DANS LES DIFFERENTES PROVINCES DE LA REGION DE L'ORIENTAL | 29 |
| TABLEAU 8: BASE DE CALCUL POUR L'IDENTIFICATION DES POTENTIELS ENERGETIQUES DES CULTURES SOUS SERRES DANS LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 31 |
| TABLEAU 9: POTENTIELS ENERGETIQUES DES CULTURES SOUS SERRES DANS LES DIFFERENTES PROVINCES DE LA REGION DE L'ORIENTAL | 32 |
| TABLEAU 10: BASE DE CALCUL POUR L'IDENTIFICATION DU POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE ISSU DE L'ARBORICULTURE DANS LA REGION DE L'ORIENTAL (* SECHE A L'AIR)..... | 34 |
| TABLEAU 11: SUPERFICIES CULTIVEES, QUANTITES DE BOIS ET POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE ET TECHNIQUE ISSU DE L'ARBORICULTURE DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 34 |
| TABLEAU 12: DONNEES DE BASE POUR LE CALCUL DU POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE, EN TANT QUE SUBSTRAT DE BIOGAZ, DU LISIER ET FUMIER BOVIN | 36 |
| TABLEAU 13: POTENTIEL ENERGETIQUE DES EXCREMENTS DE L'ELEVAGE BOVIN DE LA REGION DE L'ORIENTAL | 37 |
| TABLEAU 14: POTENTIEL ENERGETIQUE TECHNIQUE ET ECONOMIE EN CO ₂ DES DOMAINES CULTURES SOUS SERRES, ARBORICULTURE ET ELEVAGE BOVIN | 39 |
| TABLEAU 15: DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES DE PRODUCTION VEGETALE A L'HORIZON 2020 DANS LA REGION DE L'ORIENTAL DANS LE CADRE DU PLAN MAROC VERT | 43 |
| TABLEAU 16: EXPLOITATION OFFICIELLE DU BOIS BRUT ET SON POTENTIEL ENERGETIQUE DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 52 |
| TABLEAU 17: SUPERFICIE BOISEE ET ACCROISSEMENT MOYENNE ESTIMEE DES ESSENCES DOMINANTES DANS LES PROVINCES/PREFECTURES DE LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 53 |
| TABLEAU 18: POTENTIEL DE BOIS BRUT ET D'ENERGIE DANS LA PROVINCE DE L'ORIENTAL EN FONCTION DES PROVINCES OU PREFECTURES..... | 53 |
| TABLEAU 19: DISTRIBUTION DE L'ALFA DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 55 |
| TABLEAU 20: CALCUL DU POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE DE L'ALFA DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 57 |
| TABLEAU 21: QUANTITE DE DECHETS, CET D'OUJDA (2009) | 62 |
| TABLEAU 22: DONNEES SUR LES DECHETS DE LA PROVINCE BERKANE | 64 |
| TABLEAU 23: QUANTITES DE DECHETS, DECHARGE BERKANE | 65 |
| TABLEAU 24: INDICATEURS POUR LE CALCUL DU POTENTIEL EN DECHETS | 69 |
| TABLEAU 25: CALCUL DES QUANTITES DE DECHETS | 70 |
| TABLEAU 26: POTENTIEL THEORIQUE ET TECHNIQUE DU SECTEUR DES DECHETS | 70 |
| TABLEAU 27: NOMBRE D'ANIMAUX ABATTUS (2007)..... | 72 |
| TABLEAU 28: QUANTITE DE DECHETS DES ABATOIRS (2008, EN TONNES) | 72 |
| TABLEAU 29: POTENTIEL ENERGETIQUE DES ABATOIRS | 73 |
| TABLEAU 30: POTENTIEL ENERGETIQUE, INDUSTRIE LAITIERE | 74 |
| TABLEAU 31: RENDEMENT EN HUILE ET QUANTITES DE RESIDUS DES DIFFERENTS PROCEDES D'EXTRACTION D'HUILE D'OLIVE | 76 |
| TABLEAU 32: PRODUCTION D'OLIVE ET CAPACITE DE TRITURATION DANS LA REGION DE L'ORIENTAL (CAMPAGNE 2006/2007) | 77 |
| TABLEAU 33: POTENTIELS THEORIQUES DE LA PRODUCTION D'HUILE D'OLIVE (RESIDUS LIQUIDES – „MARGINES“) | 77 |
| TABLEAU 34: POTENTIELS THEORIQUES DE LA PRODUCTION D'HUILE D'OLIVE (RESIDUS SOLIDES – „GRIGNONS“)..... | 78 |
| TABLEAU 35: POTENTIELS TECHNIQUES DE LA PRODUCTION D'HUILE D'OLIVE (RESIDUS LIQUIDES – „MARGINES“) | 78 |
| TABLEAU 36: POTENTIELS TECHNIQUES DE LA PRODUCTION D'HUILE D'OLIVE (RESIDUS SOLIDES – „GRIGNONS“)..... | 78 |

| | |
|---|------------|
| TABLEAU 37: QUANTITES DE PECHES PAR PORT (2008)..... | 79 |
| TABLEAU 38: QUANTITES DE POISSON PAR TYPE (2008)..... | 79 |
| TABLEAU 39: DESTINATION DE LA PRODUCTION (2008)..... | 80 |
| TABLEAU 40: ENTREPRISES DE L'INDUSTRIE DE LA PECHE..... | 80 |
| TABLEAU 41: POTENTIEL ENERGETIQUE DU SECTEUR DE PECHE..... | 81 |
| TABLEAU 42: NUITEES D'HEBERGEMENT ET QUANTITES DE DECHETS DU SECTEUR TOURISTIQUE | 85 |
| TABLEAU 43: CALCUL DU POTENTIEL GENERE PAR LE SECTEUR TOURISTIQUE | 86 |
| TABLEAU 44 : POTENTIELS TECHNIQUES TOTAUX DES DECHETS (EN MWh ET TEP PAR AN)..... | 87 |
| TABLEAU 45 : POURCENTAGE DES MENAGES RACCORDES AU RESEAU D'EAU POTABLE EN 2004 (EN %) | 92 |
| TABLEAU 46 : REPARTITION DES VENTES PAR TYPE DE CLIENT (2007)..... | 93 |
| TABLEAU 47 : REPARTITION DES VENTES AUX PARTICULIERS PAR PROVINCE (2007) | 93 |
| TABLEAU 48 : TARIFICATION EAU POTABLE & EAUX USEES (RADEEO) | 94 |
| TABLEAU 49 : STATIONS D'EPURATION EXISTANTES DANS LA REGION DE L'ORIENTAL..... | 95 |
| TABLEAU 50 : STATIONS D'EPURATION PROJETEES DANS LA REGION DE L'ORIENTAL | 98 |
| TABLEAU 51 : POTENTIELS THEORIQUES DES BOUES D'EPURATION | 100 |
| TABLEAU 52 : POTENTIELS TECHNIQUES DES BOUES D'EPURATION (BIOGAZ) | 101 |
| TABLEAU 53 : POTENTIEL ENERGETIQUE THEORIQUE DES EAUX USEES (RECYCLAGE THERMIQUE) | 101 |
| TABLEAU 54 : POTENTIEL ENERGETIQUE TECHNIQUE DES EAUX USEES (RECYCLAGE THERMIQUE) | 102 |
| TABLEAU 55 : QUANTITE DE MATIERES NUTRITIVES DANS LES BOUES D'EPURATION AU MAROC..... | 102 |
| TABLEAU 56 : QUANTITES DE MATIERES NUTRITIVES (EN FONCTION DU POTENTIEL THEORIQUE DES BOUES D'EPURATION) | 103 |
| TABLEAU 57 : QUANTITES DE MATIERES NUTRITIVES (EN FONCTION DU POTENTIEL TECHNIQUE DES BOUES D'EPURATION) | 103 |
| TABLEAU 58: PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE | 106 |
| TABLEAU 59: TAUX DE FOYERS RACCORDES AU RESEAU ELECTRIQUE PUBLIC (2004, EN %) | 107 |
| TABLEAU 60: CONSOMMATION EN ELECTRICITE (BT & MT)..... | 107 |
| TABLEAU 61: CONSOMMATION D'ELECTRICITE BASSE TENSION..... | 108 |
| TABLEAU 62: TARIFS D'ELECTRICITE DU SECTEUR RESIDENTIEL | 108 |
| TABLEAU 63: TARIFS D'ELECTRICITE „PROFESSIONNELS – TARIF GENERAL“ | 108 |
| TABLEAU 64: TARIFS D'ELECTRICITE „PROFESSIONNELS – TARIF BASSE TENSION“ (CLIENTS FORCE MOTRICE, INDUSTRIELS ET AGRICOLES) | 108 |
| TABLEAU 65 : BESOINS ET APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE THERMIQUE ET ELECTRIQUE D'ENTREPRISES SELECTIONNEES | 110 |
| TABLEAU 66 : POTENTIEL TECHNIQUE GLOBAL EN TEP | 111 |
| TABLEAU 67 : POTENTIEL TECHNIQUE GLOBAL EN MWh ET POTENTIEL DE REDUCTION DE CO ₂ | 113 |
| TABLEAU 68 : BESOIN EN ELECTRICITE ET POTENTIEL ELECTRIQUE (A PARTIR DES MATIERES FERMENTESCIBLES) | 113 |
| TABLEAU 69 : QUANTITES DE DECHETS DISPONIBLE ET RENDEMENT EN METHANE | 118 |
| TABLEAU 70 : POSSIBILITES D'UTILISATION DE LA CHALEUR D'EXCES | 121 |
| TABLEAU 71 : METHODES D'ABSORPTION-/ADSORPTION | 122 |
| TABLEAU 72 : PARAMETRES UNITE DE BIOGAZ | 123 |
| TABLEAU 73 : INVESTISSEMENT – UNITE DE BIOGAZ | 123 |
| TABLEAU 74: HYPOTHESES COUTS D'OPERATION..... | 124 |
| TABLEAU 75: HYPOTHESES RECETTES DE L'UNITE DE BIOGAZ..... | 124 |
| TABLEAU 76: CALCUL VALEUR ACTUELLE NETTE (NET PRESENT VALUE) | 125 |
| TABLEAU 77 : PARAMETRES TURBINES A GAZ | 126 |
| TABLEAU 78: PARAMETRES – TURBINE A GAZ | 127 |
| TABLEAU 79: PARAMÈTRES - CHAUDIÈRE | 127 |
| TABLEAU 80: COMPARAISON DES DIFFERENTS SCENARIOS | 128 |
| TABLEAU 81: QUANTITES DE DIFFERENTES FRACTIONS DE DECHETS DU GRAND NADOR..... | 130 |
| TABLEAU 82: QUANTITES DES DECHETS ORGANIQUES (MAX. ET MIN.) | 131 |
| TABLEAU 83: QUANTITE DES DECHETS PRISE EN CONSIDERATION, RENDEMENT SPECIFIQUE DE BIOGAZ ET DE METHANE..... | 132 |
| TABLEAU 84: PARAMETRES TECHNIQUES DE L'UNITE DE BIOGAZ | 133 |
| TABLEAU 85: PARAMETRES ECONOMIQUES – UNITE DE BIOGAZ NADOR..... | 137 |
| TABLEAU 86: HYPOTHESES COUTS D'OPERATION..... | 137 |

| | |
|---|-----|
| TABLEAU 87: HYPOTHESES RECETTES DE L'UNITE DE BIOGAZ..... | 137 |
| TABLEAU 88: CALCUL VALEUR ACTUELLE NETTE (NET PRESENT VALUE) | 139 |
| TABLEAU 89: PARAMETRES ECONOMIQUES D'UNE INSTALLATION DE CARBONISATION HYDROTHERMALE | 146 |
| TABLEAU 90: ESPECES POTENTIELS POUR L'ETABLISSEMENT D'UN BOSQUET VILLAGEOIS' | 151 |
| TABLEAU 91: QUANTITES ET FLUX DE MATERIAUX DES EAUX USEES | 152 |
| TABLEAU 92: PERFORMANCE D'EPURATION DU FILTRE PLANTE DE ROSEAU HORIZONTALE..... | 154 |
| TABLEAU 93: DIMENSIONNEMENT ET PERFORMANCE D'EPURATION DU SYSTEME INFILTRATION-PERCOLATION | 155 |
| TABLEAU 94: EXEMPLE DES CARACTERISTIQUES DES BOUES D'EPURATION | 155 |
| TABLEAU 95: HYPOTHESES INPUT | 157 |
| TABLEAU 96: HYPOTHESES OUTPUT | 157 |
| TABLEAU 97: HYPOTHESES PLANTES | 157 |
| TABLEAU 98: HYPOTHESES INVESTISSEMENT | 157 |
| TABLEAU 99: COUTS D'EXPLOITATION..... | 158 |
| TABLEAU 100: RECETTES..... | 158 |
| TABLEAU 101: RECETTES ET DEPENSES SUR 30 ANS | 159 |
| TABLEAU 102: DENSITE DU CHEPTEL PAR PROVINCE..... | 162 |
| TABLEAU 103: QUANTITES DE SUBSTRATS REQUISES POUR UNE PETITE UNITE DE BIOGAZ DE 30kW _{EL} | 163 |
| TABLEAU 104: LA PRODUCTION DE BIOGAZ ET LA PRODUCTION D'ELECTRICITE | 165 |
| TABLEAU 105: ANALYSE ECONOMIQUE APPROXIMATIVE D'UNE UNITE DE BIOGAZ DE 30 kW _{EL} | 168 |
| TABLEAU 106: | 168 |
| TABLEAU 107: COMPARAISON DE DEVELOPPEMENT DES PRIX D'ENERGIE AVEC LES PRIX ACTUELS ET LES PRIX DU PROJET DE BIOGAZ PROPOSE | 169 |
| TABLEAU 108: ESPECES POTENTIELS POUR L'ETABLISSEMENT D'UN BOSQUET VILLAGEOIS..... | 170 |

LISTE DES ABBREVIATIONS

| | |
|-----------------|--|
| a | An |
| ABH | Agence de Bassin Hydraulique |
| ADEREE | Agence Nationale de Développement des Energies Renouvelables et de l’Efficacité Energétique |
| BEI | Banque Européenne d’Investissement |
| BT | Basse Tension |
| Ca | Calcium |
| CCIS | Chambre de Commerce, d’Industrie et des Services |
| CDD | Combustible Dérivés des Déchets |
| CDER | Centre de Développement des Energies Renouvelables |
| CDM | Clean Development Mechanism |
| CET | Centre d’Enfouissement Technique |
| CH ₄ | Méthane |
| cm | Centimètre |
| CO ₂ | Dioxyde de carbone |
| DBO | Demande Biologique en Oxygène |
| DCO | Demande Chimique en Oxygène |
| DH | Dirham |
| DPA | Direction Provinciale d’Agriculture |
| DRA | Direction Régionale d’Agriculture |
| DREF-SO | Direction Régionale des Eaux et Forêts du Sud Ouest |
| EEG | Erneuerbare Energien Gesetz (Loi allemande de promotion des énergies renouvelables) |
| EH | Equivalent-Habitant |
| FAO | Food and Agriculture Organisation of the United Nations |
| GIZ | Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit |
| h | Heure |
| ha | Hectare |
| IfaS | Institut für angewandtes Stoffstrommanagement |
| JI | Joint Implementation |
| K | Potassium |
| KrW-/AbfG | Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (Loi allemande d’économie circulaire et de gestion des déchets) |
| KTBL | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft |
| kW | Kilowatt |
| kWh | Kilowattheures |

| | |
|--------|--|
| m³ | Mètre cube |
| MDP | Mécanisme de Développement Propre |
| MF | Matière Fraiche |
| Mio. | Million |
| MJ | Mégajoule |
| mm | Millimètre |
| MoS | Matière Organique Sèche |
| MS | Matière Sèche |
| MT | Moyenne Tension |
| MW | Mégawatt |
| MWh | Mégawattheures |
| N | Azote |
| ONE | Office National de l'Electricité du Maroc |
| ONEP | Office National de l'Eau Potable |
| ONP | Office National des Pêches |
| ONSSA | Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires |
| ORMVAM | Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya |
| ONICL | Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses |
| P | Phosphore |
| RADEEO | Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité d'Oujda |
| S.A.U. | Surface Agricole Utile/ Surface Agricole Utilisée |
| SEEE | Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement |
| t | Tonne |
| tep | Tonnes Equivalent Pétrole |
| UGB | Unité Gros Bétail |
| UTA | Unités Territoriales Agricoles |

1 Introduction

Le développement économique associé à une croissance démographique constante et de mode de vie ainsi qu'une faible production énergétique intérieure ont engendré l'augmentation de l'importation énergétique du Maroc au cours de ces dernières années. Le pays consomme énormément d'énergie fossile, dont plus que 96% doit être importée¹. Ainsi, le Maroc projettera d'orienter récemment sa politique énergétique et d'accroître entre autre l'utilisation des énergies renouvelables.

En 2009 les énergies renouvelables ne couvraient qu'environ 5% des besoins énergétiques. Elles doivent atteindre à hauteur de 10% des besoins globaux en énergie et 18% de la production d'électricité à l'horizon 2012.² Afin de parvenir aux objectifs escomptés et pour réduire la dépendance énergétique de l'extérieur, le Maroc opte en particulier pour l'énergie solaire et l'énergie éolienne, mais également la biomasse est un potentiel important et efficace si on applique les technologies modernes.

Outre l'exploitation des sites potentiels spécifiques pour l'énergie solaire et éolienne au Maroc, l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie renouvelable est essentielle à l'élaboration d'une politique énergétique durable. L'utilisation des résidus organiques ou des cultures énergétiques pour la production d'énergie est très variée, car la biomasse peut être utilisée sous les formes solides, liquides ou gazeuses, soit pour la production de chaleur et l'électricité ou pour la production de biocarburants certifiés. Outre la possibilité de transformer les déchets et résidus organiques de différents secteurs en ressources (énergétiques), la revalorisation énergétique de biomasse permet une production énergétique (électricité, chaleur, froid) qui est neutre sur le plan de l'émission de CO₂. La rentabilité économique des installations de valorisation énergétique de la biomasse sera établie par des faibles coûts d'exploitation constants, malgré des investissements légèrement élevés au début et la nécessité d'établir une structure logistique pour le transport et la mise en place de la biomasse.

L'utilisation et la valorisation énergétique de la biomasse peuvent contribuer considérablement à l'augmentation de la valeur ajoutée régionale, étant donné que par l'utilisation de la bioénergie – qui est une ressource régionale - des ressources financières qui sont dépensés pour l'énergie restent dans la région. Les agriculteurs et exploitants forestiers, le secteur public ainsi que les entreprises qui produisent les résidus organiques peuvent devenir dans le cadre des stratégies d'utilisation et de la gestion efficace de la biomasse régionale des fournisseurs importants d'énergie.

Le document suivant présente l'étude sur les potentiels de biomasse pour la région de l'Oriental. L'objectif de la première partie, qui comprend l'analyse des flux de matériaux, est d'offrir un aperçu des biomasses et acteurs classés par secteur: agriculture, foresterie, gestion des déchets et eaux usées ainsi que par province ou préfecture de la région. L'aperçu chiffré permet l'évaluation d'ordres de grandeur, l'identification de potentiels valables et détermine le point de départ pour le développement et le renforcement de structures de valorisation.

La démarche suivie sera expliquée dans le chapitre 3, une caractérisation de la région est développée dans le chapitre 4 et le contenu de l'analyse des flux de matériaux sera présenté dans le chapitre 5.

¹ Cp. Benkadhra, A.: Stratégie énergétique Maroc, 2009

² Cp. Bundesagentur für Außenwirtschaft: Marokko richtet Energiepolitik neu aus, 2007

Les approches de projets futures qui ont été identifiées sur la base de l'analyse de flux de seront présentées dans le chapitre 7.

2 Objectifs

L'étude sur les potentiels de biomasse pour la région de l'Oriental poursuit l'objectif d'identifier et de quantifier les potentiels de biomasse déjà disponibles et de développer à partir de ces données de bases, des stratégies durables de revalorisation pour différents secteurs. Grâce à l'introduction efficiente de biomasse locale dans l'approvisionnement énergétique, l'économie régionale en sera favorisée et l'indépendance par rapport aux énergies fossiles atteinte.

Plus particulièrement dans le cadre de cette étude, seront analysés les potentiels provenant des domaines de l'agriculture, de la foresterie, de la gestion des déchets (déchets ménagers, déchets du secteur touristique ainsi que déchets de l'industrie) mais aussi du traitement des eaux usées et seront évaluées des possibilités d'utilisation durable. Les conséquences économiques, écologiques et sociales d'une stratégie d'utilisation de la biomasse optimisée seront évoquées ainsi que leur contribution possible à une politique énergétique durable pour le Maroc.

A long terme et sur la base de l'étude, les objectifs ci-dessous, sont visés:

- Renforcement économique de la région par l'utilisation des ressources locales déjà existantes ;
- Création d'une infrastructure d'économie circulaire dans le domaine de la valorisation de biomasse et clôture des cycles économiques régionales ;
- Création d'emplois et d'investissements locaux ;
- Augmentation de la qualité de vie des populations locales grâce à des activités équitables, sociales, écologiques et respectueuses du climat au sein de la région.

3 Procédé

La réalisation de l'étude sur les potentiels de biomasse comprend huit étapes principales, qui seront expliquées brièvement ci-dessous (voir Figure 1).

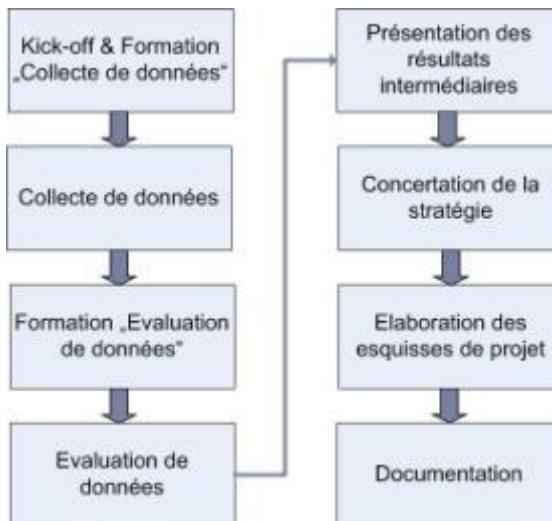


Figure 1: Démarche du projet

Kick-off et formation sur la collecte des données au Maroc

Globalement l'élaboration de l'étude s'est fait avec la participation des acteurs locaux. Le lancement du projet et la préparation à l'inventaire de données a lieu sous forme d'une formation sur le thème: „Collecte de données dans le domaine gestion des flux de matières“ dispensée par l'IfaS. Cela permettra la formation des partenaires locaux afin qu'ils soient plus aptes à la collecte de données sur place. Grâce aux moyens de formation, les objectifs suivants doivent être atteints:

- Amélioration des connaissances préalables sur les potentiels de biomasse et leur utilisation pour les partenaires régionaux (transfert du savoir-faire) ;
- Démarche systématique pour l'enregistrement des données ;
- Meilleur flux d'information pour l'évaluation des potentiels régionaux ;
- Mise en place et renforcement des réseaux régionaux, pour la mise en œuvre des approches du projet.

La formation fut dispensée du 2 au 4 juin 2010 à Oujda. En complément de la formation, différentes entreprises et lieux furent visités par l'IfaS, la GIZ et l'ADEREE durant la période 1-5 juin 2010 afin d'identifier au préalable les particularités et les lieux importants.

Collecte de données et analyses des acteurs

Après la clôture de la formation au Maroc, les partenaires locaux devaient démarrer sur place une analyse détaillée des acteurs et un enregistrement des potentiels de biomasse dans chaque province. La collecte de données comprend la fourniture de données statistiques, des études externes, la conduite de discussions entre acteurs ainsi que la concertation avec le commettant.

La première phase de la collecte de données conduite par les partenaires locaux eut lieu du 7 au 12 juillet 2010.

Formation „traitement des données et évaluation des potentiels de biomasse“

La formation des partenaires marocains au projet en Allemagne est constituée d'un programme d'entraînement de deux jours et un programme de visite de trois jours. Le programme d'entraînement comprend entre autres une explication du procédé de traitement des données mais aussi des calculs illustrés d'exemples des potentiels techniques de biomasse. La démarche de développement d'idées de projet pour une valorisation matérielle et/ou énergétique pour ces potentiels de biomasse sera aussi expliquée.

La formation fut dispensée du 12 au 16 juillet 2010 à Birkenfeld et les installations suivantes furent visitées dans le cadre du programme de visites:

- Unité de biogaz agricole (lisier et matières renouvelables type plantes énergétiques) avec utilisation de la chaleur résiduelle pour le séchage de pellets bois ;
- Unités photovoltaïques et éoliennes sur le site du « paysage énergétique » de Morbach ;
- Unité de biogaz pour la valorisation des déchets organiques ménagers de Veolia Umweltservice West GmbH ;
- Centrale de cogénération à plaquettes de bois de RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH ;
- Station d'épuration naturelle (filtre planté de roseau) de la commune de St. Alban ;
- Unité de séchage solaire des boues d'épuration de WVE GmbH Kaiserslautern ;
- Le centre de gestion des déchets de l'association de droit public management des déchets Kaiserslautern (Zweckverband Abfallwirtschaft Kaiserlautern – ZAK).

Enrichissement et vérification des données de bases

Afin de vérifier la qualité des données de bases, celles-ci ont été comparées avec les valeurs contenues dans la littérature. En complément de cela, les discussions entre experts ont permis un classement qualitatif des données et une correction de celles-ci. Pour l'accord final, ont été effectués d'autres inventaires et conclusions sur les données ainsi qu'une visite de la région par les mandataires. Les discussions offrent la possibilité de clarifier les questions ouvertes émises par les partenaires locaux et la possibilité pour le mandataire d'apporter des précisions.

Cet inventaire de données s'est tenu du 25 au 28 octobre 2010 ainsi que du 29 novembre au 3 décembre 2010.

Evaluation des données

Dans le cadre de l'évaluation des données, les potentiels (sources), besoins et possibilités de ventes ont été analysés sur la base des données précédentes. L'évaluation concerne la vérification des données, la préparation et l'accord sur les résultats et démarre dès que la collecte de données est complètement finalisée. Après la fin de la vérification des données de base, a lieu l'évaluation des potentiels. A la clé, cela fera ressortir les flux de matériaux importants. Pour les biomasses

intéressantes, les quantités potentielles (en tonnes), les potentiels énergétiques (en kWh et en tep) et la réduction d'émissions de CO₂ (exprimés en tonnes en tant que valeurs de substitution aux énergies fossiles) ont été calculés. En parallèle de cela, les besoins en structures et ventes de matières premières ont été évalués. Afin de s'accorder sur les données, une présentation intermédiaire a eu lieu avec le mandataire et les partenaires locaux. Le résultat de ces modules de travail est une mise en commun des résultats sur les potentiels de biomasse et leurs possibilités en tant que puits de carbone sous la forme d'un compte-rendu.

Développement de stratégie

La présentation intermédiaire doit aussi servir à un accord sur l'orientation stratégique pour le développement d'esquisses de projets dans le sens du développement d'une stratégie pour le renforcement de l'utilisation de la biomasse dans les régions étudiées. Ici, c'est dans le cadre des ateliers de discussion que les potentiels, besoins et conditions générales seront discutés et les démarches postérieures définies.

Développement d'esquisses de projet

Les esquisses de projet comprennent un aperçu des approches du projet, une vérification de plausibilité argumentative concernant la faisabilité des projets, des données sur les technologies possibles, les acteurs et ordres de grandeur (ex: évaluation des caractéristiques et données de consommation) mais aussi une première estimation du volume d'investissement. Les esquisses de projets constituent les bases pour poursuivre la planification (études de faisabilité, demandes de subventions etc.).

Documentation des résultats

Les résultats seront mis en commun sous la forme d'une présentation et soumis au commettant. Après l'information retour du commettant, les résultats seront présentés dans le cadre choisi par le commettant (conférence, congrès, en public ou en interne). Les résultats de l'analyse des potentiels et besoins ainsi que les esquisses de projet seront documentés (par écrit) et mis à disposition du commettant.

3.1 Définition du terme potentiel

Pour évaluer la possibilité de l'utilisation d'une ressource énergétique, il faut non seulement considérer les conditions techniques d'une transformation énergétique mais aussi la disponibilité en ressources. Dans cette présente étude, des exemples pratiques du potentiel de la biomasse sont analysés pour le développement des projets.

Kaltschmitt (2009) différencie quatre catégories de potentiel de biomasse, qui seront brièvement évoqués ci-dessous. (Voir Figure 2)

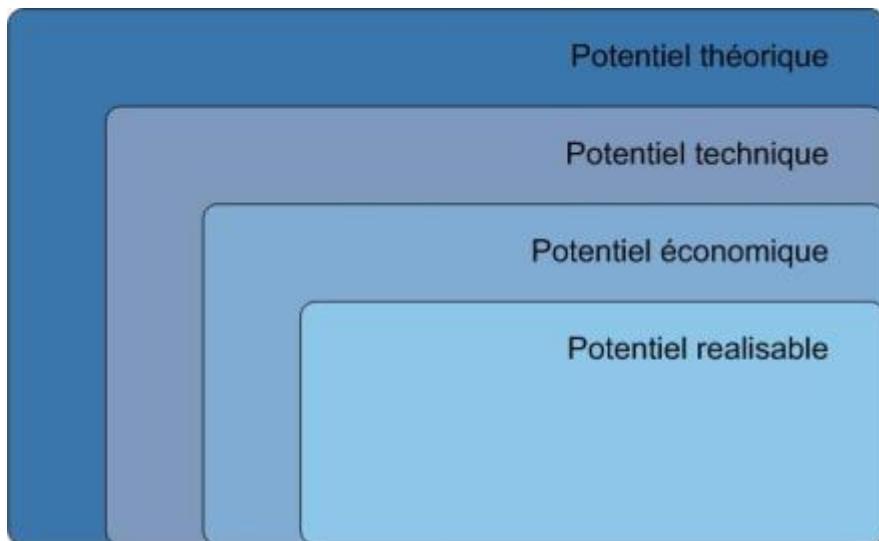


Figure 2: Catégories de potentiels

Le potentiel théorique désigne l'énergie utilisable, offerte par les lois physiques, c'est à dire les flux de matières correspondants à une zone et un laps de temps précis, indépendamment des obstacles techniques ou organisationnels. Cette catégorie représente le potentiel fondamental/principal qui n'est donc pas pris en compte pour l'application. Le potentiel technique quant à lui, décrit la partie utilisable du potentiel théorique en tenant compte des restrictions techniques, écologiques, structurelles et légales. Le potentiel économique tient compte des restrictions économiques et entraîne ainsi des interprétations multiples. Enfin, le potentiel aménageable/réalisable fait référence à la quantité réelle (réaliste) de biomasse utilisable pour un projet. De ce fait, les flux de matières sur contrat long terme par exemple ne sont pas pris en compte dans cette catégorie.

Dans le cas du développement des études de potentiel de biomasse pour différentes régions du Maroc (cette étude comprise), il sera fait référence à Kaltschmitt pour ce qui est du potentiel technique de biomasse pour chaque région et ses provinces ou préfectures respectives. Pour cela, une analyse détaillée de plusieurs secteurs potentiels d'approvisionnement en biomasse sera privilégiée (dans ce cas présent: agriculture, foresterie, gestion des déchets, gestion des eaux usées). D'autres considérations économiques approfondies et d'applicabilité comme les restrictions organisationnelles seront prises en compte pour les esquisses de projet en fonction de chaque cas séparément.

3.2 Analyse des flux de matières

L'analyse des flux de matières se présente comme une analyse actuelle du potentiel de biomasse et des besoins régionaux en énergie pour la région étudiée. Pour une présentation effective des potentiels et besoins les données de base nécessaires sur la zone d'étude sont tout d'abord assemblées. En concertation avec les donneurs d'ordres et les partenaires locaux, seront identifiés les acteurs clés pour ce qui est de l'inventaire et de l'évaluation des données ainsi que de la mise en œuvre des projets. Ceux-ci seront formés lors de nombreuses réunions et inclus lors de l'analyse des potentiels et besoins.

L'analyse des potentiels en biomasse porte sur un processus itératif, qui se base sur des données statistiques et est aussi assurée par un feed-back de nombreux experts de la région. A la clé, la première étape consiste à une limitation réaliste des types/catégories pertinentes de biomasse qui sera utilisable. Concernant les catégories pertinentes de biomasse, des données statistiques seront recherchées et examinées afin de parvenir à une projection des quantités théoriques potentielles (par exemple en fonction du périmètre d'une culture agricole ou de la quantité produite par une filière industrielle).

Les données présentées dans le chapitre 5 ne donnent pas le droit à une analyse détaillée et absolue des potentiels mais offrent plutôt une identification des flux de matières utiles et utilisables qui peuvent être activés pour une expansion durable de l'approvisionnement énergétique renouvelables. Aussi un classement de ces potentiels entre eux et par province sera fourni. Les potentiels calculés seront présentés par flux de matière et par province/préfecture en quantité et potentiel en énergie (primaire). Afin de classer les potentiels en fonction de leur application possible pour la mise en œuvre et de leur influence environnementale ou sociale, une analyse qualitative va suivre. Les potentiels en biomasse seront présentés en fonction de leur quantité et de leur capacité énergétique (voir parties 3.2.1 et 3.2.2). De plus les potentiels de réduction en CO₂ en comparaison avec l'utilisation d'énergies fossiles seront identifiés (voir partie 3.2.3).

En parallèle de l'analyse des potentiels, une étude de la consommation énergétique ainsi que des besoins sera effectuée afin d'identifier les installations intéressantes pour le développement des esquisses de projets et de présenter les potentiels et leur contribution pour la couverture des besoins.

3.2.1 Détermination du potentiel énergétique (kWh)

Pour calculer le potentiel énergétique émanant des quantités calculées, le moyen d'utilisation le plus approprié sera établi. Ainsi, les biomasses riches en eau (par exemple la part organique contenue dans les eaux usées) seront prioritaires pour une digestion alors que les biomasses sèches avec un contenu élevé en carbone (par exemple le bois) se prêtent mieux à une combustion.

Pour les substrats potentiels de biogaz, il sera appliqué un rendement spécifique en biogaz en normal mètre cube par tonne et une valeur calorifique de 6 kWh/m³ de biogaz.³ Une considération consécutive de l'utilisation de la biomasse pour la production d'électricité et de chaleur dans une

³ Cette valeur peut varier (vers le haut et le bas) selon le matériel. Pour faciliter les calculs dans cette étude une valeur de 6 kWh/m³ pour le biogaz a été appliquée.

centrale de cogénération n'est pas prévue. Le potentiel énergétique à partir du substrat biogaz sera présenté sous la forme de puissance calorifique totale provenant du biogaz pouvant être produit.

Concernant les combustibles solides, des caractéristiques de puissance calorifique spécifique seront appliquées, elles concernent le matériel séché à l'air (avec une teneur en eau d'environ 20%).

Les données employées pour le rendement en gaz et la puissance calorifique sont en général des ratios certifiés qui sont diffusables. Seulement pour ce qui est de la considération de la biomasse, qui n'est pas encore entrée dans la pratique (comme par exemple les restes de la transformation de pêche), il s'agit de données d'évaluation conservatrices de la littérature.

3.2.2 Détermination de l'équivalent pétrole (tep)

On indique par tonne d'équivalent pétrole la quantité de fioul qui a la même valeur calorifique qu'une quantité donnée d'un autre combustible déterminé.

La puissance calorifique de base supposée de pétrole extra léger tourne autour de 11.628 kWh/t. Ceci permet la détermination de l'équivalent pétrole des biomasses concernées pour une évaluation comparée de celles-ci avec les énergies fossiles. Au regard de l'applicabilité en aire linguistique francophone, l'unité courante tep (tonne d'équivalent pétrole) sera utilisée en tant qu'acronyme pour l'équivalent pétrole.

3.2.3 Détermination du potentiel de réduction en CO₂

Afin de classer les potentiels en biomasse en vue de l'action pour la protection du climat, les réductions directes de CO₂ seront calculées et justifiées dans cette étude. Ici, seront seulement considérées les émissions potentielles directes évitées en comparaison avec un approvisionnement basé sur les énergies fossiles, car des détails approfondis peuvent être présentés seulement basés sur des projets concrets comme il est fait par exemple pour la validation des projets de compensation d'émissions (CDM et JI) mis en œuvre selon des méthodes de calculs fixes et approuvées. D'autres potentiels d'économies en gaz à effet de serre (GES) qui peuvent être pris en compte dans le développement de projets, sont entre autres les émissions de gaz de décharges évitées (méthane). Pour cela des considérations toutefois plus précises sont cependant nécessaires qui ne font pas partie de la base des potentiels de réduction présentés.

Le potentiel de réduction de CO₂ des biomasses étudiées sera indiqué en gramme par quantité d'énergie (g/kWh) et sera calculé selon les données suivantes:

Pour la transformation du biogaz dans une centrale de cogénération pour la substitution de l'énergie électrique, le facteur d'émission carbone de 752g/kWh (base sur le mix électrique du Maroc) sera pris en compte dans les calculs. Le combustible courant identifié par une analyse régionale, pour la production de chaleur dans les exploitations industrielles, entreprises commerciales et le cas échéant les ménages, est le pétrole lourd. Pour la part thermique produite par une centrale de cogénération, un facteur d'émission carbone de 280 g/kWh sera appliqué. Pour la transformation de biogaz en électricité et chaleur grâce à la cogénération, un rendement théorique (valeur basse) de 35% pour la production d'électricité et de 45% pour la chaleur sera adopté (0,386 g/kWh).

Pour la combustion de matière solide à partir de combustible type bois, la chaleur résiduelle se verra attribuer un facteur d'émission carbone de 280g/ kWh (pétrole lourd) dans les calculs comme pour la conversion de biogaz en électricité.

4 La zone d'étude: La région de l'Oriental

La région de l'Oriental est, avec une superficie de 82,820 km² (11,6 % de la superficie totale du pays), la deuxième plus grande région du Maroc. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par la région Taza-Al Hoceima-Taounate (Province Al Hoceima et Taza), Fès-Boulmane (Province Boulmane) et Meknès-Tafilalt (Province Errachidia) ainsi qu'à l'ouest et au sud par l'Algérie.

Depuis la nouvelle répartition administrative, la région Oriental comprend cinq provinces et une préfecture:

- Province de Berkane
- Province de Figuig
- Province de Jerada
- Province de Nador
- Préfecture d'Oujda Angad
- Province de Taourirt.

Dans le cadre de la nouvelle réorganisation, la Wilaya d'Oujda est répartie en plusieurs provinces: Berkane, Taourirt et Jerada ainsi que la préfecture Oujda Angad.

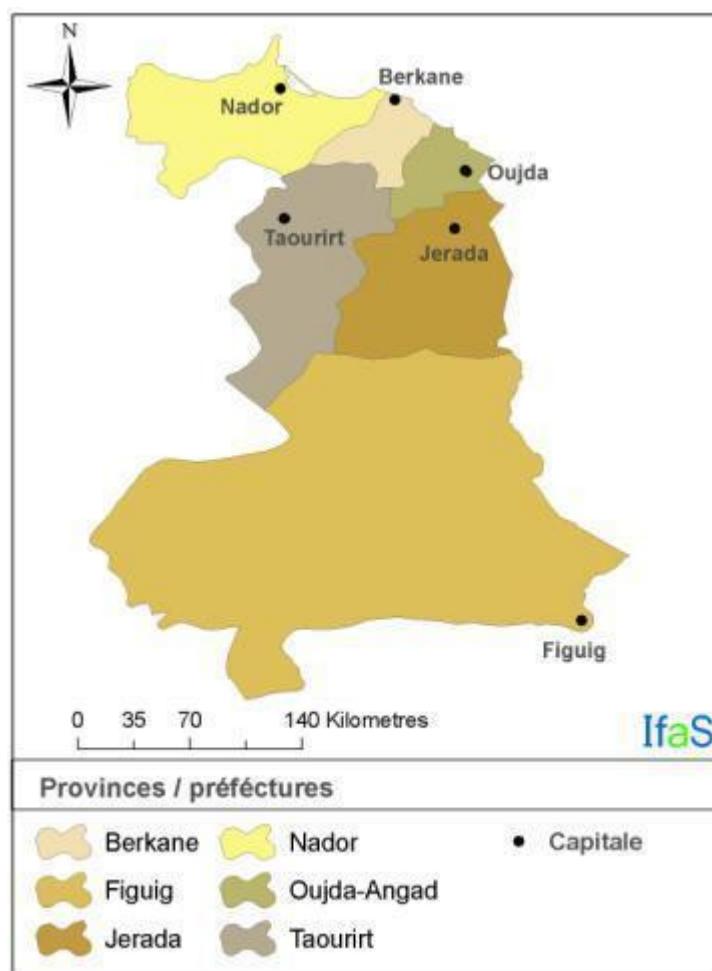


Figure 3: Organisation administrative des provinces/préfectures de la région de l'Oriental

4.1 Relief

La région de l'Oriental est répartie en trois grands espaces naturels: les basses plaines, les steppes des hauts plateaux et les régions montagneuses (Figure 4).

Dans les territoires au nord, les régions qui longent le littoral sont des plaines comme le bassin de la Basse Moulouya, qui comprend les zones fertiles des plaines de Triffa, Zebra ainsi que du Kert jusqu'au Gareb. Il comprend aussi le long couloir qui s'étend de Taourirt à Oujda avec des hauteurs entre 100 et 700 mètres au dessus du Normal-Null.

Toujours au nord s'étalent la chaîne montagneuse du Rif, celle des Horst et des Béni-Snassen. La chaîne de montagne du Rif côtoie la partie ouest de la province Nador et crée un relief mouvementé. La chaîne montagneuse des Béni-Snassen s'étend sur la partie sud de Berkane, le long de la mer Méditerranée et atteint des hauteurs de 800 mètres au dessus du Normal-Null. Le point culminant est le Ras Foughal avec 1535 mètres d'altitude. La région montagneuse est limitée à l'ouest par l'Oued Moulouya, au sud par l'Oued Isly et à l'est par l'Oued Kiss.

Comme point culminant le Haut Atlas s'étend du sud-est jusqu'à travers la partie ouest de la région de l'Oriental (de Figuig à Jerada)

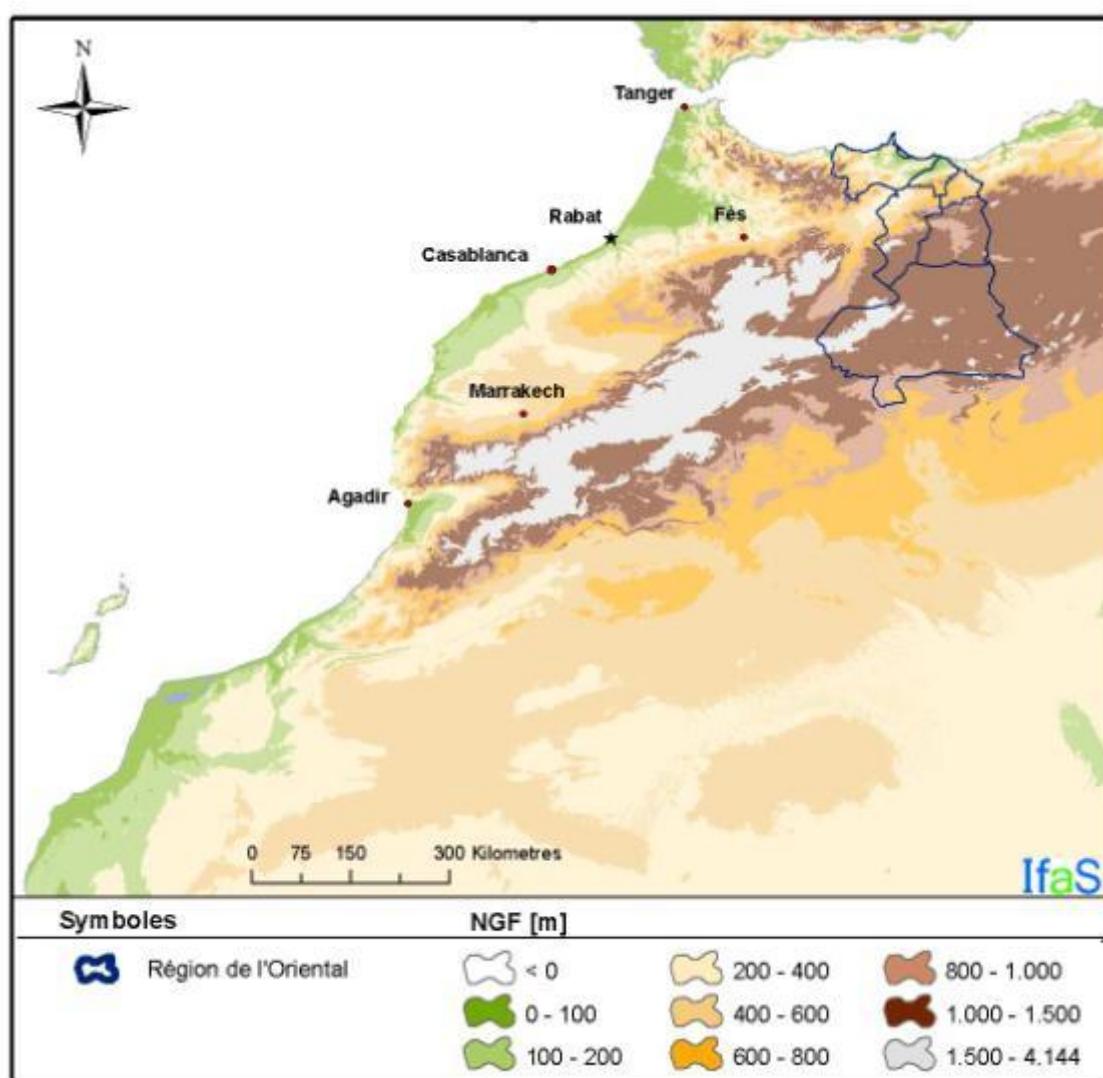


Figure 4: Les conditions naturelles spatiales dans le nord-est du Maroc

Les hauts plateaux avec des hauteurs entre 1.000 et 1.500 mètres dominent le paysage de la partie sud de la région (Jerada, Figuig), particulièrement au niveau de la zone frontalière avec le Sahara.

4.2 Hydrologie

Eau de surface

La Moulouya est le fleuve le plus important de la région de l'Oriental. Trouvant sa source sur les hauteurs de l'Atlas, il approvisionne toute la partie nord de la région avant de se jeter dans la mer Méditerranée du côté de la ville de Saïdia. Le delta du fleuve s'étend sur 2.700 hectares. L'eau de la Moulouya, avec un débit de 1 milliard de m^3 d'eau par an, sert principalement à l'irrigation (Triffa, Zebra, Bouareg, Garet).

Le bassin versant de la Moulouya d'une superficie de 74.000 km² s'approvisionne en eau sur le Rif Oriental, le Moyen Atlas et le Haut Atlas et contient environ 960 Mm³ d'eau de surface et 162 Mm³ d'eau souterraine. Il est composé des bassins subordonnés de Moulouya, Kert, Isly, Kiss, Chott Tigri et une partie de la zone de Bouarfa-Figuig. Le Za est un important affluent de la Moulouya.

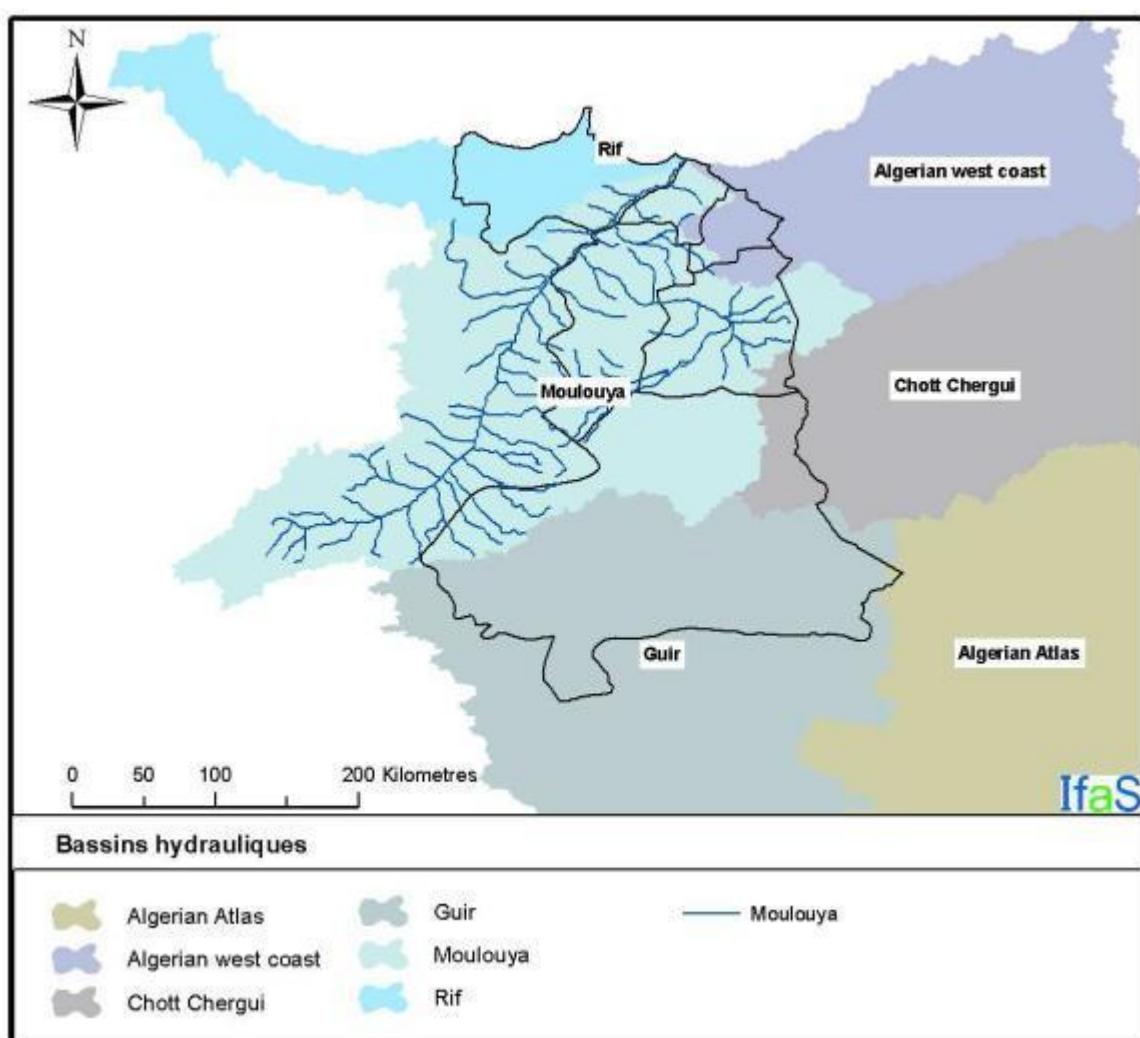


Figure 5: Les bassins hydrauliques dans la région de l'Oriental

La richesse en eau de la Moulouya et la situation géographique de la région de l'Oriental ont permis la construction de différents grands barrages. Les eaux de l'oued Moulouya et de ses affluents sont regularisées au niveau des grands ouvrages de mobilisation suivants :

- Barrage Mohammed V édifié sur l'oued Moulouya, d'une capacité initiale de 730 Mm³ réduite actuellement à 330 Mm³ à cause de son envasement (10 Mm³/an),
- Barrage Mechraâ Hammadi d'une capacité actuelle de 8 Mm³ situé à l'aval du barrage Mohammed V permettant la dérivation des eaux vers les plaines du périmètre de la Moulouya,
- Barrage sur Oued Za d'une capacité de 275 Mm³ desservant en eau potable les villes d'Oujda, Taourit et les centres avoisinants, en plus de l'irrigation des périmètres de petite et moyenne hydrauliques de Taourirt,
- Barrage Mohammed Ben Abdelkarim El Khattabi sur l'oued Nekor d'une capacité initiale de 40 Mm³.
- Barrage Mohammed Ben Abdelkarim El Khattabi sur l'oued Nekor d'une capacité initiale de 40 Mm³,
- Barrage Hassan II d'une capacité de 400 Mm³ sur Oued Moulouya, et
- Barrage collinaire de Tlet Boubker sur oued Ighan d'une capacité initiale de 2,5 Mm³.⁴

D'autres sources superficielles existent dans la région à savoir oued Isly, oued Kiss, oued Nekor, oued Guir, oued Zousfana, oued Kert et oued Amkrane.

Réserves en eaux souterraines

En raison de facteurs morphologiques, climatiques et socio-économiques, la région de l'Oriental se découpe en différents bassins régionaux :

- La nappe des Triffa dont le taux de salinité varie de 1 à 3 g/l et le volume exploitable de 20 à 25 Mm³.
- La nappe profonde d'Aïn Béni Mathar dont la salinité varie de 1,7 à 2 g/l. Le débit prélevé s'élève à environ 1,12 m³/s.
- La nappe phréatique des Angad qui s'étend sur une superficie de 450 km².
- Les nappes profondes des hauts plateaux de faible débit allant de 0,5 à 10 l/s.
- La nappe phréatique qui alimente les sources de la palmeraie de Figuig avec un débit total de 200 l/s, mais qui s'est fortement rabattue ces dernières années.
- La nappe phréatique du Kert, dont les prélèvements annuels sont estimés à 11,5 Mm³ avec une salinité variant de 0,3 à 1,5g/l.
- Les nappes phréatiques du Garet et de Bouareg, de moindre importance, se caractérisant par de fortes teneurs en sels atteignant jusqu'à 16 g/l.

En général, les niveaux des ressources souterraines exploitables dans la région sont estimés entre 288 et 378 Mm³/an pour l'ensemble des unités hydrauliquement rattachées au bassin de la Moulouya, dont 35 à 42 Mm³/an pour les hauts plateaux et 45 Mm³/an pour la basse Moulouya et environ 13 Mm³/an pour le secteur Figuig-Bouarfa.⁵

⁴ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

⁵ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

4.3 Sol

Le type de roche dominant dans la région de l'Oriental est le calcaire. Grès, schiste, granit et quartz se font plus rare. Au nord, se trouvent des îles éparses à base de roche volcanique de l'ère quartenaire. En raison des données géologiques, différents niveaux de développement de sols calcaires prédominent: de peu développés lithosols et rendzic leptosols aux sols calcaires de steppe (sols isohumiques et rouges fersialitiques, jusqu'au peu évolué d'apport alluvial et minéraux bruts).

4.4 Climat

La région de l'Oriental et sa moitié nord (Provinces Nador, Berkane, Taourirt, Jerada et la préfecture d'Oujda-Angad) se situent dans l'écozone subtropicale humide. Les territoires au nord en marge de la Méditerranée ont un climat typique méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers frais, pendant lesquels presque la totalité des précipitations tombe. Grâce à l'influence positive de la chaîne de montagne des Rif, des Béni-Snassen et surtout du Haut Atlas, les quantités de précipitations sont plus importantes.

La quantité moyenne de précipitation dans la moitié nord de l'Oriental se situe autour de 300-400 mm par an et dans quelques endroits les précipitations peuvent atteindre 500-650 mm par an (Tableau 1). Dans la moitié sud, c'est un climat continental semi-aride qui domine avec des pluies hivernales mais qui ne dépassent pas 200 mm par an. Dans les territoires sahariens de la province Figuig, les précipitations peuvent passer sous la barre des 90 mm/an. Le bilan total annuel de précipitations pour la région de l'Oriental se situe autour de 200-300 mm.

Les quantités intra- et interannuelles fluctuent énormément. Plusieurs années de fortes précipitations suivent habituellement plusieurs années de faibles précipitations (inférieures à la moyenne), ce qui engendre des rendements très variables dans l'agriculture bours. En général, sur les dernières décennies, on peut observer une augmentation de la pénurie d'eau qui trouve sa cause dans la baisse voire l'absence de précipitations.⁶ A cause du taux important d'évaporation et des bilans négatifs en eau, un risque important de salinité des sols persiste dans les zones de cultures irriguées.

⁶ Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental

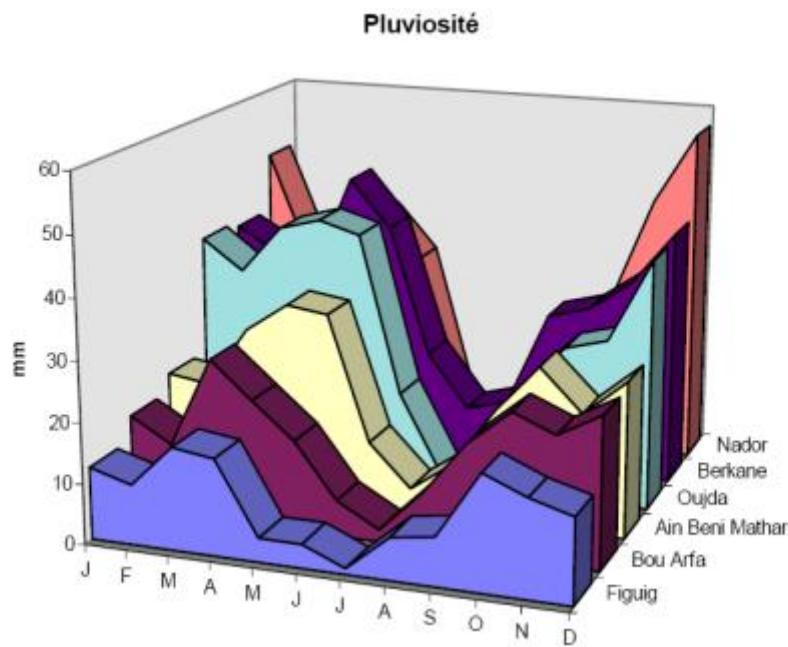


Figure 6: Répartition des précipitations dans les différentes zones de la région Oriental⁷

Les températures annuelles moyennes varient entre 17 et 20°C. Dans les régions montagneuses, elles atteignent en moyenne entre 12 et 15°C. Les températures les plus hautes enregistrées, correspondent au mois d'été Juillet et Aout, il n'est pas rare qu'elles atteignent 33°C. Pendant les mois d'hiver, les températures minimales caractérisent trois zones: la plus grande partie de la région de l'Oriental compte des températures entre 3 et 7°C T_{min} , alors que la zone littorale affiche des températures supérieures à 7°C T_{min} et dans les zones montagneuses fraîches les températures atteignent 0-3°C.

Tableau 1: Données climatiques : Données moyennes mensuelles Oujda, Maroc⁸

| Mois | T_{min} | T_{max} | Hum. | Wind | Sol. | Rad | ET_0 | Prec. |
|-----------|-----------|-----------|------|--------|------|------------------------|--------|-------|
| | [°C] | [°C] | [%] | [km/j] | [h] | [MJ/m ² /j] | [mm/j] | [mm] |
| Janvier | 5 | 16 | 56 | 207 | 4,6 | 8,9 | 2,1 | 27 |
| Février | 5 | 17 | 50 | 216 | 5,9 | 12,2 | 2,7 | 39 |
| Mars | 7 | 19 | 57 | 242 | 6,5 | 15,7 | 3,3 | 47 |
| April | 8 | 23 | 52 | 199 | 8 | 20,1 | 4,2 | 54 |
| Mai | 11 | 25 | 54 | 199 | 9,1 | 23,1 | 4,9 | 32 |
| Juin | 14 | 28 | 54 | 216 | 9,7 | 24,4 | 5,6 | 15 |
| Juillet | 17 | 33 | 46 | 216 | 11,1 | 26,2 | 6,8 | 2 |
| Août | 18 | 33 | 49 | 216 | 10,2 | 23,7 | 6,4 | 3 |
| Septembre | 16 | 31 | 50 | 190 | 8,8 | 19,3 | 5,2 | 11 |
| Octobre | 11 | 25 | 54 | 173 | 7,1 | 14,3 | 3,5 | 29 |
| Novembre | 8 | 19 | 58 | 181 | 5,7 | 10,3 | 2,3 | 32 |
| Décembre | 6 | 16 | 58 | 259 | 5,1 | 8,7 | 2,2 | 47 |
| Moyen | 11 | 24 | 53 | 210 | 7,7 | 17,2 | 4,1 | 338 |

T_{min} : Température minimale, T_{max} : température maximale, Hum.: Humidité atmosphérique, Wind: Vitesse du vent, Sol.: Durée d'ensoleillement, Rad.: Insolation, ET_0 : Referenz-Evapotranspiration et Prec.: précipitation

⁷ Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental

⁸ FAO CLIMWAT Database

4.5 Végétation naturelle

En dehors des zones montagneuses, où les précipitations sont plutôt abondantes, et les zones irriguées au nord, la couverture végétale est plutôt de faible densité. Au sud, elle est surtout limitée à la nappe alfatière des forêts de hauts plateaux et aux territoires oasiens.

Malgré la dissémination limitée en surface, il existe une remarquable variété d'arbres, qui se sont habitués aux conditions écologiques comme par exemple : différents types de genévrier: (*Juniperus ssp.*, Genévrier rouge du littoral et du domaine continental ; *Juniperus thurifère*, genévrier thurifère très alticole de l'Atlas saharien), *Thuya ssp.*, chêne vert (*Quercus ilex*), chêne liège (*Quercus suber*) (dissémination limitée), chêne Kermes (*Quercus coccifera L.*), pin d'Alep (*Pinus halepensis*), pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*), arganier (*Argania spinosa*), oléastre, caroubier (*Ceratonia siliqua*) (peuplement très épars), acacias et balanites.

La part de la surface forestière, mesurée par rapport à la surface totale de la région, est plutôt limitée. Sur d'autres surfaces, une végétation de steppe, constituée d'alfa (*Stipa tenacissima L.*), d'armoisies communes (*Artemisia ssp.*), de romarin et de cistes (*Cistus ssp.*), domine. Sur les territoires de Nador, Oujda et Figuig, il existe des programmes d'utilisation pour la nappe alfatière mais leur mise en place réelle est problématique en raison de la faible productivité et des périodes de sécheresse.

Dans les zones sahariennes, on trouve une végétation clairsemée avec les plantes typiques des zones semi-arides et arides comme des tapis de ronces (*Fredolia*), zilla et des tamaris (*Tamarix*).

En plus de la végétation forestière naturelle, des projets de reboisement avec des espèces d'arbres exotiques (principalement *Eucalyptus ssp.*) ainsi que des espèces autochtones sont aménagés. Au regard de la superficie de la région, ils restent tout de même d'une importance marginale. De plus, leur taux de réussite est plutôt faible.

4.6 Démographie

En 2004, on comptait 1,9 millions d'habitants dans la région de l'Oriental ce qui représente environ 6,4% de la population totale du Maroc. La part de population urbaine s'élève à plus de 60%. Deux tiers des urbains vivent à Oujda (environ 400.00-500.000 habitants), dans l'agglomération de Nador (environ 130.000 habitants) et celle de Berkane (80.000 habitants). En raison de la taille de la région, la densité de population ne s'élève qu'à 23 habitants par km² (2004).

Dans cette étude, le nombre d'habitants est estimé pour l'année 2010. Pour cela, un taux de croissance de 1,5% p.a.⁹ a été ajouté à la population de base de 2004¹⁰

⁹ Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental

¹⁰ HCP: RGPH, Population légale du Maroc, 2004

Tableau 2: Données concernant la population dans la région Oriental¹¹

| Préfecture/ Province | Surface [km ²] | Population (2004)* | | | Population urbaine [%] | Densité [hab/km ²] | Population (2010, estimé) | | |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| | | urbaine | rurale | Total | | | urbaine | rurale | Total |
| Berkane | 1.985 | 156.145 | 114.183 | 270.328 | 58 | 136,2 | 171.545 | 125.444 | 296.989 |
| Figuig | 55.900 | 63.159 | 66.271 | 129.430 | 49 | 2,3 | 69.388 | 72.807 | 142.195 |
| Jerada | 9.300 | 64.810 | 41.030 | 105.840 | 61 | 11,4 | 71.202 | 45.077 | 116.278 |
| Nador | 6.130 | 369.102 | 359.532 | 728.634 | 51 | 118,9 | 405.504 | 394.991 | 800.495 |
| Oujda-Angad | 1.714 | 410.808 | 66.292 | 477.100 | 86 | 278,4 | 451.324 | 72.830 | 524.154 |
| Taourirt | 8.752 | 119.331 | 87.431 | 206.762 | 58 | 23,6 | 131.100 | 96.054 | 227.154 |
| Total | 83.781 | 1.183.355 | 734.739 | 1.918.094 | 62 | 22,9 | 1.300.063 | 807.202 | 2.107.265 |

4.7 Economie

Depuis l'année 2003, la région de l'Oriental a reçu d'importantes subventions du gouvernement pour renforcer sa compétitivité. De nombreuses villes et provinces reçoivent des aides pour le développement de centres d'agriculture, du tourisme, des transports et de la logistique mais aussi pour la mise en œuvre de nouvelles technologies. L'objectif étant de faire de la région de l'Oriental une interface entre l'Afrique et l'Europe. De ce fait, la région profite d'avantages dans tous les domaines en raison de son accès direct à la mer Méditerranée.

Il est aussi vrai que la diaspora marocaine disséminée partout en Europe joue un rôle important dans le développement économique de cette région puisqu'elle montre un intérêt particulier quant à l'investissement.^{12 13}

Le secteur économique de la région Oriental est encore très marqué par l'agriculture. Alors que dans le nord de la région, l'horticulture domine, les provinces du sud pratiquent plutôt une économie pastorale. L'exploitation forestière est, en raison des conditions climatiques, d'une importance moindre. L'horticulture est très variée ; la culture de céréales domine, suivie par la culture de fruits et légumes.

Le secteur de la pêche occupe 4.000 pêcheurs. La pêche côtière a connu depuis quelques années un essor sans précédent en raison de l'augmentation de la production du port de Beni Ansar, la modernisation de la flotte ainsi que le développement de l'aquaculture. Bien que la plus grande partie de la production locale soit destinée soit à la consommation locale soit à l'export, une industrie de transformation a vu le jour plus particulièrement dans la province de Nador.

Malgré le développement continual du secteur industriel, l'importance de cette branche de l'économie est encore relativement faible. Le secteur industriel est dominé par l'industrie agroalimentaire, suivie par l'industrie du ciment, l'industrie des métaux et la mécanique.

Actuellement différents projets de développement industriel sont en phase de planification ou mise en place comme par exemple:

¹¹ Population 2004 : HCP, RGPH, Population légale du Maroc, 2004 ; Calcul population 2010 : Taux de croissance de la population: 1,58% (Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental)

¹² Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit: Migration and regional economic development in the Oriental Region of Morocco, 2010

¹³ Le projet MIDEO („Migration & Développement Economique dans l'Oriental) vise la promotion du développement économique par la mobilisation du potentiel de la migration (p.ex. mise en valeur des transferts financiers des émigrés au pays natal et de leur savoir-faire pour le développement du pays émetteur).

- Une zone de libre échange à proximité immédiate du port de Nador
- La zone industrielle de Selouane à proximité de Nador
- La zone industrielle de Madagh dans la province de Berkane
- Une technopole au niveau de l'aéroport d'Oujda.¹⁴

Le secteur tertiaire dans la région de l'Oriental est marqué par les activités commerciales transfrontalières. Particulièrement dans les villes frontières d'Oujda, Nador et Beni Drar, on trouve de nombreux employés dans ce secteur. A côté du secteur bancaire, qui grâce à Nador, représente la troisième place financière du Maroc, le tourisme joue aussi un rôle important et croissant pour la région. Considérant les deux projets touristiques „Mediterrania Saidia“ (voir chapitre 5.3.3.3) et „MarChica“ à Nador, ce secteur est vu comme l'un des plus importants pour le futur de la région.¹⁵

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des provinces de la région Oriental.

Tableau 3: Points forts de l'économie dans les provinces¹⁶

| | Surface [km ²] | Population (2004) | Caractéristiques |
|----------|----------------------------|-------------------|--|
| Berkane | 1.985 | 270.328 | agriculture (agrumes), futur grand pôle touristique balnéaire sur la méditerranée ("Mediterrania Saidia") |
| Figuig | 55.900 | 129.430 | élevage (extensif), agriculture, tourisme, activité minière (plomb, de zinc et de la barytine) |
| Jerada | 9.300 | 105.840 | l'élevage, activités minières (anthracite, plomb, argent, etc.), tourisme rural, chasse, unités industrielles (ex: fonderie de plomb) |
| Nador | 6.130 | 728.634 | centre commercial et financier, pêche maritime, exportation à l'extérieur |
| Oujda | 1.714 | 477.100 | siège des institutions et organismes régionaux, pôle de formation universitaire et technologique, capitale administrative régionale, sièges des banques, centre commercial et de service de premier ordre, capitale culturelle |
| Taourirt | 8.752 | 206.762 | agro-industrie, agriculture, élevage |

4.8 Infrastructure

Depuis quelques années, d'importants projets d'infrastructure sont réalisés dans la région Oriental. A côté de la construction de la route régionale Oujda-Nador, d'autres connexions routières extrarégionales Fès-Oujda et Tanger-Sadia (rocade méditerranéenne) doivent être finies dans l'année 2010.¹⁷

Une ligne ferroviaire longue de 650 km relie Oujda avec Casablanca. De plus, une autre ligne de 280 km relie Oujda et Bouarfa dans le sud de la région. La connexion ferroviaire de Taourirt à Beni Nsar (port de Nador) doit relier Nador au réseau ferré national.¹⁸

En outre, la région est accessible par les ports de Nador (Beni Ansar), Saidia et Cap d'eau (Port de Ras el Ma) ainsi que par les aéroports internationaux comme Oujda-Angad et El Aroui (Nador).

¹⁴ Cp. MIDEO : Präsentation der Region

¹⁵ Cp. MIDEO : Präsentation der Region

¹⁶ Cp. MIDEO : Präsentation der Region & Chambre de Commerce, d'Industrie et de Services d'Oujda : CCIS Oujda, Monographie de la Région Oriental, 2009

¹⁷ Le Matin : Réseau routier, 2010

¹⁸ Cp. MIDEO : Präsentation der Region

5 Analyse de flux de matériaux

5.1 Agriculture

Les terres agricoles exploitées de la région de l'Oriental englobent environ 730.744 ha, représentant environ 9% des surfaces totales de la région. Malgré les étendues très diverses des terres par province/préfecture, les surfaces agricoles utilisées respectives S.A.U. représentaient en 2009 (à l'exception de Nador) entre 90.000 et 110.000 ha¹⁹ (Figure 7). Les S.A.U. ne comprennent pas les surfaces utilisées pour les élevages en plein air extensifs, celles-ci sont comptabilisées à part. La répartition des S.A.U en 2009 se présente de la manière suivante:

- Nador: 219.223 ha (30% des S.A.U. régionales),
- Berkane: 87.689 ha (12% des S.A.U. régionales),
- Oujda-Angad: 102.304 ha (14% des S.A.U. régionales),
- Taourirt: 109.612 ha (15% des S.A.U. régionales),
- Jerada: 102.304 ha (14% des S.A.U. régionales) et
- Figuig: 109.612 ha (15% des S.A.U. régionales).

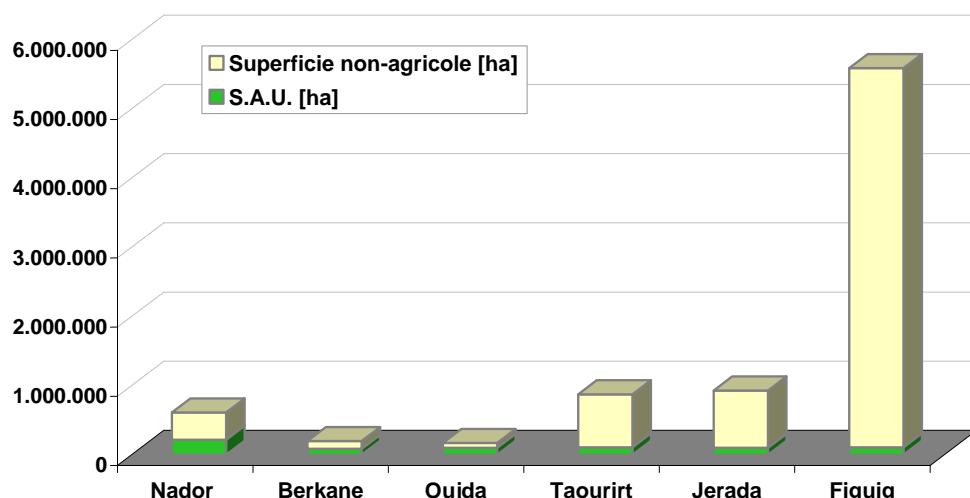


Figure 7: Part des surfaces agricoles utilisées par rapport à la totalité des superficies par province/préfecture de la région de l'Oriental

Dans la région de l'Oriental, on compte cinq unités territoriales agricoles (UTA) définies par des caractéristiques pédologiques, géographiques et socioprofessionnelles:

- UTA 1 : les plaines intensivement exploitées du périmètre de la Grande Hydraulique, dans lesquelles on trouve principalement des terres irriguées ainsi qu'une production animale intensive,
- UTA2 : les hauts plateaux,
- UTA 3 : les plaines,
- UTA 4 : les collines et montagnes, ainsi que
- UTA 5 : les oasis (Figure 8).

¹⁹ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

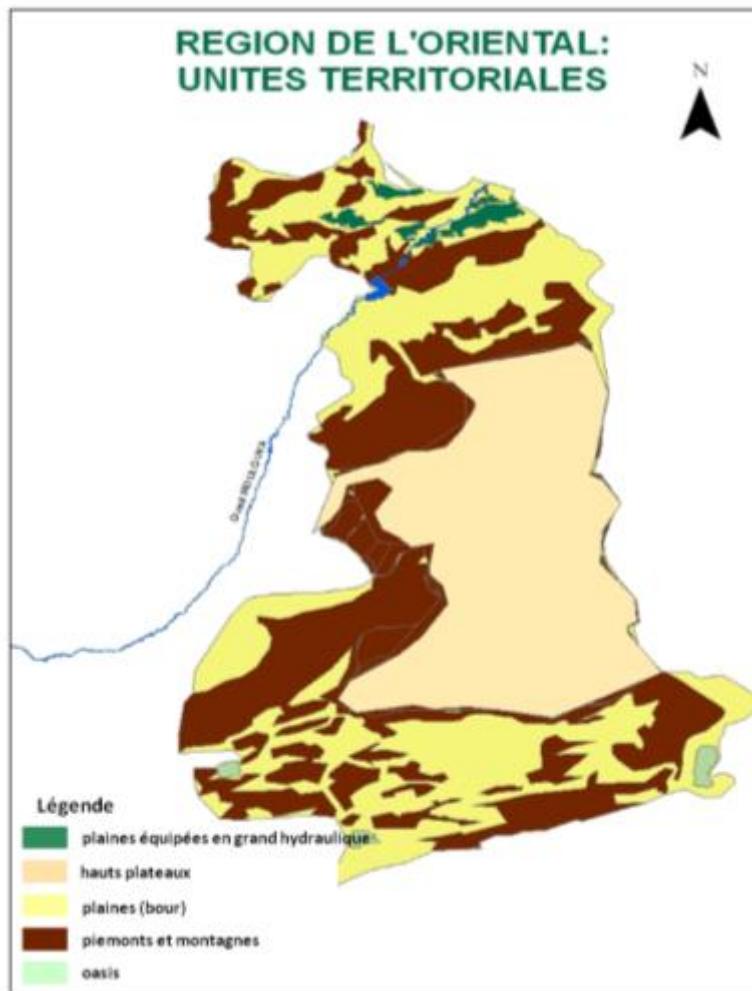


Figure 8: Unités territoriales agricoles de la région de l'Oriental²⁰

Les plaines du périmètre de la Grande Hydraulique, dans lesquelles une agriculture irriguée intensive est pratiquée, se situent principalement dans des lieux proches de la côte des provinces de Nador et de Berkane. On y trouve surtout de l'arboriculture (agrumes, vin) et de la culture de légumes (pommes de terre), mais aussi des superficies importantes de betteraves à sucre et d'oliviers. Dans ces endroits intensivement exploités par une agriculture productive, on trouve des sols fertiles.

Dans la province d'Oujda et dans la partie nord de Taourirt, au sud des monts Béni-Snassen, se trouvent d'autres plaines dans lesquelles est surtout pratiquée la production de céréales dans une culture pluviale (blé, orge). En outre à Taourirt, se répand une culture de fruits à huile non-irriguée. Les cultures de plantes non-irriguées dans la région de l'Oriental se trouvent souvent sur les sols calcaires et peu profonds avec une productivité qui va de moyenne à faible. Dans le pays intérieur, façonné par un climat continental (Jerada, Figuig, partie de Taourirt), se trouvent les hauts plateaux qui abritent surtout un élevage en plein air extensif caprin et ovin. A Jerada, on trouve aussi des systèmes agro-forestiers avec une utilisation courante en tant que pâturages (systèmes agro-sylvopastoral). Dans les lieux où les précipitations sont faibles comme Figuig, la culture agricole et la production de fruits/légumes est limitée à quelques oasis. On trouvera là aussi, les plantations de palmiers-dattiers de la région, dont la déforestation est actuellement interdite par une loi. Les

²⁰ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

palmiers-dattiers remplissent une fonction très importante pour lutter contre la désertification et pour la réduction de l'ensablement.²¹

Les S.A.U. seront différencierées par superficies irriguées et superficies bour. La part des terres irriguées par rapport à la surface totale représente 15%, soit environ 107.000 ha. 65.400 ha seront irrigués avec l'eau de la Grande Hydraulique (GH) et 42.000 ha avec l'eau souterraine de la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) (Figure 9).

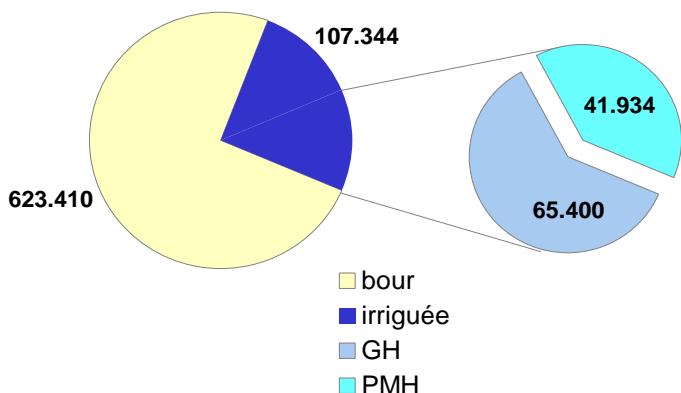


Figure 9: Répartition des surfaces agricoles utilisées en irriguées et bour (en ha)²²

80% des terres irriguées se trouvent dans les deux provinces de Berkane et Nador. Au niveau des sols fertiles, l'emploi plus important de moyens de production est avantageux, car grâce à l'irrigation, il rapporte des productivités multiples.

L'agriculture non-irriguée (la bour) représente 623.410 ha, c'est-à-dire 85% des S.A.U. Ici, les rendements moyens sont plutôt faibles. Lors des années avec des faibles précipitations, une grande partie des terres emblavées n'est pas cultivée car la récolte ne serait pas économiquement viable.

Environ 60% des terres utilisées pour l'agriculture sont des propriétés privées, presque la totalité du reste des terres est exploitée collectivement (33%, surtout à trouver dans les provinces de Jerada, Figuig et Taourirt), „le domaine privé de l'état“ représente lui 6,4% et les „habous“ (0,2%).

Le nombre d'exploitations agricoles de la région s'élève à environ 105.000. Plus de la moitié (55%) des exploitations de la région Oriental exploitent une superficie inférieure à 5 ha, 19% des exploitations entre 5 et 10 ha et 12% entre 10 et 20 ha. Seulement 6.632 exploitations (6%) cultivent des terres égales ou supérieurs à 20 ha. Ces dernières sont intéressantes du fait de leur potentiel en biomasse car des quantités importantes de résidus sont produites. Mais aussi parce que l'on peut supposer qu'elles disposent d'une infrastructure pour la récolte ainsi que des techniques de transport.

Un bon degré d'organisation à l'intérieur des filières agricoles s'est mis en place et particulièrement dans les domaines de production laitière, viandes rouges, production sucrière et la culture des agrumes.²³

²¹Interview d'expert avec Monsieur K. Iharchine, DREFLCD, Oujda, 26.10.2010

²² Les surfaces irriguées seront aussi différencierées selon leur provenance: GH pour „Grande Hydraulique“ (eaux de surfaces) et PMH pour „Petite et Moyenne Hydraulique“ (eaux souterraines); Chiffres: Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

²³ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

5.1.1 Acteurs

Les services extérieurs du Ministère de l’Agriculture et de la Pêche Maritime sont :

- Deux Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (ORMVA de Moulouya et de Tafilelt),
- Trois Directions Provinciales d’Agriculture (DPA d’Oujda, de Nador et de Figuig),
- 11 Centres de Travaux,
- Un Centre Régional de la Recherche Agronomique,
- Un Laboratoire Régional d’Analyses et de Recherches Vétérinaires,
- 5 Centres de formation agricoles (ITSA de Zraïb, lycée agricole de Berkane, CQA de Bouchtat et CQA de Bouarfa),
- Deux Services de l’ONICL.

Dans le cadre de la collecte des données, les institutions et entreprises suivantes furent contactées et/ou visités:

- Office Nationale de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA), Oujda, 25.10.2010
- Office Nationale de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA), Nador, 29.11.2010
- Direction Régionale d’Agriculture (DRA), Oujda, 1.12.2010
- Production bour
 - Exploitation agricole (17 ha), Province de Berkane, 1.6.2010
 - Exploitation agricole (production laitière, 35 vaches), Province d’Oujda
- Production irriguée
 - Exploitation agricole avec production des agrumes (10 ha) et production laitière, Province de Berkane (Ourmchi Mimoun), 1.6. 2010
 - Exploitation des cultures sous serres (Green World, 20 ha), Province de Nador, 29. 11. 2010
 - Exploitation sous serre (Herbala, 400 ha), 3.12.2010

5.1.2 Démarche

L’agriculture offre deux méthodes fondamentales d’utilisation de la biomasse pour générer de l’énergie: (1) la production directe de plantes énergétiques venant de l’exploitation agricole et (2) la création indirecte de potentiels biomasse sous la forme de résidus, qui sont produits lors de la production primaire animale et végétale. La possibilité de production agricole de plantes énergétiques ne sera pas étudiée dans cette étude, car la culture de plantes énergétiques classiques comme le maïs, le sorgho ou céréales entraîne l’utilisation de surfaces et ressources en eau supplémentaires, à l’inverse de la revalorisation de résidus. Le Maroc couvre 55% de ses besoins en céréales par sa production propre²⁴, une grande partie des terres irriguées sera destinée à une production végétale orientée fortement sur l’export et l’économie. C’est pour cette raison, que l’utilisation de résidus de la production agricole semble plus appropriée que le changement d’une agriculture tournée vers l’agroalimentaire/la matière fourragère à une production intensive de plantes énergétiques. Cette approche singulière est adaptée au développement d’une utilisation durable de la biomasse, et plus spécialement à la sécurité alimentaire et à la contribution générale pour la protection du climat.²⁵

²⁴ La Vie éco: Plan Vert Maroc, 2009

²⁵ Cp. WBGU: Welt im Wandel – Zukunftsähnige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, 2008

Cependant, en complément de l'utilisation de résidus, on peut envisager avec un management approprié, une production extensive de plantes énergétiques sur des surfaces marginales ainsi que l'utilisation secondaire d'eau usée (après traitement) pour la production de biomasse. Cette dernière offre la possibilité de générer une situation gagnant-gagnant où la réduction de l'export des nutriments dans les écosystèmes aquatiques s'ajoute à la production de biomasse utilisable énergétiquement.

Dans le cadre de l'analyse des potentiels, les cultures significatives dans le domaine agricole seront premièrement analysées ainsi que leur importance par province. La partie 5.1 qui suit, se concentre sur ces potentiels qui apparaissent directement dans le domaine agricole ou dans un domaine proche. Les résidus de l'industrie agro-industrielle (p.ex. extraction du sucre) seront représentés dans la partie 5.3.3.2.

Un premier regard sur les données et les discours d'experts au début de l'année 2010 dans la région de l'Oriental donne des informations sur l'éventail des cultures régionales. Celui-ci comprend des céréales (y inclus le maïs), légumes à grains, différents légumes en plein air, des cultures sous serres (sur une étendue plus réduite), arbres fruitiers, diverses cultures arboricoles (p.ex. oliviers), plantes fourragères (principalement luzerne), et particularités régionales à plus petite échelle comme la figue de barbarie. On peut aussi voir d'autres cultures spéciales comme les raisins de table et raisins (pour la production vinicole). Pour la plupart de ces cultures, l'utilisation de la biomasse n'est pas envisageable. Les raisons suivantes sont avancées:

- La plus grande partie de la plante est utilisée ;
- Les résidus de la récolte sont très faibles, ce qui ne permet pas techniquement ou économiquement une collecte de ceux-ci ;
- Les restes sont aussi indispensables pour la conservation des substances organiques du sol. (protection contre l'érosion, maintien de la fertilité du sol (ex: culture de pommes de terre) ;
- La matière restante ne se prête pas à une revalorisation énergétique en raison du niveau de technique actuel (pousses après récolte des légumes) ;
- Il est question d'une culture orientée sur les besoins, où les résidus sont inexistant (cas de la luzerne).

Au niveau de l'éventail des cultures, à côté des données statistiques, de la littérature et des discours d'experts; les types de culture suivants sont identifiés (pour ceux-ci, des résidus de culture sont produits et peuvent être utilisés énergétiquement):

- Céréales: paille, résidus après nettoyage des céréales;
- Différentes cultures sous serre: résidus de culture, restes de plantes;
- Différents bois fruitiers et cultures arboricoles (vin inclus): bois de refend et bois de défrichement.

Pour ces cultures la détermination des surfaces de culture, les quantités de production et la récolte, quand cela est possible par province, sont nécessaire. Pour cela, les ressources suivantes sont exploitées:

- Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Moulouya (ORMVAM) (2010): Collecte de données production végétale (Berkane, Nador, Taourirt), (campagnes 2005-2009) ;
- DRA, Oujda : Chiffres concernant la production végétale dans les provinces de Jerada et de Figuig (2009) ;

- Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Moulouya (ORMVAM), Abdellaoui, Abdelghani (Chef du service des filières végétales à haute valeur ajoutée, Division du Développement des filières agricoles, ORMVAM) (2010): Données sur le secteur agricole (Message écrit)

Pour ce qui est du niveau de rendement et des informations relatives à la culture, les quantités de résidus seront évaluées par unité de surface et calculées selon le périmètre de culture pour chaque province/préfecture.

En plus des potentiels de la production végétale, les résidus de la production animale seront examinés (5.1.3.2). Cela sera aussi présenté par province/préfecture. Les sources suivantes sont employées:

- Office National de Sécurité Sanitaire des produits Alimentaires (ONSSA) (2010): Données sur la production animale dans la région de l'Oriental (campagne 2009/10) ;
- Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Moulouya (ORMVAM), Abdellaoui, Abdelghani (Chef du service des filières végétales à haute valeur ajoutée, Division du Développement des filières agricoles, ORMVAM) (2010): Données sur le secteur agricole (Message écrit)

Afin d'identifier le potentiel énergétique des quantités de résidus mentionnés plus haut, les biomasses (en relation avec leur composition) seront classées en fonction de leur revalorisation énergétique (digestion ou combustion). Les propriétés importantes, qui qualifient une biomasse comme un bon substrat de biogaz (digestion) ou combustible solide (combustion ou valorisation thermique), sont la composition chimique et la teneur en eau. Dans l'étude suivante, les restes agricoles seront classés selon leurs possibilités de revalorisation en fonction des quantités potentielles disponibles. Le rendement énergétique potentiel, selon les moyens de valorisation respectifs, (en mégawattheures, MWh ou tonne équivalent pétrole, tep) sera calculé avec des chiffres approximatifs. Les quantités de CO₂ économisées, grâce à l'utilisation de vecteurs énergétiques renouvelables, en comparaison avec l'utilisation possible de combustible fossile (pétrole lourd), sera exprimé en tonne équivalent CO₂.

5.1.3 Potentiels

5.1.3.1 Production végétale

La totalité des champs cultivés de la région de l'Oriental s'élève à 452.000 ha, dont 85% sont exploités dans des cultures pluviales (bour). Ces surfaces ne représentent que 62% des surfaces agricoles utiles (S.A.U.). Sachant que depuis plusieurs années, les précipitations enregistrées restent sous la moyenne, certaines parties des surfaces bour ne produisent pas en raison du manque d'eau chronique.²⁶

Les enjeux généraux dans le domaine de la production végétale de la région de l'Oriental sont:

- Sècheresse et possibilités d'irrigation insuffisantes, vient s'ajouter à cela la capacité continuellement décroissante à combattre la sédimentation du barrage Mohammed V.
- La faible productivité des surfaces bour, plus spécialement les surfaces de culture céréalière.

²⁶ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

- Difficultés de commercialisation dans la vente des produits agricoles causées par les hautes exigences des marchés extérieurs et une concurrence forte, mais aussi au degré non optimal d'organisation du marché national surtout pour le secteur commercialisation de fruits et légumes.²⁷

Pour le calcul du potentiel énergétique, les trois domaines principaux : céréaliculture, arboriculture et cultures sous serres seront étudiés.

5.1.3.1.1 Potentiels de la culture céréalière

La céréaliculture (principalement blé et orge) représente en termes de surface, la partie la plus importante de la production agricole de la région. Dans la campagne 2009/2010, la superficie cultivée par les céréales d'automne au niveau de la région était de 293.645 ha (dont 15.053 ha en irrigué). La production céréalière était de 305.367 t répartie entre l'orge avec 53%, le blé tendre avec 34% et le blé dur avec 13%.²⁸ Les rendements des céréales varient fortement dans les différents provinces/préfectures. Dépendant des conditions climatiques, de l'irrigation, du sol et de la fertilisation les rendements moyennes de la campagne 2009/2010 se situent autour de 0,9 t/ha dans les champs non-irrigués de la DPA d'Oujda et autour de 3,4 t/ha dans les zones irrigués de l'ORMVAM.²⁹ Dans la région Bour, de grandes différences apparaissent entre les superficies cultivées et les superficies récoltées. Par exemple dans la partie non-irriguée de la zone d'action de la DPA de Figuig, 7.450 ha de céréales sont ensemencées mais non récoltées.

Dans le domaine de la céréaliculture, deux différents types de biomasse peuvent être utilisés pour une valorisation énergétique: D'un côté la paille produite peut être valorisée de façon thermique, de l'autre côté il y a aussi la possibilité d'utiliser des parties de céréales (céréales rejets) en tant que substrat de biogaz ou combustible solide.

Pour l'utilisation énergétique de la paille, il faut tout de même prendre en compte les limitations d'ordre général comme par exemple l'influence positive de la paille pour la fertilité des sols mais aussi d'autres spécificités régionales.



Figure 10: Stockage de la paille dans une ferme à Oujda pour l'utilisation dans l'élevage bovine

La paille en tant que résidu de la récolte, remplit un rôle important dans l'agriculture en tant que source de carbone pour le développement de la teneur en humus du sol et contient des quantités

²⁷ MIDEO : Province Berkane, Agriculture

²⁸ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

²⁹ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

importantes de potassium, qui vont être retirées du système de culture si la paille est prélevée. Dans la région de l'Oriental (mais aussi dans le reste du pays) la culture de céréales est surtout pratiquée dans les zones bour. Dans les surfaces irriguées, ce sont surtout des cultures de fruits, légumes, betteraves à sucre et cultures spéciales qui sont pratiquées, réalisant une marge sur coût variable plus importante. Dans la zone bour, les ressources de la production végétale sont extrêmement faibles, c'est pour cela que les résidus de la céréaliculture sont déjà en majorité utilisés en tant que litière et fourrage pour des animaux.³⁰ Les exploitations mixtes agricoles (élevage d'animaux et production végétale) introduisent la matière en principe dans un système relativement fermé. Grace à cela, des effets positifs sont atteints pour la fertilité des sols, la lutte contre l'érosion et la protection du climat. Ces aspects doivent être pris en compte dans un contexte d'augmentation du prix des fertilisants et sur le point de vue économique pour l'exploitation agricole.

La part de paille céréalière, qui est disponible pour la valorisation énergétique, doit au moins assurer un bilan en humus équilibré. Le fait que ces circonstances ne soient réalisables que sur des cas concrets singuliers de petite taille, oblige la considération dans cette étude d'une disponibilité en paille faible de 3% des surfaces récoltées des quantités totales produites (Tableau 4). Pour le calcul des quantités annuelles de la paille les données statistiques de l'ORMVAM (production moyenne des années 2005-2009 à Berkane, Taourirt et Oujda) ont été utilisés vu que les autres sources n'ont pas donné des informations sur la production de la paille.³¹ Les quantités de paille récoltée se situent entre 0,7 et 0,9 tonnes par hectare. Pour le calcul une valeur conservatrice de 0,7 tonnes par hectare a été supposée.³²

Pour l'utilisation de la paille en tant que vecteur énergétique, la logistique joue un rôle important. Face à la densité en paille plutôt faible et les rendement-surfances assez bas dans la région de l'Oriental, la question peut se poser de savoir si cette utilisation est somme toute économiquement et énergétiquement judicieuse. Les quantités potentielles supposées de 3% concernent un potentiel théorique en raison des restrictions économiques, écologiques et énergétiques, qui doivent être considérées en fonction des réalités locales s'il y a une planification de projet (Tableau 5).

Tableau 4: Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique issu de la paille céréalière de la région de l'Oriental³³

| | Surface récoltée [ha] | Rendement paille [t/ha] | Paille disponible [%] | Pouvoir calorifique [MWh/t] |
|--------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Paille | 307.782 | 0,7 | 3 | 3,69 |

³⁰ Interview d'expert Monsieur A. Fekkoul, ORMVAM, Oujda, 2010

³¹ Vu qu'au Maroc l'utilisation d'une céréale avec les tiges longues sont préférés, une relation entre grain et paille inférieur à 1 peut être supposé. Cependant les données de l'ORMVAM donnent les relations entre 1,9 et 2.

³² ORMVAM : Données production végétale 2004 – 2010

³³ Chiffres arrondis, rendement de paille : valeur moyenne ; quantité disponible : valeur moyenne pondérée

Tableau 5: Potentiel énergétique théorique issu de la paille céréalière dans les provinces/préfectures de la région de l'Oriental³⁴

| Province / préfecture | Surface disponible | Quotité disponible | Quantité disponible (total) | Pouvoir calorifique (total) | Pouvoir calorifique (total) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | [ha] | [t/ha] | [t/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 469 | 1,0 | 465 | 1.716 | 148 |
| Figuig | 510 | 0,5 | 275 | 1.016 | 87 |
| Jerada | 821 | 0,4 | 336 | 1.240 | 107 |
| Nador | 2.973 | 0,9 | 2.729 | 10.068 | 866 |
| Oujda-Angad | 4.140 | 0,6 | 2.484 | 9.164 | 788 |
| Taourirt | 320 | 0,4 | 126 | 466 | 40 |
| Total | 9.233 | 0,7 | 6.416 | 23.670 | 2.036 |

Une autre limitation lors de la combustion simple de la paille est la teneur importante en chlore et potassium. Celle-ci oblige à des investissements techniques spéciaux. L'exploitation d'installations de chauffage décentralisées, comme il est débattu en ce moment en Allemagne, n'a pas encore vu le jour. Alors que le chlore entraîne une corrosion plus importante de la chaudière³⁵, la teneur importante en potassium peut engendrer le bouchage et l'encrassement. Ce problème a limité le développement de la paille en tant que combustible solide à des installations de chauffage de grande capacité comme il est pratiqué au Danemark.

Etant donné que cette forme d'utilisation de la paille oblige à un investissement logistique énorme, la production de pellets et briquettes à partir de paille est débattue pour faciliter le transport mais encore très peu diffusée dans la pratique. La production de granulés de paille est aussi envisageable ainsi que de combustibles solides mixtes (avec par exemple du bois de l'utilisation forestière ou des cultures agricoles).

En vue des investissements élevés d'une installation de combustion de la paille et à cause des difficultés résultant de la combustion de la paille, le potentiel (technique) utilisable d'une valorisation énergétique est probablement négligeable. Pour cette raison le potentiel énergétique de la combustion de paille ne sera pas pris en compte dans les calculs suivants.

La céréaliculture livre aussi une autre matière première pour la production énergétique à savoir les grains céréaliers. La valorisation énergétique de grains de blé est un thème très discuté principalement pour des questions éthiques. Mais l'utilisation des parties trop petites des céréales ainsi que les résidus après nettoyage pour une valorisation énergétique ne fait pas partie de cette question éthique. Ceux-ci sont produits lors du nettoyage des céréales et se composent de beaucoup de fractions différentes qui pour plusieurs raisons ne peuvent pas être utilisés comme denrées alimentaires ou fourrage pour animaux. Les parties qui peuvent être ici différenciées sont: les grains cassés et trop petits, la glumelle (enveloppe de l'épeautre), la poussière et les parties affectées par des champignons (*fusarium*). Les petits grains et ceux qui sont cassés vont en général dans une filière alternative de l'industrie fourragère mais les glumelles et les parties fines ainsi que les céréales affectées par des champignons vont être partiellement mises en décharge. En fonction du type de céréales, des circonstances locales (étape et technique de préparation) et du type de commercialisation envisagé (marché régional ou export), entre 2 et 10 % du rendement brut peut

³⁴ A noter: Pour la province de Taourirt, seulement les chiffres de la zone d'action d'ORMVAM étaient disponibles (manque des données de la DPA).

³⁵ Kaltschmitt: Energie aus Biomasse, 2001, S. 141

être potentiellement utilisable pour une valorisation énergétique. Pour le calcul des quantités annuelles de céréales les données sur la production céréalière de l'ORMVAM et de la DRA ont été utilisées.³⁶

Lors de discussions avec des experts, il a été présenté la faible quantité de résidus céréaliers après nettoyage généré par les moulins à céréales locaux. Ceci est tout d'abord lié à la rare survenance d'affection par des champignons (relative à des précipitations et humidité de l'air faibles) et à l'utilisation forte des résidus de l'agriculture pour le fourrage. En raison de cette considération basse et de l'utilisation régionale importante des résidus de la récolte de céréales, il ne sera considéré dans cette étude que seulement 1 % de la récolte sont potentiellement utilisables énergétiquement (potentiel théorique) (Tableau 6). Les résultats du calcul sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 6: Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique (théorique) issu des grains céréaliers (résidus céréaliers) de la région de l'Oriental³⁷

| | Rendement total | Rejet | Pouvoir calorifique |
|---------------------------|-----------------|-------|---------------------|
| | [t/a] | [%] | [MWh/t] |
| Céréales résiduels | 350.215 | 1 | 3,6 |

Pour une mise en exploitation des rebuts de la production céréalière, les quantités peuvent être utilisées de différentes façons. A côté de la combustion directe, qui a été implantée avec succès en Europe Centrale pour la production de chaleur, le matériel peut aussi être valorisé en pellets ou briquettes ou alors introduit dans une unité de biogaz.

Tableau 7: Potentiel énergétique théorique issu des grains céréaliers (résidus céréaliers) dans les différentes provinces de la région de l'Oriental

| Province | Surface recoltée | Rendement céréales | Rejet disponible | Rejet disponible (total) | Pouvoir calorifique (total) | Pouvoir calorifique (total) |
|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | [ha/a] | [t/ha] | [t/ha] | [t/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 15.644 | 1,7 | 0,02 | 258 | 942 | 81 |
| Figuig | 17.000 | 0,9 | 0,01 | 158 | 576 | 50 |
| Jerada | 27.360 | 0,7 | 0,01 | 187 | 680 | 59 |
| Nador | 99.105 | 1,5 | 0,02 | 1.516 | 5.526 | 475 |
| Oujda-Angad | 137.995 | 1,0 | 0,01 | 1.313 | 4.784 | 412 |
| Taourirt | 10.678 | 0,7 | 0,01 | 70 | 256 | 22 |
| Total | 307.782 | 1,1 | 0,01 | 3.502 | 12.764 | 1.098 |

Par analogie avec l'utilisation de la paille, aussi dans le secteur de la valorisation énergétique des grains céréaliers on peut constater une production très faible des grains céréaliers dans les moulins. Les interviews d'expert ont montré que les résidus des moulins sont déjà complètement intégrés dans les circuits locaux. Ainsi le potentiel technique d'une valorisation énergétique est évalué à zéro et ne sera plus prise en compte dans les calculs suivants.

³⁶ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010 ; ORMVAM, Monsieur Fekkoul, Production agricole, Elevage, 2010 ; Message écrit Madame Moubachir (Données production végétale de la DRA : Provinces Jerada et Figuig), 2010

³⁷ Chiffres arrondis ; Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010 ; ORMVAM, Monsieur Fekkoul, Production agricole, Elevage, 2010

5.1.3.1.2 Résidus de récolte des cultures sous serre

La culture légumière dans la région de l'Oriental se concentre dans les provinces où les conditions climatiques sont favorables, où l'irrigation est possible et qui disposent d'une situation intéressante pour la commercialisation (l'export). Celles-ci, principalement orientées sur la culture intensive et protégée de légumes sous tunnels plastique ou sous serre, sont les provinces de Berkane et Nador.

Les restes de la culture protégée de légumes-fruits, surtout tomates et poivrons, sont spécialement prometteurs pour une valorisation énergétique. Cela concerne des plantes qui sont accrochées à une ficelle ou un câble pendant la durée de leur culture et qui poussent en règle générale jusqu'à deux ou trois mètres de hauteur. La culture, qui a lieu principalement dans des tunnels plastique, nécessite un déblayage de la serre après la fin d'une culture pour laisser la place à une autre le plus vite possible. Les énormes quantités de restes de plantes, qui peuvent être affectées par des produits phytopathogènes, seront retirées et laissées sur place à côté des serres.

A Berkane, la superficie couverte par la culture de tomate sous serre durant les 5 dernières années était de 52 ha, donc en moyenne un peu plus de 60 ha en tenant compte des autres cultures conduites sous serre telles que le concombre, les courgettes, et le poivron.³⁸ Le rendement moyen était de 4.177 t. Il y a dans la province de Nador 78 hectares de cultures sous serres avec un rendement de presque 8.000 tonnes.



Figure 11: Cultures sous serres à Nador

Lors de la production de légumes-fruits, à la fin de la période de culture, de grosses quantités de résidus organiques sont produits. Ces résidus sont souvent éliminés ou valorisés de façon inefficiente. Ceci cadre avec la fabrication et l'emploi ultérieur de compost afin de sauvegarder la fertilité du sol et le circuit ferme des nutriments. Mais cela reste un procédé couteux lorsqu'il est installé de façon professionnelle (hygiénisation du matériel par des mouvements constants) et inefficace au niveau de la protection du climat. Lors de la décomposition, le carbone contenu s'échappe sous forme de CO₂. C'est pour cette raison qu'une utilisation en tant que substrat de biogaz semble plus appropriée.³⁹ La valorisation dans une unité de biogaz rend possible, en fonction de l'installation, une hygiénisation de la matière par l'élimination des pathogènes⁴⁰, la création d'énergie renouvelable (protection du climat) et de valeur ajoutée pour la région. De plus, l'application du biodigestat contribue à la conservation de la fertilité des sols et la substitution des fertilisants minéraux grâce aux nutriments contenus dans le biodigestat.

³⁸ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

³⁹ Cp. Trujillo et al.: Anaerobic digestion of tomato plant, 1992; Encinar et al.: Energetic use of the tomato plant waste, 2007; Font et al.: Pyrolysis and combustion of tomato plant, 2008

⁴⁰ Kaltschmitt: Energie aus Biomasse, 2001, S. 660ff.



Figure 12: Cultures sous serres

En dehors du point de vue économique, la question est de savoir si le retrait des résidus de cultures sous serre est profitable. A l'inverse des cultures légumières en champs, une application directe sur les sols n'est de toute façon pas faisable en raison de l'importance des quantités, des limitations phytosanitaires et de la praticabilité insuffisante de nombreux tunnels plastique. Dans le cadre de cette étude, seuls les résidus des cultures protégées et leur potentiel énergétique seront pris en considération.

Pour la considération du potentiel de la culture légumière, les surfaces partielles dédiées à la culture protégée se verront multipliées à un facteur pour leurs parts en résidus respectives. Les quantités totales de résidus de plantes ainsi établies seront converties en potentiel énergétique en fonction du rendement biogaz évalué. Il reste quoi qu'il arrive une grosse incertitude quant à la part de résidus par hectare de surface cultivée. Selon les évaluations de Soudi⁴¹, ces résidus de la production légumière marocaine représenteraient en moyenne 30% de leurs rendements respectifs. D'autres données littéraires donnent une quantité de résidus égale à 20 tonnes de matière fraîche par hectare pour la culture de tomate.⁴² Différentes sources concernant la culture de légumes en champs en Allemagne évaluent ces résidus entre 5 et 70 tonnes par hectare.⁴³ Pour les calculs suivants, une valeur de 20t MF/ha sera considérée. Afin de rester dans des évaluations minimales de potentiel, une production de 60 m³ de biogaz par tonne de matière fraîche sera utilisée pour les calculs.⁴⁴

Tableau 8: Base de calcul pour l'identification des potentiels énergétiques des cultures sous serres dans la région de l'Oriental

| | Surface récoltée [ha] | Quotité résidus [t/ha] | Quantité résidus [t/a] | Rendement de biogaz [m ³ /t MF] | Rendement de biogaz (total) [m ³] | Pouvoir calorifique biogaz [kWh/m ³] | Pouvoir calorifique (total) [MWh/a] | Pouvoir calorifique (total) [tep/a] |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---|--|---|--|--|
| Cultures sous serres | 133 | 20 | 2.668 | 60 | 160.080 | 6 | 960 | 83 |

Un enjeu important à prendre en compte lors de l'utilisation de restes de légumes en tant que substrat à la production de biogaz, est la saisonnalité de la production et l'impossibilité de stockage. La disponibilité complète de matière sur l'année ne peut donc être atteinte. L'ensilage des restes de plantes est en principe envisageable mais pas vraiment réalisable en raison de la prolifération de champignons et de la teneur fluctuante en eau. Par conséquent, afin de considérer ce potentiel, il faudra considérer une valorisation mixte dans une installation de digestion de déchets ou la combinaison avec d'autres substrats de fermentation avec une disponibilité adaptée. Une autre problématique qui doit être prise en compte lors du développement du projet, est la possibilité de dommages du processus-biogaz à cause des produits phytosanitaires contenus dans les résidus.

⁴¹ Soudi: Le compostage, 2005

⁴² Wagner, Degen & Rather, LVG Heidelberg: Beratungsgrundlagen Gartenbau, 2005, S.46

⁴³ Fink: Düngung im Freilandgemüsebau, 2007

⁴⁴ Cp. Keymer: Biogasausbeuten verschiedener Substrate, 2008

Tableau 9: Potentiels énergétiques des cultures sous serres dans les différentes provinces de la région de l'Oriental

| Province | Surface récoltée | Quantité résidus | Rendement | Pouvoir | Pouvoir |
|----------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | | | de biogaz (total) | calorifique (total) | calorifique (total) |
| | [ha] | [t MF] | [m³] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 55 | 1.107 | 66.444 | 399 | 34 |
| Nador | 78 | 1.561 | 93.636 | 562 | 48 |
| Total | 133 | 2.668 | 160.080 | 960 | 83 |

Pour l'acquisition des biomasses il est envisageable d'utiliser les structures locales pour l'élimination des déchets ou de créer des structures spéciales genre centres de bioénergie ou centres de matières premières qui gèrent la logistique des matières premières et biodigestats. Le retour du biodigestat en tant que fertilisant pour les exploitations de légumes permet aussi la création d'un circuit fermé de nutriments.

5.1.3.1.3 Bois de défrichement de la culture arboricole

Dans la campagne 2009/10, la superficie totale⁴⁵ des plantations fruitières dans la région de l'Oriental s'élevait à 96.772 ha, dont plus de 50% de terres irriguées. Les plantations fruitières sont dominées principalement par :

- Les oliviers sur une superficie totale de 65.826 ha, dont 82 % des arbres sont productifs.
- Les agrumes sur une superficie totale de 15.423 ha, dont 74 % des arbres productifs.
- Les amandiers, sur une superficie totale de 12.065 ha, dont 92 % productifs, qui poussent essentiellement dans les zones Bour de Rislane et Sidi Bouhria (province de Berkane), Aïn Sfa préfecture Oujda-Angad, Tancherfi (province de Taourirt), le bassin versant de Mammis-Trougout, Aïn Zora-Kasseta (province de Nador).
- La vigne sur une superficie totale de près de 3.000 ha, dont près de 90 % des vignes sont productives, localisée principalement dans le périmètre irrigué de la Moulouya, et
- Le palmier-dattier avec une superficie totale de 1.100 ha.

Dans la région de l'Oriental, pendant la campagne 2009/2010 environ 75.000 ha de fruits de plantations arboricoles (surtout olives et agrumes) furent récoltés. Les centres de gravité de la culture d'olives se trouvent dans les provinces de Berkane, Taourirt et Oujda (agriculture principalement irriguée) ainsi qu'à Nador (agriculture plutôt non-irriguée)

La superficie occupée par l'olivier dans la région de l'Oriental en 2009/2010 était presque de 57.000 ha productifs. La production de la région a atteint 92.481 t, soit une hausse de 15.6% par rapport à une année normale. Les rendements moyens varient selon les zones et les apports d'eau de 0.4 t/ha (zone Bour de Nador) à plus de 3.6 t/ha (zone irriguée de l'ORMVAM)⁴⁶.

A côté du type de fruit majeur à savoir l'olive, la culture des agrumes aussi un rôle important dans les provinces de Berkane et Nador. Les superficies de culture, au cours des 5 dernières années⁴⁷, étaient d'environ 10.000 ha pour la province de Berkane et 1.500 ha pour la province de Nador (ainsi localisées en totalité dans le périmètre irrigué de la Moulouya).

⁴⁵ Cette superficie correspond à la superficie totale alors que la superficie productive désigne la superficie récoltée.

⁴⁶ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

⁴⁷ ORMVAM : Données production végétale 2004 – 2010



**Figure 13: Production arboricole intensive
(agrumes) et extensive (olives) dans la province de Berkane**

A l'intérieur de la zone d'étude, l'intensité des cultures arboricoles varie très fortement en fonction de l'irrigation, la fertilisation, l'espace entre les arbres fruitiers et la durée de vie (durée avant le défrichement des vieux arbres et nouvelle plantation). Il existe des plantations intensivement exploitées pour une production destinée à l'export aussi bien que des champs traditionnels. Par exemple, on trouve encore sur les exploitations des vieux bosquets d'oliviers, mais aussi des plantations modernes d'une durée de vie égale à environ 30 ans avec une densité de plantation plus importante (Figure 13).

Pour toutes ces formes d'exploitations, des quantités de résidus de bois sont produites sous forme de sciage et de bois défriché. Alors que le sciage des cultures fruitières reste principalement dans les plantations, de grandes quantités de bois sont produites lors du défrichement. Ce bois sera enlevé des plantations et est disponible pour une utilisation énergétique. Ces quantités de bois, évaluées par Kaltschmitt⁴⁸, à environ 80 tonnes par hectare avec une durée de vie de 30 ans (vieilles plantations) et 60 tonnes par hectare pour les plantations avec une durée de vie de 15 ans (plantations modernes), ce qui correspond à un accroissement annuel entre 2,7 et 4 tonnes par hectare. Les différences de croissance annuelles des cultures fruitières, en rapport avec l'intensité de production, sont plutôt faibles. Lorsqu'il y a un nombre d'arbres assez faible par hectare et en conséquence une durée de vie plus longue, de gros arbres vont pousser. Ceux-ci après une phase d'établissement, plusieurs années après la plantation, atteignent une croissance importante par arbre. Les arbres d'une plantation avec intensité de production forte restent petits jusqu'à leur défrichement, toutefois ils connaissent une croissance importante dès les premières années de leurs vies. De cette façon, la croissance en bois des cultures fruitières sera évaluée de façon conservative à 2 tonnes/ha indépendamment du type de culture et du système de production. Cette valeur concerne les différents types de culture et les croissances annuelles faibles des arbres dans les lieux non irrigués.

Le Tableau 10 montre un aperçu du potentiel du combustible solide émanant de l'arboriculture, classé par type de culture. Les quantités totales de 147.000 tonnes de bois défriché tiennent compte d'un défrichement et renouvellement régulier des plantations. Ces quantités annuelles soulignent (en alignement avec les quantités de bois de feu de la foresterie) (Tableau 16), le potentiel énorme de l'utilisation du bois de l'arboriculture.

⁴⁸ Kaltschmitt: Energie aus Biomasse, 2001

Tableau 10: Base de calcul pour l'identification du potentiel énergétique théorique issu de l'arboriculture dans la région de l'Oriental (* séché à l'air)⁴⁹

| Biomasse | Surface cultivée | Quantité de bois | Quantité de bois (total) | Pouvoir calorifique* | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique théorique |
|----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | [ha] | [t/ha*a] | [t/a] | [MWh/t] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Bois residuel, olivier | 56.649 | 2,0 | 113.297 | 3,96 | 448.210 | 38.556 |
| Bois residuel, abricotier | 933 | 2,0 | 1.866 | 3,96 | 7.380 | 635 |
| Bois residuel, agrumes | 11.277 | 2,0 | 22.554 | 3,96 | 89.225 | 7.675 |
| Bois residuel, divers | 3.444 | 2,0 | 6.888 | 3,96 | 27.249 | 2.344 |
| Vigne | 2.369 | 0,8 | 1.974 | 3,96 | 7.809 | 672 |
| Total | 74.671 | | 146.579 | | 579.873 | 49.882 |

Tableau 11: Superficies cultivées, quantités de bois et potentiel énergétique théorique et technique issu de l'arboriculture dans la région de l'Oriental

| Province / préfecture | Surface cultivée | Quantité de bois (total) | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique |
|-----------------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | [ha] | [t] | [MWh/a] | [tep/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 14.943 | 28.758 | 113.769 | 9.787 | 11.377 | 979 |
| Figuig | 2.769 | 5.538 | 21.909 | 1.885 | 2.191 | 188 |
| Jerada | 3.243 | 6.439 | 25.474 | 2.191 | 2.547 | 219 |
| Nador | 37.053 | 72.592 | 287.178 | 24.704 | 28.718 | 2.470 |
| Oujda-Angad | 12.098 | 24.196 | 95.721 | 8.234 | 9.572 | 823 |
| Taourirt | 4.565 | 9.055 | 35.822 | 3.081 | 3.582 | 308 |
| Total | 74.671 | 146.579 | 579.873 | 49.882 | 57.987 | 4.988 |

Lorsqu'il est question de bois issu du défrichement, il s'agit principalement de bois feuillu de bonne qualité. Il peut être utilisé comme bois à brûler de la même façon que le bois énergie issu de la foresterie. D'après les évaluations des experts locaux⁵⁰, la situation existe déjà et les quantités subséquentes présentées représentent un potentiel qui est en majorité déjà utilisé.

Ainsi une quantité disponible de 10% des potentiels théoriques issu de l'arboriculture est supposée pour le calcul du potentiel technique (Tableau 11). De bois sera produit en majorité sur les grandes plantations avec une arboriculture intensive. De plus, il faut compter sur des potentiels inutilisés provenant de certaines exploitations. L'objectif est donc d'activer ces potentiels et de développer des potentiels d'optimisation lors de l'utilisation.

Une comparaison avec les chiffres officiels de l'utilisation du bois dans le secteur forestier (voir chapitre 5.2) met en évidence l'importance des quantités de bois issu de l'arboriculture pour l'approvisionnement de la population rurale avec le bois de feu.

La culture arboricole présente pour la région un système multi facette d'utilisations, qui, à côté de la production de fruits, offre aussi la production de bois énergie. Il est aussi envisageable, à côté de la valorisation directe de bois dur, la production de briquettes à partir des jeunes pousses et branches de la couronne. La culture fruitière offre un fort potentiel de création de valeur ajoutée par unité de surface, le besoin en main d'œuvre est aussi assez haut et les cultures arboricoles apportent de nombreux avantages contre l'érosion en comparaison avec un usage agricole des surfaces. Le

⁴⁹ Les chiffres de la DPA concernant la production des amandes n'étaient pas disponibles.

⁵⁰ Interview d'experts, ORMVAM et DRA, Oujda, 2010

défrichement de ces cultures apporte aussi une valeur ajoutée régionale grâce à un approvisionnement durable des populations locales en bois à brûler, la création d'emplois et l'utilisation durable des sols. Il faut alors prendre en considération les possibilités de concurrence pour les surfaces à côté d'une utilisation traditionnelle, sur l'intensité des cultures qui pousse parfois à l'utilisation intensive de fertilisants ainsi que sur l'arrangement de chaînes de valeur ajoutée.⁵¹

5.1.3.2 Elevage animal

La région de l'Oriental se caractérise par l'importance de son patrimoine animal qui se chiffre à environ 2.700.000 têtes de ruminants dominé par les ovins. L'élevage se classe parmi les activités principales et contribue activement aux revenus des ménages de la région. Le patrimoine animal exploité au niveau de la région de l'Oriental est constitué d'environ 83.900 têtes bovines, 2.099.000 têtes ovines et 527.800 têtes caprines.⁵² L'élevage ovin sur parcours constitue la frange dominante du cheptel dans la région. L'effectif ovin représente 13,5% du cheptel national occupant ainsi la deuxième place.

Non seulement la plus grande partie des ovins mais aussi des caprins est gardée dans la zone Bour de la région de l'Oriental. L'élevage ovin se concentre surtout sur les hauts plateaux avec une bonne disponibilité en pâturages. Dans les régions montagneuses et de steppe, c'est plutôt l'élevage caprin qui domine. La population caprine dans la région de l'Oriental représente presque 10% de la population totale caprine du pays.

Au contraire de l'élevage de petits ruminants (caprin et ovin), l'élevage bovin n'est pas très étendu. La population bovine moyenne dans la région de l'Oriental au milieu des cinq dernières années était de 86.900 têtes (soit 3,2% de l'élevage bovin national)⁵³. Les bovins, en particulier le bétail laitier des races améliorées est élevé dans les zones d'agriculture irriguée (Nador, Berkane, Oujda). L'élevage intensif est prioritairement effectué où il y a des surfaces irriguées et ainsi une production de fourrage suffisante (ensilage de maïs, orge). Dans la zone Bour, le nombre de têtes bovines est relativement faible par exploitation. Selon des experts locaux, la moyenne régionale est de 5 têtes bovines par exploitation.⁵⁴

Le secteur laitier est le modèle d'organisation exemplaire à tous les niveaux : les producteurs sont organisés au niveau des coopératives de collecte de lait qui sont chargées aussi bien de la commercialisation que de l'approvisionnement des producteurs en facteurs de production. La transformation est réalisée à 95% par la coopérative laitière COLAIMO. L'encadrement en amélioration génétique est réalisé par deux associations régionales des éleveurs de bovins.⁵⁵

⁵¹ Nill & Böhnert: Wertschöpfungsketten, 2006

⁵² Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

⁵³ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

⁵⁴ Interview d'expert Monsieur Kchit, Oujda (2010)

⁵⁵ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010



Figure 14: Elevage intensif de bovins sur une exploitation de bétail laitier à côté de la ville d'Oujda.

Pour l'identification des potentiels de biomasse de la région de l'Oriental, seule la production bovine sera considérée sur la totalité de l'élevage animal. Cette approche s'explique par la simple raison que les ovins et caprins sont élevés en plein air que de cette façon le fumier s'étend sur de grandes superficies dans la nature.

Afin de calculer le nombre total de têtes bovines issues de l'élevage, le facteur unité gros bétail (UGB) est utilisé. Celui-ci correspond en moyenne à 1 par bovin. Une valeur approximative pour la production de biogaz issue des résidus de la production bovine se situe autour de $1,11 \text{ m}^3$ par jour et par unité gros bétail.⁵⁶ Etant donné que les bêtes en élevage extensif reçoivent un fourrage plus riche en fibres lignifiées et plus maigres en protéine, leurs excréments ont aussi „une teneur en énergie“ plus faible, la valeur sera réduite à 1 m^3 de biogaz par UGB et par jour. Avec les quantités totales de biogaz journalières et le nombre de jours d'étables, on peut calculer un potentiel total annuel de biogaz de $18.000.000 \text{ m}^3$ (Tableau 12).

De cette façon, une valeur de 215 journées d'étables présente un compromis entre l'élevage de bétail laitier (Figure 14) et l'élevage bovin pour la production de viande. Alors que le bétail laitier est surtout gardé à l'étable, les bovins pour la production de viande sont et seront encore élevés pour longtemps en plein air.

Tableau 12: Données de base pour le calcul du potentiel énergétique théorique, en tant que substrat de biogaz, du lisier et fumier bovin

| | UGB total | Rendement de biogaz | Biogaz total | Jours à l'étable | Biogaz total | Pouvoir calorifique | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique théorique |
|-----------------------|--|---------------------------|--------------|------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | [$\text{m}^3/\text{j} * \text{UGB}$] | [m^3/j] | | | [m^3/a] | [kWh/m^3] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Fumier / lisier bovin | 83.456 | 1 | 83.456 | 215 | 17.943.040 | 6 | 107.658 | 9.261 |

La production de biogaz à partir de lisier ou fumier présente une forme particulière durable de gain d'énergie renouvelable car il existe aucun besoin en terrains supplémentaires pour cette production énergétique. En fonction du management des matières premières, il est possible grâce à une unité de biogaz de créer un management plus efficient (avec des pertes faibles) des nutriments en comparaison avec un compostage du fumier. Ceci permet d'économiser en fertilisant minéral.

⁵⁶ Eder & Schulz: Biogas-Praxis, 2006

Quoique la région de l’Oriental soit renommée par sa vocation d’élevage, seul le fumier des bovins laitiers fut considéré en priorité dans ladite région et en particulier dans la zone irriguée. Pour le calcul du potentiel technique il est supposé que seulement 5% des bovins se trouvent dans les fermes assez grandes, ou le nombre de bovins justifie une valorisation énergétique du fumier/lisier. Cette hypothèse était confirmé dans le cadre des interviews d’experts concernant la taille moyenne des fermes (ou bien la quantité moyenne des bovins par ferme).

Le

Tableau 13 montre les potentiels énergétiques théorique et technique provenant de la filière bovine. Ils sont présentés par province voire préfecture. Le potentiel théorique total de la production de biogaz à partir d’excréments animaux se situe autour de 108.000 MWh. Par contre, le potentiel technique se situe autour de 5.400 MWh.

Tableau 13: Potentiel énergétique des excréments de l’élevage bovin de la région de l’Oriental

| Province | UGB | Biogaz total | Potentiel | Potentiel | Potentiel | | |
|--------------------|---------------|-------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|---------|
| | | | énergétique théorique | el | énergétique technique | énergétique théorique | |
| | | | [m ³ /a] | [MWh/a] | [t/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 15.770 | 3.390.550 | 20.343 | 1.750 | 1.017 | 87 | |
| Figuig | 10.980 | 2.360.700 | 14.164 | 1.218 | 708 | 61 | |
| Jerada | 10.550 | 2.268.250 | 13.610 | 1.171 | 680 | 59 | |
| Nador | 23.111 | 4.968.865 | 29.813 | 2.565 | 1.491 | 128 | |
| Oujda-Angad | 14.000 | 3.010.000 | 18.060 | 1.554 | 903 | 78 | |
| Taourirt | 9.045 | 1.944.675 | 11.668 | 1.004 | 583 | 50 | |
| Total | 83.456 | 17.943.040 | 107.658 | 9.261 | 5.383 | 463 | |

A côté du potentiel énergétique de l’élevage bovin, la filière avicole est aussi une filière de production intéressante. Dans la région de l’Oriental, plusieurs unités de production sont implantées (dont une partie industrielle). Dans la province de Berkane, il y a par exemple une coopérative de production avicole (située à AKLIM) regroupant 12 producteurs de poulet de chair.⁵⁷ L’aviculture est aussi un secteur relativement développé dans la région. La production de volaille dans la zone d’action ORMVAM (campagne 2009/10) avec 25.800 tonnes excède la production de viandes rouges (17.347 tonnes). Contrairement à la situation à l’échelle nationale, le secteur avicole présente un degré d’organisation très faible.

La production de volaille dans la région de l’Oriental génère certainement des quantités importantes de fientes. Malheureusement lors de la création du rapport, aucune donnée certaine sur le type d’élevage de la population avicole dans les différentes provinces/préfectures n’était disponible. Le potentiel énergétique du secteur avicole doit être plus examiné lors de la suite de cette étude car l’élevage/l’engraissement de volaille produit ponctuellement des grandes quantités de biomasse. A Nador, les entreprises déjà implantées de production/élevage de poussins produisaient en 2010 environ 540 tonnes de fumier/an (90% paille, 2% aliments composés et 8% fiente) qui sont pour le moment déchargées dans un dépotoir.

⁵⁷ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Fekkoul, Production agricole, Elevage, 2010

5.1.3.3 Autres matières premières issues de l'agriculture

A côté des potentiels en biomasse, présentés dans les parties précédentes (5.1.3.1 et 5.1.3.2) et issus de l'agriculture; il existe aussi des potentiels provenant de la transformation proche de l'agriculture de produits non manufacturés pour la valorisation énergétique (voir chapitre 5.3.3.2). Dans la région de l'Oriental ces potentiels sont par exemple les résidus de l'extraction du sucre (voir 5.3.3.2). Les surfaces de cultures pour les betteraves sucrières représentaient au cours des 5 dernières années environ 5.000 ha, qui se situent pour la plupart dans les zones irriguées d'ORMVAM (Berkane, Nador). Les rendements atteignent entre 45 t/ha et 54 t/ha.

D'autres résidus intéressants sont produits dans les domaines de la transformation des olives (mise en conserves et presse d'huile)(voir chapitre 5.3.3.2.3), transformation des fruits et légumes et transformation laitière.

5.1.4 Conclusion

Pour tous les résultats issus de l'agriculture, il faut faire attention au fait qu'une partie des données brutes est corrélée à une certaine incertitude. Lors d'une évaluation haute des données, il était souvent difficile de clarifier si les chiffres étaient valables pour la province/préfecture dans sa totalité ou seulement une partie d'une zone agricole (DPA ou bien ORMVA). Dans les cas où cela n'était pas spécifié, les manquements étaient complétés par évaluation combinée de différentes sources.

Le domaine de l'agriculture montre, comme l'étude dans sa totalité, qu'un accent doit être mis sur une action en faveur de l'utilisation de la biomasse. Les chiffres absous sont à prendre comme références afin d'obtenir une classification relative des potentiels. Pour le développement ultérieur du projet, les faits doivent être vérifiés plus exactement au niveau local afin de permettre une mise en place à succès.

Le Tableau 14 montre une conclusion des potentiels de la production agricole classés par filière. Ceci permet de constater l'intérêt évident des potentiels agricoles dans le domaine du bois de défrichement de l'arboriculture avec 58.000 MWh. Pour l'évaluation future de ces potentiels, il faut prendre en considération le Plan Vert marocain qui prévoit une extension de la production de fruits et légumes au dépend de la production céréalière. Concernant les résidus des cultures sous serres (960 MWh), le potentiel est plutôt faible car il dépend de la survenance ponctuelle locale (importante production de résidus par unités de surface) de résidus.

Si l'on ajoute ces potentiels à ceux de l'élevage animal (environ 5.400 MWh), on obtient un potentiel total de plus de 64.000 MWh par an provenant de la valorisation énergétique de résidus de l'agriculture.

Tableau 14: Potentiel énergétique technique et économie en CO₂ des domaines cultures sous serres, arboriculture et élevage bovin

| | Cultures sous serre | Arboriculture | Production bovine | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique | CO ₂ (total) |
|--------------------|------------------------|---------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [tep/a] | [t/a] |
| Berkane | 399 | 11.377 | 1.017 | 12.793 | 1.100 | 3.675 |
| Figuig | 0 | 2.191 | 708 | 2.899 | 249 | 876 |
| Jerada | 0 | 2.547 | 680 | 3.228 | 278 | 963 |
| Nador | 562 | 28.718 | 1.491 | 30.770 | 2.647 | 8.690 |
| Oujda-Angad | 0 | 9.572 | 903 | 10.475 | 901 | 2.981 |
| Taourirt | 0 | 3.582 | 583 | 4.166 | 358 | 1.210 |
| Total | 960 | 57.987 | 5.383 | 64.331 | 5.534 | 18.395 |

Il est capital pour la région d'utiliser les potentiels déjà existants ainsi que la possibilité de mise en valeur de parties non utilisées. Les résultats intermédiaires qui suivent forment la base de discussion pour le développement de la stratégie :

- Une insertion des quantités potentielles de paille céréalière en tant que vecteur énergétique présente encore aujourd'hui quelques enjeux, auxquels s'ajoutent des restrictions écologiques qu'il faudra observer (voir partie 5.1.3.1.1).
- La combustion ou digestion de rebuts de la production céréalière est techniquement faisable mais aussi écologiquement judicieuse. Le point décisif se situe dans le recensement et analyse des flux. Il faut éventuellement vérifier spécialement dans la région quelle étendue

de culture est concernée, où la préparation des céréales a lieu, quelles fractions de rebuts sont à différencier lors du nettoyage et quelle élimination est actuellement effectuée (voir partie 5.1.3.1.3).

- Pour commencer une valorisation énergétique des restes de la production légumière sous serres, il faudrait tout d'abord clarifier certaines questions logistiques. Le matériel est déjà existant, disponible principalement de façon saisonnière, et est produit à des multitudes d'endroits. Un système de collecte pour substrats de biogaz, qui permet aussi la répartition ultérieure du biodigestat aux exploitations, peut créer une production efficiente d'énergie et un management des nutriments pour plusieurs exploitations de légumes. Ainsi il semble raisonnable d'utiliser les résidus des cultures sous serres comme co-substrat dans les unités de biogaz si les efforts logistiques sont raisonnables. Après il faut vérifier si la fermentation est faisable et si la production saisonnière de ce flux de matière ne cause pas de problème.
- En arrière-plan de la rareté des ressources en raison du climat semi-aride, les importants potentiels de la culture fruitière et autres arboricultures sont relativisés. Comme expliqué dans la partie 5.1.3.1.3 on s'attend à ce qu'une grande partie du bois produit soit déjà utilisée. Une utilisation alternative de ce flux de matière sans problèmes sociaux seulement semble possible si des combustibles alternatifs peuvent être offerts comme substitution. En ce moment on ne dispose pas des informations qui justifient une considération plus détaillée de ce sujet.

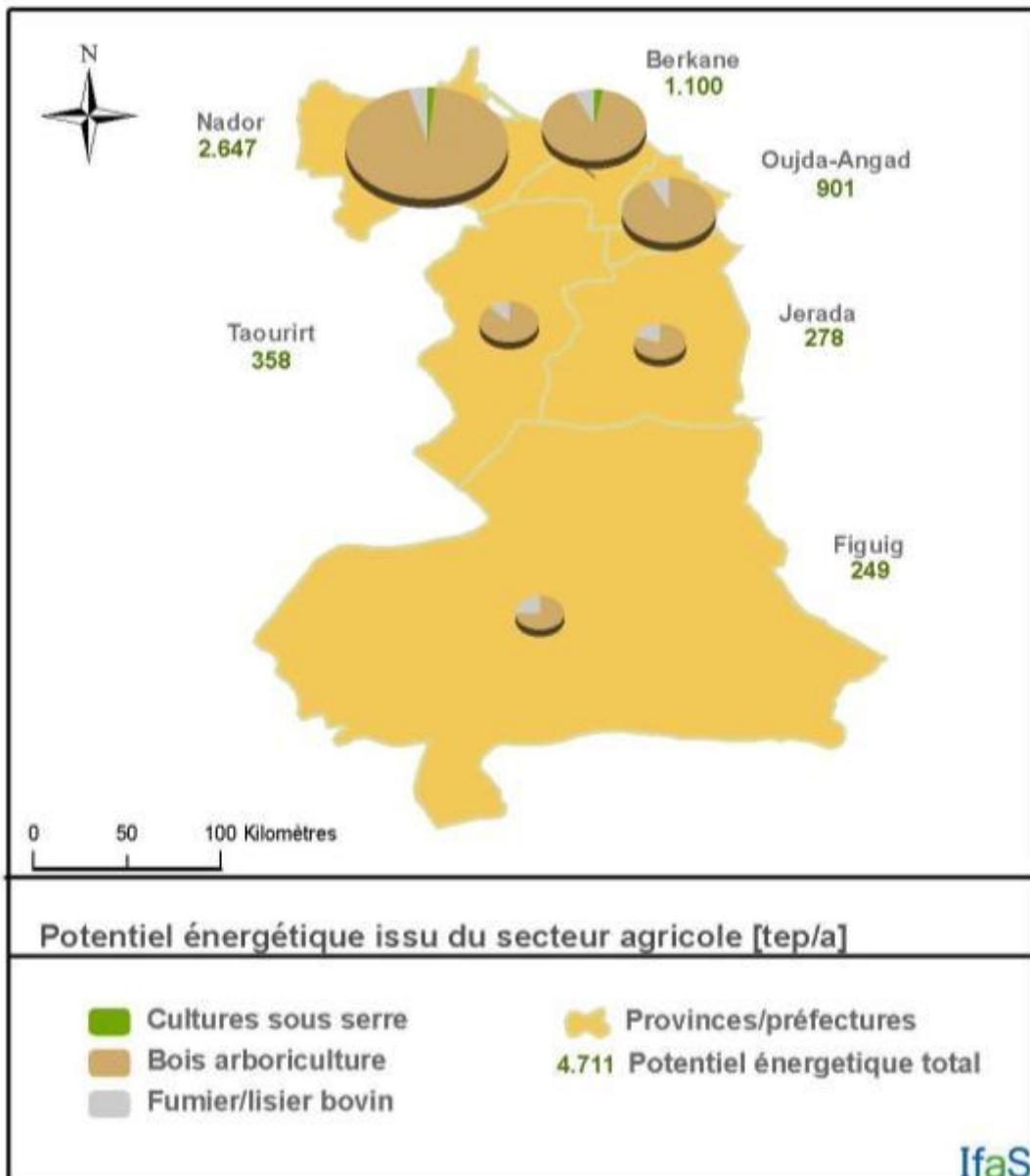


Figure 15: Potentiel énergétique issu du secteur agricole dans la Région de l'Oriental (les chiffres en vert représentent le potentiel énergétique total de chaque province/préfecture)

5.1.5 Digression : Le Plan Maroc Vert dans la région de l'Oriental

Aperçu

Le secteur agricole joue un rôle important dans l'économie du Maroc et celle de la région de l'Oriental. Néanmoins, le niveau de vie dans les zones rurales est nettement inférieur à celui des zones urbaines. À l'échelle nationale, le secteur agricole emploie près de la moitié de la population active, représente 23% des exportations et 15% du produit intérieur brut (PIB). Le potentiel d'expansion du secteur agricole marocain est immense. Ceci est notamment dû à la proximité géographique du marché européen, la croissance démographique et un nombre croissant de travailleurs bien formés. Cependant, divers critères écologiques et sociaux sont à prendre en considération : Notamment dans les zones rurales le chômage est très répandu et un nombre important de personnes occupent des emplois informels et de bas salaire. De plus, les cultivateurs

marocains seront confrontés dans un futur proche à d'autres problèmes tel que la pénurie d'eau, les sols dégradés et la baisse de la qualité des ressources en eau.

La double nature du secteur a provoqué un freinage de sa croissance. La grande partie des entreprises est axée sur l'agriculture de subsistance, caractérisée par une faible productivité, différentes normes de qualité et le manque d'intégration du marché. Dans la région de l'Oriental, 73% des exploitations ont une superficie inférieure à 5 ha. Ces exploitations sont situées dans des zones marginales et pratiquent souvent la culture pluviale. Elles n'ont pas accès aux technologies modernes et aux moyens de production agricoles nécessaires. Ainsi les produits ont généralement une faible valeur de vente (par exemple les céréales) et sont principalement utilisés pour combler les besoins internes de l'exploitation.⁵⁸

Parallèlement à cette agriculture de subsistance, il existe aussi l'agriculture fortement mécanisé avec une utilisation très élevée des facteurs de production. Ces exploitations génèrent principalement des produits qui se vendent chers (agrumes, olives, amandes, maraîchage). Toutefois, leur nombre est clairement inférieur à celui des fermes de subsistance. Dans la région de l'Oriental, seulement 6% des exploitations agricoles ont une surface de plus 20 ha. Ces sociétés génèrent cependant la majorité des produits d'exportation et réalisent des profits beaucoup plus élevés.

Le Plan Maroc Vert dans la région de l'Oriental

En 2008, un plan d'action national, appelé Plan Maroc vert (PMV), a été mis en place pour remédier d'une part aux problèmes présentés ci-dessus et d'autre part promouvoir l'énorme potentiel de l'agriculture marocaine. Les principaux objectifs du PMV sont d'accroître l'apport de l'agriculture au produit intérieur brut (PIB), la création d'emplois, l'augmentation des profits générés par l'exportation des produits agricoles et le renforcement de la lutte contre la pauvreté dans les zones rurales.

À cet effet, des changements dans l'organisation des agriculteurs (une agrégation renforcée, à savoir, la formation des associations et coopératives) et diverses mesures dans les productions animale et végétale sont prévus. Outre le changement effectué dans la composition des cultures, il est également prévu de promouvoir les technologies modernes et efficaces (par exemple la micro-irrigation) et de renforcer l'éducation et la formation professionnelle des agriculteurs. La construction de l'Agropole Berkane dans l'Oriental représente un exemple régional allant dans ce but. Il s'agit ici d'une unité de vente et de traitement qui dispose de laboratoires, dont le but est d'assurer la qualité des produits. En outre, l'agropole devra aussi offrir des formations professionnelles aux agriculteurs et leur donner des conseils professionnels à tout moment.

Le PMV prévoit une agrégation des producteurs ou plutôt de leurs surfaces opérationnelles, qui est susceptible d'apporter de nombreux avantages aux agrégateurs (par exemple, l'accès à la terre sans investissement majeur de capitaux), aux agriculteurs (par exemple, un meilleur accès aux moyens de production et une meilleure commercialisation des produits) et aux consommateurs (la stabilité des prix, amélioration de la qualité des produits). L'État accompagne et encourage le système de regroupement volontaire par des mesures spécifiques telles qu'une nouvelle organisation de la politique de subventions et autres aides.

⁵⁸ PICCPMV : Etude Cadre de l'Impact Environnemental et Social, 2011

Actuellement la plus grande création de valeur ajoutée est réalisée dans la région de l'Oriental avec les cultures du blé, d'olive et des légumes. Comme déjà indiqué au chapitre 5.1.3.1.1, la culture du blé domine en termes de superficie. Toutefois, les rendements sont faibles du à la production bours. L'olivier est cultivé sur environ 57.000 ha, dont les revenus annuels sont d'environ 80.000 tonnes, tandis que 200.000 tonnes de légumes sont produits sur environ 16.000 ha (plein champs et sous serres).

Dans le cadre du plan national « Plan Maroc Vert », des investissements d'un montant d'environ 9,1 milliards de dirhams sont dédiées à la région de l'Oriental. Près d'un tiers de cette somme va être utilisé pour financer les projets visant le développement des infrastructures agricoles. La majorité des fonds (58%) seront investis dans la culture des plantes, 8% seulement dans le secteur de la production animale et les 34% restants dans les projets transverses. Il est envisagé que l'Etat apporte 63% du capital, tandis que les producteurs agrégés et agréateurs fourniront le reste.

Dans l'ensemble de la région de l'Oriental, la mise en œuvre de 60 projets est prévue, dont 41 dans l'agriculture intensive ou moderne (Pilier 1) et 19 dans l'agriculture à petite échelle (Pilier 2).

Le secteur de la production végétale comprend 49 projets qui abordent en particulier la transformation des cultures céréaliers en oliveraies. L'objectif est d'intensifier et d'accroître la valeur ajoutée dans le secteur de la production d'olives. La culture d'amandes sera également amplifiée au détriment de celle des céréales. Il est aussi prévu de promouvoir des cultures spécialisées comme les agrumes et du vin (ce dernier dans des cultures sous serres). En outre, il est prévu d'augmenter le niveau de production de dattes ou bien d'atteindre un niveau de commercialisation beaucoup plus élevé. L'intensification des cultures de céréales, la production de betterave à sucre, la production de légumes (pommes de terre et les cultures protégées) et l'intensification de la production des semences de blé font certainement parti des projets en cours mais dans les dimensions beaucoup plus modestes (Tableau 15).⁵⁹

Tableau 15: Développement des systèmes de production végétale à l'horizon 2020 dans la région de l'Oriental dans le cadre du Plan Maroc Vert⁶⁰

| Filière | Situation actuelle | Horizon 2020 | Différence |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|------------|
| | [ha] | [ha] | [%] |
| Céréales | 321.800 | 247.100 | -23 |
| Olivier | 59.300 | 118.964 | + 101 |
| Maraîchage | 15.840 | 15.900 | + 0,4 |
| Agrumes | 14.450 | 19.396 | + 34 |
| Amandier | 12.500 | 27.500 | + 120 |
| Vigne | 2.400 | 2.450 | + 2 |
| Palmier dattier | 1.280 | 1.834 | + 43 |
| Betterave à sucre | 4.400 | 5.000 | + 14 |
| Luzerne | 8.980 | 7.500 | - 16 |
| Total | 440.950 | 445.644 | + 1 |

La sélection des filières prioritaires s'effectue en fonction de critères spécifiques:

- Adaptation au milieu,
- Technicité abordable par les agriculteurs,
- Disponibilité des moyens de production,

⁵⁹ La Vie Eco : Oriental : 50 000 ha de plus pour l'olivier et 25 000 ha pour l'amandier, 2009

⁶⁰ Plan Maroc Vert – Région de l'Oriental

- Facilité de l'écoulement de la production,
- Marge brute dégagée par hectare en DH/ha,
- Niveau de valorisation de l'eau en DH/m³ et
- Emploi généré par hectare en nombre de jours de travail par an.⁶¹

Dans la région de l'Oriental dans le secteur de cultures irriguées les cultures d'agrumes, de raisins, de légumes, de dattes et d'olives ont été évaluées prometteur, celles de betterave à sucre et de blé ont reçues des évaluations moins positives. En ce qui concerne les cultures prometteurs dans les zones non irriguées les olives et les amandes ont été sélectionnées.

Le choix des filières prioritaires dans le domaine de la production animale s'est opéré de la même manière que celui effectué dans le domaine de la culture des plantes:

- niveau de technicité des éleveurs,
- disponibilité moyens de production,
- facilité de l'écoulement de la production,
- préservation de l'environnement,
- marge brute d'en millions de moyens de gage
- génération d'emploi en millions de journées de travail.

L'ordre des activités les plus éligibles est la suivante:

- Production des viandes rouges ovines
- Production laitière
- Production avicole,
- Production des viandes rouges bovines
- Production apicole.

Des investissements d'environ 765 MDH ont été prévues dans le domaine de la production animale au niveau de la région de l'Oriental afin d'intensifier la production de viandes rouges (engraissement des ovins, de bovins et accessoirement de caprins) et blanches. En outre, une expansion du secteur laitier, l'intensification de la production de miel et un centre de commercialisation de miel sont envisagés.

Défis et risques

Le renforcement du secteur agricole dans la région de l'Oriental est sûrement une approche appropriée pour lutter contre la pauvreté dans les zones rurales et offre également la possibilité à la région de croître économiquement. Les changements structurels et organisationnels effectués dans l'agriculture sont absolument positifs comme, grâce à la mise en œuvre du PMV, les petits agriculteurs peuvent dorénavant être mieux intégrés aux marchés nationaux. Cependant, la modification prévue sur l'utilisation des terres ou plutôt l'intensification de l'agriculture abrite aussi des risques importants. Il s'agit d'une part de la surexploitation des surfaces actuellement utilisées dans l'agriculture, par un pâturage plus intensif par exemple ou encore le changement des cultures non irriguées (comme la culture de blé) aux cultures irriguées. D'autre part, le risque de l'expansion

⁶¹ Plan Maroc Vert – Région de l'Oriental

de la production agricole sur des terres marginales augmente et entraîne l'utilisation incontrôlée de pesticides et d'engrais et l'exploitation croissante des ressources en eaux souterraines régionales.⁶²

La surexploitation accrue des ressources naturelles due au développement du secteur agricole marocain a des effets négatifs sur la productivité des sols. Parmi les conséquences de la dégradation progressive des ressources, l'érosion hydrique est le phénomène le plus nuisible pour les sols. Dans tout le pays, environ 75% des S.A.U. sont touchés par l'érosion hydrique.⁶³ La salinisation croissante des sols représente un problème grave dans les périmètres irrigués. Sur des surfaces salées, la consommation d'eau augmente et à partir de certaines limites spécifiques attribuées aux plantes, les rendements diminuent. Avec l'augmentation de la salinité, il n'est que possible de cultiver des plantes tolérant de l'eau salée. Dans certains cas, les surfaces doivent être complètement exclues de la production agricole.

Dans le secteur agricole l'écart entre les grandes entreprises et les entreprises de subsistance va s'intensifier à cause de la rareté des ressources. Cependant, une intensification de la production agricole doit obligatoirement s'accompagner d'une augmentation de l'efficacité afin d'éviter un gaspillage de ressources. De nos jours, l'agriculture consomme environ 80% de l'eau utilisée chaque année au Maroc.⁶⁴ L'utilisation de technologies modernes telles que la micro-irrigation, une fertilisation raisonnée et la protection des plantes contre les ravageurs peuvent aboutir à accroître l'efficacité. Il est indispensable de réparer les infrastructures d'irrigation car beaucoup d'eau disparaît à cause des tuyaux perméables ou par le biais de l'évaporation. Fondamentalement, il est à noter que le prix de l'eau ne reflète en rien la rareté de la ressource.

Outre l'augmentation d'efficacité dans la consommation en ressources les systèmes à usages multiples en agriculture peuvent lier différents objectifs et créer « plus de rendement/valeur de la superficie ». Un exemple c'est l'établissement des systèmes agro-forestiers.

En plus des risques dus à l'intensification accrue des cultures, le changement climatique représente une menace pour la durabilité de l'agriculture dans la région de l'Orientale. Mis à part la hausse des températures moyennes⁶⁵, qui causent une augmentation de l'évapotranspiration ou plutôt un accroissement des besoins en eau des cultures, un recul drastique et une irrégularité des précipitations se manifeste. Ces défis climatiques doivent être pris en compte dans la planification des projets lancés dans le cadre du PMV. En outre, les créanciers étrangers, tels que la Banque Mondiale soutiennent un développement durable dans la mise en œuvre du Plan Vert Maroc. Actuellement cela se fait grâce à un projet qui vise à accroître l'efficacité des marchés nationaux. En outre, la situation socio-économique aux petits agriculteurs (Pilier 2 du PMV) doit être prise en compte dans le processus de demande de prêts. Un autre point important est l'utilisation optimisée ou plutôt une meilleure gestion de l'eau d'irrigation ou encore la planification de tels systèmes au Maroc.⁶⁶

⁶² PICCPMV : Etude Cadre de l'Impact Environnemental et Social, 2011

⁶³ PICCPMV : Etude Cadre de l'Impact Environnemental et Social, 2011

⁶⁴ FAO Aquastat 2007

⁶⁵ Au Maroc une augmentation de température de 0,16 °C par décennie est observé depuis les années 60.

⁶⁶ <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/NEWS/0,,contentMDK:22858012~menuPK:34463~pagePK:34370~piPK:34424~theSitePK:4607,00.html> (The World Bank: News and Broadcast)

5.2 Foresterie

Sur les 83.000 km² de la région de l'Oriental, seulement 4.480 km² (5,4%) sont boisés.

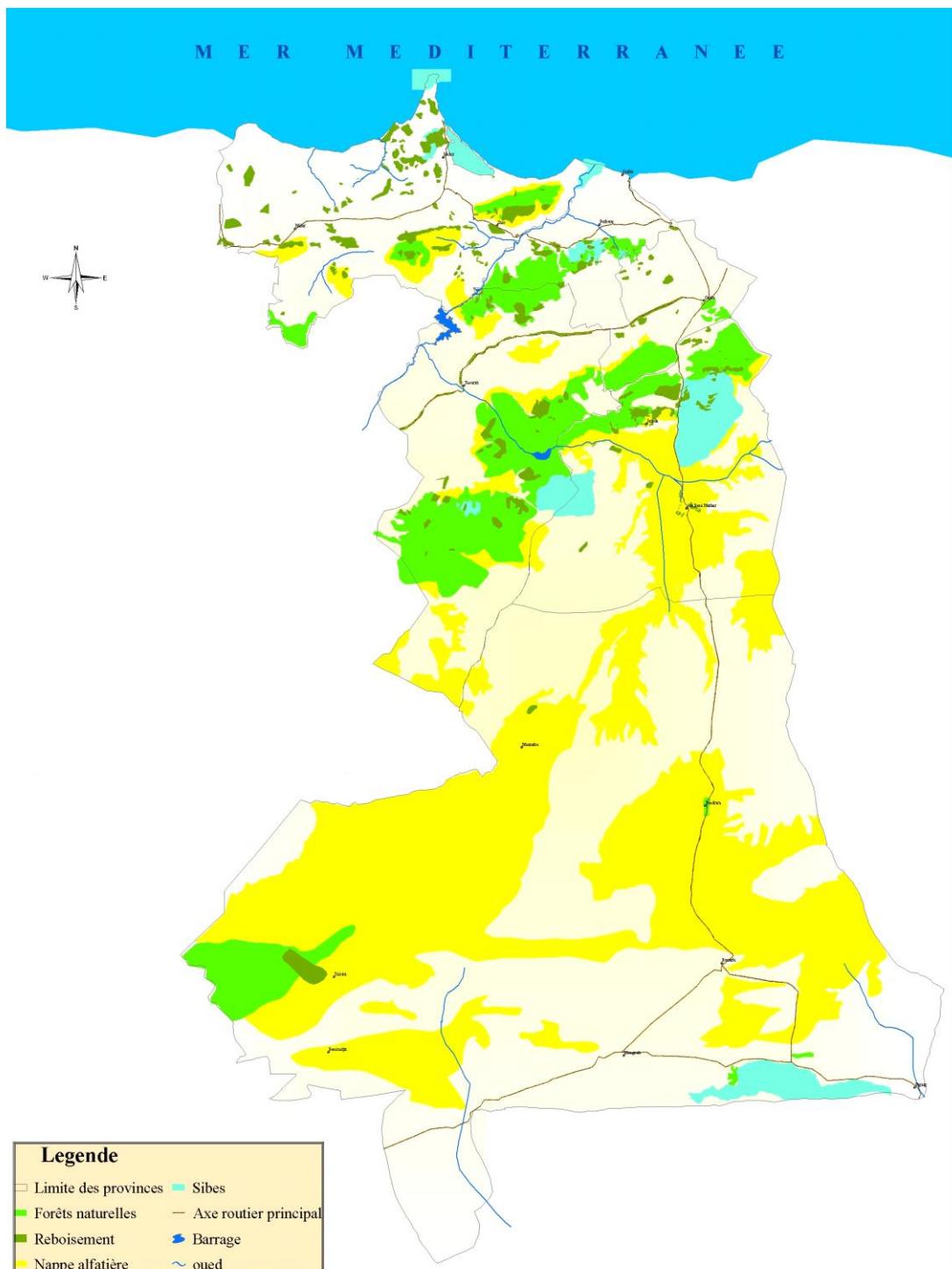


Figure 16: Distribution des forêts naturelles, reboisements et de la nappe alfatière dans la région de l'Oriental⁶⁷

Les superficies forestières se composent de 3.572 km² de forêts naturelles, qui sont principalement constituées de chêne vert, thuya et genévrier ainsi que des forêts artificielles (surtout eucalyptus et pins) (Figure 17).

⁶⁷ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

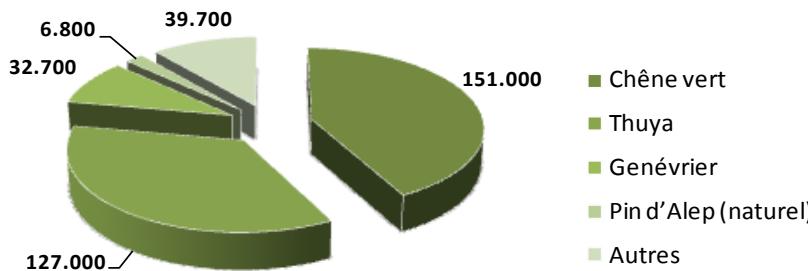


Figure 17: Composition des principales espèces d'arbres dans les forêts naturelles de la région de l'Oriental

Le chêne vert représentant 42% du peuplement forestier, constitue l'espèce principale d'arbre peuplant les forêts humides de montagnes dans les zones climatiques subhumides. Le chêne vert atteint des hauteurs de 5 à 20 mètres en fonction de la disponibilité en eau au niveau de son emplacement. Le bois dur sera utilisé en petite partie par l'industrie du meuble marocaine. La production de liège (*Quercus suber*), qui se situe plutôt au nord de la région, correspond aussi à la manière principale d'utilisation des forêts de chênes verts. En tant que principal représentant des résineux, les espèces de Thuya peuplent 36% du total des forêts de la zone étudiée. Le stock d'arbres présents est constitué d'un peuplement absolu de la même espèce ou mixte selon les endroits et celui-ci a un statut subordonné dans l'utilisation économique de la forêt.⁶⁸ Malgré cela, en fonction des emplacements (de moyens à marginaux) ils peuvent atteindre une croissance modérée et seront souvent utilisés comme bois à brûler.



Figure 18: Reboisement avec du pin d'Alep dans la région de l'Oriental (Province de Taourirt)

A côté des superficies boisées et dans un sens plus large, les grandes étendues de nappes alfatières appartiennent aux „forêts“ régionales. Elles occupent une surface d'environ 2.060.400 ha.⁶⁹ En raison du climat semi-aride et de l'utilisation de la forêt pour la production de bois et le pâturage, les parties de forêts seules sont très faibles. A l'exception des provinces de Berkane et Taourirt, dans lesquelles la superficie boisée représente presque un quart de la superficie forestière totale; les superficies forestières se situent autour de 8 à 9%. Dans la province de Figuig, où l'influence

⁶⁸ Mardaga : Le grand livre de la forêt marocaine, 1999

⁶⁹ Iharchine : Données forestières de l'Oriental, 2010

climatique du Sahara est sensible, seulement 1% de la superficie totale concerne de la forêt. Les nappes alfatières s'étendent ici sur plus de 15.000 km² (Figure 19).

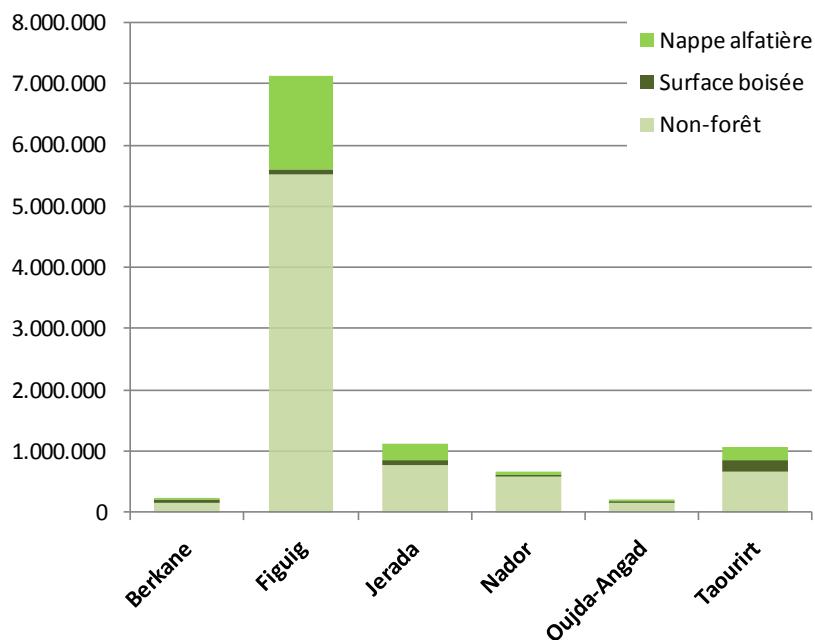


Figure 19: Subdivision des superficies totales de chaque province/préfecture en : surface boisée (forêt naturelle et forêt artificielle), nappe alfatière et superficies „non forestières“

Au vu des conditions climatiques (faibles précipitations, températures élevées en été), les taux de croissance annuels des forêts sont faibles. Selon les informations fournies par les organismes forestiers locaux, les croissances annuelles moyennes des essences dominantes se situent entre 0,2 m³/ha (chêne vert, thuya) et 0,8 m³/ha (pin d'Alep). Les peuplements forestiers sont souvent des forêts de dégradation⁷⁰, ce qui signifie que les espèces principales d'arbres forment des peuplements forestiers ouverts et non fermés, qui sont complétés par des essences secondaires. Dans la région de l'Oriental, les forêts sont traditionnellement utilisées comme pâtures pour le bétail et fournissent du bois combustible et autres produits non-ligneux (p.ex. romarin, plantes médicinales, apiculture). Les citoyens sont autorisés à glaner le bois mort de la forêt. L'abattage d'arbres n'est possible qu'après permission de la DREF locale. Les ventes des différents lots se font par le biais des adjudications publiques. Néanmoins l'abattage illégal des arbres est très répandu, car dans les régions rurales la population manque de ressources financières et de biomasse alternative pour cuisiner et se chauffer. En plus de cette surexploitation, les forêts situées en zone humide courent un danger du fait de l'élargissement des surfaces agricoles.

La surexploitation et une constante dégradation entraînent la perte des fonctions écologiques locales essentielles des forêts, comme les effets compensatoires climatiques, le bilan hydrologique ou encore la protection contre les érosions. Les effets positifs sur la production de biomasse et le développement de la biodiversité sont en régression du fait du recul des forêts. Suite à la sédimentation continue des barrages régionaux, on observe également une dégradation des forêts. La capacité décroissante des réservoirs d'eau ainsi que les faibles précipitations de ces dernières années entraînent des pénuries dans l'approvisionnement régional en eau. La forte augmentation de sédiments est causée principalement par l'apport de matériel des couches supérieures, issu des

⁷⁰ Interview d'expert, Monsieur Iharchine, DREFLCD, Oujda, 2010

zones alentours, dont les surfaces pauvres en végétation sont exposées sans protection à l'érosion due au vent et à l'eau.

Dans la région de l'Oriental, on est conscient de cette progression et on tente d'en contrer les effets par des reboisements ciblés. On a ainsi reboisé en moyenne 900 ha de thuya entre 2007 et 2009.⁷¹ La gestion des espaces forestiers, en particulier les forêts naturelles, est dictée par des plans de gestion, pour une période de 20 ans, pour chaque forêt. Ainsi, chaque plan de gestion précise les différentes activités à mener dans chaque parcelle durant sa période d'application. En effet, les zones dégradées, qui méritent d'être reconstituées, constituent les zones susceptibles d'être reboisées. De même, vu les conditions climatiques difficiles de la région de l'Oriental, la majorité de ces formations forestières restent dégradées, d'où un effort consistant à déployer en matière de reboisement et de reconstitution de ces formations à fin d'arriver à freiner les risques que portent le phénomène de la désertification dans la région.⁷²

5.2.1 Acteurs

Les ressources forestières de la région de l'Oriental, sont gérées par la Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la lutte contre la désertification de l'Oriental à travers ses unités de gestion territoriales, en l'occurrence, les Directions Provinciales des Eaux et Forêts et de la lutte contre la Désertification (DPEFLCD), les Centres de Conservation et de Développement des Ressources Forestières (CCDRF) et les Secteurs forestiers (Figure 20).

⁷¹ Iharchine : Données forestières de l'Oriental, 2010

⁷² Iharchine : Données forestières de l'Oriental, 2010

ORGANIGRAMME

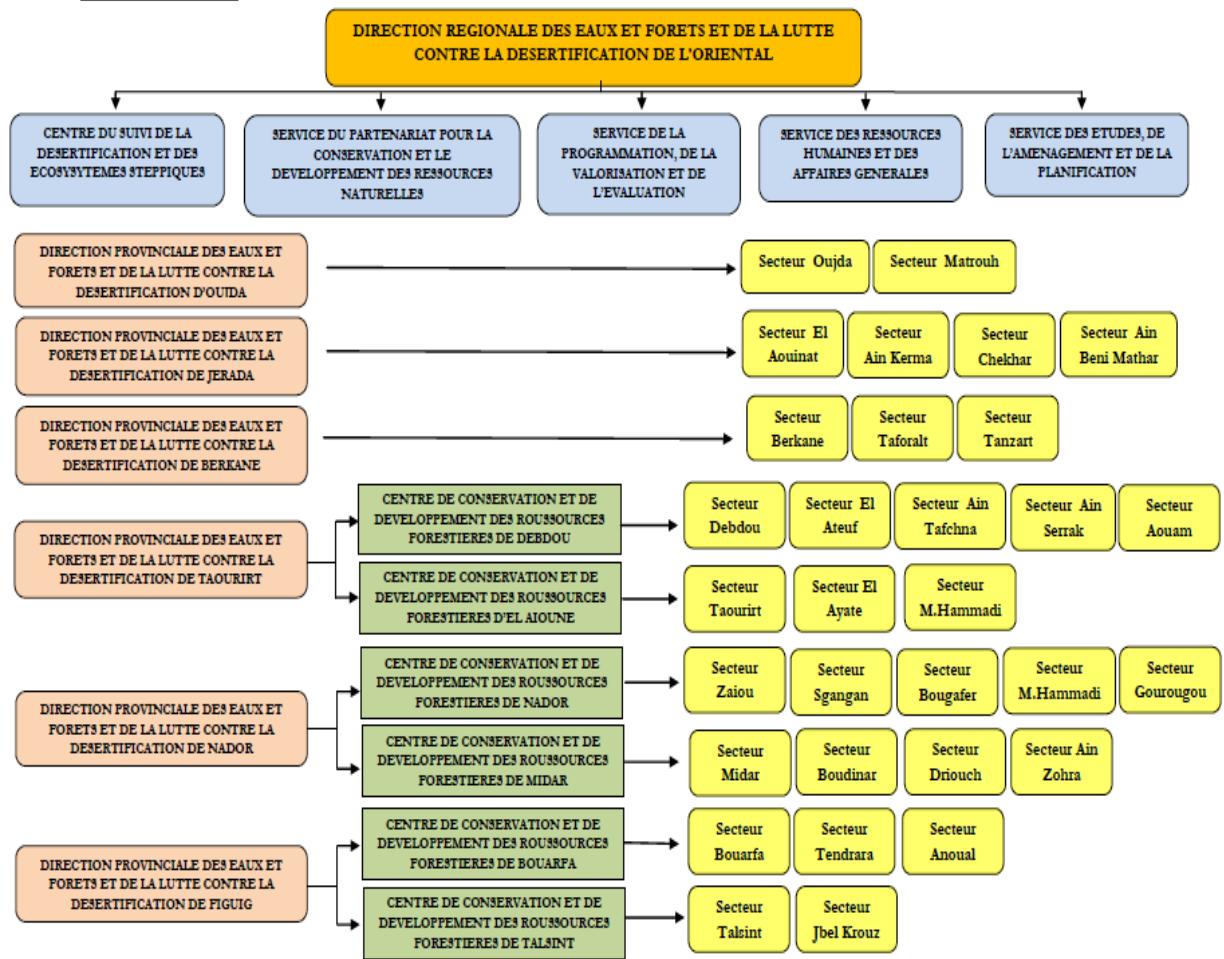


Figure 20: Structures administratives et domaines de compétences à l'intérieur du secteur forestier de la région de l'Oriental⁷³

5.2.2 Démarque

Dans le secteur de l'économie forestière il existe, de la même façon que dans le domaine agricole, deux types de potentiels de biomasse: Premièrement les potentiels directs en bois qui peuvent être mobilisés par le déboisement, et les potentiels indirects émanant de la transformation du bois par exemple. Dans le cadre de cette étude de potentiel de biomasse, seuls les potentiels indirects seront calculés, comme par exemple les résidus de bois provenant des scieries. Une mobilisation supplémentaire du bois forestier pour une valorisation énergétique pèserait encore plus sur les forêts régionales restantes déjà surexploitées. Des experts ayant discuté avec les employés de la DREFLCD locale révélèrent l'actuel objectif principal et absolu des autorités à savoir la protection, conservation et dans la mesure du possible l'expansion des réserves forestières existantes. Ce devoir de protection de la forêt va assurément être rendu difficile par le manque de personnel ainsi que l'équipement défaillant.

L'exploitation industrielle de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) est de plus en plus discutée, car les steppes d'alfa sont souvent de vastes étendues avec une végétation relativement dense. La majeure partie

⁷³ Interview d'expert, Monsieur Iharchine, DREFLCD, Oujda, 2010

des nappes alfatières se situent dans les provinces de Jerada, Taourirt et Figuig (Figure 16). En raison des faibles précipitations et du taux peu élevé de végétation qui recouvre le sol, les sols de ces contrées étant souvent exposés à l'érosion. Si le sol supérieur faible en humus est défraîchi par le vent et l'eau, la capacité à retenir l'eau des horizons de sol à végétation enracinée baisse encore plus. Avec pour résultat des sols dégradés sur lesquels la végétation s'installe lentement. Les surfaces d'alfa sont en danger en raison des récoltes mécaniques ou d'une gestion non durable, ce qui engendre des effets négatifs pour la population locale (perte de pâturages et de revenus, effets écologiques) et entraîne la dégradation des sites.⁷⁴

Dans le cadre de cette étude de potentiel de biomasse, l'exploitation énergétique de la nappe alfatière n'est pas prise en compte, car elle est liée à des risques écologiques élevés. D'un point de vue écologique, la nappe alfatière remplit, entre autres, des fonctions essentielles dans le domaine de la protection de l'eau potable et de l'érosion. De plus, elle est souvent exploitée comme pâturage extensif. La récolte des steppes des nappes alfatières doit être remise en question, car, en raison simultanément d'un volume élevé et d'une densité faible, seules des distances brèves de transport sont économiquement fiables. Il existe néanmoins de la part de l'industrie locale un certain intérêt à exploiter cette matière première. Pour rééquilibrer ce conflit d'intérêts, on pourrait développer à l'avenir des concepts durables sur des sites stables et mettre en place des procédés pondérés de cultures et de récoltes, pouvant offrir des sources de revenus à la population de ces contrées rurales.

A cause de la situation écologique des forêts dans la région de l'Oriental, les potentiels du domaine forestiers sont limités. Une revalorisation énergétique des restes de bois des scieries semble plus appropriée.

Les bases de calcul résidaient dans les données fournies par la DREF sur l'exploitation officielle du bois dans les provinces de Berkane, Nador, Taourirt, Jerada, ainsi que dans la préfecture d'Oujda-Angad. Aucun chiffre concernant l'exploitation du bois n'était disponible dans la province de Figuig. Mais en raison des situations climatiques difficiles et du manque chronique d'eau ainsi que du faible pourcentage de forêts dans cette province, les calculs du potentiel énergétique du bois s'avèrent superflus. Pour l'exploitation du bois, on distingue en général 3 catégories : (1) bois de service, (2) bois d'industrie et (3) bois de feu.

5.2.3 Potentiels

Dans la région de l'Oriental, le couvert végétal est rudimentaire à l'exception des régions montagneuses, des périmètres irrigués et de la nappe alfatière des formations naturelles des hauts plateaux.⁷⁵ Les accès au potentiel de bois d'une exploitation de sylviculture sont très différents. Les canaux essentiels de distribution du bois de construction dans la région sont, en première ligne :

- Bois de service (B.S.), surtout issu des peuplements forestiers dans les régions montagneuses (par ex. Taourirt) et des peuplements forestiers des provinces riches en précipitations de Berkane, Nador ou de la préfecture d'Oujda-Angad
- Bois d'industrie (B.I.), comme gamme de qualité inférieure pour l'industrie du bois et pour la cellulose ; issu du reboisement (pin d'Alep, eucalyptus), ainsi que
- Bois de feu (B.F.) (Figure 17).

⁷⁴ H. Kadi-Hanifi-Achour, Gestion de l'Alfa

⁷⁵ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

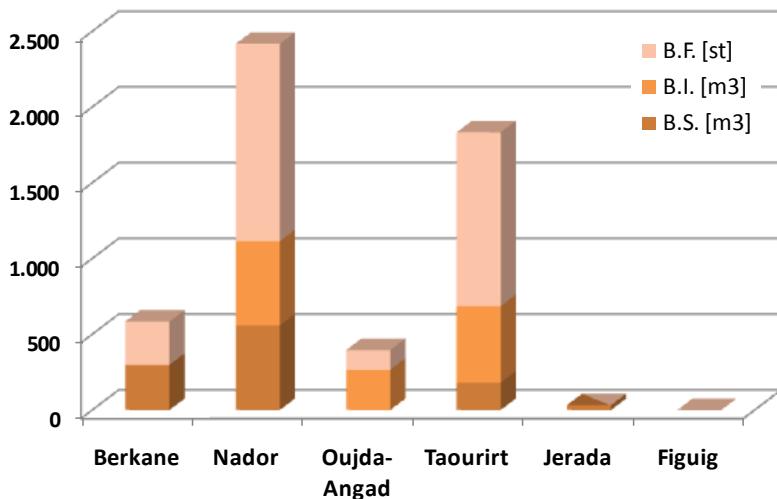


Figure 21 : Exploitation du bois brut dans la région de l’Oriental, subdivisé en bois de service (B.S.), bois d’industrie (B.I.) et bois de feu (B.F.).

Figure 17 indique les quantités annuelles moyennes des années 2007 à 2009 au niveau de la province subdivisée en types d’exploitation. Les quantités des bois de feu (B.F.) sont référencées en stères, tandis que les bois de service et d’industrie sont indiquées en mètres cubes (m³).

Tableau 16: Exploitation officielle du bois brut et son potentiel énergétique dans la région de l’Oriental⁷⁶

| Province / préfecture | Exploitation | | | Pouvoir calorifique | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|---------------------|---------------|---------------|----------------|
| | B.S. [m ³] | B.I. [m ³] | B.F. [st] | B.S. [MWh] | B.I. [MWh] | B.F. [MWh] | Total [MWh] |
| Berkane | 298 | 0 | 286 | 656 | 0 | 629 | 1.285 |
| Nador | 558 | 555 | 1.304 | 1.228 | 1.221 | 2.869 | 5.317 |
| Oujda-Angad | 0 | 265 | 131 | 0 | 583 | 287 | 870 |
| Taourirt | 180 | 505 | 1.148 | 396 | 1.111 | 2.525 | 4.032 |
| Jerada | 32 | 0 | 0 | 70 | 0 | 0 | 70 |
| Figuig | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 1.068 | 1.325 | 2.868 | 2.350 | 2.915 | 6.310 | 11.574 |

Au total, on chiffre l’exploitation annuelle de bois fort (bois de service et bois d’industrie) à environ 2.500 m³. Le bois de feu avec 2.900 m³ prend la plus grande part dans les gammes de bois utilisées.

Tableau 16 oppose les potentiels de bois brut et d’énergie en fonction des provinces. Dans l’espace total du bilan, on exploite selon les informations de la DREF un potentiel de bois d’environ 2.400 m³ et 2.900 stères⁷⁷, ce qui revient à un taux moyen d’énergie d’environ 11.600 MWh.

Les informations officielles sur l’exploitation du bois ne correspondent probablement pas au volume de bois réellement utilisé. Pour estimer le rapport entre production et exploitation, on s’est référé aux données existantes⁷⁸ de la production de bois dans chacune des provinces/préfectures. Pour ce faire, on a effectué des calculs via la répartition en surface des espèces principales d’arbres des forêts naturelles (pourcentage des espèces chêne vert, thuya, genévrier, pin d’Alep et autres sur le peuplement forestier régional) et leur accroissement annuel moyen pour chaque province/préfecture, afin d’obtenir un accroissement annuel moyen total. Pour les forêts artificielles,

⁷⁶ W15 (teneur en eau 15%)

⁷⁷ Cf. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung, 2007

⁷⁸ Iharchine : Données forestières de l’Oriental, 2010

on a procédé de la même manière, sauf qu'on s'est référé à l'accroissement annuel d'eucalyptus (env. 66% de la superficie) et de pins d'Alep (env. 17% de la superficie). Les résultats de ces calculs sont présentés dans le Tableau 17.

Tableau 17: Superficie boisée et accroissement moyenne estimée des essences dominantes dans les provinces/préfectures de la région de l'Oriental

| Province / préfecture | Superficie | | Accroissement moyen | | Total |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|--|---|----------------|
| | Forêt naturelle [ha] | Forêt artificielle [ha] | Forêt naturelle [m ³ /a] | Forêt artificielle [m ³ /a] | |
| Berkane | 39.000 | 9.818 | 13.923 | 2.283 | 16.206 |
| Figuig | 63.200 | 11.424 | 22.562 | 2.656 | 25.218 |
| Jerada | 60.500 | 14.593 | 21.599 | 3.393 | 24.991 |
| Nador | 16.500 | 31.287 | 5.891 | 7.274 | 13.165 |
| Oujda-Angad | 9.500 | 6.157 | 3.392 | 1.432 | 4.823 |
| Taourirt | 168.500 | 16.188 | 60.155 | 3.764 | 63.918 |
| Total | 357.200 | 89.467 | 127.520 | 20.801 | 148.321 |

Comme les forêts naturelles de l'Oriental sont essentiellement des forêts de dégradation avec de nombreuses essences secondaires, les accroissements annuels moyens sont certainement moins importants que ceux des essences dominantes. Cette théorie a été confirmée par les ingénieurs forestiers locaux.⁷⁹ Pour tenir compte de ce phénomène, les potentiels de production calculés doivent être encore une fois réduits.

Même en supposant que la quantité de bois produite se situe à 50% en dessous des valeurs calculées, on observe toujours encore une différence importante entre l'accroissement potentiel et les quantités de bois officiellement exploitées (Tableau 16). Au cours de discussions avec des experts locaux, il s'est avéré que des parties de forêts sont exploitées sans autorisation. Les potentiels théoriques de l'accroissement ne sont pas officiellement entièrement utilisé, mais ils sont entièrement utilisées sur le soi-disant „marché gris“ et ne sont alors pas disponible. Au vu des données incertaines et des informations répétées de divers représentants forestiers et agricoles, le potentiel de la forêt comme fournisseur de bois d'énergie s'avère surexploité, d'autre part l'accent est mis sur la préservation et la protection de l'exploitation forestière, le calcul de potentiels dans le domaine de la sylviculture a été laissé à ce niveau.

Tableau 18: Potentiel de bois brut et d'énergie dans la province de l'Oriental en fonction des provinces ou préfectures⁸⁰

| Province / préfecture | Accroissement moyen estimé | Pouvoir calorifique | Pouvoir calorifique | Potentiel non-documentedé | Pouvoir calorifique | CO ₂ equ |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| | [m ³ /a] | [MWh/a] | [tep/a] | [MWh/a] | [tep/a] | [t/a] |
| Berkane | 8.103 | 17.826 | 1.533 | 16.713 | 1.438 | 4.596 |
| Figuig | 12.609 | 27.740 | 2.386 | 27.740 | 2.386 | 7.629 |
| Jerada | 12.496 | 27.491 | 2.365 | 27.420 | 2.359 | 7.541 |
| Nador | 6.582 | 14.481 | 1.246 | 9.946 | 856 | 2.735 |
| Oujda-Angad | 2.412 | 5.305 | 456 | 4.514 | 388 | 1.241 |
| Taourirt | 31.959 | 70.310 | 6.048 | 66.967 | 5.761 | 18.416 |
| Total | 74.161 | 163.154 | 14.035 | 153.300 | 13.187 | 42.158 |

⁷⁹ Interview d'expert, Monsieur Iharchine, DREFLCD, Oujda, 2010

⁸⁰ Pouvoir calorifique se réfère à 2,2 MWh/m³, teneur en eau 15%

5.2.4 Conclusion

Dans la région de l'Oriental, seule une faible partie de la superficie est couverte de forêts. Les surfaces boisées sont principalement des forêts de dégradation (district avec de nombreuses essences secondaires dans des bois espacés). Pour 2009, l'exploitation officielle de bois représentait environ 2.400 m³ et 2.700 stères⁸¹, avec une teneur moyenne énergétique d'environ 11.600 MWh. Si l'on présume que 20% des bois de service est produit comme résidus de bois (copeaux, briquettes et boulettes, etc.) pour l'industrie, les potentiels d'énergie sont alors entre 246 MWh (Province de Nador) et >15 MWh (Jerada, Figuig, Oujda-Angad). Ces faibles potentiels ainsi que les observations des experts locaux sur l'état de la forêt et sur la politique régionale forestière actuelle montrent que dans le domaine de la sylviculture, il n'existe actuellement aucun potentiel manifeste d'exploitation, mais plutôt un grand besoin de reboisement. Ainsi aucun potentiel du secteur forestier ne sera pris en compte dans le résumé des potentiels.

La production de sources d'énergie alternatives peut se faire par exemple en coopération avec le recyclage des eaux usées. Il est ici possible d'accroître par une gestion ciblée les taux de production des plantes et de déterminer les substances nutritives contenu dans les eaux usées. Une telle démarche représente une alternative sensée aux différentes entreprises d'exploitation des steppes d'alfa.⁸²

5.2.5 Digression: Nappe alfatière

L'alfa, en latin *Stipa tenacissima*, est un touradon pérenne, que l'on retrouve essentiellement dans les régions arides et semi-arides d'Afrique du nord et d'Espagne.⁸³ C'est une plante très rigoureuse, dotée d'un haut niveau de résistance à la sécheresse. La quantité optimale de précipitation se situe autour de 200-400 mm par an. Par ailleurs, la densité de la végétation diminue de manière significative lorsque le niveau de précipitation ne dépasse pas 150 mm par an. La partie de la plante (ou l'herbe) qui se trouve en surface peut atteindre une hauteur de plus d'un mètre (Figure 22).

Le stipe tenace est une source de biomasse très répandu au Maroc. Elle pousse sur une superficie d'environ 3,6 millions d'hectares. La plus grande partie de cette surface se trouve dans la région de l'Oriental.⁸⁴



Figure 22: L'alfa dans la région orientale⁸⁵

⁸¹ Cp. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: la teneur énergétique du bois et son évaluation, 2007

⁸² Par ex. HOLCIM, Sucrafor

⁸³ Gasque, M.; Garcia-Fayos, P. : « Seed dormancy and longevity in *Stipa tenacissima* L. », 2003

⁸⁴ Kerrouani H. : "Annals of the forest research in Morocco", 1994

⁸⁵ A gauche: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/569842>, à droite: http://satgeo.zum.de/satgeo/beispiele/iberia/malaga/bild_03.htm

Dans la région de l'Oriental, l'utilisation de l'alfa a commencé il y a près de 40 ans dans le secteur industriel. Une grande partie de cette biomasse a été exportée vers l'Europe pour être employé comme facteur de production dans l'industrie papetière. En outre, les grandes entreprises de l'industrie de ciment ou du sucre utilisaient déjà l'alfa comme combustible inférieur. L'emploi de l'alfa a diminué durant les 20 dernières années. Ceci est du à une baisse constante de la demande provenant des pays importateurs d'une part et d'autre part du à une utilisation des sources d'énergie alternatives au niveau national.⁸⁶ Aujourd'hui, le stipa tenace est surtout utilisé en milieu rural dans le domaine alimentaire (fourrage) et comme matière première ou source d'énergie pour la cuisine et le chauffage.

L'alfa a une valeur nutritive relativement faible, mais elle est précieuse en sa qualité de protecteur des sols. Ces derniers temps, la nappe alfatière est constamment endommagée à cause d'un surpâturage et du manque des alternatives dans l'alimentation de bétail. On distingue plusieurs systèmes d'alfa, qui se différencient par leur capacité respective de résistance à la surexploitation. Ceci n'est pas seulement du aux conditions climatiques différentes mais aussi à la composition des espèces. Dans la région de l'Oriental, on distingue généralement six différentes nappes alfatières, qui sont :

- nappes forestières,
- nappes post-forestières,
- nappes des hauts plateaux,
- nappes des plateaux subhorizontaux à dayas,
- nappes à l'influence saharienne et
- nappes dégradées (Tableau 19).

Comme les nappes des zones sahariennes et les nappes dégradées disposent d'une potentiel d'accroissement très faible ou bien sont essentiel pour la protection du sol, ces surfaces ne seront pas considéré dans les calculs suivantes.

| Province | Nappes forestières | Nappes post-forestières | Nappes des hauts plateaux bien drainés | Nappes des plateaux subhorizontaux à dayas | Nappes des zones à influence saharienne | Nappes dégradées | Total |
|---------------|--------------------|-------------------------|--|--|---|------------------|------------------|
| | [ha] | [ha] | [ha] | [ha] | [ha] | [ha] | [ha] |
| Jerada | 69.000 | 58.600 | 37.200 | 40.200 | 43.400 | 27.600 | 276.000 |
| Figuig | 22.230 | 12.450 | 220.340 | 202.000 | 457.020 | 609.360 | 1.523.400 |
| Total | 91.230 | 71.050 | 257.540 | 242.200 | 500.420 | 636.960 | 1.799.400 |

Tableau 19: Distribution de l'alfa dans la région de l'Oriental

Une fonction importante écologique de la *stipa tenacissima* est d'accroître la fertilité des sols dans les paysages à végétation pauvre et de créer un microclimat stable. Ceci favorise la formation et le maintien de la biocénose dans les paysages de steppes à proximité des déserts. Il est important de noter que l'écosystème de la nappe alfatière réagit très sensiblement à la récolte et la pression de pâturage. Une réduction de la densité des plantes peut engendrer les dégâts d'érosion et un changement des conditions hydrologiques et géomorphologiques. En particulier, les coteaux sont très menacés par l'érosion et l'excavation de la couche de terre végétale, ce qui s'accompagne d'une réduction de la capacité d'accumulation des réserves en eau et d'une croissance de la dégradation des sols.⁸⁷

⁸⁶ Deboudi, A. ; El amarti, A. ; Colacio, E. : "Production of fuel briquettes from esparto partially pyrolyzed", 2004

⁸⁷ Cerdà, A. : "The effect of patchy distribution of *Stipa tenacissima* L. on runoff and erosion", 1997

Outre le maintien de la steppe d'alfa, la culture du sol avec la *stipa tenacissima* peut être un atout précieux dans la lutte contre la désertification. Cela est indiqué par ses caractéristiques comme la protection à l'érosion, la capacité de pousser après les contraintes mécaniques ou le feu et sa dissémination dans différents altitudes.⁸⁸

A titre de comparaison avec d'autres régions dans lesquelles on retrouve des steppes d'alfa, il pourrait être intéressant d'analyser le cas de l'Algérie. Dans ce pays d'Afrique du nord, la végétation de *stipa tenacissima* a également régressé. Aujourd'hui, le sparte ne constitue que 10% de la surface terrestre alors que vers la fin des années 70 les steppes d'alfa couvraient plus de 2/3 du paysage. La couverture végétale a diminué sur les surfaces restantes et la composition des espèces a changé (différentes phases de dégradation, dominé par *Salsola vermiculata*).⁸⁹

De nombreuses études sur la situation algérienne servent de point de repère pour déterminer la quantité de biomasse par hectare. Selon le niveau de dégradation de la steppe d'alfa, il est possible d'établir des présomptions sur les différentes valeurs de rendement. La biomasse en surface a une marge de fluctuation d'environ 70 kg/ha jusqu'à 700 kg/ha. L'hétérogénéité s'explique par les différentes intensités de pâturage et sur les conditions du sol et de précipitation.⁹⁰ Le même principe devrait être applicable sur le cas marocain. Cependant la seule étude disponible au Maroc dans ce domaine fournit des données totalement différentes de celles d'Algérie. On estime l'accroissement de la biomasse de 400 kg/ha/a à 1800 kg/ha/a.⁹¹ Du aux valeurs d'accroissement beaucoup plus faible en Algérie on suppose que les études scientifiques menées jusqu'à présent au Maroc ne sont pas suffisamment détaillées et fondées pour faire des déclarations définitives sur cette considération.

Pour estimer le potentiel énergétique théorique de l'alfa dans la région de l'Oriental, les données de la direction régionale des forêts (DREFLCD) ont été utilisées.⁹² Il a déjà été mentionné dans les paragraphes précédents que la nappe dégradée et les nappes des zones à influence saharienne ne seront pas prises en considération. En se basant sur les sources littéraires actuelles, le rendement maximal de la biomasse est estimé à 0,7 t/ha et le rendement minimal à 0,1 t/ha. Ces valeurs sont des moyennes estimées, car les rendements varient selon la gravité de la steppe, les précipitations annuelles et des conditions de sol.⁹³ Les estimations de la DREF marocaine fournissent des valeurs semblables.⁹⁴ Après la récolte des herbes, ils ont besoin d'une phase de régénération d'au moins trois ans. C'est pour cette raison qu'un intervalle d'utilisation de l'alfa de quatre ans a été supposé. En outre, il est estimé que seulement 50% de la biomasse superficielle peut être récoltée en raison du risque d'érosion éolienne et hydrique. Une coupe rase superficielle est ainsi évitée. Cette procédure est absolument nécessaire pour maintenir la fertilité du sol. Des études marocaines prouvent que l'utilisation des surfaces d'alfa occasionne aussi bien une augmentation de l'érosion du vent et de l'eau (formation des soi-disant « bad lands »). Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 20. En ce qui concerne la récupération thermique, il faut admettre que les briquettes faites d'alfa ont des propriétés mécaniques très défavorables ce qui rend difficile le compactage du

⁸⁸ Gasque, M.; Garcia-Fayos, P.: "Seed dormancy and longevity in *Stipa tenacissima* L.", 2003

⁸⁹ Debouzie, D.; Bendjedid, A.; Bensid, T.; Gautier, N.: "Stipa tenacissima aerial biomass estimated at regional scale in an Algerian steppe, using geostatistical tools ", 1996

⁹⁰ Debouzie, D.; Bendjedid, A.; Bensid, T.; Gautier, N.: "Stipa tenacissima aerial biomass estimated at regional scale in an Algerian steppe, using geostatistical tools ", 1996

⁹¹ Debdoubi, A. ; El amarti, A. ; Colacio, E. : "Production of fuel briquettes from esparto partially pyrolyzed", 2004

⁹² Message écrit Monsieur Iharchine (DREFLCD 2010, 2011)

⁹³ Terre et Vie, 2002

⁹⁴ Terre et Vie, 2002 (« Ainsi on peut noter des productions de 0,5 t/ha/a si l'année est pluvieuse et 0,19 t/ha/an si l'année est sèche.)

matériel. En plus, la compacité faible résulte dans des conditions défavorables de transport et entraîne des conditions négatives concernant l'utilisation de l'alfa à grandes distances.

| Province | Surface ¹ [ha] | Rendement total (max) ² [t/a] | Rendement total (min) ³ [t/a] | Potentiel énergétique (max) ^{4,6} [MWh/a] | Potentiel énergétique (min) ^{5,6} [MWh/a] |
|-----------------|------------------------------|---|---|---|---|
| Berkane | 3.000 | 263 | 38 | 1.391 | 199 |
| Oujda | 4.700 | 411 | 59 | 2.180 | 311 |
| Nador | 53.300 | 4.664 | 666 | 24.718 | 3.531 |
| Taourirt | 200.000 | 17.500 | 2.500 | 92.750 | 13.250 |
| Jerada | 205.000 | 17.938 | 2.563 | 95.069 | 13.581 |
| Figuig | 457.020 | 39.989 | 5.713 | 211.943 | 30.278 |
| Total | 2.060.400 | 3.708.720 | 11.538 | 428.051 | 61.150 |

¹ Surface sauf les nappes des zones à l'influence saharienne et des nappes dégradées

² Rendement maximale: considérant 3 ans de régénération, pourvu que le rendement soit maximal (50% de 0,7 t/ha)

³ Rendement minimale: considérant 3 ans de régénération, pourvu que le rendement soit minimale (50% de 0,1 t/ha)

⁴ Potentiel énergétique: considérant 3 ans de régénération, pourvu que le rendement soit maximal (50% de 0,7 t/ha)

⁵ Potentiel énergétique: considérant 3 ans de régénération, pourvu que le rendement soit minimal (50% de 0,1 t/ha)

⁶ Pouvoir calorifique 5,3 MWh/t

Tableau 20: Calcul du potentiel énergétique théorique de l'alfa dans la région de l'Oriental

Les résultats des études scientifiques portant sur la protection contre l'érosion par les steppes d'alfa et l'analyse de la productivité montrent la valeur ajoutée du stipe tenace en ce qui concerne la protection des ressources abiotiques, la protection contre l'érosion de la couche d'humus et de l'économie pastorale pour la région de l'Oriental.

De plus, des efforts ont été faits aussi bien qu'en Espagne qu'au Maghreb pour récultiver les steppes d'alfa dans le but d'accélérer la protection des ressources abiotiques et de freiner la désertification. Les circonstances actuelles ne permettent pas d'identifier les potentiels utilisables de la steppe d'alfa.

5.3 Déchets

L'augmentation de l'urbanisation et la transformation des habitudes de consommation de la population génèrent des enjeux de plus en plus importants pour la gestion des déchets. Actuellement, l'élimination et le stockage définitif des quantités de déchets de plus en plus importantes a lieu dans des décharges non suffisamment couvertes, voire des décharges sauvages. Ceci entraîne d'un côté, la contamination de ressources qui doivent être préservées comme les sols, l'air et l'eau, et de l'autre côté la perte de ressources matérielles et énergétiques. La structure actuelle de la gestion des déchets altère la qualité de vie et la santé des populations ainsi que le développement économique et social du pays (ex: développement touristique). Les dégâts causés à l'environnement générés par un management des déchets insuffisant sont évalués à environ 1,7 milliards de Dirham (0,5% du PIB).⁹⁵

Actuellement, le Maroc produit environ 7,5 millions de tonnes de déchets par an. 6,5 millions de tonnes sont des déchets ménagers et environ 1 million de tonnes de déchets industriels, 120.000 tonnes de déchets spéciaux et 12.000 tonnes de déchets médicaux.⁹⁶ Selon le ministère de l'environnement, environ 10% des déchets ménagers et 23% des déchets industriels seraient valorisés. Le gouvernement indique qu'il existe en ce moment 6 décharges contrôlées dans tout le pays et 50 sont en phase de planification.⁹⁷

La gestion des déchets au Maroc

Le gouvernement marocain a reconnu l'importance d'une gestion efficiente des ressources et la mise en place d'une économie circulaire comme développement de la gestion traditionnelle des déchets et pour un développement économique, social et écologique du pays. Pour cela, trois étapes cruciales furent déclenchées pour reformer le système de gestion des déchets:

- En 2005, une loi sur le dispositif local de collecte et de traitement fut adoptée. Elle propose aux communes la possibilité de céder la collecte et le traitement des déchets à des entreprises privées (dans le cadre de joint-ventures et contrats de licence).⁹⁸ Presque toutes les grandes villes du Maroc ont confié la collecte et le traitement des déchets à des entreprises privées.
- En Novembre 2006 la Loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination fut adoptée. Son objectif principal est d'éviter les impacts environnementaux négatifs grâce à une réduction de la quantité de déchets et grâce à une collecte, valorisation et élimination des déchets.⁹⁹ Cette loi contient des plans pour le stockage séparé des déchets ménagers et industriels et des règles spéciales pour l'élimination des déchets dangereux.
- En 2008 a suivi le Programme Nationale de Gestion des Déchets Ménagers – PNDM, qui cible tout d'abord pour les prochaines années les objectifs quantitatifs de collecte des déchets (d'ici à 2021 90% des déchets doivent recensés dans un système de collecte), mais aussi l'implantation de décharges contrôlées (d'ici à 2021 100% des déchets des zones urbaines

⁹⁵ Worldbank: Program Information Document, MA Solid Waste Sector, 2009

⁹⁶ Cp. Germany Trade and Invest: Datenbank – Länder und Märkte, Marokko will Rückstand im Umweltschutz wettmachen, 2007

⁹⁷ Cp. Germany Trade and Invest: Datenbank – Länder und Märkte, Marokko will Rückstand im Umweltschutz wettmachen, 2007

⁹⁸ Cp. Germany Trade and Invest: Datenbank – Länder und Märkte, Marokko will Rückstand im Umweltschutz wettmachen, 2007

⁹⁹ Cp. Ministère de l'Environnement : Loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination, 2006

douvent être traités dans des décharges contrôlées), l'assainissement et fermeture de 300 décharges non-contrôlées existantes et la diminution et valorisation des déchets.¹⁰⁰

Gestion des déchets dans la région de l'Oriental

Le secteur de gestion des déchets de la région de l'Oriental se développe continuellement. Presque tous les centres urbains proposent aujourd'hui une bonne collecte des déchets. La collecte des déchets ménagers dans la région de l'Oriental est effectuée presque complètement par un système « porte à porte » car les déchets sont mis sous sac plastique. En périphérie, les déchets seront apportés sur le point de collecte central (système ou les déchets sont apportés). Pour le moment, il n'existe aucune séparation des matériaux de valeur dans la région. Dans les zones urbaines, les déchets ménagers sont collectés tous les jours de la semaine, une fois par jour. Dans la ville de Taourirt, la collecte ne se fait que sur six jours ouvrables. Les déchets seront directement transportés vers les décharges avec des camions de collecte (capacité 12-16 m³). Les villes d'Oujda, Nador et Berkane ont cédé la collecte des déchets à des entreprises privées. Dans les deux premières (Oujda et Nador) le ramassage des ordures est presque effectif à 100% (ex: Oujda: 98%).



Figure 23: Vide-ordures à Berkane

Des décharges contrôlées¹⁰¹ pour le dépôt des déchets existent pour le moment seulement dans les villes d'Oujda et Berkane. Une décharge contrôlée est en construction dans la ville de Nador. Les villes de Taourirt, Jerada, El Aioun, Bouarfa et Figuig n'ont que des décharges non-contrôlées. C'est notamment dans les zones rurales qu'il n'y a pas à proprement parler de collecte organisée, et c'est pour cela que de nombreuses petites décharges non-contrôlées¹⁰² voient le jour.

La quantité de déchets dans la région de l'Oriental varie selon les différentes provinces et communes mais aussi en fonction des zones rurales et urbaines. Pour l'année 2009, dans les zones urbaines une production de déchets de 0,74 kg par habitant et par jour fut déclarée. Dans les zones rurales, on évalue à 300-400 g la production de déchets par habitant et par jour.¹⁰³ Dans les zones urbaines, la

¹⁰⁰ Au niveau régionale dans le secteur des déchets la „Charte communal“, la „Loi des préfectures et des régions“ et la „Loi des régions“ sont important.

¹⁰¹ Décharge contrôlée, Centre d'Enfouissement Technique: Les décharges sont des unités d'élimination situées au dessus de la surface terrestre (décharge aérienne) ou en dessous (décharge souterraine) dont le dépôt d'ordures n'est pas limité dans le temps. En fonction du degré légal de toxicité des ordures qui doivent être déposées, en Allemagne on dénombre 5 différentes classes de décharges.

(Regierungspräsidium Darmstadt, Definitionen und Schutzziele von Deponien, 2010) Les décharges ont en règle générale, à côté d'une barrière géologique, un colmatage de la base de la décharge (couche de drainage avec contenance des eaux d'infiltration et une couche étanche artificielle), le corps de la décharge, un colmatage de surface (couche de drainage avec récupération du gaz émis par la décharge, une couverture minérale imperméable, plafond couvrant) ainsi que des infrastructures (clôture, balance, bureau, laboratoire). Afin de faire la différence avec les décharges sauvages encore existantes au Maroc, on fera référence dans cette étude à „décharge contrôlée“.

¹⁰² Décharge non-contrôlée („décharge sauvage“): La définition décharge non-contrôlée sera utilisée pour les sites d'élimination de déchets offrant des techniques non suffisantes ou inexistantes pour la protection de l'environnement (ex: décharge sauvage).

¹⁰³ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda ; Monsieur Mokhtari, Province de Berkane, Oujda, 26.10.2010

part moyenne de déchets organiques dans la totalité de déchets s'élève à 60-70%.¹⁰⁴ Les quantités moyennes de déchets mentionnées pour les zones urbaines ne sont pas seulement constituées des déchets ménagers mais aussi les déchets des petites industries et les déchets générés par le secteur touristique. A cause de cela, la production de déchets de la région subit des fluctuations importantes en fonction de la saison: La production est particulièrement haute en juillet et en août (par rapport au reste de l'année) en raison de la haute saison touristique et du retour des expatriés marocains.¹⁰⁵ Dans le cadre de l'analyse des potentiels et en vue des esquisses de projets, les déchets des trois secteurs déchets ménagers, déchets du commerce et de l'industrie et déchets du secteur touristique seront considérés séparément.

La redevance pour le traitement des déchets est comprise dans la taxe de service publique qui est payée aux communes. Ceci correspond à 300-400 DH par an et par habitation ; dont environ 10-20% correspondent au traitement des déchets. Les entreprises industrielles payent une redevance sur les déchets en fonction de la quantité produite. Cependant, quelques entreprises industrielles payent une taxe annuelle (ex: agroalimentaire) car elles ne produisent que des quantités faibles de déchets.¹⁰⁶ Cette taxe couvre le traitement des déchets.

Le recyclage dans la région de l'Oriental est pour le moment plutôt limité. Un secteur informel de collecte, tri et vente des matériaux de valeur existe par exemple à Oujda et Nador. Les déchets qui sont collectés et triés sur place seront vendus à des revendeurs intermédiaires, qui assurent le transport des matériaux vers Casablanca qui est considérée comme le centre national de valorisation des déchets. Une part des matériaux, plus spécialement les métaux, est vendue à des revendeurs de Nador. Le carton sera principalement revalorisé à Kenitra et le verre à Fès. En raison de la situation où les activités de recyclage sont assurées par le secteur informel, il est impossible de donner une indication des prix pour les matières premières secondaires.

Le compost produit à partir des déchets organiques (partie des déchets ménagers organiques, résidus de l'agriculture, herbe coupée) est actuellement utilisé pour les besoins propres. On peut partir de l'idée qu'une demande de compost de haute qualité, produit par exemple à partir du biodigestat d'une unité de biogaz, existe et qu'il y aurait aussi une liquidité existante pour l'achat de ce compost. Mais le prix du marché ne peut pas encore être chiffré.

Il y a aussi la possibilité de valoriser énergétiquement la partie hautement calorifique des déchets en tant que combustible de substitution („CDD - combustibles dérivés des déchets“). Ce combustible est utilisé pour le moment seulement dans la fabrique de ciment HOLCIM à El Aioun (environ 40 km d'Oujda) qui utilise environ 15.000 tonnes de pneus importés de l'Europe pour la production de chaleur. Il y a aussi plusieurs sites de production de tuiles/briquetteries à Nador, où il serait possible d'utiliser des combustibles secondaires. Les fabriques de tuiles (« briqueteries ») utilisent périodiquement des noyaux et grignons d'olives en tant que combustible. Ce combustible secondaire est un déchet produit par la transformation locale des olives.

Dans la partie suivante, des informations spécifiques seront données sur le secteur des déchets dans la préfecture d'Oujda et dans les provinces de Nador, Berkane et Taourirt (région). Il n'existe pas d'information à ce jour sur les provinces de Jerada et Figuig.

¹⁰⁴ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda ; Monsieur Mokhtari, Province de Berkane, Oujda, 26.10.2010

¹⁰⁵ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda ; Monsieur Mokhtari, Province de Berkane, Oujda, 4.6.2010

¹⁰⁶ Une entreprise de la ville d'Oujda a indiqué de payer environ 13.000 DH/a de taxe annuelle, qui couvre aussi les coûts pour la collecte de déchets.

Province d'Oujda

Dans la ville d'Oujda, l'entreprise SITA El Beida s'occupe de la collecte des déchets ménagers et industriels. Les déchets seront traités au centre d'enfouissement technique communal qui se situe à 10 km d'Oujda. La surface de cette décharge contrôlée est d'environ 130 hectares. La décharge est clôturée et dispose d'une balance, un bâtiment d'exploitation, une station météorologique, un colmatage de la base et aussi un système de drainage pour le traitement de lixiviat et un captage du gaz. Pour le moment, la totalité du gaz est brûlée. Mais il est prévu, que dès qu'un approvisionnement continu en gaz pourra être assuré, le gaz de décharge sera valorisé énergétiquement dans une centrale de cogénération ($3 \times 2,3 \text{ MW}_{\text{el}}$) et l'électricité générée alimentera le réseau électrique.

Les images suivantes montrent les différents sites du centre d'enfouissement technique (CET) ainsi que les bassins pour l'évaporation de lixiviat („lits de séchage“).



Figure 24:CET d'Oujda



Figure 25:Treatment of leachate in the CET d'Oujda¹⁰⁷

Au niveau du centre d'enfouissement technique d'Oujda on trouve les déchets ménagers (déchets du secteur touristique inclus), les déchets du centre hospitalier et les déchets du secteur industriel (surtout industrie agroalimentaire) de la ville d'Oujda et la commune de Beni Drare. Les quantités moyennes de déchets ménagers à Oujda sont de 0,7 kg par habitant et par jour.¹⁰⁸ Le tableau suivant montre la quantité totale de déchets qui était traitée sur le centre technique d'enfouissement d'Oujda en 2009.

¹⁰⁷ Wilaya de l'Oriental, Préfecture d'Oujda-Angad, Commune urbaine d'Oujda : Gestion intégrée des déchets solides de la ville d'Oujda, 2009

¹⁰⁸ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda, Oujda, 26.10.2010

Tableau 21: Quantité de déchets, CET d'Oujda (2009)¹⁰⁹

| Jour | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Juin | Juillet | Aout | Sept | Oct | Nov | Déc | TOTAL |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| | [t] | [t] | [t] | [t] | [t] | [t] | [t] |
| 1 | 294 | 112 | 82 | 333 | 33 | 503 | 323 | 374 | 408 | 313 | 238 | 449 | 0 |
| 2 | 323 | 465 | 517 | 305 | 449 | 371 | 333 | 273 | 471 | 322 | 357 | 350 | |
| 3 | 266 | 270 | 305 | 321 | 99 | 294 | 300 | 488 | 350 | 262 | 327 | 340 | |
| 4 | 140 | 253 | 284 | 243 | 514 | 324 | 297 | 388 | 438 | 250 | 306 | 320 | |
| 5 | 461 | 301 | 278 | 115 | 288 | 316 | 91 | 507 | 400 | 393 | 330 | 288 | |
| 6 | 344 | 302 | 291 | 474 | 309 | 262 | 461 | 393 | 286 | 299 | 263 | 226 | |
| 7 | 293 | 227 | 265 | 289 | 268 | 83 | 413 | 382 | 500 | 296 | 269 | 431 | |
| 8 | 268 | 108 | 108 | 323 | 264 | 483 | 411 | 459 | 397 | 332 | 254 | 339 | |
| 9 | 283 | 505 | 519 | 304 | 252 | 347 | 350 | 256 | 414 | 332 | 352 | 348 | |
| 10 | 293 | 326 | 310 | 309 | 77 | 328 | 331 | 570 | 406 | 292 | 303 | 306 | |
| 11 | 84 | 293 | 277 | 226 | 516 | 299 | 321 | 444 | 425 | 223 | 309 | 325 | |
| 12 | 545 | 341 | 360 | 108 | 305 | 294 | 98 | 392 | 354 | 408 | 286 | 290 | |
| 13 | 318 | 269 | 266 | 433 | 295 | 283 | 448 | 415 | 330 | 318 | 295 | 237 | |
| 14 | 301 | 280 | 283 | 315 | 297 | 65 | 419 | 417 | 450 | 330 | 256 | 386 | |
| 15 | 272 | 76 | 86 | 242 | 248 | 516 | 368 | 340 | 416 | 334 | 221 | 290 | |
| 16 | 302 | 508 | 549 | 262 | 252 | 335 | 379 | 218 | 369 | 315 | 373 | 321 | |
| 17 | 256 | 304 | 326 | 236 | 89 | 399 | 352 | 584 | 377 | 252 | 248 | 315 | |
| 18 | 100 | 272 | 294 | 201 | 448 | 359 | 326 | 409 | 335 | 236 | 313 | 305 | |
| 19 | 488 | 299 | 291 | 91 | 316 | 337 | 192 | 414 | 327 | 412 | 335 | 289 | |
| 20 | 278 | 309 | 290 | 511 | 299 | 344 | 522 | 458 | 355 | 306 | 297 | 212 | |
| 21 | 230 | 229 | 266 | 294 | 310 | 194 | 330 | 394 | 232 | 312 | 312 | 424 | |
| 22 | 271 | 112 | 113 | 290 | 292 | 503 | 338 | 329 | 294 | 312 | 261 | 336 | |
| 23 | 278 | 454 | 512 | 281 | 282 | 359 | 354 | 244 | 326 | 324 | 408 | 304 | |
| 24 | 261 | 350 | 328 | 296 | 80 | 344 | 323 | 432 | 306 | 318 | 301 | 324 | |
| 25 | 135 | 296 | 324 | 240 | 488 | 326 | 363 | 420 | 332 | 290 | 337 | 320 | |
| 26 | 507 | 324 | 306 | 103 | 328 | 344 | 149 | 400 | 262 | 406 | 303 | 279 | |
| 27 | 323 | 291 | 308 | 465 | 329 | 312 | 436 | 392 | 227 | 310 | 353 | 275 | |
| 28 | 351 | 229 | 270 | 306 | 303 | 172 | 391 | 446 | 433 | 302 | 387 | 435 | |
| 29 | 291 | 0 | 113 | 296 | 274 | 487 | 356 | 407 | 292 | 323 | 666 | 312 | |
| 30 | 296 | 0 | 467 | 256 | 275 | 340 | 368 | 284 | 347 | 316 | 480 | 366 | |
| 31 | 228 | 0 | 308 | 0 | 38 | 0 | 344 | 490 | 0 | 287 | 0 | 313 | |
| TOTAL par mois [t] | 9.081 | 8.103 | 9.297 | 8.467 | 8.617 | 9.922 | 10.488 | 12.420 | 10.859 | 9.724 | 9.737 | 10.054 | 116.769 |
| Moyennes journalières [t] | 293 | 289 | 300 | 282 | 278 | 331 | 338 | 401 | 362 | 314 | 325 | 324 | 320 |
| Valeurs max. du mois [t] | 545 | 508 | 549 | 511 | 516 | 516 | 522 | 584 | 500 | 412 | 666 | 449 | |

En totalité, une quantité journalière moyenne de 320 tonnes de déchets est livrée à la décharge, cela représente 116.000 tonnes/an. Les quantités maximales livrées par jour sont de 666 tonnes. De 2006 à 2009, le dépôt d'ordures a augmenté de 110.000 à 116.000 tonnes, ce qui correspond à une augmentation annuelle des quantités de déchets d'environ 3,8%.

L'analyse des déchets de la décharge d'Oujda présente une fraction organique très haute (73%), qui se compose exclusivement de matières fermentescibles.¹¹⁰ La deuxième fraction importante de déchets est constituée par les plastiques (PET, packaging légers, etc.) avec une part de 14%, suivie par le carton avec une part de 4%.

¹⁰⁹ Message écrit, Monsieur Kheir, Commune urbain d'Oujda, 22.11.2010 (Veolia : Etat des déchets déposés par Veolia, Années 2005-2010)

¹¹⁰ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda, 26.10.2010

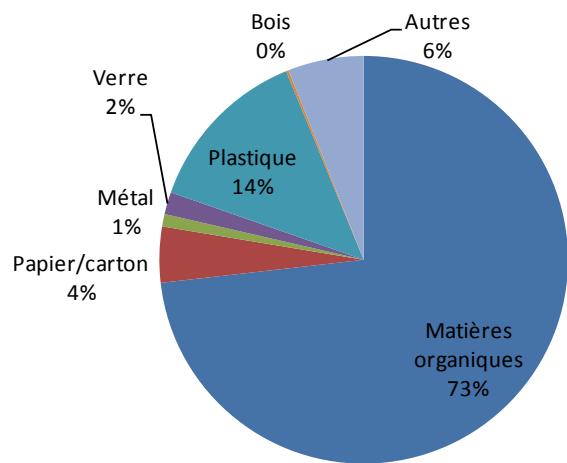


Figure 26: Fractions de déchets, CET d'Oujda (2009)¹¹¹

Dans le passé, les matériaux de valeur étaient collectés par des collecteurs d'ordures sur les vieux sites de la décharge et vendus à des revendeurs à Casablanca. Aujourd'hui, il n'existe qu'une faible activité de recyclage à Oujda car l'activité informelle de recyclage ne se fait plus sur le nouveau centre d'enfouissement technique. La séparation des matériaux de valeurs a lieu en partie dans la ville. Par exemple de petites quantités de métaux sont vendues à Nador.

Province Berkane

Dans les zones urbaines et rurales de la province de Berkane, les standards de collecte et traitement des déchets varient du tout au tout. Alors que dans l'agglomération de Berkane (communes Berkane, Cherraa, Aklim, Zegzel, Boughriba) une gestion intercommunale est effectuée et dans la ville de Saidia la collecte a été entre temps confiée à l'entreprise privée Veolia, les plus petites communes de la province doivent organiser leur collecte ou celle-ci est organisée par les habitants eux-mêmes (« associations volontaires des habitants »).¹¹² Le tableau suivant montre un aperçu sur la situation de collecte et traitement des déchets par commune de la province de Berkane.

¹¹¹ Message écrit, Monsieur Kheir, Commune urbain d'Oujda, 8.7.2010

¹¹² Province de Berkane : Monographie de la Province de Berkane, 2008

Tableau 22: Données sur les déchets de la Province Berkane¹¹³

| Communes | Quantité de déchet [t/j] | Taux de collecte | Décharge publique |
|--------------|-----------------------------|------------------|--|
| | | | [%] |
| Berkane | 60 | | |
| S.S. Cherraa | 15 | | |
| Aklim | 7 | 100% | Décharge contrôlée intercommunale située à Dr Ouled el Haj à C R de zegzel 7 Km de la ville de Berkane et à 10 km d'Aklim. |
| Zegzel | 15 | | |
| Boughriba | 3 | | |
| Saidia | 10 | | |
| | 60 (en été) | 80% | - Décharge sauvage située à Dr Lamaarif (à 7km du centre Laatamna) , 14km de Saidia et 15 km de la ville d'Ahfir. - La collecte des ordures et le nettoiement au niveau de la plage et arrière plage de Saidia sont assurés par la société privée Véolia propreté pendant la saison estivale. |
| Ahfir | 20 | 80% | |
| Ain Reggada | 5 | 90% | |
| Laatamna | 4 | 50% (au centre) | |
| Aghbal | 4 | 50% (au centre) | |
| Fezouane | 2 | 20% (au centre) | |
| Madagh | 2 | | Dépotoir sauvage situé à 1 km du centre |
| Taforalt | 2 | 80% (au centre) | Dépotoir sauvage situé dans la forêt à la CR de Rislane à 3km du centre de Taforalt. |
| Sidi Bouhria | 1,5 | 60% (au centre) | Dépotoir sauvage situé près du centre au niveau de l'Oued Sidi Bouhouria |
| Rislane | 1 | 20% (au centre) | Dépotoir sauvage situé à 200m à l'entrée du centre de la commune. |
| Chouihia | 1,5 | - | Dépotoir sauvage situé à la limite du centre. |
| Total | 153 | | |

Les déchets des 5 communes Berkane, Sidi Slimane Cherraa, Aklim, Zegzel et Boughriba avec une population totale de 160.000 habitants, seront traités sur la décharge contrôlée qui se trouve entre les deux villes de Berkane et Aklim. Dans le futur, la zone de chalandise de la décharge doit s'élargir aux 16 communes de la province ainsi qu'aux déchets de la station balnéaire de Saidia et son village de vacances „Mediterrania Saidia“.

L'opérateur de la décharge est l'entreprise Veolia, qui est chargée de la collecte des déchets depuis janvier 2008. La décharge actuelle est constituée de deux parties, qui disposent d'une géomembrane pour l'étanchéité, un système de drainage pour la collecte de lixiviat ainsi qu'un bassin de décantation et séchage pour le traitement du lixiviat.

Les images suivantes montrent des images de la décharge de Berkane: un corps de décharge utilisé et un non-utilisé ainsi que le bassin de collecte pour le lixiviat produites.



Figure 27: Décharge de Berkane

Le Tableau 23 montre les quantités de déchets livrées à la décharge de Berkane par jour et par an.

Tableau 23: Quantités de déchets, décharge Berkane¹¹⁴

¹¹³ Province de Berkane : Monographie de la Province de Berkane, 2008

¹¹⁴ Province de Berkane : Monographie de la Province de Berkane, 2008

| Quantité des déchets | | |
|----------------------|------------|---------------|
| | t/d | t/a |
| Berkane | 60 | 21.900 |
| S.S. Cherraa | 15 | 5.475 |
| Aklim | 7 | 2.555 |
| Zegzel | 15 | 5.475 |
| Boughriba | 3 | 1.095 |
| TOTAL | 100 | 36.500 |

Après avoir calculé à partir des données ci-dessus, on obtient une quantité moyenne de déchets produite de 0,625 kg par habitant et par jour. Selon un expert, la quantité maximale de déchets produite dans la province de Berkane est de 0,9 kg/hab/jour.¹¹⁵ Cependant, ce chiffre comprendrait aussi les quantités moyennes de déchets produites par le secteur industriel et touristique. Pour la province de Berkane, une étude préalable pour l'introduction d'une collecte séparée est en planification.

Province Taourirt

Les déchets de la commune de Taourirt sont envoyés sur une décharge non-contrôlée, qui se trouve environ à 5 km du centre de la ville. La décharge est utilisée depuis 1996 et a une surface de 12 hectares avec une contenance de 300.000m³ (densité 600-750 kg/m³).¹¹⁶

A Taourirt, environ 85% des déchets sont récupérés par la collecte locale, ceci est équivalent à 91.640 habitants. La collecte des déchets par une entreprise privée est en planification. La production de déchets moyenne à Taourirt est de 0,68 kg par habitant/jour, ce qui veut dire que 70 tonnes de déchets par jour, dont 63 tonnes de déchets ménagers, doivent être traités à la décharge.¹¹⁷

Les types de déchets suivants seront éliminés sur le site de la décharge:

- Déchets ménagers,
- Déchets similaires,
- Herbe coupée,
- Déchets de l'abattoir,
- Déchets du marché,
- Déchets hospitaliers,
- Déchets industriels (conserverie d'anchois & transformation d'olives),
- Gravats et déblais.¹¹⁸

Le Figure 28 montre la composition des déchets de la décharge de Taourirt.

¹¹⁵ Interview d'expert, Monsieur Mokhtari, Province de Berkane, Oujda, 26.10.2010

¹¹⁶ Message écrit, Monsieur Serhir, Municipalité de Taourirt

¹¹⁷ Message écrit, Monsieur Serhir, Municipalité de Taourirt

¹¹⁸ Message écrit, Monsieur Serhir, Municipalité de Taourirt

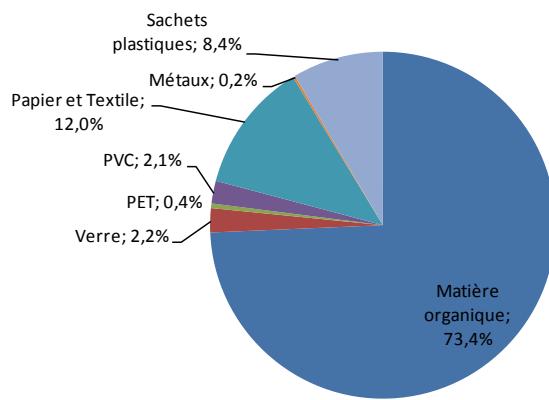


Figure 28: Composition des déchets, décharge de Taourirt¹¹⁹

Dans le cadre de l'inventaire des données, les experts locaux ont avancé que la proportion de déchets organiques était plus importante en été (juillet et août) que sur le reste de l'année.

Le coût de la collecte des déchets à Taourirt s'élève à 300 DH par tonne.¹²⁰

Province Nador

Depuis mars 2009, la société Véolia est en charge de l'élimination des déchets dans l'agglomération de Nador qui comprend les communes Nador, Beni Nsar, Selouane, Segangane und El Aroui. Les déchets collectés dans l'agglomération de Nador (260.000 habitants) comme ceux de sept autres communes (Ihaddadene, Arekmane, Bni Bouifrour, Bouarg, Oulad Settout, Zaio, Farkhana → environ 175.000 habitants, collecte faite par les communes), appartenant toutes au « Groupement pour l'Environnement », sont éliminés sur la décharge non-contrôlée de Nador.¹²¹ Cette décharge non-contrôlée existe depuis environ 20 ans et représente une superficie d'environ 40 ha. Tous les jours, entre 300 et 400 tonnes de déchets seront éliminés sur ce site, la part organique de ces déchets représente 75%.¹²²

Actuellement, différents matériaux sont triés et revendus aussi bien dans la ville de Nador que sur le site de la décharge. Dans la ville, ce sont surtout des métaux, plastiques et cartonnages qui sont collectés et revendus à des grossistes par ceux qu'on appelle les „chiffonniers“. L'association environnementale locale évalue que 30 à 40% des déchets secs sont recyclés. Sur le site de la décharge, actuellement environ 80 collecteurs travaillent, ils sont organisés en différents « clans ». Il y a quelques années, un essai pilote d'intégration des activités informelles de recyclage dans un système central fut tenté. Les collecteurs de déchets recourent des petits véhicules de collecte, des outils et des habits de travail mais cet essai pilote n'a pas réussi par la suite.

Les images suivantes montrent différentes vues de la décharge non-contrôlée de Nador.

¹¹⁹ Message écrit, Monsieur Serhir, Municipalité de Taourirt

¹²⁰ Interview d'Expert, Monsieur Driss Bouda, Municipalité de Taourirt, Oujda, 4.6.2010

¹²¹ Sur les autres communes de la province de Berkane aucune information n'était disponible.

¹²² Interview d'Expert, Monsieur Metaich, Groupement de l'Environnement, Nador, 27.10.2010



Figure 29: Décharge non-contrôlée de Nador

Adjacente à la décharge non-contrôlée utilisée actuellement, une autre décharge mais contrôlée cette fois ci est sur le point d'être achevée. Celle-ci dispose d'un système de captage du gaz de décharge ainsi qu'un système pour brûler le gaz de décharge. Un appel d'offre est en cours pour l'opération de la décharge. Sur le long terme, une collecte séparée (humide-sec) doit être mise en place dans l'agglomération de Nador et un centre de recyclage sur le site de la décharge.



Figure 30: Décharge contrôlée Nador (phase de construction)

5.3.1 Acteurs

Avec le changement des conditions légales (voir partie 5.3), la structure des acteurs du secteur des déchets marocains a évolué. A côté des institutions nationales, régionales et communales; les entreprises privées ont aussi la possibilité de gérer les opérations d'élimination en étant missionnées par des communes ou villes.

Dans la région de l'Oriental, les acteurs suivants sont actifs dans le domaine de la gestion des déchets:

- Wilaya de la région de l'Oriental
- Communes urbaines
- Société SITA El Beida (Oujda)
- Veolia Propreté Maroc (Nador, Berkane).

Dans le cadre de la collecte des données, les institutions et entreprises suivantes furent contactées et/ou visités:

- Déchets ménagers
 - Décharge intercommunale de la Province de Berkane, 4.6.2010

- Association environnementale, Nador, 27.10.2010
- Industrie laitière
 - Coopérative Laitière du Maroc Oriental Oujda (COLAIMO), Oujda : Production de produits laitiers, 2.6.2010
 - Laiterie Mon Lait, Berkane, jeudi, 28. octobre 2010
- Abattoirs
 - Abattoir communal, Oujda, 25.10.2010
 - Abattoir volaille KPCD, Oujda, 25.10.2010
- Transformation des fruits et légumes
 - Fabrique de sucre Sucrafor, Zaio/Nador, 27.10. 2010
 - Station Kantari, Berkane : conditionnement et emballage d'oranges et clémentines, 1.6.2010
 - Coopérative vinicole (VINICOOP), Berkane : production viticole, 28.10.2010
 - Bled Conserve, conserve de légumes et d'agrumes, vendredi, 03. Décembre 2010
- Transformation d'olives
 - Trifa Conserves, transformation des olives, Oujda, 2.12.2010
 - Conserve Moustaine, huilerie, vendredi, 03. Décembre 2010
 - Madame Fouzia, transformation et conservation des olives, Taourirt, Oujda, jeudi, 28.10.2010
- Industrie du poisson
 - Shrimpalida, Oujda : Entreprises pour l'épluchage des crevettes, 25.10.2010
 - Direction Régionale de l'Office d'Exploitation des Ports, Nador, 30.11.2010
 - Délégation Régionale de l'Office Nationale des Pêches, Nador, 30.11.2010
 - Entreprise de traitement et exportation des poulpes (seiches), Mer Fruit, Nador, 30.11.2010
- Secteur touristique
 - Délégation du Tourisme, Oujda, 1.12.2010
 - Hôtel Atlas Orient
- Autres
 - Centre Régional d'Investissement, Oujda, 2.12.2010
 - Cimenterie HOLCIM, Oujda, 28.10.2010

5.3.2 Démarche

Les calculs de potentiels pour le secteur des déchets concernent les trois domaines des ménages, commerce et industrie et tourisme. La présentation suivante donne un court aperçu des indicateurs qui peuvent être rapprochés des calculs de potentiels.

Tableau 24: Indicateurs pour le calcul du potentiel en déchets

| Type de déchets | Indicateurs |
|------------------------------------|---|
| Déchets ménagers | - Production des déchets ménagers par habitant au niveau et urbain et rural [kg/hab/j] |
| Commerce & Industrie | |
| Abattoirs | - Nombre et poids moyen des animaux abattus - Quotité des déchets par espèce |
| Industrie laitière | - Quantité produite - 0,2 kg de déchets (ou bien d'eaux usées) sur un kilogramme de quantité produite |
| Marché de gros | - Quantité des déchets collectés au niveau du marché |
| Traitement de fruits et de légumes | - Quantité produite - 0,2 kg de déchets par kg de production |
| Industrie d'olives | - Production d'olives / Capacité de trituration - Quantité des matières résiduels solides ("grignons"): 660 kg/t d'olive traité (valeur moyenne) - Quantité des matières résiduels liquides ("margines"): 529 l/t d'olive traité (valeur moyenne) |
| Pêche | - Capacité de production des entreprises de ce secteur - 30% des volumes traités représentent des résidus |
| Tourisme | - Production des déchets par nuitée [1 kg/nuitée] |

Une description détaillée des méthodes de calcul est présentée dans les chapitres respectifs.

5.3.3 Potentiels

5.3.3.1 Déchets ménagers

Comme expliqué dans le chapitre 5.3, la quantité moyenne de déchets produite par habitant et par jour dans les zones urbaines se situe autour de 0,74 kg; dans les zones rurales celle-ci est de 0,3-0,4 kg par habitant et par jour. Mais il faut aussi prendre en compte le fait que les quantités données comprennent aussi les déchets des petites industries et du secteur touristique.¹²³ Dans le cadre de l'analyse de potentiels, ces différents secteurs seront analysés et évalués séparément.

Pour le calcul du potentiel des déchets ménagers, on évaluera la quantité de déchets produite à 0,75 kg par habitant et par jour (zone urbaine) et à 0,35 kg par habitant et par jour (zone rurale) en raison de l'augmentation continue de la quantité de déchets produite par les ménages. Des fluctuations saisonnières ne seront pas considérées dans le calcul des potentiels.

La part moyenne de matière organique représente 60-70% de la totalité.¹²⁴ Les analyses de déchets à Oujda et Taourirt (voir partie 5.3), qui présentent une part organique de plus de 70%, confirment ces données. Selon les témoignages des experts, la totalité de la fraction organique est fermentescible, car la partie herbe coupée (organique semblable au bois) est en général éliminée séparément, valorisée énergétiquement ou non pesée sur le site de la décharge et est donc répertoriée séparément. Pour le calcul, des valeurs conservatrices sont utilisées: pour les lieux urbains, une fraction de 50% de matériel organique fermentescible sera stipulée et 60% pour les zones rurales.

Dans les domaines de la région de l'Oriental qui disposent d'un système de collecte, la collecte de déchets se fait de manière journalière. Tandis que dans les villes d'Oujda et Berkane une collecte presque complète des déchets urbains est effectuée, le quota de collecte dans les autres régions est

¹²³ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda; Monsieur Mokhtari, Province de Berkane, Oujda, 26.10.2010

¹²⁴ Interview d'expert, Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda; Monsieur Mokhtari, Province de Berkane, Oujda, 26.10.2010

plus faible. Pour le calcul des potentiels techniques, il peut être considéré qu'il s'effectue en moyenne une collecte de 90% en zone urbaine et 50% en zone rurale sur le moyen terme.

Le Tableau 25 montre par la suite le calcul des quantités organiques théoriques basé sur l'estimation du nombre d'habitants pour l'année 2010.

Tableau 25: Calcul des quantités de déchets

| Province | Population (2010, estimé) | | Production des déchets ménagers [kg/hab/j] | | Production des déchets ménagers [t/a] | | Taux des déchets organiques fermentescibles [t/a] | | Production des déchets ménagers organiques fermentescibles [t/a] | |
|-------------|---------------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|---------|---|-------|--|--------|
| | urbain | rural | urbain | rural | urbain | rural | urbain | rural | urbain | rural |
| Berkane | 171.545 | 125.444 | 0,75 | 0,35 | 46.960 | 16.026 | 50% | 60% | 23.480 | 9.615 |
| Figuig | 69.388 | 72.807 | 0,75 | 0,35 | 18.995 | 9.301 | 50% | 60% | 9.497 | 5.581 |
| Jerada | 71.202 | 45.077 | 0,75 | 0,35 | 19.492 | 5.759 | 50% | 60% | 9.746 | 3.455 |
| Nador | 405.504 | 394.991 | 0,75 | 0,35 | 111.007 | 50.460 | 50% | 60% | 55.503 | 30.276 |
| Oujda-Angad | 451.324 | 72.830 | 0,75 | 0,35 | 123.550 | 9.304 | 50% | 60% | 61.775 | 5.582 |
| Taourirt | 131.100 | 96.054 | 0,75 | 0,35 | 35.889 | 12.271 | 50% | 60% | 17.944 | 7.363 |
| Total | 1.300.063 | 807.202 | | | 355.892 | 103.120 | | | 177.946 | 61.872 |

Au total, 177.946 tonnes/an de déchets ménagers organiques fermentescibles peuvent être comptées dans les zones urbaines et 61.872 tonnes/an pour les zones rurales, sachant que les quantités totales les plus élevées sont atteintes dans la province de Nador.

Le Tableau 26 montre le calcul des potentiels énergétiques dans le secteur des déchets. Pour en finir avec les quantités totales de déchets organiques ménagers, le potentiel énergétique théorique sera présenté avec un rendement de biogaz de 100 m³ par tonne de matière fraîche, soit une valeur calorifique de 6 kWh/m³ de biogaz. Les deux dernières colonnes montrent le potentiel énergétique technique estimé d'après les données sur les déchets disponibles à moyen terme à savoir 90% dans les zones urbaines et 50% dans les zones rurales.

Tableau 26: Potentiel théorique et technique du secteur des déchets

| Province | Production des déchets ménagers organiques fermentescibles [t/a] | | Potentiel énergétique théorique [MWh/a] | | Potentiel énergétique technique [MWh/a] | | Potentiel énergétique technique [tep/a] | |
|-------------|--|--------|---|--------|---|--------|---|-------|
| | urbain | rural | urbain | rural | urbain | rural | urbain | rural |
| Berkane | 23.480 | 9.615 | 14.088 | 5.769 | 12.679 | 2.885 | 1.093 | 249 |
| Figuig | 9.497 | 5.581 | 5.698 | 3.348 | 5.129 | 1.674 | 442 | 144 |
| Jerada | 9.746 | 3.455 | 5.847 | 2.073 | 5.263 | 1.037 | 454 | 89 |
| Nador | 55.503 | 30.276 | 33.302 | 18.166 | 29.972 | 9.083 | 2.584 | 783 |
| Oujda-Angad | 61.775 | 5.582 | 37.065 | 3.349 | 33.358 | 1.675 | 2.876 | 144 |
| Taourirt | 17.944 | 7.363 | 10.767 | 4.418 | 9.690 | 2.209 | 835 | 190 |
| Total | 177.946 | 61.872 | 106.768 | 37.123 | 96.091 | 18.562 | 8.284 | 1.600 |

Le potentiel énergétique technique pour la région de l'Oriental dans le domaine des déchets ménagers se situe autour de 114.653 MWh/a dont 96.091 MWh/a provenant des zones urbaines et 18.562 MWh/a provenant des zones rurales.

5.3.3.2 Commerce & Industrie

Pour le calcul des potentiels dans le domaine commerce et industrie, les secteurs suivants seront pris en compte:

- Abattoirs
- Industrie laitière
- Transformation d'olives
- Secteur de la pêche
- Transformation de fruits et légumes
- Marchés de gros

Les analyses se basent sur des statistiques ainsi que sur les visites évoquées dans la partie 5.3.1. Dans le futur, de nouvelles possibilités pour une utilisation centrale des restes de l'agriculture et déchets de production pourront se mettre en place grâce au développement du pôle agro-industriel de Berkane qui comptera des exploitations industrielles (transformation, commercialisation et distribution) mais aussi un centre de logistique et prestation de services. Le volume d'investissements du pôle agro-industriel est de 1,25 milliards de Dirham, 5.000 nouveaux emplois doivent aussi être créés dans le futur. Dans le cadre de cette étude, ces potentiels ne sont pas évoqués en raison du manque de données disponibles.

5.3.3.2.1 Abattoirs

Vaches, moutons, chèvres, chevaux et chameaux („viandes rouges“) peuvent être abattus dans les abattoirs communaux de la région de l'Oriental présents dans chaque province et dans la préfecture d'Oujda. A Oujda, il y a aussi un abattoir pour la volaille (KPCD).

Les déchets des abattoirs marocains se composent surtout de sang, d'une partie des abats, des panse et contenus des intestins et une partie des peaux. Les quantités de déchets osseux et graisses sont assez faibles car le bétail de boucherie est vendu avec les os et très largement non dépecé.¹²⁵ Les déchets liquides produits seront pour une grande partie éliminés dans les canalisations. La plus grande partie des matières solides sera collectée et envoyée sur la décharge, une partie finira dans les canalisations comme le montre la Figure 31.



Figure 31: Elimination des déchets d'abattoirs liquides et solides dans l'abattoir communal d'Oujda.

Le tableau suivant montre le nombre d'animaux abattus dans les abattoirs communaux/contrôlés de la région de l'Oriental ainsi que la quantité de volaille abattu dans l'abattoir KPCD à Oujda (1.000 unités par jour = ca. 220.000 unités par an).

¹²⁵ D'après les opinions d'experts aussi au niveau des boucheries pas de grandes quantités de déchets sont produites comme les os et les matières grasses sont utilisés pour cuisiner.

Tableau 27: Nombre d'animaux abattus (2007)¹²⁶

| | Bovins | Ovins | Caprins | Camelins | Volaille |
|--------------------|---------------|----------------|---------------|-----------|----------------|
| Berkane | 188 | 4.950 | 11.891 | | |
| Figuig | 601 | 8.255 | 4.952 | 10 | |
| Jerada | 691 | 27.566 | 28.568 | | |
| Oujda-Angad | 8.337 | 201.238 | 9.988 | | 220.000 |
| Nador | 15.917 | 55.524 | 11.329 | | |
| Taourirt | 232 | 4.950 | 11.891 | | |
| TOTAL | 25.966 | 302.483 | 78.619 | 10 | 220.000 |

Les discussions avec des experts évoquèrent les variations saisonnières des quantités d'abattages, car la demande en viande est étroitement liée aux jours fériés musulmans.

Le poids moyen des animaux abattus à l'abattoir d'Oujda est de 380 kg par vache (le poids des vaches peut varier entre 200-500 kg), 14 kg par mouton, 11 kg par chèvre et 140 kg par chameau. L'abattoir de volailles KPCD à Oujda donne un poids vif de 2 kg par poulet. Ces valeurs seront prises en considération pour le calcul des potentiels. Les déchets d'abattoirs représentent environ 14% du corps de l'animal chez les ruminants¹²⁷ et 30% pour la volaille¹²⁸. Le Tableau 28 montre les parts et les quantités (potentiel théorique).

Tableau 28: Quantité de déchets des abattoirs (2008, en tonnes)

| | Bovins | Ovins | Caprins | Camelins | Volaille | Total |
|--------------------|--------------|------------|------------|----------|------------|--------------|
| Poids moyen [kg] | 380 | 14 | 11 | 140 | 2 | |
| Matières résiduel | 14% | 14% | 14% | 14% | 30% | |
| Berkane | 10 | 10 | 18 | 0 | 0 | 38 |
| Figuig | 32 | 16 | 8 | 0 | 0 | 56 |
| Jerada | 37 | 54 | 44 | 0 | 0 | 135 |
| Oujda-Angad | 444 | 394 | 15 | 0 | 132 | 985 |
| Nador | 847 | 109 | 17 | 0 | 0 | 973 |
| Taourirt | 12 | 10 | 18 | 0 | 0 | 40 |
| TOTAL | 1.381 | 593 | 121 | 0 | 132 | 2.228 |

Les déchets d'abattoirs (contenu de la panse, farine animale, graisse animale, parties des corps d'animaux restantes) créent des rendements de biogaz relativement élevés. Pour le calcul des potentiels théoriques en biogaz provenant des abattoirs, on considérera un rendement de 700m³/t MoS (15% MS, 85% MoS)¹²⁹. Ensuite donné que les déchets d'abattoirs listés ici, représentent ceux produits par les abattoirs municipaux („abattage contrôlé“), on peut estimer que 90% des déchets des abattoirs peuvent être saisie par un système de collecte. Le résultat montre les potentiels énergétiques suivants:

¹²⁶ Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda : Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 3, 2008 & Expertengespräch, Monsieur Beraja, Geflügelschlachthof KPCD, Oujda, 25.10.2010

¹²⁷ Hösel, Bilitewski, Schenkel, Schnurer: Müllhandbuch ESV Verlag, Kapitel 5021

¹²⁸ Interview d'expert, Abattoir de volaille KPCD, Monsieur Beraja, Oujda, 25.10.2010

¹²⁹ Cp. Agrin: Erneuerbare Energien

Tableau 29: Potentiel énergétique des abattoirs

| Déchets des abattoirs | Matière sèche (MS) | Matière organique sèche (MOS) | Rendement de biogaz | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique | |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|
| | [t/a] | [t/a] | [t/a] | [m³/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 38 | 6 | 5 | 3.393 | 20 | 18 | 2 |
| Figuig | 56 | 8 | 7 | 4.996 | 30 | 27 | 2 |
| Jerada | 135 | 20 | 17 | 12.030 | 72 | 65 | 6 |
| Oujda-Angad | 985 | 148 | 126 | 87.941 | 528 | 475 | 41 |
| Nador | 973 | 146 | 124 | 86.845 | 521 | 469 | 40 |
| Taourirt | 40 | 6 | 5 | 3.602 | 22 | 19 | 2 |
| TOTAL | 2.228 | 334 | 284 | 198.807 | 1.193 | 1.074 | 93 |

Malgré les rendements spécifiques en biogaz plutôt intéressants des déchets d'abattoirs, le potentiel technique d'énergie présenté ici, est dans l'ensemble faible: 1.074 MWh/a (selon des chiffres de 2007). Les résidus de ce secteur peuvent dans le meilleur des cas être utilisés pour des installations de biogaz en tant que co-produit pour la fermentation.

En plus, il faut mentionner que les chiffres actuels de l'abattoir d'Oujda (quantités d'animaux abattus en 2010: 11.000 vaches, 240.000 moutons, 2.800 chèvres et 230 chevaux) indiquent que le secteur croît rapidement et que des potentiels énergétiques plus intéressants sont à prévoir.

5.3.3.2.2 Industrie laitière

Dans la région de l'Oriental, on trouve trois fabriques de lait: la Coopérative Laitière du Maroc Oriental (COLAIMO) à Oujda, la fabrique Mon Lait à Berkane et la fabrique de lait Oued Za à Taourirt.

La fabrique de lait COLAIMO est l'exploitation de transformation laitière la plus grande de la région. A côté du lait, différentes sortes de yaourts, yaourts à boire, beurre et lait fermenté sont produits. La capacité de production se situe autour de 150.000 litres par jour et doit être augmentée à 200.000 litres/jour avant 2012.¹³⁰ Selon une statistique de l'ORMVAM en 2009, 18,8 millions de litres de lait produit sur le secteur d'ORMVAM étaient transformés.¹³¹ Les restes de production, les produits périmés ou invendus sont pour le moment déchargés dans les canalisations de la ville avec les eaux usées de l'entreprise.

La fabrique de lait Mon Lait de Berkane produit différents produits de lait à boire et beurre. La capacité de production est de 24.000 litres par jour, cependant la production est de 20.000 litres par jour en période de ramadan. Sur le reste de l'année, elle s'élève à environ 5000 litres par jour. D'après les données d'ORMVAM, une quantité de 2,9 millions de litres est transformée.¹³² La totalité des déchets de production est liquide et sera éliminée par le biais des canalisations de la ville.¹³³

La fabrique Oued Za à Taourirt n'est pas prise en compte dans l'inventaire des données pour ce projet. Cependant, l'ORMVAM parle d'une transformation d'environ 1,7 millions de litres de lait par jour.

¹³⁰ Interview d'expert, Madame Hallou, Responsable Hygiène, COLAIMO, Oujda, 2.6.2010

¹³¹ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Fekkoul, Production agricole, Elevage, 2010

¹³² Message écrit, ORMVAM, Monsieur Fekkoul, Production agricole, Elevage, 2010

¹³³ Interview d'expert, Laiterie Mon Lait, Berkane, 28.10.2010

Le tableau suivant présente les potentiels techniques dans le domaine de la transformation laitière. On part du principe qu'une quantité de déchets et eaux usées de 0,2 kg/kg de matière produite¹³⁴ est générée et que les déchets de ce secteur seront disponibles à 100% pour une valorisation. Un rendement biogaz (valeur basse) de 34,5 m³/t MF (rendement biogaz de lactosérum, frais, 5% MS) sera considéré.¹³⁵

Tableau 30: Potentiel énergétique, industrie laitière

| Province | Volume de production | Quantité de déchets | Rendement en biogaz | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique |
|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | t/a | t/a | m ³ /a | MWh/a | tep/a |
| Berkane (Mon Lait) | 2.920 | 584 | 20.148 | 121 | 10 |
| Figuig | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jerada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nador | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oujda-Angad (COLAIMO) | 18.792 | 3.758 | 129.665 | 778 | 67 |
| Taourirt (Oued Za) | 1.700 | 340 | 11.730 | 70 | 6 |
| Total | 23.412 | 4.682 | 161.543 | 969 | 84 |

Au total un potentiel technique énergétique de 969 MWh/a est évalué mais il faut faire attention au fait que dans ce secteur les quantités de productions fluctuent (la plus haute capacité de production a lieu pendant le ramadan). En plus, la composition des déchets liquides n'est pas encore exactement définie.

En général la production de déchets, surtout les déchets solides, est plutôt faible dans ce secteur industriel. Les déchets du secteur sont caractérisés par une teneur en matière sèche très basse (p.ex. lactosérum ca. 5%¹³⁶) et disposent ainsi des potentiels énergétiques minimes. Dans ce sens et en dehors du point de vue énergétique, une valorisation de la matière dans une installation de biogaz n'est complètement justifiable d'un point de vue économique que si le concept de traitement des eaux usées avec des frais de traitement de ces eaux usées est mis en place.

¹³⁴ Umweltbundesamt: Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie, 2005

¹³⁵ En comparaison, le rendement de biogaz du lait s'élève à 111 m³/t MF, celui du fromage blanc est de 140 m³/t FM (source: KTBL Biogasrechner – calculateur de rendement de biogaz).

¹³⁶ KTBL Biogasrechner - calculateur de rendement de biogaz

5.3.3.2.3 Transformation de l'olive

La culture de l'olive a une importance relativement particulière au Maroc en raison de son potentiel de création de valeur ajoutée. Dans la région de l'Oriental, cette culture ainsi que sa transformation ont un rôle important même si dans cette région, la filière reste encore artisanale et faiblement organisée. L'extraction de l'huile d'olive s'effectue généralement par des méthodes traditionnelles qui peuvent compromettre sa qualité.¹³⁷ Quand même la valeur brute annuelle moyenne s'élève à près de 42 MDH (15% de la valeur brute de la production végétale au niveau de l'Oriental). Elle procure aussi 3 millions de journées de travail.¹³⁸

Le centre de la culture d'oliviers se situe dans les provinces de Berkane, Taourirt, Oujda et Nador. Les cultures d'oliviers représentent environ 60.000 ha, dont 80.000 tonnes d'olives sont récoltées dans une année normale. Dans le cadre du Plan Vert, la culture d'oliviers doit être agrandie à 119.000 ha avant 2020, c'est à dire le double de la surface actuelle. Les rendements doivent augmenter de 2,5 fois la quantité actuelle (202.000 tonnes) exigeant une intensification et une amélioration des cultures. Afin d'atteindre ces objectifs, des moyens concrets ont déjà été mis en place. Par exemple, la direction régionale de l'agriculture de l'Oriental a procédé à la distribution de 580.000 plants d'olivier durant la campagne agricole en cours (2010-2011). Aussi, la modernisation des outils de transformation et d'amélioration de la qualité de l'huile d'olive à travers la création de 53 nouvelles unités de trituration répondant aux normes internationales est prévue.¹³⁹

La transformation des olives dans la région de l'Oriental comprend la conservation des olives ainsi que la production d'huile d'olive. Dans le cadre de la conservation des olives, les résidus solides produits sont des noyaux (20-30% du poids) et de l'eau salée pour ce qui est des déchets liquides. Les noyaux sont actuellement majoritairement vendus en tant que combustible à des ménages, hammams, briqueteries et huileries pour l'extraction de l'huile (huile de grignon d'olive) pour un prix de 0,15-0,4 DH/kg.¹⁴⁰ Puisque ces résidus sont déjà valorisés, ils ne seront pas considérés dans cette analyse des potentiels.

Dans la région de l'Oriental, plus de 60% de la production d'olives est utilisée pour l'extraction de l'huile.¹⁴¹ L'extraction de l'huile se passe soit par un pressage traditionnel, par une extraction chimique ou par une extraction mécanique. Concernant l'extraction mécanique, on peut distinguer un procédé en deux phases et un procédé en trois phases. Dans la région de l'Oriental la plupart des huileries utilisent encore le procédé traditionnel. Les autres huileries utilisent l'extraction mécanique en deux ou trois phases.¹⁴²

Lors de l'extraction de l'huile, deux différents groupes de résidus sont produits: la phase solide (« grignons » : fragments de noyaux, pulpe, peau) qui apparaît lors de la séparation entre la phase liquide et la phase solide et dont une partie peut être transformée pour la production d'huile de grignon ou brûlée. L'autre phase est l'eau résiduelle (« margines »: eau de fruit, eau du procédé) qui apparaît lors de la séparation entre la partie eau et la partie huile.

¹³⁷ Oujda 24 : Caractérisation d'huiles d'olive au niveau du Maroc Oriental

¹³⁸ Aujourd'hui – Le Maroc : Oriental : Bilan oléicole satisfaisant, 2010

¹³⁹ Aujourd'hui – Le Maroc : Oriental : Bilan oléicole satisfaisant, 2010

¹⁴⁰ Triffa Conserve : Quantité de déchets : 200 t/a de noyaux, vendu aux briqueteries ou aux unités d'extraction des huiles ; résidus liquides vers les égouts ; 15 t/a de feuillages utilisés par les agriculteurs comme alimentation de bétail. Bled Conserves : Quantité de déchets : 40 t/mois de noyaux d'olives, vendu à un prix de 0,20 à 0,40 DH/kg pour fabriquer des huiles de grignons à Marrakech.

¹⁴¹ Aujourd'hui – Le Maroc : Oriental : Bilan oléicole satisfaisant, 2010

¹⁴² Pendant la collecte de données aucune information sur l'application du procédé d'extraction chimique dans la région de l'Oriental n'a été obtenue.

Le tableau suivant représente le rendement moyen en huile et en matières résiduels (solides et liquides) pour les trois procédés de production.

Tableau 31: Rendement en huile et quantités de résidus des différents procédés d'extraction d'huile d'olive^{143 144}

| | Huile | Grignons | Margines | MS grignons |
|--------------------------|------------|---------------|--------------|-------------|
| | l/t | kg/t d'olives | l/t d'olives | % |
| Extraction par pr | 160 | 650,0 | 650,0 | 45% |
| Extraction avec c | 180 | 575,0 | 36,0 | 40% |
| Extraction avec c | 180 | 755,0 | 900,0 | 45% |
| Moyenne | 173 | 660 | 529 | 43% |

* Quantité grignons et MS grignons représentent des valeurs estimées

Les deux groupes de résidus présentent des matières polluantes¹⁴⁵ avec une valeur monétaire faible, mais une valeur énergétique intéressante (forte quantité de matière organique) ce qui confère des avantages à une utilisation ultérieure. Les résidus ont une importante part de lipides, glucides, fibres cellulosaques et lignine et ont de ce fait une forte valeur énergétique/calorifique.¹⁴⁶

Les images suivantes montrent les résidus solides (grignons) et liquides (margines) d'une huilerie à Nador.



Figure 32: Résidus liquides et solides de la production d'huile d'olive

En raison du fait que lors de la production d'huile d'olive une grande quantité des quantités transformées sont des résidus, cela engendre des quantités importantes de déchets solides et riches énergétiquement ainsi que des eaux résiduelles avec une proportion organique forte dont aucune technique mûre de recyclage n'a encore été établie. Cependant, il y a actuellement de nombreux projets de recherche sur l'utilisation énergétique du marc d'olives¹⁴⁷ et sur le traitement des eaux résiduelles générées lors de la production d'huile d'olive.

Dans les calculs de potentiels suivants, la valorisation énergétique des résidus d'olives par fermentation sera examinée, mais il faut tout de même préciser qu'une préparation pour la chimie

¹⁴³ D'après les informations de l'ORMVAM, le taux d'extraction moyen à l'Oriental oscille entre 16 à 18% pour les unités traditionnelles et entre 18 à 20% pour les unités modernes (<http://www.aujourd'hui.ma/regions-details76916.html>).

¹⁴⁴ MADRPM/DERD: Technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité, 2006

¹⁴⁵ Feste und flüssige Rückstände aus der Olivenölproduktion können erhebliche Umweltprobleme verursachen, da sie über hohe organische Frachten, ein hohes C/N Verhältnis (chemischer Sauerstoffbedarf von bis zu 200 g l⁻¹), einen pH-Wert zwischen 4 und 6, schwer abbaubare organische Verbindungen sowie über einen hohen Anteil an Phenolen verfügen und zudem nur saisonal anfallen.

¹⁴⁶ Technologie Transfer Zentrum Bremerhaven: Biogas stärkt Olivenbauern, 2009

¹⁴⁷ Voir par exemple : <http://www.ttz-bremerhaven.de/en/main-research-interests/environment/research-projects/245-resolve.html>

fine et une utilisation des résidus dans l'industrie pharmaceutique sont possibles et judicieuse si l'on considère l'aspect de création de valeur ajoutée.

Le tableau suivant montre les quantités de production et de trituration d'huile d'olive dans la région de l'Oriental. Le calcul du potentiel théorique se base sur les rendements observés dans la production d'olives de la période de récolte 2006/2007. Il est supposé que 60% de la production est utilisée pour l'extraction d'huile d'olive.¹⁴⁸

Tableau 32: Production d'olive et capacité de trituration dans la région de l'Oriental (campagne 2006/2007)¹⁴⁹

| Production d'olives (DPA) | Production d'olives (ORMVAM & ORMVAT) | Production d'olives (TOTAL) | Production d'olives (TOTAL) | Olives pour production d'huile | Capacité de trituration (unités modernes) |
|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| | | | | | [t/a] |
| Berkane | 5.050 | 46.940 | 51.990 | 5.199 | 3.119 |
| Figuig | 1.173 | 3.590 | 4.763 | 476 | 286 |
| Jerada | 47.460 | | 47.460 | 4.746 | 2.848 |
| Oujda-Angad | 28.050 | | 28.050 | 2.805 | 1.683 |
| Nador | 300.320 | 139.610 | 439.930 | 43.993 | 26.396 |
| Taourirt | 14.124 | 133.720 | 147.844 | 14.784 | 8.871 |
| TOTAL | 396.177 | 323.860 | 720.037 | 72.004 | 43.202 |
| | | | | | 17.600 |

Le calcul des quantités de résidus solides et liquides se base sur les indicateurs donnés dans le Tableau 31. Comme pendant la collecte de données on n'a pas pu identifier quel est la répartition entre les trois procédés dans la région, une valeur moyenne pour les quantités de matières résiduelles et pour le taux de matière sèche des « grignons » était calculée.

Pour le calcul des potentiels énergétiques provenant des déchets solides un rendement de méthane 180 m³/t de matière résiduel (100% MS) est supposé.¹⁵⁰ Le rendement de méthane des déchets liquides se situe autour de 57 m³/m³ d'eau résiduelle selon les données d'une étude turque.¹⁵¹ Tableau 33 et Tableau 34 montrent d'abord les potentiels théoriques pour les résidus liquides et solides.

Tableau 33: Potentiels théoriques de la production d'huile d'olive (résidus liquides – „margines“)

| Olives pour production d'huile | Résidus liquides | Rendement de méthane | Potentiel énergétique théorique | | |
|--------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|----------|
| | | [t/a] | [m ³ /a] | [m ³ /a] | [MW/h/a] |
| Berkane | 3.119 | 1.649 | 94.000 | 940 | |
| Figuig | 286 | 151 | 8.612 | 86 | |
| Jerada | 2.848 | 1.505 | 85.810 | 858 | |
| Oujda-Angad | 1.683 | 890 | 50.716 | 507 | |
| Nador | 26.396 | 13.955 | 795.411 | 7.954 | |
| Taourirt | 8.871 | 4.690 | 267.308 | 2.673 | |
| TOTAL | 43.202 | 22.840 | 1.301.856 | 13.019 | |

¹⁴⁸ Aujourd'hui – Le Maroc : Oriental : Bilan oléicole satisfaisant, 2010

¹⁴⁹ Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda : Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 3, 2008

¹⁵⁰ Lyberatos, G.; Antonopoulou, G.; Koutrouli, E., Kalfas, H.; Gaval, H.; and Skiadas, I. (University of Patras, Chemical Engineering): Gaseous Biofuels Production from Sweet Sorghum and and Olive Pulp, Patras, Greece

¹⁵¹ Ergüder, T.H., et al, Department of Environmental Engineering, Middle East Technical University: Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors, Ankara, Turkey, 2000

Tableau 34: Potentiels théoriques de la production d'huile d'olive (résidus solides – „grignons“)

| | Olives pour production d'huile | Résidus solides (100% MS) | Rendement de méthane | Potentiel énergétique théorique |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|
| | [t/a] | [t/a] | [m³/a] | [MWh/a] |
| Berkane | 3.119 | 892 | 160.587 | 1.606 |
| Figuig | 286 | 82 | 14.712 | 147 |
| Jerada | 2.848 | 814 | 146.594 | 1.466 |
| Oujda-Angad | 1.683 | 481 | 86.641 | 866 |
| Nador | 26.396 | 7.549 | 1.358.856 | 13.589 |
| Taourirt | 8.871 | 2.537 | 456.661 | 4.567 |
| TOTAL | 43.202 | 12.356 | 2.224.050 | 22.241 |

Les potentiels théoriques des résidus du traitement d'olives s'élèvent à 35.260 MWh/a, 13.019 MWh/a résultent de la fermentation des résidus liquides, 22.441 MWh/a de la valorisation des résidus solides.

Pour le calcul des potentiels techniques, on part du fait que les résidus de 80% de la quantité des olives utilisées pour la production d'huile d'olive peuvent être saisies et valorisés. Le Tableau 35 et le Tableau 36 montrent les potentiels techniques pour les résidus liquides et solides.

Tableau 35: Potentiels techniques de la production d'huile d'olive (résidus liquides – „margines“)

| | Olives pour production d'huile | Résidus liquides | Rendement de méthane | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique |
|--------------------|--------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | [t/a] | [m³/a] | [m³/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 2.496 | 1.319 | 75.200 | 752 | 65 |
| Figuig | 229 | 121 | 6.889 | 69 | 6 |
| Jerada | 2.278 | 1.204 | 68.648 | 686 | 59 |
| Oujda-Angad | 1.346 | 712 | 40.572 | 406 | 35 |
| Nador | 21.117 | 11.164 | 636.329 | 6.363 | 549 |
| Taourirt | 7.097 | 3.752 | 213.846 | 2.138 | 184 |
| TOTAL | 34.562 | 18.272 | 1.041.485 | 10.415 | 898 |

Tableau 36: Potentiels techniques de la production d'huile d'olive (résidus solides – „grignons“)

| | Olives pour production d'huile | Résidus solides (100% MS) | Rendement de méthane | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | [t/a] | [t/a] | [m³/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 2.496 | 714 | 128.469 | 1.285 | 111 |
| Figuig | 229 | 65 | 11.770 | 118 | 10 |
| Jerada | 2.278 | 652 | 117.276 | 1.173 | 101 |
| Oujda-Angad | 1.346 | 385 | 69.313 | 693 | 60 |
| Nador | 21.117 | 6.039 | 1.087.085 | 10.871 | 937 |
| Taourirt | 7.097 | 2.030 | 365.328 | 3.653 | 315 |
| TOTAL | 34.562 | 9.885 | 1.779.240 | 17.792 | 1.534 |

Les tableaux montrent que le domaine de la production d'huile d'olive crée un potentiel énergétique important. Les potentiels techniques s'élèvent à 10.415 MWh/a pour les résidus liquides et à 17.792 MWh/a pour les résidus solides.

Considérant l'augmentation de la production de ce secteur annoncée dans le Plan Vert, les possibilités de valorisation devront être considérées plus en détails. L'utilisation des résidus permet non seulement la production d'énergie renouvelable mais aussi d'éviter l'introduction des eaux

résiduelles dans les eaux environnantes ou du moins de favoriser leur diminution. Grâce à la digestion ou co-digestion des eaux usées, la demande chimique en oxygène (DCO) est considérablement diminuée. En plus, les charges polluantes des stations d'épuration existantes et en cours de planification seront diminués et le procédé de traitement serait optimisé.

En plus, les études scientifiques montrent que le rendement de biogaz de la fermentation des résidus d'olives peut être augmenté s'ils sont fermentés en combinaison avec d'autres matières résiduelles (p.ex. déchets ménagers organiques, lisier). En vue de la survenance discontinue des résidus de la production d'huile d'olive, la co-fermentation représente un aspect important.

5.3.3.2.4 Le secteur de la pêche

Par l'accès à la mer Méditerranée, le secteur de la pêche joue un rôle important pour la région de l'Oriental. Les entreprises de pêche de la région offrent environ 4.000 emplois de pêcheurs et représentent ainsi la première place au niveau national. Les trois ports importants de la région sont les ports de Beni Ansar, Ras Kebdana et Sidi Hsaine dans la province Nador. Grâce à l'augmentation de la production dans le port de Beni Ansar, le développement de l'aquaculture à Nador (62% de la production nationale), la modernisation de la flotte de pêche et l'industrie de transformation; les zones côtières de pêches ont connu ces dernières années un développement sans précédent. Malgré qu'une grande partie de la production soit consommée localement ou vendue dans des exploitations en vrac, l'industrie locale de transformation est en expansion.¹⁵² La transformation du poisson est constituée de la conserverie (salage), de la congélation ou de la décortication du poisson et a lieu principalement à Nador. Les tableaux suivants montrent des quantités de pêches de la région de l'Oriental en 2008 par port et par type de poisson ainsi que les quotas export par type de poisson et port.

Tableau 37: Quantités de pêches par port (2008)¹⁵³

| Production par port de pêche (2008) | | |
|-------------------------------------|---------------|--------------|
| | t/a | Mio. DH/a |
| Beni Nsar | 11.598 | 116,7 |
| Ras Kebdana | 1.593 | 8,6 |
| Sidi Hsaine | 578 | 3,4 |
| Total | 13.769 | 128,7 |

Tableau 38: Quantités de poisson par type (2008)¹⁵⁴

| Production par espèce (2008) | | |
|------------------------------|---------------|--------------|
| | t/a | Mio. DH/a |
| Poisson pélagique | 7.772 | 42,3 |
| Poisson blanc | 4.048 | 39,1 |
| Crustacés | 369 | 23,0 |
| Céphalopodes | 1.579 | 24,2 |
| Total | 13.768 | 128,6 |

¹⁵² Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental

¹⁵³ CCIS Oujda : Monographie de la Région Oriental, 2009

¹⁵⁴ CCIS Oujda : Monographie de la Région Oriental, 2009

Tableau 39: Destination de la production (2008)¹⁵⁵

| | Beni Ansar | | Ras Kabdana | | Sidi Hsaine | |
|-------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | Marché local | Export | Marché local | Export | Marché local | Export |
| Poisson pélagique | 60% | 40% | 80% | 20% | 95% | 5% |
| Poisson blanc | 30% | 70% | 80% | 20% | 80% | 20% |
| Crustacés | 25% | 75% | 0% | 0% | 5% | 95% |
| Céphalopodes | 20% | 80% | 5% | 95% | 5% | 95% |

Pour le calcul du potentiel théorique de biogaz pour le secteur de pêche, on ne considérera pas les quantités pêchées car une grande partie de cette prise est directement vendue aux hôtels, restaurants et ménages et fait donc partie des ordures ménagères. De plus, dans les ports de Beni Ansar, Ras Kebdana et Sidi Hsaine; du poisson en provenance d'autres régions du Maroc mais aussi d'Europe sera transformé. Afin d'évaluer le potentiel en biogaz, seule les quantités de production/déchets de l'industrie de transformation seront considérées. Le potentiel se base sur les capacités de production des entreprises.

Tableau 40 montre la transformation du poisson dans la région de l'Oriental avec ces capacités de production respectives. Presque toutes les entreprises de transformation se trouvent à Nador, trois entreprises du secteur se trouvent à Oujda et une à Taourirt et Berkane.

Tableau 40: Entreprises de l'industrie de la pêche¹⁵⁶

| Entreprise | Ville | Activité principale | Capacité total |
|---------------------------|----------|---|----------------|
| | | | t/a |
| AHIMEX | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 4.400 |
| CAPGEL | Berkane | Fumage de poissons | 1.980 |
| CONAL | Oujda | Semi-conserve de poisson | 7.260 |
| CONGELMAR | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 660 |
| CONOR | Taourirt | Semi-conserves de poissons | 14.960 |
| CONSERVERIE D'OUJDA | Oujda | Semi-conserves d'anchois et de sardines | 18.700 |
| COPRINCO | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 2.640 |
| CORBEX IMPORT -EXPORT | Nador | Conditionnement des produits de la pêche à l'état frais | 0 |
| HUILMAR | Nador | Décorticage de crevettes | 4.620 |
| IMBADEX | Nador | Conditionnement des produits de la pêche frais | 3.300 |
| MARISCO SERVISUR | Nador | Conditionnement des produits de la pêche à l'état frais | 1.540 |
| MER FRUIT | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 4.400 |
| PESCADOS LA COSTA DEL MAR | Nador | Conditionnement des produits de la pêche à l'état frais | 0 |
| PESCAM | | Conditionnement des produits de la pêche frais | 2.200 |
| PETIT MER | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 1.760 |
| RIFO FISH | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 440 |
| RESTINGA MAR | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 3.520 |
| SAMAK ANWAL | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche frais | 880 |
| SHRIMPALIDA | Oujda | Décorticage des crevettes | 2.200 |
| MOIB MARE | Nador | Conditionnement de l'anguille vivante | 880 |
| EL HAMMOUTI MOHAMED | Nador | Conditionnement des produits de la pêche à l'état frais | 2.640 |
| EL HAMMOUTI KHALID | Nador | Conditionnement des produits de la pêche à l'état frais | 2.640 |
| BOUHARROU Import- Export | Nador | Conditionnement des produits de la pêche à l'état frais | 880 |
| PESCA | Nador | Semi-conserve de poissons | 3.740 |
| MAROST | Nador | Conditionnement de poissons frais | 4.400 |
| SONOP | Nador | Congélation et conditionnement des produits de la pêche | 1.320 |
| Total | | | 91.960 |

Etant donné que dans le cadre de la collecte de données, les capacités de production des entreprises sont évaluées et non les quantités de production réelles, seule une capacité d'exploitation de 50% sera considérée pour le calcul des potentiels théoriques. Les recherches de l'Institut Supérieur des

¹⁵⁵ CCIS Oujda : Monographie de la Région Oriental, 2009

¹⁵⁶ Message écrit, Office National des Pêches, Nador, Mr. Selmani, Chef de Service Commercial PI, Délégation Régionale de Nador, Port de Beni-Ansar (Répertoire des industries de valorisation des produits de la mer dans la circonscription maritime de Nador, 2008)

Pêches Maritimes d'Agadir ont montré que dans l'industrie de transformation de la pêche, environ 30% des quantités transformées sont des déchets de production.¹⁵⁷ Pour l'évaluation du potentiel, un rendement en biogaz de 100m³/t MF¹⁵⁸ sera pris en compte. Afin de déterminer le potentiel technique, il sera considéré que 75% des résidus du secteur de transformation peuvent être utilisés sur moyen terme pour une valorisation énergétique.

Tableau 41: Potentiel énergétique du secteur de pêche

| Province | Capacité de production | Production estimé | Production des déchets | Rendement de biogaz | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique |
|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | [t/a] | [t/a] | [t/a] | [m ³ /a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 1.980 | 990 | 297 | 29.700 | 178 | 134 | 12 |
| Figuig | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jerada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nador | 44.660 | 22.330 | 6.699 | 669.900 | 4.019 | 3.015 | 260 |
| Oujda-Angad | 28.160 | 14.080 | 4.224 | 422.400 | 2.534 | 1.901 | 164 |
| Taourirt | 14.960 | 7.480 | 2.244 | 224.400 | 1.346 | 1.010 | 87 |
| Total | 89.760 | 44.880 | 13.464 | 1.346.400 | 8.078 | 6.059 | 522 |

Au total, un potentiel technique de 6.059 MWh/a peut être comptabilisé. Sachant que la qualité des résidus de l'industrie de la pêche peut varier fortement, il en est de même pour les valeurs/rendements biogaz évoqués ici qui doivent donc être considérés comme approximatives. Les rendements exacts de biogaz pour les déchets de la pêche sont à définir plus en profondeur dans des recherches ultérieures. De la même façon, cela influence le choix de la technologie de fermentation. En effet, la digestion est fortement dépendante de la qualité (teneur en matière sèche, teneur en sel) de la matière introduite.

5.3.3.2.5 Transformation de fruits et légumes

La région de l'Oriental est connue pour ses cultures de fruits et légumes, plus spécifiquement pour la production d'agrumes. La transformation de fruits et légumes a une importance subordonnée en raison de la prévalence de l'export. Tout de même la région dispose des certaines entreprises dans ce secteur („transformation et conservation des fruits et légumes“), par exemple d'une fabrique de sucre, d'un domaine viticole et aussi quelques entreprises conserveries de fruits.¹⁵⁹ Durant cette transformation, plusieurs types de déchets sont produits et sont actuellement le plus souvent réutilisées pour le fourrage des animaux. Dans la conserverie d'abricots par exemple, les noyaux qui sont retirés servent à des fins pharmaceutiques.¹⁶⁰ Dans les entreprises de conditionnement et emballage de fruits et légumes, les résidus sont pratiquement seulement constitués des fruits et feuilles gâtés qui seront éliminés à la décharge. Malgré l'importance de la culture de citrus, il n'existe pas d'entreprise de transformation des oranges (par ex: production de jus d'orange) dans la région de l'Oriental. Une source donne une capacité des stations de conditionnement de 105.000 tonnes par an¹⁶¹. Malheureusement cette source ne donne pas des informations sur la composition et la saisonnalité des déchets de ce secteur.

¹⁵⁷ Les quantités de résidus varient fortement selon les différents types de pêche et de transformation. Par exemple, l'entreprise Mer fruit à Nador, qui traite les poulpes, a indiqué que 5-7% de la quantité traité représente des déchets; l'entreprise Shrimpalida d'Oujda, qui traite les crevettes, a indiqué que 60% de la quantité traité représente des déchets.

¹⁵⁸ Seafish Industry Authority: Anaerobic digestion, 2005 (The quantity of biogas produced from fish waste varies 50-200 m³/tonne.)

¹⁵⁹ Z.B. Conserverie Safaa (conservation des olives et abricots), Bled Conserve (conservation des olives et abricots), Jabi Boujema, Conserverie Jawhara, Conserverie Fadoua

¹⁶⁰ Bled Conserve : 200 t/mois de noyaux d'abricot, vendu à un prix de 2 DH/kg pour une utilisation cosmétique à Fès.

¹⁶¹ Message écrit, ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

Par la suite, quelques entreprises de ce secteur seront décrites de façon exemplaire.

La station Kantari est une entreprise d'emballage d'oranges et clémentines de Berkane, qui est conforme aux standards HACCP, Nature Choice et BRC (British Control). Les capacités d'emballage sont de 17.000 tonnes de clémentines et 6.000 à 10.000 tonnes d'oranges par an. L'entreprise Kantari dispose elle-même de plus de 1000 ha de plantations d'oranges. En raison des périodes discontinues de récolte, l'entreprise travaille en système saisonnier (fermée en juillet, août et décembre). Pendant le procédé d'emballage, des déchets organiques sont produits sous la forme de feuilles et fruits gâtés. La quantité totale de déchets correspond environ à 1-5% des quantités de production soit environ 250-1.250 tonnes/an. Parce que les fruits sont stockés dans des entrepôts frigorifiques (deux appareils de réfrigération d'une capacité installée de 630 kW chacun, réfrigération à 4-8 °C), l'entreprise a des besoins en électricité très importants. En tout, les coûts pour l'approvisionnement en électricité s'élèvent à 200.000-300.000 DH/mois (pour les 2-3 mois de production de l'année).



Figure 33: Déchets de production dans l'entreprise d'emballage Kantari de Berkane

La Sucrerie Sucrafor existe depuis plus de 30 ans et transforme aujourd'hui environ 360.000 tonnes de betteraves sucrières par an, ceci correspond à une production annuelle de 50.000 tonnes de sucre. Lors du procédé de production, les résidus suivants (déjà valorisés pour la plus grande partie) sont produits:

- 5.500 tonnes de feuilles de betterave qui sont utilisées comme fourrage pour le bétail (vente à 1.250 DH par tonne),
- 18.500 t de pulpe sèche qui est pressée pour la production de pellets qui servent comme fourrage pour le bétail,
- 15.400 t de mélasse qui est utilisée pour la production de levure et d'alcool (vente à 1.200 DH par tonne),
- les déchets liquides qui sont stockés dans les bassins à côté de l'usine (un projet de valorisation est en cours) et
- les boues solides qui sont récupérées et utilisés comme carburant dans les briqueteries.

Les résidus de la production de sucre ont une teneur en énergie importante et se prêtent d'ailleurs bien à une production de biogaz.¹⁶² Cependant, ces restes apparaissent seulement lors du procédé de production de mai à août et sont donc majoritairement utilisés en tant que cosubstrats dans les utilisations de biogaz. La fabrique de sucre Sucrafor fournit son propre approvisionnement énergétique. A côté d'un générateur électrique d'une capacité installée de 4.200 kW, la raffinerie dispose aussi d'une chaudière dans laquelle la biomasse peut être brûlée, une chaudière au fioul et

¹⁶² Rendement de biogaz: feuilles de betterave, 18,1% MS = 83,9m³/t MF; feuilles de betterave (silage), 18% MS = 95 m³/t MF; Melasse, 4,6% MS = 23,5 m³/t MF (source: KTB Biogasrechner – calculateur de rendement de biogaz)

une chaudière de réserve. L'entreprise planifie actuellement l'utilisation d'alfa pour la production de chaleur.

La Coopérative Vinicole (VINICOOP) de Berkane transforme 64.000 tonnes de raisin de la province de Berkane. La production de vin annuelle se situe autour de 50.000 hectolitres. Les résidus existants lors de la production, seront vendus à des cultivateurs.

Dans le cadre de la collecte de données aucune liste des entreprises de ce secteur avec les capacités de production (ou bien quantités de production) n'était disponible. Aussi les données collectées sur place ne sont pas suffisantes pour faire une projection des potentiels de ce secteur. Pour l'identification des sites, qui disposent d'une haute concentration de résidus valorisables, d'autres visites sont indispensables. En plus, il faut mentionner que les valorisations matérielles existantes, qui ne causent pas de pollution (p.ex. utilisation des résidus de la production de sucré comme fourrage), ne devront pas être changé en faveur d'une utilisation énergétique.

5.3.3.2.6 Les marchés de gros

On dénombre dans la région de l'Oriental de nombreux marchés où des denrées alimentaires sont proposées. Les marchés de gros de la région pour l'approvisionnement en fruits, légumes et poisson se situent à ces différents endroits:

- Oujda
 - Marché de gros des légumes et fruits
 - Marché de gros du poisson
- Berkane
 - Marché de gros des légumes et fruits
 - Marché de gros du poisson
- Nador
 - Marché de gros des légumes et fruits.

Une visite du marché de gros de fruits et légumes d'Oujda a montré que les quantités de déchets organiques produits sur place sont très faibles. La raison en est que les résidus sont déjà éliminés lors de la récolte dans les champs et que le reste des déchets organiques est donné pour le fourrage du bétail lors du transport. Les images suivantes montrent cette situation:



Figure 34: Déchets journaliers/ hebdomadaires sur le marché de gros de fruits et légumes d'Oujda

Les quantités de déchets présentés sont actuellement éliminées par l'entreprise d'assainissement Veolia et éliminées sur la décharge d'Oujda. En raison des quantités faibles de déchets sur le marché d'Oujda et des probables quantités équivalentes sur les autres marchés de la région, le flux de

matières des marchés de gros organiques ne sera pas pris en compte dans le calcul de potentiel du secteur des déchets.

5.3.3.3 Déchets du secteur touristique

Ces dernières années, le développement du secteur touristique dans la région de l'Oriental s'est accru continuellement. La région dispose de monuments culturels, de nombreuses spécialités pittoresques et possibilités de loisir. Grâce à l'aéroport international d'Oujda-Angad, l'aéroport international de Nador (El Aroui) et la planification de l'expansion de l'aéroport de Bouarfa, cette région offre une bonne connection de vols pour les touristes nationaux et internationaux.

Le plus gros projet touristique de la région se trouve à 20 km de Berkane et environ à 60 km de la station balnéaire Saidia d'Oujda. Durant l'année 2009 la nouvelle aire touristique "Mediterrania Saïdia" a ouvert ses portes. La "Mediterrania Saïdia" dispose d'une superficie de 696 ha et offre plus de 30.000 lits dans des hôtels, villages de vacances, résidences de tourisme et appartements.¹⁶³ Ce complexe de tourisme comprend aussi un golf 18 trous, un port pour plus de 800 bateaux ainsi que 300 villas de luxe. Dans le futur, il est prévu que 10 millions de touristes visiteront annuellement le site.¹⁶⁴

Grâce à l'ouverture de la „Mediterrania Saidia“, le nombre de touristes dans la région Oujda-Saidia¹⁶⁵ a beaucoup augmenté sur les années 2009 et 2010. Le Tableau 42 montre le nombre de nuits d'hébergement passées par des touristes marocains et internationaux à Oujda-Saidia en 2010 (seulement la période de janvier à octobre¹⁶⁶) et dans les provinces restantes en 2008 ainsi que le calcul des quantités de déchets issues du secteur touristique.

Actuellement les déchets du secteur touristique (proches des déchets ménagers) sont collectés par les systèmes communaux/publics avec les déchets ménagers. Comme expliqué précédemment au chapitre 5.3, les déchets du domaine touristique sont considérés de façon séparée pour le calcul des potentiels. La quantité de déchets adoptée est de 1 kg par nuit d'hébergement. La part de matériel organique est estimée à 75%, ce qui correspond à une quantité totale en déchets organiques de 298 tonnes par an pour le secteur touristique.

Tableau 42: Nuitées d'hébergement et quantités de déchets du secteur touristique

| Province | Nuitées dans les établissements d'hébergement touristiques | | | Production des déchets touristiques | Taux des déchets organiques | Production des déchets touristiques organiques |
|------------------------------|--|-----------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------|--|
| | Non-résidents | Résidents | TOTAL | | | |
| Berkane* | 3.761 | 3.673 | 7.434 | 1,0 | 75% | 6 |
| Figuig* | 239 | 93 | 332 | 1,0 | 75% | 0 |
| Jerada* | 61 | 354 | 415 | 1,0 | 75% | 0 |
| (Oujda-Saidia, jan-oct 2010) | n.d. | n.d. | 340.736 | 1,0 | 75% | 256 |
| Nador* | 10.534 | 38.312 | 48.846 | 1,0 | 75% | 37 |
| Taourirt* | 0 | 0 | 0 | 1,0 | 75% | 0 |
| TOTAL | | | 397.763 | | | 298 |

Le Tableau 43 présente les potentiels énergétiques évoqués, dont la base est un rendement biogaz de 100 m³ par tonne de matière fraîche¹⁶⁷ et une valeur calorifique de 6 kWh/m³ de biogaz. Le calcul

¹⁶³ Monographie 2009, S. 22

¹⁶⁴ Mediterrania Saidia, Actualités: http://www.medsaidia.com/site/news_detail.php?IDArticle=84864894

¹⁶⁵ La « Statistique sur la Fréquentation Hôtelière d'Oujda et Saidia » n'enregistre pas les nuitées selon les provinces mais comprend les nuitées dans la préfecture d'Oujda et de la station balnéaire de Saidia. Etant donné l'actualité des ces données, les nuitées de la station balnéaire de Saidia sont prise en compte dans la préfecture Oujda-Angad.

¹⁶⁶ Dans la période de janvier à décembre de l'année 2009 la région Oujda-Saidia a enregistré 264.524 nuitées. En 2008 les nuitées se sont élevées à 107.484 nuitées.

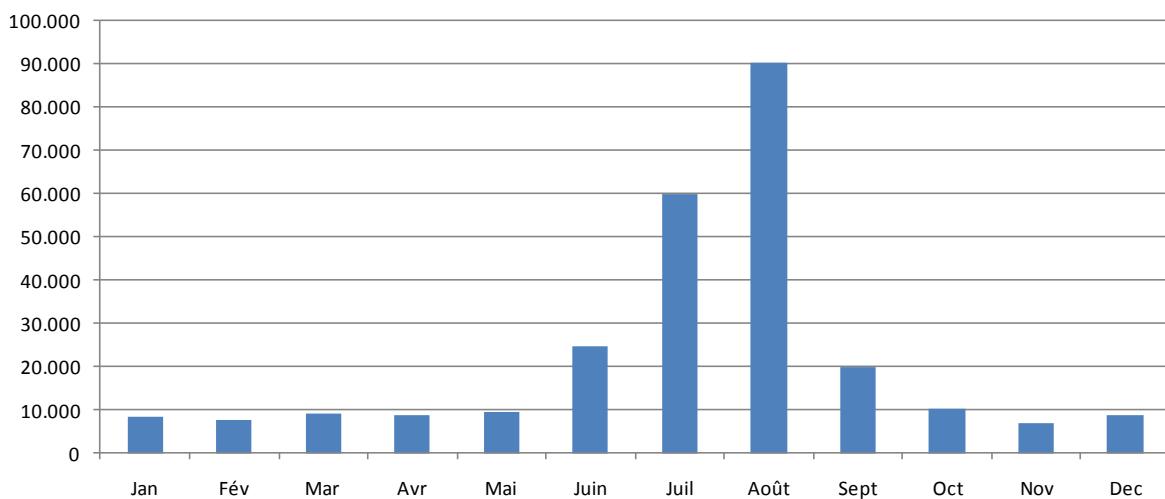
¹⁶⁷ Estimation conservatrice, – calculateur de rendement de biogaz Biogasrechner : Déchets ménagers organiques, 40% MS, Rendement en biogaz : 123 m³/t MF, 60% teneur en méthane.

des potentiels techniques n'est valable que si 90% des déchets du secteur touristique peuvent être insérés dans un système de collecte.

Tableau 43: Calcul du potentiel généré par le secteur touristique

| Province | Nuitées (2008/2010) | Production des déchets touristiques organiques | Rendement de biogaz | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique technique | Potentiel énergétique technique |
|-------------|------------------------|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | TOTAL | [t/a] | [m³/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 7.434 | 6 | 558 | 3 | 3 | 0 |
| Figuig | 332 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| Jerada | 415 | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| Nador | 340.736 | 256 | 25.555 | 153 | 138 | 12 |
| Oujda-Angad | 48.846 | 37 | 3.663 | 22 | 20 | 2 |
| Taourirt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 397.763 | 298 | 29.832 | 179 | 161 | 14 |

Au total, un potentiel énergétique technique de 161 MWh peut être évalué pour l'année 2010 (et 2008). Il faut tout de même considérer qu'en raison du développement touristique continu, les quantités de déchets générées par ce secteur vont énormenemnt augmenter sur les années à venir. Rien que de 2008 à 2009, le nombre de nuits d'hébergement a augmenté de 146%. De plus, les nuits d'hébergement sont soumises aux fortes variations saisonnières. La Figure 35 montre les fluctuations pour la région d'Oujda-Saidia.



Alors que le nombre de nuitées d'octobre à mai se situe en dessous de 10.000, il grimpe continuellement à partir de juin (juin: 25.000; juillet 60.000) pour atteindre 90.000 nuitées en août. La survenance discontinue de ces flux de matières rend plus difficile leur utilisation énergétique qui doit être vue en détail dans le cadre des esquisses de projet.

Un flux de matière qui n'a pu être considéré jusqu'ici, en raison du manque de données, est l'herbe coupée que l'on trouve sur les sites hôteliers ainsi que sur les terrains de golf. La Figure 36 montre par exemple le stockage momentané des déchets verts dans un hôtel de la région de l'Oriental.

¹⁶⁸ Ministère du Tourisme et de l'Artisanat, Statistique sur la fréquentation hôtelière d'Oujda et Saidia pour le mois de décembre 2009



Figure 36: Stockage d'herbe coupée dans le jardin d'un hôtel à Oujda

Les déchets verts peuvent être digérée ou brûlée en fonction de la teneur en lignine et humidité de la matière. La forme concrète de valorisation dépend de la constitution exacte de la matière ainsi que des quantités existantes.

5.3.4 Conclusion

L'analyse du flux des matériaux dans le secteur des déchets a montré que la région de l'Oriental dispose dans ce domaine d'un potentiel technique de 151.090 MWh/a et 13.025 tep/a au total. Le Tableau 44 indique les potentiels (en MWh/a) de chaque catégorie pour chacune des six provinces.

Tableau 44 : Potentiels techniques totaux des déchets (en MWh et tep par an)

| Province | Déchets ménagers | Déchets industriels | Déchets abattoirs | Déchets laiteries | Déchets traitement fruits & légumes | Déchets production d'huile d'olive | Déchets industrie de pêche | Déchets touristiques | Total | Total |
|--------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--|--|----------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [MWh/a] | [tep/a] |
| Berkane | 15.564 | 2.310 | 18 | 121 | 0 | 2.037 | 134 | 3 | 17.876 | 1.541 |
| Figuig | 6.803 | 214 | 27 | 0 | 0 | 187 | 0 | 0 | 7.017 | 605 |
| Jerada | 6.299 | 1.924 | 65 | 0 | 0 | 1.859 | 0 | 0 | 8.224 | 709 |
| Nador | 39.055 | 4.588 | 475 | 0 | 0 | 1.099 | 3.015 | 138 | 43.781 | 3.774 |
| Oujda-Angad | 35.033 | 20.382 | 469 | 778 | 0 | 17.234 | 1.901 | 20 | 55.435 | 4.779 |
| Taourirt | 11.899 | 6.891 | 19 | 70 | 0 | 5.792 | 1.010 | 0 | 18.790 | 1.620 |
| Total | 114.652 | 36.309 | 1.074 | 969 | 0 | 28.207 | 6.059 | 161 | 151.122 | 13.028 |

La Figure 37 représente les potentiels d'équivalent en fioul par an de chaque province.

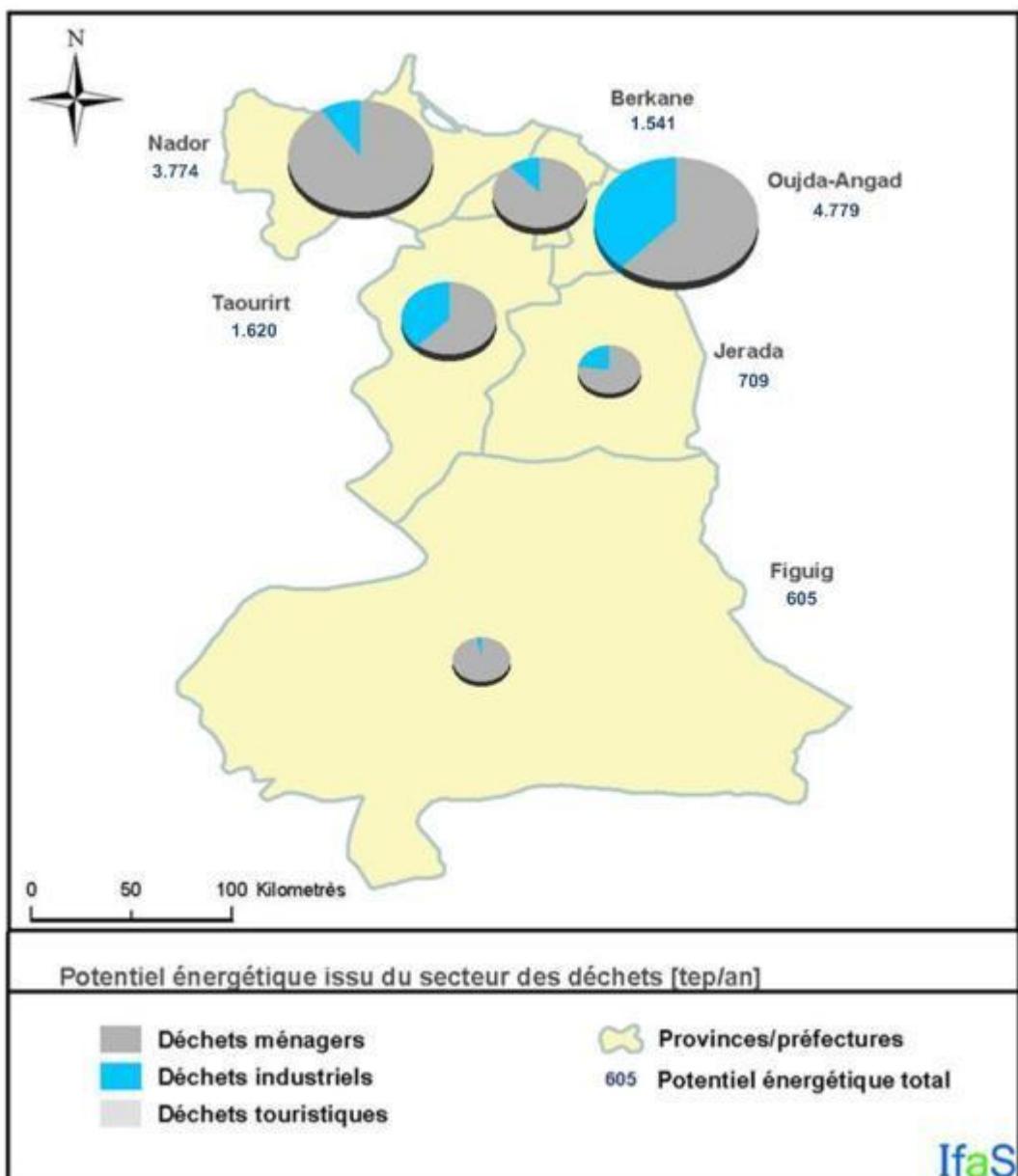


Figure 37: Potentiels énergétiques issu du secteur des déchets dans la Région de l'Oriental (les chiffres en bleu représentent le potentiel énergétique total de chaque province/préfecture)

Les potentiels représentés dans ce secteur doivent toutefois être pris en considération différemment, en raison de leur composition matérielle et de la production souvent saisonnière. L'énumération suivante résume brièvement les résultats et particularités les plus importants de chaque secteur.

- Déchets ménagers : La fraction des déchets ménagers organiques représente le plus grand potentiel non exploité dans le secteur des déchets sachant que ce flux de matières ne fait nulle part l'objet d'une utilisation matérielle et/ou énergétique dans la région de l'Oriental. Étant donné que les zones urbaines de l'étendue prise en compte pour le bilan présentent sur toute l'année une production du flux de matières souvent constante et que les systèmes de collecte sont la plupart du temps

déjà implantés, la séparation, le tri et l'utilisation de ce flux de matières sont assurées dans ces zones.

- Commerce et industrie : Les résidus du secteur du commerce et de l'industrie sont déjà en partie utilisés de façon énergétique et matérielle, mais occasionnent en plusieurs endroits de gros problèmes environnementaux en raison de leur élimination inappropriée.
 - Abattoirs : En raison de la grande teneur en énergie des déchets des abattoirs, ceux-ci se prêtent bien à la co-fermentation dans les installations à biogaz. Étant donné que les abattages réalisés dans la région de l'Oriental peuvent avoir lieu uniquement au sein des abattoirs municipaux, les résidus de ce secteur sont produits de façon centrale et relativement constante. Une utilisation énergétique (et une hygiénisation) de ce flux de matières réduirait la charge des stations d'épuration et décharges locales et minimiseraient le risque sanitaire lié à l'élimination non -contrôlée de ces matières.
 - Industrie laitière : Les résidus de ce secteur disposent de relativement peu de potentiels énergétiques en raison de leur faible teneur en matière sèche, ils peuvent cependant être également utilisés pour la co-fermentation. Étant donné que la production laitière de la région de l'Oriental se concentre sur trois usines laitières, la production du flux de matières est également ici centrale et constante.
 - Production d'huile d'olive : L'utilisation énergétique des résidus de la production d'huile d'olive fait actuellement l'objet de nombreux projets de recherche, en particulier en Italie, en Espagne, en Grèce et en Turquie. L'utilisation des résidus solides et liquides contenant de la matière sèche et de l'huile pourrait non seulement couvrir le besoin en énergie des moulins à huile au cas par cas, mais elle contribuerait également à l'énorme réduction de nuisances à l'environnement et de problèmes survenant au sein des stations d'épuration. La production saisonnière (en général d'octobre à janvier) rend toutefois également nécessaire une co-fermentation avec d'autres matériaux. Avec 28.207 MWh/a, le secteur de la production d'huile d'olive présente les plus grands potentiels dans le domaine commerce et industrie.
 - Pêche : Le secteur de la pêche représente environ un quart des potentiels du domaine commerce et industrie (6.059 MWh/a). La simplicité de calcul due à la production centrale des résidus de ce secteur dans les domaines portuaires et industriels de la région montrerait comme très judicieuse l'utilisation énergétique de ces matériaux d'un point de vue logistique. Il faut toutefois prendre en considération le fait qu'il n'existe encore aucun processus standardisé pour la fermentation de résidus de l'industrie de la pêche, étant donné que la teneur en sel de ce flux de matières en particulier peut exercer une influence négative sur le déroulement des processus.
 - Traitement des fruits et légumes : En raison du manque de données, le potentiel énergétique n'a pas pu être calculé pour ce secteur. On peut toutefois mentionner que, particulièrement dans ce domaine, il existe déjà fréquemment une utilisation matérielle efficace (par ex. l'utilisation de

noyaux d'abricots dans l'industrie cosmétique, la production d'aliments pour animaux à partir de résidus de la production de sucre).

- Marchés de gros : Ce flux de matière ne semble pas représenter un grand intérêt selon l'état actuel de l'enquête, étant donné que le peu de résidus produits sont souvent directement utilisés comme aliments pour animaux. Il est toutefois possible qu'à l'avenir, des potentiels considérables soient produits dans ce domaine, grâce au développement de l'Agropôle de Berkane, où un nouveau marché de gros doit ouvrir.
- Tourisme : Les quantités de déchets du secteur touristique restent actuellement très faibles. 400.000 nuitées produisent env. 300 tonnes de déchets organiques par an. Plus de 56 % de cette quantité de déchets sont produits au cours des mois de juillet et d'août. Le secteur touristique propose ainsi actuellement un potentiel très saisonnier, qui dispose toutefois de potentiels de croissance élevés. Particulièrement en raison de la construction du village de vacances « Mediterranea Saidia », le nombre de touristes, et ainsi le nombre de nuitées, va monter à plusieurs millions par an dans la région au cours des années à venir.

Comme évoqué plus haut, la production de déchets connaît des variations saisonnières. La Figure 38 représente les quantités de déchets par mois dans la totalité de la région. Il apparaît clairement que les déchets ménagers organiques et les résidus issus de la production d'huile d'olive influencent de façon déterminante les quantités totales. La production de déchets la moins élevée est celle de février, avec 18 347 tonnes. En raison de la production de résidus provenant des olives, la quantité de déchets s'élève à plus de 33 000 tonnes par mois entre octobre et janvier.

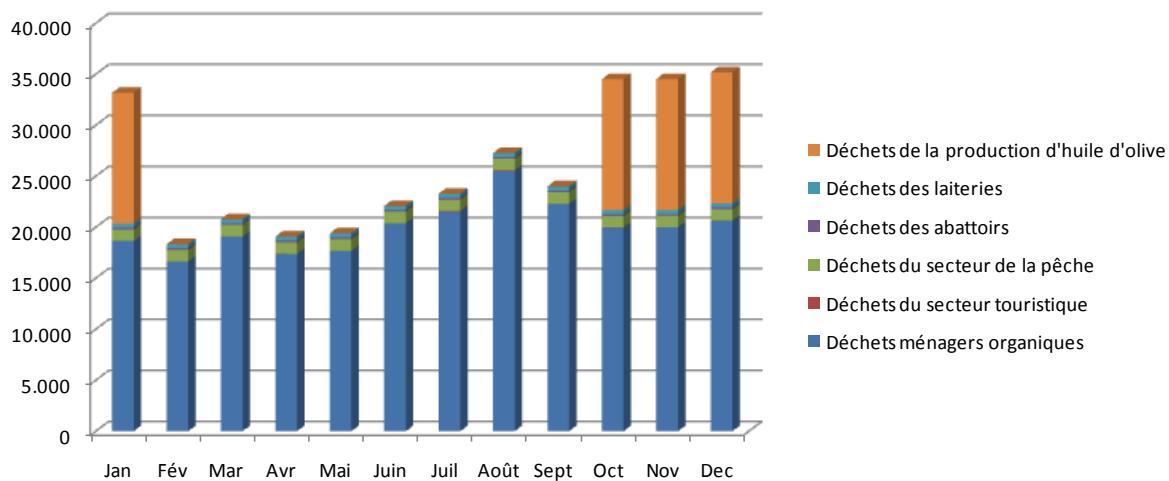


Figure 38: Quantités de déchets dans la région de l'Oriental par mois (en t)

En conclusion, il reste à retenir que le secteur des déchets propose divers potentiels au développement d'approches pour l'utilisation énergétique de matériaux organiques. Néanmoins, les quantités absolues des résidus organiques issus des différents secteurs ne sont souvent pas suffisantes pour l'utilisation à pleine capacité d'une installation de fermentation (d'un débit précis) à un endroit précis. Étant donné que la faisabilité économique dépend de plus toujours du débit et de la « *Economy of Scale* » (économie d'échelle), il faut s'assurer que la construction décentralisée de plusieurs petites installations est judicieuse au niveau logistique et faisable économiquement. Les

ébauches de projets étudient par exemple la faisabilité technique (et économique) d'un tel concept d'utilisation pour un endroit encore à définir dans le cadre de la discussion stratégique.

5.4 Eau

Le développement industriel, la hausse du niveau de vie de la population et l'expansion des surfaces agricoles irriguées entraînent une forte hausse de la consommation d'eau au Maroc. Environ 87 % des ressources annuelles en eau du pays sont aujourd'hui utilisées pour irriguer les surfaces agricoles, tandis que seulement 3 % des ressources sont utilisées dans le secteur industriel et 10 % pour l'approvisionnement en eau potable.

Le traitement des eaux usées pose lui aussi d'importants problèmes au Maroc: l'insuffisance des capacités de traitement des eaux usées entraîne une baisse de la qualité des ressources en eau. Alors qu'à l'échelle nationale, environ 70% de la population urbaine est raccordée à une canalisation et seulement 8% de la population des villes dispose d'un raccord à une station d'épuration des eaux usées. Sur les 63 stations d'épuration existantes dans le pays, seulement 26 fonctionnent actuellement. Au Maroc, le volume global des eaux usées est aujourd'hui estimé à 600 millions de m³ par an. Environ 60% de ces eaux usées proviennent de centres urbains proches de la côte et sont évacués vers la mer après avoir subi un pré-traitement généralement insuffisant. Les 40% restants proviennent de zones urbaines situées à l'intérieur du pays et sont déversés dans des fleuves ou vers des vallées sèches. Actuellement, seulement 13% des eaux usées sont traités dans des stations d'épuration, et leur assainissement est généralement insuffisant.

La suite du présent document décrit plus en détail la situation dans la région de l'Oriental en termes de distribution d'eau et d'évacuation des eaux usées.

5.4.1 Eau douce

À Oujda, l'approvisionnement en eau potable est assuré par la Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Électricité d'Oujda (RADEEO). Dans toutes les autres provinces, l'approvisionnement en eau potable est du ressort de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP).

Sur la totalité de l'eau potable mise à disposition par l'ONEP, près de 60% sont prélevés dans la nappe phréatique et 40% proviennent du traitement des eaux de surface. La vétusté des conduites d'eau entraîne d'importantes pertes au cours du transport de l'eau potable. À Oujda, notamment, où les conduites d'eau datent de 1930, les pertes atteignent près de 50%.

Le Tableau 45 illustre le taux de raccordement des ménages au réseau d'eau potable dans la région de l'Oriental en 2004.

Tableau 45 : Pourcentage des ménages raccordés au réseau d'eau potable en 2004 (en %)¹⁶⁹

| Province | Urbain | Rural | Ensemble |
|---------------|--------|-------|----------|
| Berkane | 92 | 41 | 72 |
| Figuig | 91 | 10 | 52 |
| Jerada | 92 | 19 | 67 |
| Nador | 66 | 4 | 37 |
| Oujda - Angad | 89 | 29 | 81 |
| Taourirt | 77 | 4 | 50 |
| Oriental | 81 | 14 | 58 |

¹⁶⁹ Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda : Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 1, 2008

Alors qu'en 2004, le taux de raccordement moyen était de 80% dans les zones urbaines, il n'atteignait que 14% dans les zones rurales. Cela signifie que sur les 800.000 habitants de la région rurale, seul un habitant sur sept était raccordé au réseau d'eau potable. L'approvisionnement en eau potable s'effectue en partie par des « bornes fontaines ».¹⁷⁰ Il convient de noter que l'approvisionnement en eau potable a évolué au cours des sept dernières années.

Dans les zones urbaines, la consommation moyenne d'eau est d'environ 80 l/hab/j¹⁷¹, contre seulement 25 à 30 l/hab/j¹⁷² dans les zones rurales. Les tableaux ci-après illustrent d'une part le nombre d'abonnés de l'ONEP et de la RADEEO, et d'autre part les quantités d'eau potable vendues en 2007 (par type de client et par province).

Tableau 46 : Répartition des ventes par type de client (2007)¹⁷³

| Type de client | ONEP | | RADEEO | |
|--------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| | Nombre d'abonnés | Ventes en m ³ | Nombre d'abonnés | Ventes en m ³ |
| Régies | 2 | 18.519.409 | - | - |
| Particuliers | 163.038 | 17.127.880 | 101.038 | 11.522.749 |
| Administrations | 1.859 | 1.372.788 | 889 | 1.043.033 |
| Industriels | 734 | 659.854 | 9 | 185.073 |
| Bornes fontaines | 260 | 244.807 | - | - |
| Préférentiels | - | - | 84 | 75.654 |
| Hôtels | - | - | 65 | 36.084 |
| Locaux de la régie | - | - | 11 | 2.739 |
| Total | 165.893 | 37.924.738 | 102.096 | 12.865.332 |

Tableau 47 : Répartition des ventes aux particuliers par province (2007)¹⁷⁴

| Province | ONEP | | RADEEO | |
|--------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Nombre de clients particuliers | Ventes en m ³ | Nombre de clients particuliers | Ventes en m ³ |
| Oujda | 1.974 | 201.400 | 101.038 | 11.522.749 |
| Berkane | 55.552 | 6.963.270 | - | - |
| Taourirt | 25.111 | 2.779.719 | - | - |
| Nador | 49.902 | 5.049.936 | - | - |
| Jerada | 14.028 | 1.215.243 | - | - |
| Figuig | 16.471 | 918.312 | - | - |
| Total | 163.038 | 17.127.880 | 101.038 | 11.522.749 |

Ces tableaux montrent que dans la région de l'Oriental, également, la consommation d'eau potable n'est pas très élevée dans le secteur industriel et que les principaux consommateurs d'eau potable sont les ménages et le secteur agricole (les deux secteurs sont représentés par la catégorie « particuliers »). L'agriculture semble jouer un rôle décisif. En effet, la province de Berkane, par exemple, possède beaucoup moins d'habitants (270.000) que la province de Nador (728.000) mais enregistre une consommation d'eau plus importante.

Dans la région de l'Oriental, 15 % des surfaces agricoles ont été irriguées en 2009 (env. 107 000 ha, notamment dans les provinces de Berkane et de Nador).¹⁷⁵ Le Plan Vert prévoit d'élargir d'ici 2020 les surfaces agricoles de plus de 45.000 ha supplémentaires grâce à un système efficace d'irrigation localisée (environ 8.000 ha actuellement).¹⁷⁶ Aujourd'hui déjà, de nombreuses régions du Maroc

¹⁷⁰ Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental

¹⁷¹ ONEP : Prévisions des besoins en eau potable en milieu urbain, Oujda Fiche no. 161

¹⁷² Note officielle, Monsieur Reffouh, Ministère de l'Intérieur

¹⁷³ Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda : Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 4, 2008

¹⁷⁴ Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda : Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 4, 2008

¹⁷⁵ Message écrit, ORVMAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

¹⁷⁶ La Vie Eco : Oriental : 50 000 ha de plus pour l'olivier et 25 000 ha pour l'amandier, 2009

souffrent d'une pénurie chronique d'eau et de l'exploitation des ressources de la nappe phréatique en résultant.

Le Tableau 48 présente par exemple les redevances pratiquées par la RADEEO à Oujda pour l'eau potable et les eaux usées.¹⁷⁷

Tableau 48 : Tarification eau potable & eaux usées (RADEEO)¹⁷⁸

| CATEGORIES D'ABONNES (CODE INTERNE DU TARIF DU CLIENT) | TARIFICATION CONSOMMATION EAU | | | | TRANCHE UNIQUE | TARIFICATION CONSOMMATION ASS | | | TRANCHE UNIQUE | REDEVANCE FIXE/MOIS | | | | REDEVANCE FIXE/TRIMESTRE | |
|--|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------|---------------------|-------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
| | 1 ^{ère} TRC | 2 ^{ème} TRC | 3 ^{ème} TRC | 4 ^{ème} TRC | | 1 ^{ère} TRC | 2 ^{ème} TRC | 3 ^{ème} TRC | | EAU | ASS | | | EAU | ASS |
| | 0-6 | 7-20 | 21-40 | >40 | | 0-6 | 7-20 | >21 | | H.T. | H.T. MOIS n | H.T. MOIS n+1 | H.T. MOIS n+2 | H.T. | H.T. |
| PU/m ³ H.T. | PU/m ³ H.T. | PU/m ³ H.T. | PU/m ³ H.T. | PU/m ³ H.T. | | | | | | | | | | | |
| PARTICULIERS " A " | 3,81 | 10,11 | 14,72 | 14,77 | | 0,30 | 0,80 | 1,80 | 1,5 | 6,00 | 3,09 | 3,08 | 3,08 | *** | *** |
| OFFICES PUBLICS " E " | 3,81 | 10,11 | 14,72 | 14,77 | | | | | 1,50 | 10,00 | 6,18 | 6,16 | 6,16 | *** | *** |
| HABOUS " D " | 3,81 | 10,11 | 14,72 | 14,77 | | | | | 1,50 | 10,00 | 6,18 | 6,16 | 6,16 | *** | *** |
| ADMINISTRATIONS " D " | 3,81 | 10,11 | 14,72 | 14,77 | | | | | 1,50 | *** | | | | 30,00 | 18,50 |
| COLLECTIVES LOCALES " G " | 3,81 | 10,11 | 14,72 | 14,77 | | | | | 1,50 | *** | | | | 30,00 | 18,50 |
| BOUCHES D'ARROSAGE " B " | 3,81 | 10,11 | 14,72 | 14,77 | | | | | 1,50 | *** | | | | 30,00 | 18,50 |
| INDUSTRIELS " S " | | | | | 10,13 | | | | 1,80 | 10,00 | 12,34 | 12,33 | 12,33 | *** | *** |
| HOTELS " T " | | | | | 12,18 | | | | 1,80 | 10,00 | 12,34 | 12,33 | 12,33 | *** | *** |
| BORNES FONTAINES PARTICULIERS " P " | | | | | 9,77 | | | | 1,50 | 10,00 | 6,18 | 6,16 | 6,16 | **** | *** |
| BORNES FONTAINES ADMINISTRATIONS " P " | | | | | 9,77 | | | | 1,50 | *** | | | | 30,00 | 18,50 |
| BAINS MAURES " C " | | | | | 9,77 | | | | 1,80 | 10,00 | 12,34 | 12,33 | 12,33 | *** | *** |

5.4.2 Eaux usées

5.4.2.1 Infrastructure existante

Dans la région de l'Oriental, les systèmes existants d'évacuation des eaux usées sont presque exclusivement des systèmes unitaires à canalisations mixtes. Seul le port de la « Mediterrania Saidia » dispose d'un système séparatif des eaux de pluie et des eaux usées. À l'heure actuelle, les eaux résiduaires communales ne sont généralement pas séparées des eaux résiduaires industrielles. La plupart des systèmes d'évacuation des eaux usées sont des systèmes gravitaires.¹⁷⁹

Dans la région de l'Oriental, comme dans de nombreuses parties du Maroc, les capacités de traitement des eaux usées sont actuellement encore insuffisantes. Les eaux résiduaires sont pour la plupart évacuées vers des vallées sèches existantes ou déversées dans la mer sans avoir été traitées.

La région dispose actuellement de huit stations d'épuration des eaux résiduaires (cf. Tableau 49).

¹⁷⁷ La redevance pour les eaux usées est prélevée avec la redevance pour l'eau potable.

¹⁷⁸ Note officielle, RADEEO, Oujda

¹⁷⁹ Saidia : pompage ; Berkane : système gravitaire ; Taourirt : pompage & gravitaire

Tableau 49 : Stations d'épuration existantes dans la région de l'Oriental¹⁸⁰

| Ville ou Centre | Préfecture ou Province | Capacité [m ³ /J] | Capacité [m ³ /a] | Procédé |
|-----------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Berkane | Berkane | 13.000 | 4.745.000 | Lagunage A + F |
| Bouarfa | Figuig | 1.500 | 547.500 | Lagunage A |
| Alaaroui | Nador | 2.380 | 868.700 | Lagunage A + F |
| Tafoghalt | Berkane | 180 | 65.700 | Lit bacterien |
| Nador | Nador | 10.000 | 3.650.000 | Boues activées |
| Taourirt | Taourirt | 5.400 | 1.971.000 | Lagunage A + F |
| Oujda | Oujda-Angad | 40.000 | 14.600.000 | Lagunage A + F + M |
| Nador | Nador | 23.100 | 8.431.500 | Boues activées |

Une brève description des systèmes d'évacuation et de traitement des eaux est présentée ci-après.

Oujda

À Oujda, la Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Électricité d'Oujda (R.A.D.E.E.O.) est responsable de l'approvisionnement en eau potable (depuis 1979) et de l'élimination des eaux usées (depuis 2001). L'eau potable est prélevée d'une part dans la nappe phréatique¹⁸¹ et d'autre part dans les eaux de surface (barrage Machrâa Hammadi). Les besoins en eau sont d'environ 80 litres par habitant et par jour, ce qui correspond à un besoin annuel de 13.432.000 m³ d'eau pour la ville d'Oujda.¹⁸²

À Oujda, le taux de raccordement de la population aux égouts est de 96% (environ 415.000 habitants, soit 260.000 ménages particuliers). Il s'agit d'un système gravitaire équipé de trois stations de pompage. Le système d'évacuation des eaux résiduaires recueille les eaux usées communales et industrielles.¹⁸³

Au total, 38.750 m³ d'eaux usées sont recueillis chaque jour. Les eaux usées de la ville présentent les caractéristiques suivantes :

- DBO₅ : 142 à 400 mg/l
- DBO₅/jour : 16 000 kg
- DCO : 336 à 1 400 mg/l
- Conductivité : 2,29 ms/cm
- pH : 9,58
- Matières en suspension : 540 mg/l.¹⁸⁴

La station d'épuration d'Oujda a été mise en service en 2010 et dispose d'une capacité de traitement de 40.000 m³/d (530.000 personnes). Actuellement, environ 36.000 m³/d sont traités chaque jour par la station.¹⁸⁵ La station d'épuration s'étend sur une surface totale de 90 ha (56 ha + 34 ha de surface d'extension) et dispose non seulement d'un nettoyage de la grille et d'un désableur (pré-traitement), mais aussi d'un niveau de traitement anaérobiose et aérobiose¹⁸⁶ et de bassins de maturation et de lits de

¹⁸⁰ SEEE : Étude pour l'élaboration de la Stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, 2010.

¹⁸¹ Prélèvement effectué sur 23 fontaines, dont onze sont exploitées directement par la RADEEO. Toutes les autres sont exploitées par l'ONEP.

¹⁸² Réunion d'experts, Monsieur Hsini, RADEEO, Oujda, 25/10/2010

¹⁸³ Seuls peu d'hôtels et d'exploitations industrielles disposent de stations d'épuration décentralisées pour pré-traiter les eaux usées.

¹⁸⁴ Réunion d'experts, Monsieur Hsini, RADEEO, Oujda, 25/10/2010

¹⁸⁵ Le volume global d'investissement de la station s'élève à 150 000 000 DH.

¹⁸⁶ Le traitement aérobiose est assuré par 76 ventilateurs, à une puissance de 11 kW.

séchage pour les boues d'épuration. L'illustration suivante montre les bassins non-aérés et aérés de la station d'épuration.



Figure 39: Station d'épuration d'Oujda

Actuellement, les eaux assainies de la ville d'Oujda sont évacuées dans l'Oued Bounaim. Le Ministère de l'Agriculture étudie actuellement les possibilités d'exploiter les eaux assainies pour l'irrigation dans le secteur agricole, dans la mesure où les eaux transformées par la station sont de qualité A conformément aux directives de l'OMS.¹⁸⁷ De plus, une étude consacrée à « la valorisation des eaux usées de la ville d'Oujda à travers l'irrigation de Jatropha curcas avec ces eaux » est actuellement en cours pour déterminer les répercussions de ce mode d'irrigation de Jatropha curcas avec les eaux usées (biologie, cycle de reproduction, paramètres de croissance, développement et rendement en graines et huiles).¹⁸⁸

On estime qu'au terme de deux ans d'exploitation, la station aura produit un volume de 40.000 m³ de boues d'épuration, avec un taux de MS d'environ 80% après le processus de séchage évoqué plus haut. Lorsque le problème du transport aura été résolu, il est prévu d'utiliser les boues d'épuration comme combustibles secondaires dans la cimenterie de l'entreprise HOLCIM à El Aioun, ou bien de les éliminer à la décharge d'Oujda.

¹⁸⁷ Il n'existe actuellement dans la région de l'Oriental aucune structure d'exploitation des eaux usées assainies pour l'irrigation agricole. Toutefois, certains agriculteurs utilisent les eaux usées telles quelles pour irriguer leurs cultures ou prélèvent directement l'eau destinée à irriguer leurs cultures dans les oueds dans lesquels sont évacuées les eaux usées non assainies.

¹⁸⁸ Note officielle, Wafae Mokhtari, 21/01/2010

Berkane

La station d'épuration de la ville de Berkane dispose d'un niveau de traitement anaérobiose et facultatif (lagunage AFM – anaérobiose-facultatif-maturation), avec une capacité quotidienne de 13.000 m³. Actuellement, les eaux assainies sont déversées dans un affluent de l'Oued Moulouya, où elles provoquent une forte eutrophisation. Les photos suivantes montrent le point de déversement des eaux usées épurées de la station d'épuration de Berkane et illustrent les conséquences pour l'affluent de l'Oued Moulouya.



Figure 40: Déversement des eaux usées épurés de la STEP de Berkane dans un affluent de l'Oued Moulouya

Les boues d'épuration produites par la station d'épuration de Berkane sont éliminées à la décharge municipale.¹⁸⁹

Nador

L'ONEP prévoit actuellement dans la province de Nador différents projets dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable et de l'élimination des eaux usées. Au total, ces projets ont un volume d'investissement de 948 millions de Dirham.

Un projet important porte sur la mise en place d'une infrastructure d'élimination et d'une station d'épuration pour les eaux usées de l'agglomération de Nador¹⁹⁰. Jusqu'à récemment, les eaux usées de près de 280.000 habitants de l'agglomération de Nador étaient déversées sans être traitées dans la lagune de Bouareg (« Marchica »), où elles ont entraîné d'importants dommages écologiques. Dorénavant, il est prévu de traiter les eaux usées de 245.000 habitants de l'agglomération de Nador dans une station d'épuration à trois niveaux d'assainissement (boues activées avec désinfection aux ultra-violets) disposant d'une capacité de 20.600 m³/j. Grâce au processus d'assainissement à trois niveaux et à la désinfection aux ultra-violets, les eaux traitées pourront ensuite être utilisées sans restriction pour l'irrigation.

¹⁸⁹ Aucune information qualitative ni quantitative concernant les boues d'épuration n'a été fournie.

¹⁹⁰ L'agglomération de Nador comprend les centres urbains de Nador, Bni Nsar, Zeghanghane, Ihddaden, Jaadar, Selouane, Taouima et Kariat Arekmane.



Figure 41 : Station d'épuration de Nador

Pour compléter ce projet, il est prévu de construire à Kariat Arekmane une station d'épuration (« lagunage ») d'une capacité de 1.500 m³/j et d'élargir l'infrastructure d'élimination dans 8 communes et centres de l'agglomération de Nador.

Taourirt

Dans le cadre d'une réunion d'experts, il a été rappelé qu'actuellement, la station d'épuration de Taourirt ne fonctionne pas en raison de problèmes avec les eaux résiduaires issues de la production d'huile d'olive. Une étude portant sur la construction d'une station d'épuration spéciale pour le nettoyage des eaux résiduaires issues de la production d'huile d'olive est actuellement en cours.

5.4.2.2 Projets d'élargissement des infrastructures

Outre les stations d'épuration existantes susmentionnées, il est prévu d'élargir l'infrastructure de traitement des eaux usées dans la région de l'Oriental. Le Tableau 50 présente les installations de traitement des eaux usées actuellement en cours de construction ou en projet dans la région de l'Oriental et leurs capacités prévues.

Tableau 50 : Stations d'épuration projetées dans la région de l'Oriental¹⁹¹

| Ville ou Centre | Préfecture ou Province | Capacité [m ³ /j] | Capacité [m ³ /a] | Procédé |
|----------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|
| Ahfir | Berkane | 520 | 189.800 | Lagunage A + F |
| Ras el Ma | Nador | 75 | 27.375 | Lagunage A + F |
| Saidia | Berkane | 21.900 | 7.993.500 | Lagunage aéré |
| Sidi Slimane Echaraa | Berkane | 5.040 | 1.839.600 | Lagunage A + F |
| Zaïo | Nador | 3.100 | 1.131.500 | Lit bactérien |
| El Aioun | Oujda-Angad | 3.800 | 1.387.000 | Lagunage A + F |

De plus, un décret de déversement entrera en vigueur en 2012. Ce décret obligera les communes à respecter certaines valeurs seuils lors du déversement des eaux usées dans les eaux publiques. Cela impliquera des investissements supplémentaires dans l'infrastructure des eaux usées. Les Agences des Bassins Hydrauliques sont responsables de la mise en œuvre et du respect des valeurs seuils.

¹⁹¹ SEEE : Étude pour l'élaboration de la Stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, 2010, S. 111 f

5.4.3 Acteurs

Les deux principaux instituts d'approvisionnement en eau et d'évacuation des eaux usées dans la région de l'Oriental sont la Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Électricité d'Oujda (RADEEO) et l'Office National de l'Eau Potable (ONEP).

La responsabilité de l'approvisionnement en eau potable et de l'évacuation des eaux usées dans la région de l'Oriental (excepté dans la ville d'Oujda) incombe à l'Office National de l'Eau Potable. À l'échelle nationale, l'ONEP est responsable du traitement de l'eau potable et de l'approvisionnement en eau potable. La gestion des activités liées à l'évacuation des eaux usées et le contrôle de la qualité de l'eau font également partie du domaine de responsabilités de l'ONEP.¹⁹²

À Oujda, la Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Électricité d'Oujda (R.A.D.E.E.O.) est responsable de l'approvisionnement en eau potable (depuis 1979) et de l'élimination des eaux usées (depuis 2001).

Parmi les acteurs du secteur de l'eau et des eaux usées, on peut également citer l'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya (ABHM) : cette organisation est responsable de l'administration et de la protection des ressources en eau dans la région. L'ABH est chargée du développement et de la mise en œuvre du « Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau ». Elle assure par ailleurs l'accès des organismes publics et des particuliers à l'eau douce et est responsable du contrôle de la qualité de l'eau et du respect des législations en matière d'eau dans la région de l'Oriental¹⁹³ ainsi que dans les autres régions du Maroc.

Dans le cadre de la collecte des données pour le secteur des eaux usées, les institutions suivantes ont été visitées et interrogées :

- Station d'Épuration d'Oujda (RADEEO),
- Station d'Épuration de Nador (ONEP),
- Station d'Épuration de Taourirt (ONEP).

5.4.4 Démarche

L'efficacité de gestion des ressources en eau va jouer à l'avenir un rôle très important au Maroc. Outre l'expansion des infrastructures existantes en matière d'évacuation des eaux usées, l'utilisation des eaux résiduaires assainies pour l'irrigation et le recyclage matériel et énergétique des substances présentes dans les eaux usées ou des boues d'épuration vont revêtir une importance considérable.

La suite du présent document présente les potentiels énergétiques des boues d'épuration et les potentiels matériaux des substances nutritives présentes dans les eaux usées (NPK) pour la région de l'Oriental. Pour calculer les potentiels énergétiques du recyclage des boues d'épuration, la production de biogaz et le recyclage thermique sont deux options prises en considération. Les méthodes de calcul utilisées sont décrites aux chapitres 5.4.4.1 à 5.4.4.3.

¹⁹² ONEP : Présentation ONEP

¹⁹³ La zone de responsabilité de l'ABHM s'étend sur 8 % de la surface du Maroc (soit 74 000 km²) et réunit les bassins de l'Oued Moulouya, de l'Oued Kert, la zone marocaine du bassin de l'Oued Kiss & Isly et une partie de la province Figuig. La zone de responsabilité de l'ABHM s'étend par ailleurs sur les quatre régions de l'Oriental, de Fès-Boulemane, de Taza-Al Hoceima-Taounate et de Meknès-Tafilalet.

5.4.5 Potentiels

5.4.5.1 Production de biogaz à partir de boues d'épuration

Pour déterminer les potentiels énergétiques de la production de biogaz à partir de boues d'épuration, les potentiels théoriques et techniques sont calculés sur la base du nombre d'habitants et d'un potentiel biogaz théorique par équivalent habitant. Un calcul des potentiels du biogaz des boues d'épuration sur la base des quantités d'eaux usées et de leurs propriétés n'est pas possible en raison de l'insuffisance des données spécifiques recueillies dans le cadre de l'étude.

Pour calculer les potentiels énergétiques, on suppose un rendement gazeux par équivalent habitant d'une valeur usuelle de 7,2 m³/EH/a.¹⁹⁴ Wauthelot utilise pour calculer le rendement en biogaz des boues d'épuration au Maroc une valeur de 15 à 25 m³ de biogaz pour 1.000 habitants par jour¹⁹⁵, ce qui correspond à une valeur de 7,3 m³/EH/a. Ces valeurs sont comparables aux rendements gazeux des stations d'épuration des eaux usées de Fès et de Marrakech. Selon une étude de la GIZ¹⁹⁶, le rendement gazeux de la station d'épuration de Fès s'élève à 9,6 m³ de gaz par habitant, tandis que pour la station de Marrakech on suppose un rendement gazeux de 5,6 m³ de gaz par habitant. Le rendement moyen serait donc de 7,6 m³ et correspondrait ainsi approximativement à la valeur usuelle de 7,2 m³ par équivalent habitant.

Le Tableau 52 présente les potentiels énergétiques théoriques des boues d'épuration. Ce tableau part du principe que toute la population de la région de l'Oriental est raccordée à un système d'évacuation des eaux usées.

Tableau 51 : Potentiels théoriques des boues d'épuration

| Province/ Préfecture | Population (2010, estimé) | Potentiel théorique en biogaz | Potentiel énergétique théorique | Potentiel énergétique théorique |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Total | m ³ /a | MWh/a | tep/a |
| Berkane | 296.989 | 2.138.320 | 12.830 | 1.106 |
| Figuig | 142.195 | 1.023.804 | 6.143 | 530 |
| Jerada | 116.278 | 837.205 | 5.023 | 433 |
| Nador | 800.495 | 5.763.565 | 34.581 | 2.981 |
| Oujda - Angad | 524.154 | 3.773.907 | 22.643 | 1.952 |
| Taourirt | 227.154 | 1.635.507 | 9.813 | 846 |
| Total | 2.107.265 | 15.172.307 | 91.034 | 7.848 |

Le potentiel théorique de la fermentation des boues d'épuration s'élève dans la région de l'Oriental à 91.034 MWh/a, soit à 7.848 tep/a.

Le calcul des potentiels techniques est basé sur l'hypothèse que 90% de la population urbaine et 50 % de la population rurale puisse être raccordé à un système de traitement des eaux usées à moyen terme.

¹⁹⁴ Cf. Kaltschmitt, Neubarth : Erneuerbare Energien in Österreich (énergies renouvelables en Autriche), 2000

¹⁹⁵ Wauthelot, M. : Traitement anaérobie des boues et valorisation du biogaz

¹⁹⁶ Cf. GIZ/CDER : Promotion des énergies renouvelables, 2007

Tableau 52 : Potentiels techniques des boues d'épuration (biogaz)

| Province/ Préfecture | Population (2010, estimé) | | Potentiel technique en biogaz [m ³ /a] | | Potentiel énergétique technique [MWh/a] | | Potentiel énergétique technique [tep/a] | | CO _{2eq} [t/a] | |
|-------------------------|------------------------------|----------------|---|------------------|---|---------------|---|--------------|----------------------------|--------------|
| | urban | rural | urban | rural | urban | rural | urban | rural | urban | rural |
| Berkane | 171.545 | 125.444 | 1.111.610 | 451.599 | 6.670 | 2.710 | 575 | 234 | 2.596 | 1.055 |
| Figuig | 69.388 | 72.807 | 449.634 | 262.105 | 2.698 | 1.573 | 233 | 136 | 1.050 | 612 |
| Jerada | 71.202 | 45.077 | 461.388 | 162.276 | 2.768 | 974 | 239 | 84 | 1.077 | 379 |
| Nador | 405.504 | 394.991 | 2.627.669 | 1.421.966 | 15.766 | 8.532 | 1.359 | 735 | 6.136 | 3.321 |
| Oujda - Angad | 451.324 | 72.830 | 2.924.578 | 262.188 | 17.547 | 1.573 | 1.513 | 136 | 6.829 | 612 |
| Taourirt | 131.100 | 96.054 | 849.528 | 345.794 | 5.097 | 2.075 | 439 | 179 | 1.984 | 807 |
| Total | 1.300.063 | 807.202 | 8.424.406 | 2.905.928 | 50.546 | 17.436 | 4.357 | 1.503 | 19.673 | 6.786 |

Sur la base des hypothèses susmentionnées, on obtient dans le cadre de la fermentation des quantités disponibles de boues d'épuration un potentiel technique de 50.546 MWh/a pour le secteur urbain et de 17.436 MWh/a pour le secteur rural. Au total, on aboutit à un résultat de 5.860 tep/a. Les potentiels d'économie de CO₂ atteignent au total environ 26.500 t CO₂/a.

5.4.5.2 Valorisation thermique des boues d'épuration

Pour définir les potentiels d'un recyclage thermique, il convient de déterminer le potentiel énergétique des boues d'épuration comme combustible secondaire. Les quantités de boues d'épuration disponibles sont également calculées sur la base du nombre d'habitants. Pour calculer les quantités de boues d'épuration disponibles et le potentiel énergétique en résultant, les données prises en compte sont les suivantes :

- Quantité de boues d'épuration (MS) : 14,6 kg/EH/a¹⁹⁷
- Valeur calorifique (100 % MS) : 9 MJ/kg¹⁹⁸.

Le Tableau 53 présente les potentiels théoriques du recyclage thermique des boues d'épuration. Au total, le potentiel théorique atteint 76.915 MWh/a, soit 6.631 tep/a.

Tableau 53 : Potentiel énergétique théorique des eaux usées (recyclage thermique)

| Province/ Préfecture | Population (2010, estimé) | Potentiel théorique de boues d'épuration | | Potentiel théorique énergétique | Potentiel théorique énergétique |
|-------------------------|------------------------------|---|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Total | t/a | MWh/a | tep/a |
| Berkane | 296.989 | | 4.336 | 10.840 | 934 |
| Figuig | 142.195 | | 2.076 | 5.190 | 447 |
| Jerada | 116.278 | | 1.698 | 4.244 | 366 |
| Nador | 800.495 | | 11.687 | 29.218 | 2.519 |
| Oujda - Angad | 524.154 | | 7.653 | 19.132 | 1.649 |
| Taourirt | 227.154 | | 3.316 | 8.291 | 715 |
| Total | 2.107.265 | | 30.766 | 76.915 | 6.631 |

Le Tableau 54 présente les potentiels techniques du recyclage thermique des boues d'épuration. Si l'on suppose que 90% de la population urbaine et 50% de la population rurale pourra être raccordée à moyen terme à un système de traitement des eaux usées, il sera possible d'atteindre des potentiels énergétiques de 42.707 MWh/a pour la population urbaine et de 14.731 MWh/a pour la population

¹⁹⁷ Cf. SEEE : Étude pour l'élaboration de la Stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, 2010

¹⁹⁸ Cf. Stark: Technologien zur Überschusschlammreduktion (Technologies pour la réduction des excédents de boues)

rurale, au total environ 4.952 tep. Les potentiels d'économie de CO₂ atteignent environ 22.000 t CO₂/a.

Tableau 54 : Potentiel énergétique technique des eaux usées (recyclage thermique)

| Province/ Préfecture | Population (2010, estimé) | | Potentiel technique de boues d'épuration [t/a] | | Potentiel technique énergétique [MWh/a] | | Potentiel technique énergétique [tep/a] | | CO _{2eq} [t/a] | |
|-------------------------|------------------------------|----------------|--|--------------|---|---------------|---|--------------|----------------------------|--------------|
| | urban | rural | urban | rural | urban | rural | urban | rural | urban | rural |
| Berkane | 171.545 | 125.444 | 2.254 | 916 | 5.635 | 2.289 | 486 | 197 | 2.193 | 891 |
| Figuig | 69.388 | 72.807 | 912 | 531 | 2.279 | 1.329 | 196 | 115 | 887 | 517 |
| Jerada | 71.202 | 45.077 | 936 | 329 | 2.339 | 823 | 202 | 71 | 910 | 320 |
| Nador | 405.504 | 394.991 | 5.328 | 2.883 | 13.321 | 7.209 | 1.148 | 621 | 5.184 | 2.806 |
| Oujda - Angad | 451.324 | 72.830 | 5.930 | 532 | 14.826 | 1.329 | 1.278 | 115 | 5.770 | 517 |
| Taourirt | 131.100 | 96.054 | 1.723 | 701 | 4.307 | 1.753 | 371 | 151 | 1.676 | 682 |
| Total | 1.300.063 | 807.202 | 17.083 | 5.893 | 42.707 | 14.731 | 3.682 | 1.270 | 16.622 | 5.733 |

5.4.5.3 Valorisation matériel des boues d'épuration

Malgré le potentiel énergétique des boues d'épuration, la priorité devrait être donnée à un recyclage matériel de ces dernières ou à une combinaison fermentation/recyclage matériel. Les boues d'épuration étant riches en matières nutritives, leur recyclage agricole peut s'avérer un moyen judicieux de recycler les matières nutritives.

Cependant en cas d'une valorisation matérielle il faut toujours considérer que – selon l'origine des eaux usées – les boues d'épuration utilisées comprennent éventuellement les germes pathogènes, des hautes concentrations en métaux lourdes, des composés organiques nocifs ou bien des résidus de médicament. En plus, la récupération des matières (nutritives) est reliée à des efforts techniques et financiers considérables. Pour l'instant, cette problématique ne sera pas prise en considération dans les calculs suivants.

Il est donc possible de calculer la valeur fertilisante théorique des boues d'épuration sur la base de la quantité de boues d'épuration déterminée. Pour cela, les concentrations moyennes de matières nutritives dans les boues d'épuration ont été déterminées et appliquées aux potentiels identifiés.¹⁹⁹

Tableau 55 : Quantité de matières nutritives dans les boues d'épuration au Maroc²⁰⁰

| Paramètre | Matière nutritive | % dans la MS | |
|----------------|-------------------|--------------|--|
| | | | |
| Azote (N) | | 1,45% | |
| Phosphore (P) | | 0,76% | |
| Potassium (K) | | 0,12% | |
| Magnesium (Mg) | | 0,76% | |
| Calcaire (Ca) | | 4,85% | |

Pour calculer la valeur fertilisante, on a utilisé les valeurs marchandes d'Allemagne pour les matières nutritives respectives.²⁰¹ Dans les tableaux suivants, la valeur fertilisante est représentée en fonction du potentiel théorique et du potentiel technique.

¹⁹⁹ Cf. MOUNTADAR; ASSOBHEI : Production and management of sludge and other bow in Morocco, 2006

²⁰⁰ Mountadar; Assobhei : Production and management of sludge and other bow in Morocco, 2006

²⁰¹ Cf. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft: Produktqualität und Verbraucherschutz in Thüringen (qualité des produits et protection des consommateurs en Thuringe), 2008

Tableau 56 : Quantités de matières nutritives (en fonction du potentiel théorique des boues d'épuration)

| Paramètre | Matière nutritive | Valeur | Valeur |
|----------------|-------------------|--------|----------------|
| | % i. d. TM | t/a | €/t |
| Azote (N) | 1,45% | 446 | 610 |
| Phosphore (P) | 0,76% | 234 | 950 |
| Potassium (K) | 0,12% | 37 | 410 |
| Magnesium (Mg) | 0,76% | 234 | 280 |
| Calcium (Ca) | 4,85% | 1.492 | 40 |
| Total | | | 634.550 |

Tableau 57 : Quantités de matières nutritives (en fonction du potentiel technique des boues d'épuration)

| Paramètre | Matière nutritive | Valeur | Valeur |
|----------------|-------------------|--------|----------------|
| | % i. d. TM | t/a | €/t |
| Azote (N) | 1,45% | 333 | 610 |
| Phosphore (P) | 0,76% | 175 | 950 |
| Potassium (K) | 0,12% | 28 | 410 |
| Magnesium (Mg) | 0,76% | 175 | 280 |
| Calcium (Ca) | 4,85% | 1.114 | 40 |
| Total | | | 473.868 |

Concernant le potentiel théorique des boues d'épuration, on obtient des potentiels de matières nutritives d'une valeur de 634.000 €/a. Le recyclage matériel des potentiels techniques des boues d'épuration aboutit à une valeur de 437.000 €/a.

5.4.6 Conclusion

L'analyse du flux des matériaux a montré que des possibilités d'optimisation existent à tous les niveaux du secteur de l'eau et des eaux usées pour permettre une meilleure exploitation des potentiels matériaux et énergétiques.

En matière d'approvisionnement en eau, il sera particulièrement important à l'avenir de réduire - par des systèmes efficaces d'irrigation et le remplacement de l'eau douce par des eaux usées assainies- la consommation d'eau du secteur agricole, qui est actuellement le plus grand consommateur d'eau. Le paragraphe 5.4.2.1 explique par exemple que les eaux usées assainies des stations d'épuration d'Oujda et de Nador présentent une qualité suffisante pour l'irrigation et que de premiers projets pilotes ont déjà été initiés. Il convient par ailleurs de prendre les mesures nécessaires en matière d'approvisionnement en eau et de distribution de l'eau pour minimiser les pertes d'eau importantes dues à la vétusté des conduites.

Dans le domaine de l'élimination et du traitement des eaux usées, un raccord le plus complet possible de la population à un système d'évacuation et de traitement des eaux usées doit être l'objectif principal à moyen et long terme. Du fait que les systèmes de lagunage existants/prédominants ne permettent que difficilement un recyclage matériel des substances nutritives ou un recyclage énergétique du biogaz ou des boues d'épuration sur le plan technique (prélèvement du gaz au-dessus des bassins anaérobie ou prélèvement continu de boues d'épuration par exemple), les futurs projets de construction de stations d'épuration des eaux usées devront mieux tenir compte des technologies alternatives de recyclage énergétique et/ou matériel de l'eau,

des boues d'épuration ou des matières nutritives. Cela permettrait de générer par exemple 5.800 tep/a (67.000 MWh/a) dans le cadre du prélèvement et de l'exploitation énergétique du biogaz, ou encore 5.000 tep/a (56.000 MWh/a) dans le cadre du recyclage thermique des boues d'épuration dans la région de l'Oriental.

L'illustration suivante présente un aperçu des potentiels énergétiques régionaux des boues d'épuration (fermentation des boues). La fermentation et la combustion simultanées des boues d'épuration sur un seul site étant considérées comme très improbables, la carte montre uniquement les potentiels liés à la fermentation des boues d'épuration.

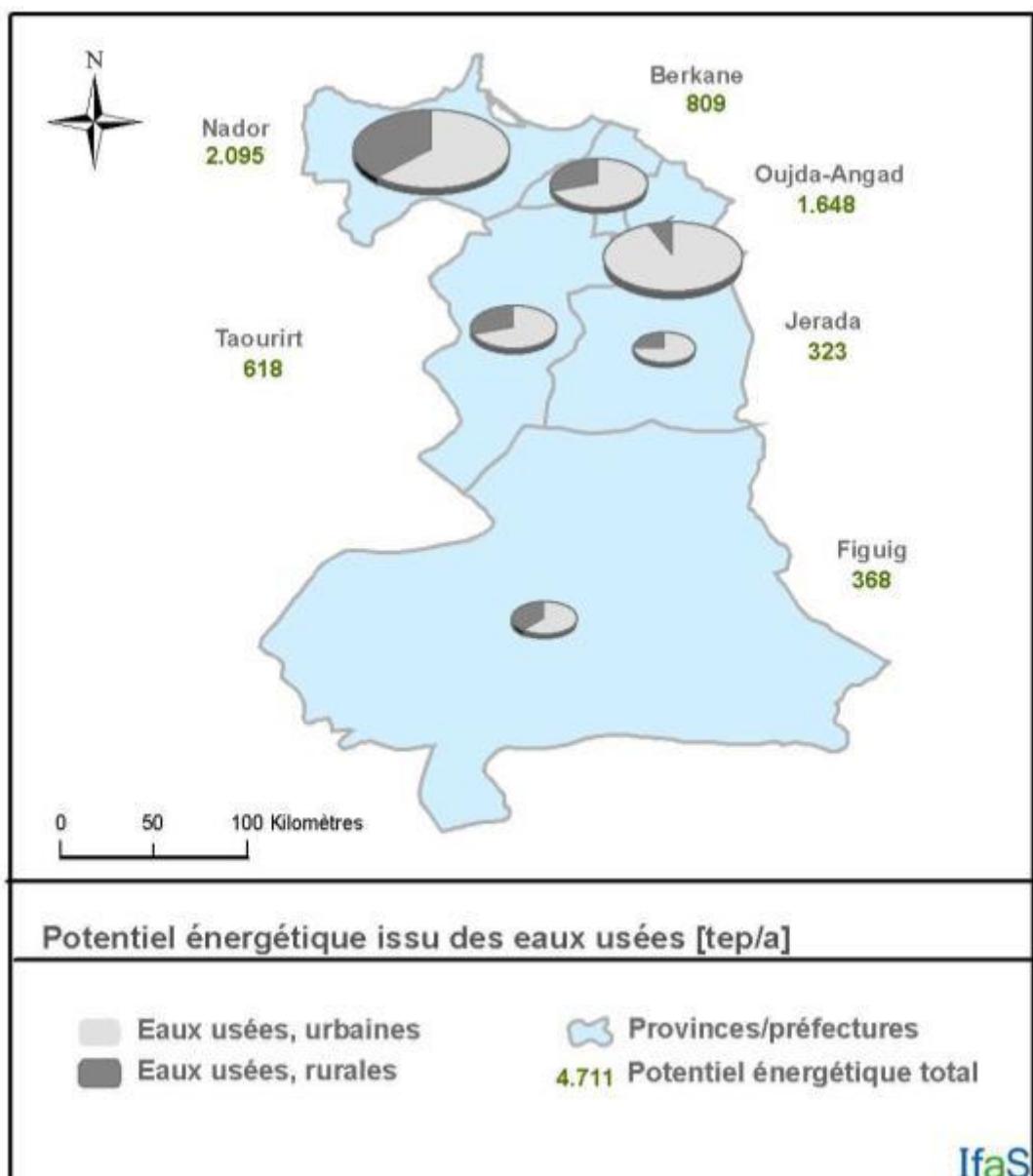


Figure 42: Potentiels énergétiques issu du secteur des eaux usées dans la Région de l'Oriental (les chiffres en vert foncé représentent le potentiel énergétique total de chaque province/préfecture)

Au total, on peut cependant affirmer que les potentiels énergétiques résultant de la fermentation et de la combustion des boues d'épuration sont relativement difficiles à évaluer dans la mesure où la composition des eaux usées et les propriétés des boues d'épuration d'une manière générale varient considérablement et où aucune donnée spécifique concernant les caractéristiques des boues

d'épuration n'a pu être rassemblée pour l'ensemble de la région dans le cadre de l'analyse du flux des matériaux.

Pour déterminer en détail les potentiels énergétiques du traitement des eaux usées de la région, il convient de rassembler non seulement les informations concernant les quantités de boues d'épuration effectivement traitées, mais aussi des informations précises concernant le taux de matière sèche et le taux de matière sèche organique. De plus, les calculs présentés plus haut presupposent une exploitation énergétique complète des boues d'épuration. Selon les cas, toutefois, il conviendra impérativement d'étudier si la priorité ne doit pas être donnée au recyclage matériel (en agriculture par exemple) plutôt qu'au recyclage énergétique.

5.5 Energie

5.5.1 Energie électrique

La région de l'Oriental dispose d'installations hydrauliques et thermiques pour la production d'électricité. La centrale thermique au charbon de Jerada, la centrale hydraulique du barrage Mohammed V²⁰² et la centrale thermo-solaire hybride à Ain Beni Mathar qui est entrée en fonction en 2010 sont les installations essentielles de production d'électricité. En plus du fournisseur national d'électricité ONE (Office Nationale de l'Electricité), la Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité d'Oujda (RADEEO) est aussi active dans la région de l'Oriental pour la distribution d'électricité.

Tableau 58 montre les installations de production d'électricité dans la région de l'Oriental avec leurs puissances installées, le type de combustible utilisé ainsi que la production annuelle en électricité.

Tableau 58: Production d'énergie électrique²⁰³

| Centrales électriques | Puissance installé MW | Type de combustible | Production (2009) |
|--|--------------------------|---------------------|----------------------|
| | | | GWh |
| Centrale thermo-solaire Ain Beni Mathar* | 470,0 | Gaz | 1.590,0 |
| Centrale thermique Jerada | 165,0 | Charbon | 875,0 |
| Centrale hydraulique Mohamed V | 23,2 | | 25,1 |
| Centrale hydraulique Bouarg (Selouane) | 6,4 | | 2,7 |
| Centrales thermiques Figuig, Bouarfa et Tendrara | 2,4 | Gasoil | |
| Total | 667 | | 2.493 |

* 20 MW/40 MWh à partir de la composante solaire (2010)

La centrale thermo-solaire hybride Ain Beni Mathar au nord-est du Maroc, à proximité de la frontière algérienne, financée par la Banque africaine de développement (BAD), le Global Environment Fund (GEF), la Spanish Development Agency (ICO) et l'ONE, avec deux turbines à gaz et une turbine à vapeur et des panneaux solaires collecteurs de plus de 183.000 m², produit 1.590 GWh d'électricité par an, dont environ 40 GWh proviennent de l'énergie solaire.²⁰⁴ Plus de 60% de l'électricité générée dans la région de l'Oriental sont aujourd'hui produits par la centrale hybride. Les autres 35% sont produits par la centrale thermique à charbon de Jerada.

En 2004, 90% de la population urbaine et 40% de la population rurale étaient raccordés au réseau électrique public. Au moment de la saisie des données, aucune donnée actuelle n'était disponible sur l'état de raccordement de la population. On présume que l'état de raccordement dans les zones urbaines tourne aujourd'hui autour de 100% et que dans les zones rurales le nombre de raccordement est aussi plus élevé.

²⁰² Le barrage Mohammed V est utilisé pour la production d'électricité et pour l'irrigation. Les forêts qui bordent le barrage sont surexploitées. Cela entraîne une augmentation du processus de sédimentation dans le lac du barrage (Ministère de l'Environnement : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental)

²⁰³ Information écrite, Monsieur Serhouchni, ONE & African Development Bank : Ain Beni Mathar, Solar Thermal Power Station Project

²⁰⁴ Fichtner : exemple de projet Energies renouvelables

Tableau 59: Taux de foyers raccordés au réseau électrique public (2004, en %)²⁰⁵

| Province | Urbain | Rural | Ensemble |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Oujda - Angad | 92 | 53 | 87 |
| Berkane | 91 | 54 | 76 |
| Figuig | 87 | 12 | 51 |
| Jerada | 89 | 27 | 68 |
| Nador | 91 | 45 | 70 |
| Taourirt | 77 | 14 | 53 |
| Oriental | 90 | 40 | 73 |

La consommation globale d'électricité (basse et moyenne tension) dans la région de l'Oriental se situait en 2008 à 987.000 MWh, ce qui représente une augmentation de 8% de la consommation électrique par rapport à l'année 2007. Si l'on calcule à partir d'estimations la consommation d'électricité avec le taux d'augmentation cité pour 2010, on obtient un besoin en électricité de 1.148.000 MWh (basse et moyenne tension) pour toute la région.

Le besoin en électricité des clients moyenne tension représente environ un tiers des besoins globaux de la région en électricité (349.263 MWh en 2009). La catégorie des clients moyenne tension se compose essentiellement d'industriels, tels que carrières, fabriques de tuiles ou entreprises de matériaux de construction. Il existe de plus un besoin élevé en énergie pour le stockage des poissons, des fruits et légumes, et pour la climatisation des entrepôts frigorifiques ou de zones de stockage. Les groupes frigorifiques fonctionnent en règle générale à l'électricité.

| Province | Consommation d'électricité (BT + MT) | | Consommation d'électricité (MT) | |
|----------------|---|------------------|------------------------------------|------------------|
| | 2008 [MWh/a] | 2010* [MWh/a] | 2009 [MWh] | 2010* [MWh/a] |
| Berkane | 142.663 | 165.829 | 50.098 | 54.764 |
| Bouarfa/Figuig | 28.325 | 32.924 | 5.934 | 6.487 |
| Jerada | 42.786 | 49.734 | 19.426 | 21.235 |
| Nador | 420.886 | 489.229 | 169.706 | 185.512 |
| Oujda | 288.116 | 334.900 | 78.643 | 85.968 |
| Taourirt | 64.985 | 75.537 | 25.456 | 27.827 |
| Total | 987.761 | 1.148.153 | 349.263 | 381.793 |

* projection

Tableau 60: Consommation en électricité (BT & MT)

Tableau 61 montre la répartition des besoins en électricité dans la catégorie des clients basse tension. Le besoin en électricité a été calculé à partir des estimations de juillet 2010 pour toute l'année 2010. Au total, il résulte un besoin en électricité de 656.964 MWh en basse tension. Dans cette catégorie, on compte par exemples les foyers, les éclairages publics ou les petites installations (« force motrice ») dans l'agriculture ou l'industrie.

Les foyers privés utilisent en règle générale l'énergie électrique pour faire fonctionner les appareils électroménagers, la climatisation ou pour réchauffer l'eau sanitaire. Pour une population estimée à 2.107.265 habitants, on obtient pour 2010 un besoin en électricité moyen de 258 kWh/hab/a.

²⁰⁵ Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda : Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 1, 2008

Tableau 61: Consommation d'électricité basse tension

| | Nombre Clients | Consommation [MWh] |
|---------------------------------|----------------|--------------------|
| | | 2010* |
| Ménages | 428.526 | 542.964 |
| Eclairage Patenté | 51.251 | 87.204 |
| Eclairage Administratif | 3.394 | 756 |
| Eclairage Public | 2.590 | 612 |
| Force Motrice Agricole | 1.963 | 8.952 |
| Force Motrice Industriel | 4.075 | 16.476 |
| Total | 491.799 | 656.964 |

* chiffres disponibles juillet 2010, projection jan-déc 2010

Les tableaux suivants montrent les tarifs d'électricité de l'ONE pour le secteur résidentiel et pour les professionnels.

Tableau 62: Tarifs d'électricité du secteur résidentiel

| Usage domestique et Eclairage Privé | |
|-------------------------------------|--------|
| DH/kWh | |
| 0 à 100 kWh | 0,9010 |
| 101 à 200 kWh | 0,9689 |
| 201 à 500 kWh | 1,0541 |
| > à 500 kWh | 1,4407 |

Tableau 63: Tarifs d'électricité „Professionnels – Tarif général“

| Professionnels Tarif général | |
|---------------------------------|--------|
| DH/kWh | |
| Heures de pointe | 1,2265 |
| Heures pleines | 0,8051 |
| Heures creuses | 0,5239 |

Tableau 64: Tarifs d'électricité „Professionnels – Tarif basse tension“ (clients force motrice, industriels et agricoles)

| Professionnels Tarif basse tension | |
|---------------------------------------|--------|
| DH/kWh | |
| 0 à 100 kWh | 1,1909 |
| 101 à 500 kW | 1,2803 |
| > à 500 kWh | 1,4632 |

5.5.2 Energie thermique

Dans le domaine privé, une majeure partie de l'énergie thermique est utilisée pour la cuisson ou pour réchauffer l'eau sanitaire. Pour la cuisson, on utilise en règle générale du gaz butane.²⁰⁶ Pour chauffer un édifice, si cela est nécessaire, on utilise dans les zones rurales et dans les hammams de la biomasse (bois, charbon de bois) comme combustible. Comme mentionné plus haut, on utilise l'électricité en partie pour la climatisation (climatiseurs type Split) et pour le réchauffement de l'eau sanitaire (chauffe-eau électrique instantanée). L'exploitation d'installations thermo-solaires pour réchauffer l'eau sanitaire (au Maroc, souvent des installations en thermosiphon) est rare dans la région de l'Oriental.

Il est supposé que le domaine de loin le plus important de l'exploitation d'énergie thermique se trouve dans l'industrie (par ex. l'industrie du ciment, la métallurgie, les laiteries et l'industrie sucrière). Pour la production de chaleur et de vapeur, on utilise essentiellement pour le processus de fabrication du fioul ou du gaz (fioul/mazout).²⁰⁷

Les chaudières et les systèmes de chauffage sont souvent dans un état déplorable et pourrait produire d'avantage d'énergie. On note le manque de systèmes de commandes et de réglages électroniques, les déficiences d'entretien technique, la piètre isolation des conduites de chauffage et de refroidissement ainsi que les modes d'exploitation inefficaces.

Dans le cadre de la collecte de données les données statistiques ou bien quantitatives sur le secteur de la production et de l'utilisation de l'énergie thermique n'ont pas pu être collectées. En conséquence, pour l'instant seulement les informations qualitatives mentionnées ci-dessus seront prise en compte. Même les visites sur place n'ont pas fourni les résultats souhaités vu que les interviewés n'ont pas disposés ou n'ont pas connu les données demandés ou bien les données incomplètes ont été mise à disposition. Tableau 65 montre les résultats obtenus sur la consommation et l'approvisionnement en énergie thermique et électrique lors des visites des entreprises dans la région de l'Oriental.

A partir de quatre entreprises, on visualise les besoins en chaleur ou de production de chaleur (ou production de froid) qui ont valeur d'exemples pour le secteur industriel de la région de l'Oriental :

²⁰⁶ Une bouteille de gaz butane (10 kg) coûte environ 40 DH.

²⁰⁷ Une tonne de « gasoil » (Diesel) coûtait en 2009 3400 DH.

Tableau 65 : Besoins et approvisionnement en énergie thermique et électrique d'entreprises sélectionnées

| Entreprise | Activité | Energie électrique | Energie thermique |
|-------------|-----------------------------|--|--|
| COLAIMO | Laiterie | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - Réseau électrique | <u>Demande</u> - Pasteurisation: 75 °C - Fermentation du lait (chambre chaud): 45°C <u>Approvisionnement</u> - Chaudières à gaz |
| SUCRAFOR | Sucrerie | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - Installation électrique interne (4.200 kW) | <u>Demande</u> - Vapeur: 60t/h, 33 bar, 380°C <u>Approvisionnement</u> - Chaudière à biomasse - Chaudière à fioul - 2816 t/a de fioul pour la production des pellets - 8074 t/a de fioul pour la production du |
| KANTARI | Conditionnement d'agrumes | <u>Demande</u> - Stockage dans les chambres froides (4-8 °C) <u>Approvisionnement</u> - Ventilateurs électriques - Puissance installée: 2 x 630 kW - Facture électrique: 200.000 - 300.000 | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - n.d. |
| HOLCIM | Cimenterie | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - n.d. | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - CDD: 15.000-17.000 t de pneus importés (= 7% de la chaleur produit) - Déchets miniers (= 3% de la chaleur produit) - PETCOKE (produit des raffineries de pétrole) - En planification: valorisation de la biomasse |
| Shrimpalida | Décortication des crevettes | <u>Demande</u> - Centrale de climatisation - Chambres froids (électrique) - Eclairage - Machine à emballer <u>Approvisionnement</u> - Réseau électrique - 11.140 kWh (mois exemplaire); soit 20.000 Dh pour deux mois en hiver, soit 50.000 DH pour deux mois en été) | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - n.d. |
| KPCD | Abattoir avicole | <u>Demande</u> - <u>Approvisionnement</u> - Réseau électrique - 14.000 DH/mois | <u>Demande</u> - (tout électrique) <u>Approvisionnement</u> - |
| Mon Lait | Laiterie | <u>Demande</u> - Installation de refroidissement <u>Approvisionnement</u> - Réseau électrique - 150 kWh/mois ??? >>12.000-30.000 | <u>Demande</u> - Vapeur: 500 m³/h <u>Approvisionnement</u> - Deux chaudières au mazout |
| VINICOOP | Coopérative vinicole | <u>Demande</u> - <u>Approvisionnement</u> - Réseau électrique (150 kVA) - 40.000 Dh/mois (seulement sept et oct.) | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - n.d. |
| Fouzia | Conservation des olives | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - Réseau électrique - Facture électrique: 3.000 DH/mois (mois 10,11, 12) | <u>Demande</u> - n.d. <u>Approvisionnement</u> - n.d. |

6 Résumé et évaluation des potentiels

L'analyse des potentiels énergétiques de la région de l'Oriental a montré que 53%²⁰⁸ du potentiel se situait dans le secteur des déchets. Vue que le secteur des déchets représente plus que la moitié du potentiel global, ici les nouvelles bases d'exploitation matérielle et énergétique peuvent aboutir à des améliorations notables, là les potentiels sont prépondérants dans le domaine des fractions de déchets organiques. Avant tout, le plus grand flux quantitatif des déchets organiques ménagers pourrait à moyen terme être relativement facilement mis en valeur dans les domaines urbains en raison du système de collecte établi et se produit relativement régulièrement dans le courant de l'année. Par ailleurs, les potentiels primordiaux des déchets organiques dans l'industrie (abattoirs, laiteries, production d'olives, transformation du poisson) et dans le secteur du tourisme, qui sont aussi soumis à une forte saisonnalité sont principalement disponibles dans la préfecture d'Oujda et la province de Nador.

Dans le secteur des eaux usées, 24% du potentiel global de la zone d'étude pourraient être utilisés via l'exploitation énergétique issue des boues résiduelles. Ces potentiels peuvent être activés par la modernisation des stations d'épuration établies ou par la prise en compte précoce des technologies adéquates, lors de la construction de nouvelles stations d'épuration. Les infrastructures adéquates dans le traitement des eaux usées et donc aussi les potentiels exploitables existent avant tout dans les grandes villes de la région.

Le secteur agricole représente 23% du potentiel global. L'arboriculture fruitière et les autres arboricultures dominent au sein du potentiel agricole (90%). Environ 8% du potentiel agricole résultent de la production animale et 1% des cultures sous serres. Cependant, il faut tenir compte du fait que les potentiels agricoles sont saisonniers.

Le Tableau 66 résume les potentiels de l'agriculture, de l'exploitation des déchets et des eaux usées. Le potentiel global de la région de l'Oriental s'élève à 24.422 tep/a.

Tableau 66 : Potentiel technique global en tep

| Province | Potentiel énergétique technique [tep/a] | | | |
|-------------|--|---------|------------|--------|
| | Agriculture | Déchets | Eaux usées | TOTAL |
| Berkane | 1.100 | 1.541 | 809 | 3.450 |
| Figuig | 249 | 605 | 368 | 1.222 |
| Jerada | 278 | 709 | 323 | 1.309 |
| Nador | 2.647 | 3.774 | 2.095 | 8.516 |
| Oujda-Angad | 901 | 4.779 | 1.648 | 7.328 |
| Taourirt | 358 | 1.620 | 618 | 2.596 |
| Total | 5.534 | 13.028 | 5.861 | 24.422 |

Sur la Figure 43, la répartition spatiale des potentiels mentionnés est exposée par des graphiques.

²⁰⁸ Dans le cadre du résumé et de l'évaluation, il se forme un potentiel global (100%) issu des domaines de l'agriculture, du traitement des déchets et des eaux usées. Le secteur de l'exploitation forestière n'est ici pas pris en compte, car dans ce domaine il existe des potentiels exploitables exclusivement non durables.

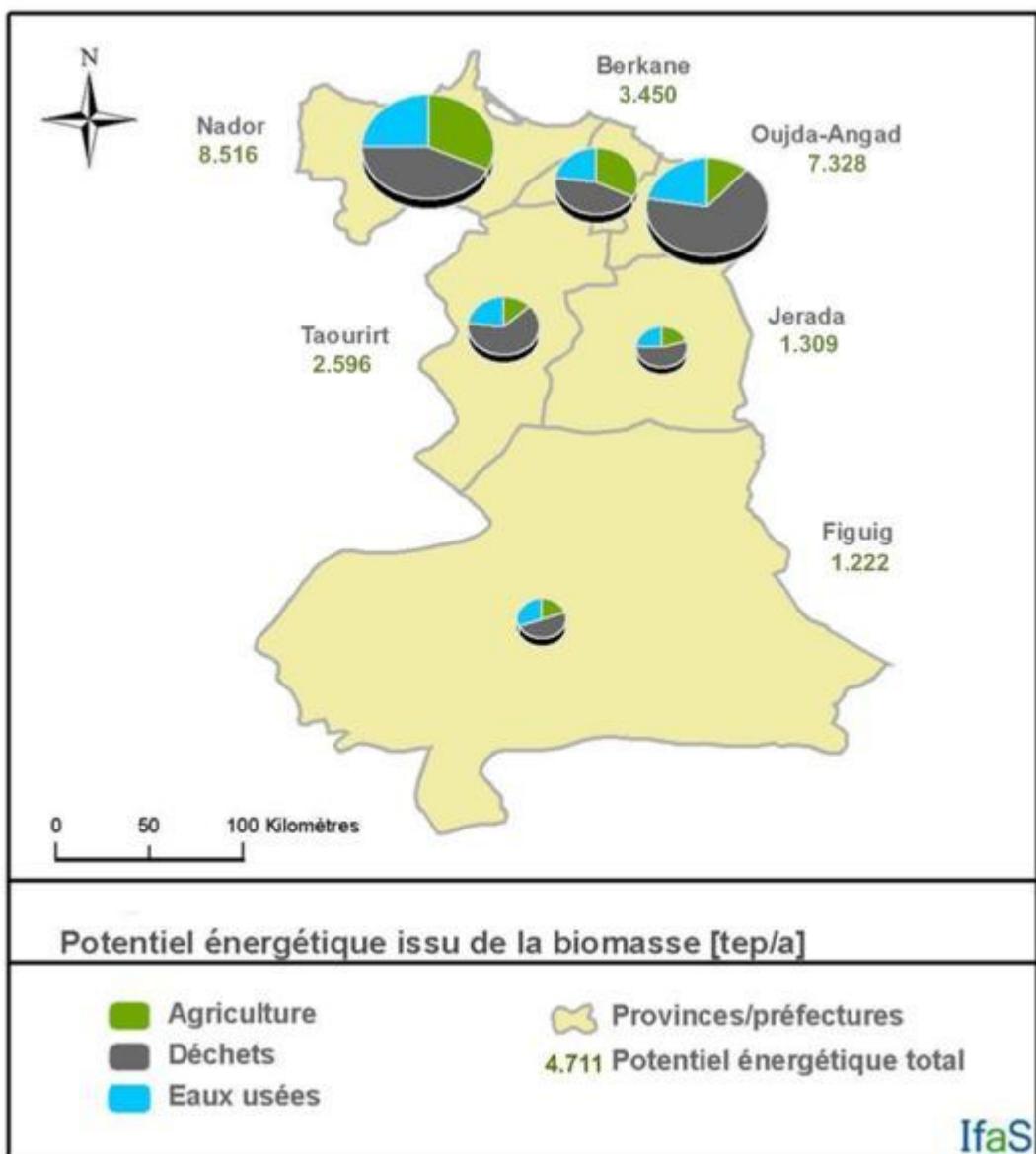


Figure 43: Potentiel technique global en tep/a (les chiffres en vert représentent le potentiel énergétique total de chaque province/préfecture)

Les potentiels indiqués correspondent à un potentiel énergétique global de 283.435 MWh/a et à un potentiel de réduction de CO₂ de 57.881 t/a.

Tableau 67 : Potentiel technique global en MWh et potentiel de réduction de CO₂

| Province | Potentiel énergétique technique [MWh/a] | | | Potentiel de réduction d'émissions | |
|--------------|--|----------------|---------------|--|------------------------|
| | Agriculture | Déchets | Eaux usées | TOTAL | [t CO ₂ /a] |
| Berkane | 12.793 | 17.876 | 9.379 | 40.048 | 8.867 |
| Figuig | 2.899 | 7.017 | 4.270 | 14.186 | 3.143 |
| Jerada | 3.228 | 8.224 | 3.742 | 15.193 | 3.129 |
| Nador | 30.770 | 43.781 | 24.298 | 98.849 | 21.921 |
| Oujda-Angad | 10.475 | 55.435 | 19.121 | 85.031 | 15.201 |
| Taourirt | 4.166 | 18.790 | 7.172 | 30.128 | 5.621 |
| Total | 64.331 | 151.122 | 67.982 | 283.435 | 57.881 |

Afin de trouver le potentiel pour engendrer de l'énergie électrique, il faut tout d'abord exclusivement prendre en compte le tissu électrique de la biomasse fermentable (les cultures en serres, la production animale, les déchets, les eaux usées) pour la production du biogaz (et la conversion en centrales à gaz).²⁰⁹ Pour un degré d'efficacité électrique de 35% on peut générer au total environ 78.907 MWh d'électricité (Tableau 68). Ceci correspond à peu près à 6% de la consommation électrique réelle au sein de la région. Si l'on envisage le prix de l'électricité de l'industrie (1,08165 DH/kWh), cela correspond à une valeur monétaire totale de 85.349.000 DH.

Tableau 68 : Besoin en électricité et potentiel électrique (à partir des matières fermentescibles)

| Province | Demande électrique [MWh/a] | Potentiel énergétique technique des matières fermentescibles [MWh/a] | | | Potentiel électrique [MWh/a] | Equivalent monétaire [DH] |
|--------------|----------------------------------|--|----------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | Agriculture* | Déchets | Eaux usées | TOTAL | |
| Berkane | 165.829 | 1.416 | 17.876 | 9.379 | 28.672 | 10.035 |
| Figuig | 32.924 | 708 | 7.017 | 4.270 | 11.995 | 4.198 |
| Jerada | 49.734 | 680 | 8.224 | 3.742 | 12.646 | 4.426 |
| Nador | 489.229 | 2.052 | 43.781 | 24.298 | 70.131 | 24.546 |
| Oujda-Angad | 334.900 | 903 | 55.435 | 19.121 | 75.458 | 26.410 |
| Taourirt | 75.537 | 583 | 18.790 | 7.172 | 26.545 | 9.291 |
| Total | 1.148.153 | 6.343 | 151.122 | 67.982 | 225.448 | 78.907 |
| | | | | | | 85.349.485 |

* Cultures sous serre + Production animale

6.1 Potentiel selon les provinces/préfectures

Dans ce qui suit et dans le cadre de l'analyse du potentiel sont résumées les singularités trouvées de chaque province.

²⁰⁹ Le potentiel de production de l'énergie électrique issue de centrales d'incinération via l'exploitation de la biomasse thermique (par ex. bois de clairière) ne peut être déterminé. La concurrence d'exploitation concernant des structures existantes (par ex. exploitation de la biomasse thermique dans les hammams et les boulangeries) n'a pas été examinée.

Berkane

Le potentiel dans le secteur des déchets de la province de Berkane est actuellement représenté avant tout par les fractions de déchets organiques ménagers (15.564 MWh). A l'avenir, par le développement du « pôle agro-industriel de Berkane » qui, à côté de l'activité agro-industrielle (traitement, commercialisation, vente) englobera la logistique et les prestations de service, d'importants potentiels émergeront grâce aux possibilités des centrales de résidus agricoles et de production de déchets dans le domaine industriel.

La province côtière de Berkane, grâce à des précipitations fertiles et de bonnes possibilités d'irrigation, bénéficie en général de récoltes importantes dans la production végétale. La culture intensive des agrumes et autres arboricultures donnent avec presque 11.377 MWh un haut potentiel dans le domaine du bois issu du défrichement. Les cultures comme le maïs, les céréales et la production de plantes fourragères permettent ici un élevage bovin intensif. Berkane a la plus forte concentration de bovins de la région de l'Oriental, d'où un potentiel énergétique de plus de 1.000 MWh résulte de l'élevage des bovins. Il s'ensuit un potentiel local dans le domaine de la production végétale grâce aux cultures sous serres.

Figuig

La province pauvre en végétation de la région dispose de très faibles potentiels dans le secteur de l'agriculture. Les faibles potentiels dans le domaine de la production végétale sont relativement précaires, car la biomasse disponible est déjà intensivement exploitée. 24% des potentiels agricoles résultent de l'élevage.

En raison des faibles activités industrielles, les potentiels énergétiques du secteur des déchets se limitent presque exclusivement à la fraction des déchets organiques ménagers.

Jerada

Comme dans la province de Figuig, les potentiels énergétiques du secteur des déchets de Jerada se limitent aussi presque exclusivement à la fraction des déchets organiques ménagers. En plus du potentiel du secteur des déchets ménagers, on a seulement identifié les potentiels énergétiques issus des déchets des abattoirs.

A Jerada, un tiers de la surface est couverte par la « nappe alfatière ». La province dispose dans le domaine de la production végétale d'un potentiel à hauteur de 2.547 MWh, il atteint presque 680 MWh pour l'élevage des animaux.

Nador

En raison du grand nombre d'habitants et de la prédominance de la production d'huile d'olive et d'autres industries dans la province de Nador, il s'ensuit un potentiel de 43.781 MWh dans le secteur des déchets.

La ville de Nador dispose depuis ces dernières années d'une station d'épuration moderne avec une génération continue de boues résiduelles pour lesquelles on n'a pas encore réussi, dans l'état actuel des connaissances, à trouver un concept efficace d'évacuation.

Comme dans la province de Berkane, il règne à Nador un climat humide comme dans les provinces restantes. Dans les régions relativement pauvres en forêts, on trouve des grandes plantations d'arbres fruitiers et des oliveraies qui, grâce à une bonne irrigation, ont un très bon rendement. La province de Nador dispose donc du plus haut potentiel agricole. A côté de l' « arboriculture » qui réalise ici un potentiel énergétique de presque 28.718 MWh, le potentiel d'élevage des bovins atteint environ 1.491 MWh.

Oujda-Angad

En raison d'une grande proportion de population urbaine dans la préfecture d'Oujda-Angad (plus de 410.000 habitants dans le secteur urbain), apparaît en même temps un haut potentiel réaliste dans les exploitations énergétiques potentielles des déchets organiques ménagers (35.033 MWh). En plus, viennent des potentiels de déchets issus du domaine industriel (abattoirs, laiterie) ainsi que de la production d'huile d'olive (en total 20.326 MWh).

Taourirt

Le potentiel dans le domaine des déchets est concentré avant tout sur les déchets ménagers organiques, toutefois le domaine de la transformation de l'huile d'olive (5.792 MWh/a) et du poisson (1.010 MWh/a).

Taourirt dispose de surfaces étendues sur lesquelles on a planté des oliviers. Cela apporte un potentiel énergétique d'environ 3.582 MWh dans le secteur du bois issu du défrichement. A côté d'une vaste partie forestière (20%) dominent aussi ici les « nappes alfatières » (23% de la surface).

6.2 Évaluation des potentiels agricoles sur fond de mise en place d'une stratégie

Les potentiels agricoles ont été en discussion lors de formations, d'entretiens avec des experts et d'excursions avec différents interlocuteurs connaissant le terrain. Le résultat fait apparaître des restrictions considérables du potentiel utilisable attendu pour deux raisons : d'une part, la biomasse est difficilement exploitable sur le plan technique (par ex. la paille) et d'autre part, sa production n'est pas constante et géographiquement dispersée (par ex. restes végétaux provenant de serres). Un autre aspect non négligeable réside dans le rôle parfois très important qu'elle joue dans l'économie régionale et dans le maintien du cycle des nutriments (par ex. le fumier d'étable pour la production de terreau). La taille réduite du cheptel par exploitation ne permet pas, à quelques exceptions près, une concentration et une valorisation efficace de cette biomasse.

En ce qui concerne le bois de coupe issu de l'arboriculture, on peut partir du fait qu'au moins 90% de ce matériau est exploité efficacement sur le marché local. En conséquent, même dans ce domaine, qui a le potentiel théorique le plus élevé, il est difficile d'envisager un détournement qui serait

soutenable sur le plan social. La rareté du bois se révèle par ailleurs en examinant la situation des forêts. Il faut à tout prix éviter d'en aggraver la dégradation. En effet, il est à craindre que le détournement et donc la suppression du bois issu des cultures agricoles aurait pour conséquence un prélèvement accru du bois forestier, ce qui déclencherait une réaction en chaîne fatale pour la forêt.

L'exploitation des steppes d'alfa, très répandues et en partie nées de la surexploitation, ne peut avoir lieu uniquement sous un contrôle écologique strict et même dans ce cas, uniquement là où une production suffisante est attestée. Toute exploitation industrielle non réglementée peut entraîner une nouvelle dégradation des sols.

Il n'y a de toute évidence que très peu de résidus organiques non utilisés exploitables de manière durable, et surtout socialement soutenable. Il faut donc s'attendre à une réduction drastique du potentiel théorique disponible d'environ 90 à 95% en direction du potentiel durablement exploitable. Ce constat permet de formuler trois recommandations fondamentales en vue de l'élaboration ultérieure d'une stratégie :

- En partant des implantations possibles des centrales de valorisation des déchets, il faut considérer les résidus agricoles, dans des limites systémiques raisonnables, comme de la matière supplémentaire pouvant être exploitée de façon saisonnière.
- Dans les élevages intensifs ayant recours à l'épandage du purin, une production de biogaz peut s'avérer raisonnable. Pour cela il faut cependant encore procéder à des enquêtes plus ciblées sur des exploitations de tailles minimales adaptées, par ex. 100 vaches ou plus, élevées principalement en étable.
- Dans le cadre du Plan Vert, de nouveaux modèles agricoles incluant aussi les cultures alternatives devraient être développés et testés. Ceux-ci devraient :
 - respecter comme base les savoir-faire de l'agriculture traditionnelle
 - optimiser la gestion de l'eau de façon à atteindre une efficacité maximale (bassins de retenue)
 - préserver le plus possible le cycle des nutriments nécessaires
 - soutenir une gestion des sols durable et favoriser l'augmentation de la fertilité des sols.

Des polycultures organisées sur le modèle des systèmes agro-forestiers semblent appropriées pour un tel développement. Dans ces cultures, le composant arboricole peut d'une part servir comme culture de rente et d'autre part fournir du bois de coupe pour la production d'énergie. On peut également envisager d'autres essences pour l'exploitation du bois. Non coupées, celles-ci remplissent par ailleurs d'importantes fonctions de protection contre l'érosion et l'évaporation. Les cultures annuelles ou pluriannuelles entre et sous les rangées d'arbres devraient alors principalement se destiner à l'alimentation.

Un accompagnement par une pratique de reforestation restrictive peut, dans le contexte local et régional, modifier positivement le climat et la disponibilité en eau.

7 Esquisses de projet

7.1 Valorisation énergétique et matériel des déchets organiques au niveau de l'agropole de Berkane

7.1.1 Approche & Objectifs

L'esquisse de projet a pour objectif d'élaborer des recommandations pour un approvisionnement énergétique durable de l'agropole à Berkane. Un centre de ressource pour la valorisation des déchets organiques de l'agropole et des déchets municipaux de la province de Berkane (communes de Berkane, d'Aklim, de Boughriba, de Cherraa et de Zegzel) serviront de base pour l'alimentation énergétique (électricité, chaleur, froid).

La valorisation énergétique des déchets aura lieu dans une usine de biogaz à proximité de l'agropole. Le biogaz produit devra être utilisé, selon la demande de chaleur (procédés à basse température, chaleur de processus industriel), dans une unité de cogénération ou dans une turbine à gaz pour produire de l'électricité et de la chaleur. En outre, la production du froid à l'aide de la technique d'absorption sera illustrée dans le cadre de l'esquisse de projet. Le substrat/digestat résultant de la fermentation pourra être remis aux agriculteurs comme engrais.

Dans l'élaboration de l'esquisse de projet les objectifs suivants seront pris en compte:

- La substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables,
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre (par le remplacement des combustibles fossiles et l'évitement des émissions dues au dépôt de déchets),
- La création de la valeur ajoutée régionale grâce à une gestion des flux de matériaux,
- La réduction des impacts négatifs sur l'environnement (sol, eau, air) à travers l'exploitation des déchets,
- La substitution des engrais chimiques par l'utilisation du digestat de l'unité de biogaz,
- La création d'emplois dans la région.

7.1.2 Flux de matériaux & Acteurs

Les déchets organiques ménagers de la ville Berkane et ceux des quatre communes voisines d'Aklim, de Boughriba, de Cherraa et de Zegzel représentent la source principale de substrat utilisé dans l'unité de biogaz. La quantité des déchets organiques fermentescibles s'élève à environ 24.000 tonnes par an.

Les industries de transformation situées dans la ville de Berkane et celles prévues dans l'agropole constituent une autre source de substrat. Pour déterminer la quantité de substrat provenant des entreprises industrielles existantes, il a été fait recours aux résultats de l'analyse de flux de matériaux. Les quantités des résidus organiques en provenance de l'agropole ont été estimées en raison du manque de données sur les capacités de production prévues. Le concept d'utilisation actuel de l'agropole prévoit la production et le traitement d'olives, de poissons, de fruits, de produits laitiers, de légumes et des produits animaux. Les déchets organiques exploitables provenant du domaine industriel comportent par conséquent aussi bien des déchets de poissons et des résidus de la transformation de fruits et légumes que des déchets résultant de l'abattage ou des produits

laitiers. Le potentiel total du secteur industriel est estimé à environ 9.500 tonnes de déchets organiques par an.

Le tableau suivant montre le montant mensuel total de déchets. L'unité de biogaz a été conçue pour supporter une quantité de déchets organiques d'environ 24.500 tonnes par année, sachant que la quantité mensuelle minimale de déchets organiques s'élève à environ 2.000 tonnes.

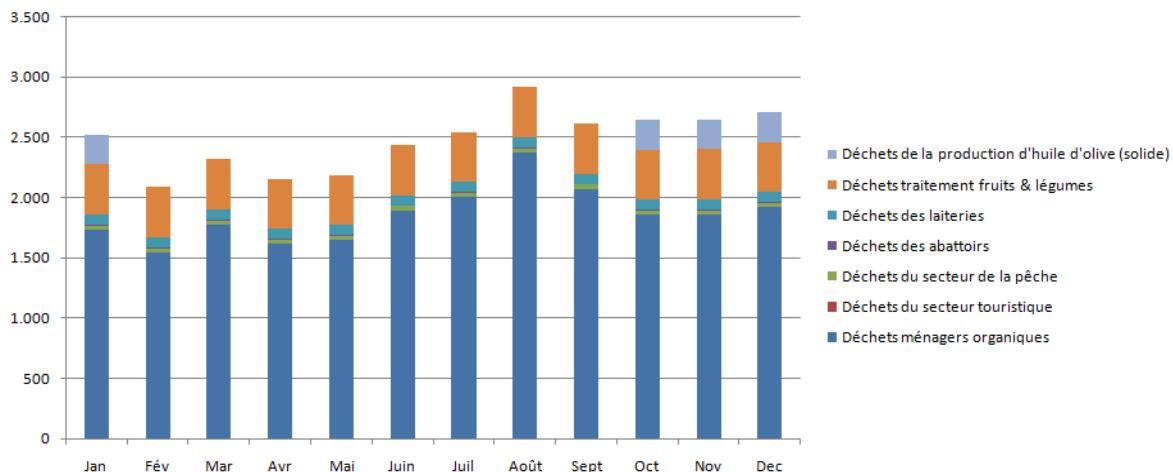


Figure 44: Quantités des différents fractions de déchets par mois au cours de l'année

Tableau 69 montre les quantités calculées des déchets ainsi que les rendements en méthane.

| | Quantité disponibles des déchets organiques | Rendement de méthane |
|---|---|----------------------|
| | t/a | m³/a |
| Déchets ménagers organiques | 18.000 | 1.080.000 |
| Déchets industriels | 6.500 | 449.415 |
| Déchets abattoirs | 100 | 5.355 |
| Déchets laiteries | 800 | 16.560 |
| Déchets traitement fruits & légumes | 3.000 | 180.000 |
| Déchets production d'huile d'olive (solide, 100%) | 800 | 144.000 |
| Déchets production d'huile d'olive (liquide) | 1.500 | 85.500 |
| Déchets industrie de pêche | 300 | 18.000 |
| Déchets touristiques | 2 | 120 |
| Total | 24.502 | 1.529.535 |

Tableau 69 : Quantités de déchets disponible et rendement en méthane

Actuellement, les déchets organiques des ménages régionaux sont collectés et déversés dans une décharge centrale ce qui représente d'une part une source inexploitée de matières premières et d'autre part contribue considérablement à la pollution de l'environnement. La figure suivante montre les distances de transport actuelles des municipalités d'Aklim, de Boughriba, de Sidi Slimane Cherraa, de Zegzel et de la ville de Berkane à la décharge centrale et celles tenuées en compte dans le cadre de l'esquisse de projet.

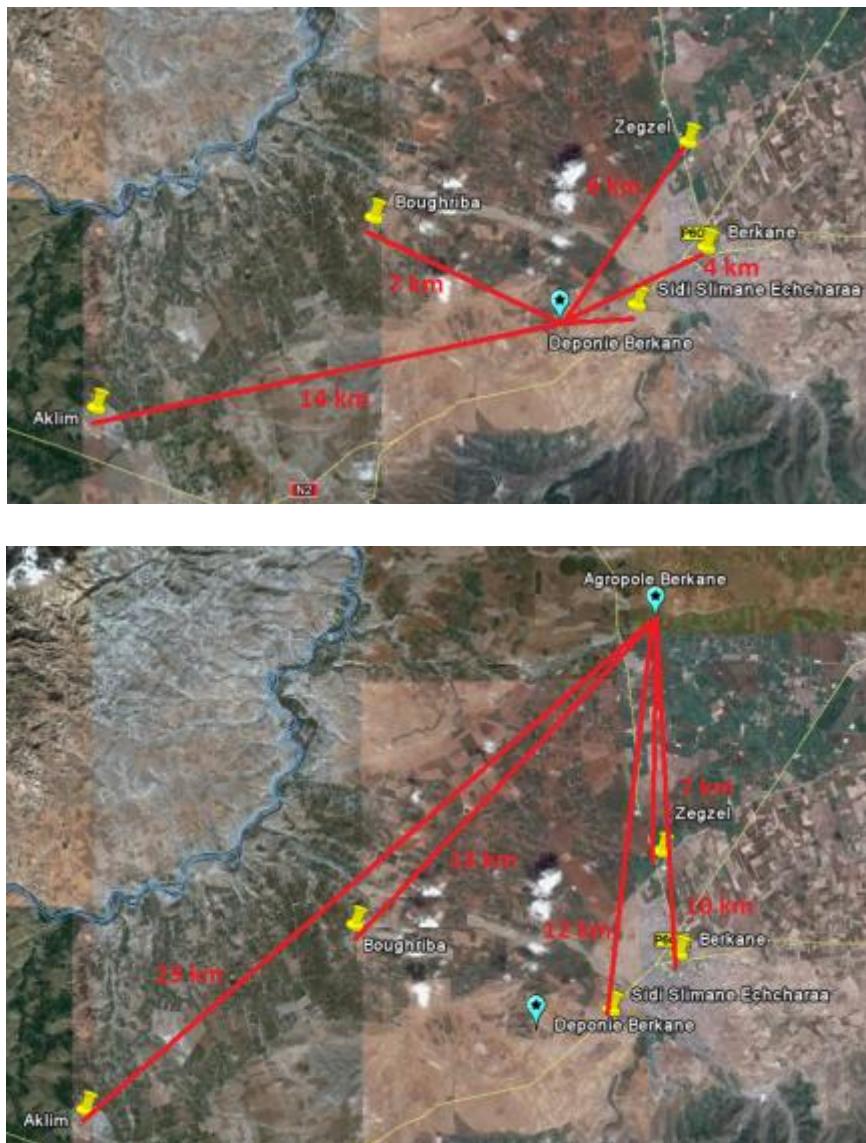


Figure 45: Distances de transport actuelles et futures

Pour pouvoir recycler les déchets organiques de la région dans la zone industrielle de l'agropole les déchets doivent être transportés sur une distance un peu plus loin. L'exploitation énergétique des déchets organiques sur le site nécessite par conséquent un effort logistique élevé, toutefois l'énergie consommée lors du transport des déchets est inférieure à celle produite par la fermentation des déchets organiques en biogaz et permet d'économiser les énergies fossiles.

Pendant que le transport des déchets organiques à la décharge exige chaque année environ 7.500 litres de diesel, on estime que pour le transport des déchets biodégradables à l'agropole de Berkane 16.000 litres de diesel par année sont nécessaire. Les émissions de dioxyde de carbone passent ainsi d'environ 20 tonnes par an sur le site de décharge à environ 42 tonnes sur l'emplacement dans l'agropole.

En revanche, l'exploitation énergétique des déchets organiques dans la zone industrielle de l'agropole génère un potentiel de biogaz d'environ 2,5 millions de mètres cubes par an, soit un contenu énergétique d'environ 14.700 kWh par année.²¹⁰ En enlevant les émissions de CO₂

²¹⁰ Calcul supposant une valeur calorifique de 6 kWh/m³ de biogaz.

provenant du transport des déchets organiques, il reste donc un potentiel d'économie de 4.000 tonnes d'émissions de dioxyde de carbone annuellement.²¹¹

Pour la réduction des efforts logistiques la création d'une station de transfert pour les déchets domestiques peut être examinée dans le cadre des études de faisabilité par la suite. Grâce à ce processus courant, des économies de transport ont déjà réalisé dans la pratique.

Les intervenants suivants doivent être pris en considération lors de l'élaboration de l'esquisse de projet décrit ci-dessus :

- Les entreprises d'élimination des déchets dans la région de Berkane (Veolia)
- Le fournisseur d'électricité (ONE)
- Les entreprises industrielles établies à Berkane
- Les futures entreprises industrielles de l'agropole
- Les agriculteurs de la région
- L'opérateur de l'agropole
- Les potentiels opérateurs de l'unité de biogaz.

7.1.3 Technologies & Economie

Dans les chapitres suivants, les technologies les plus pertinentes, relatives à l'utilisation et l'exploitation des déchets organiques de la région de Berkane et du biogaz y résultant seront présentées. En ce qui concerne les besoins énergétiques de l'Agropole, différents scénarios sur les technologies disponibles permettant l'approvisionnement renouvelable de chaleur ou de froid ont été envisagés.

7.1.3.1 Dimensionnement de l'unité de biogaz

La quantité annuelle de substrat disponible s'élève à 24.500 tonnes de déchets organiques ce qui équivaut environ 2,5 millions de m³ de biogaz par an et approximativement à 1,5 millions de m³ de méthane par an.

La taille requise du digesteur pour une capacité de production de 24.500 tonnes par an est d'environ 3.800 m³, avec un temps de rétention moyen de 40 jours dans le digesteur.²¹² Le digestat résultant du processus de fermentation s'élève à environ 21.400 tonnes annuellement.²¹³

7.1.3.2 Possibilités d'utilisation d'électricité, de chaleur et de froid

Le biogaz produit (ca. 2,5 millions de m³/a ou bien 1,5 millions m³ de méthane) sera utilisé pour produire l'énergie dans la zone industrielle de l'agropole. Afin d'assurer un approvisionnement énergétique impeccable des industries du secteur alimentaire sur la base des énergies renouvelables, une centrale de cogénération, une turbine à gaz ou une chaudière à biogaz (chaudière à vapeur) avec un concept d'utilisation de chaleur et de froid peuvent être appliqués selon la demande en chaleur

²¹¹ En comparaison avec un remplacement du potentiel énergétique du biogaz par les énergies fossiles.

²¹² Calcul supposant une densité de 0,7 t/m³.

²¹³ Supposant un temps de stockage de 3 mois, le volume du stockage de digestat s'élève à 5.500 m³; supposant un temps de stockage du digestat de 6 mois, il faut un volume du stockage de ca. 11.000 m³. (calcul supposant un poids de 0,0012 tonnes par m³ de biogaz.)

ou en froid (par exemple pour la conservation des denrées alimentaires ou pour le refroidissement stock).

Le choix des technologies dépendra des besoins thermiques prévus des partenaires industriels. Si la transformation des aliments (par exemple pour la conservation des aliments) ne nécessite que les températures jusqu'à 100 °C, l'exploitation du biogaz peut s'effectuer dans un module de cogénération conventionnel.

Si les procédés de production nécessitent des températures jusqu'à 400/500 °C, une turbine à gaz, équipée d'une chaudière (à base de chaleur d'excès) pour la production de vapeur, peut fournir les températures de fonctionnement nécessaires.

On peut également faire recours à une chaudière alimentée par le biogaz pour produire de la vapeur. Dans ce cas, la chaudière ne produit pas de l'électricité mais contribue considérablement à augmenter le rendement thermique (jusqu'à 93%).

Dans l'industrie alimentaire, le froid est également un thème très important notamment en ce qui concerne la lyophilisation ou l'exploitation des installations de réfrigération. Pour pouvoir produire de froid à partir de la chaleur produit avec le biogaz, il nécessite une machine de refroidissement basée sur l'absorption de la chaleur. Celle-ci transforme, en se basant sur des procédés thermodynamiques (l'évaporation et la condensation), la chaleur en froid. On peut recourir à diverses technologies, en fonction de la demande de froid, par exemple pour lyophiliser les aliments (jusqu'à moins 40 °C) ou pour exploiter les espaces de refroidissement (jusqu'à 5 °C).

Tableau 70 : Possibilités d'utilisation de la chaleur d'excès²¹⁴

| Technologie | Gamme de température (chaleur) [Valorisation de la chaleur d'excès] | Possibilité de production de vapeur de procédés | Gamme de température (froid) [réfrigérateur à gaz] | Agent frigorifique/de sorption requis |
|------------------------------------|--|---|---|---------------------------------------|
| Unité de cogénération | jusqu'à 100 °C | Non | jusqu'à 5 °C | Solution lithium-bromure |
| Turbine à gaz | jusqu'à 300 °C | Oui | jusqu'à -40 °C | Solution d'ammoniac |
| Chaudière à gaz/Chaudière à vapeur | jusqu'à 400 °C | Oui | jusqu'à -40 °C | Solution d'ammoniac |

Il convient de signaler, que la demande en températures jusqu'à moins 40 °C ne peuvent être produites que par des turbines à gaz (avec chaudière à base de la chaleur d'excès) ou par des chaudières à gaz (chaudières alimentées par le gaz), puisque la capacité de refroidissement du réfrigérateur d'absorption dépend de l'alimentation en énergie thermique (une alimentation en énergie thermique élevée entraîne une plus grande capacité de refroidissement).

En outre, l'agent frigorifique joue à ce niveau un rôle très important. Pour les petites capacités de refroidissement jusqu'à 5 °C un mélange de l'eau-lithium-bromure comme réfrigérant est suffisante, tandis que dans le domaine des basses températures jusqu'à -40 °C des solutions d'ammoniac-eau comme agent frigorifique sont utilisés.

²¹⁴ Réalisé par Ifas.

Tableau 71 : Méthodes d'absorption-/adsorption²¹⁵

| Caractéristiques | Absorption fermé | Adsorption fermé | Adsorption ouvert (DEC) |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Agent frigorifique | Eau | Ammoniac | Eau |
| Agent de sorption | Lithiumbromure | Eau | Gel de silice |
| Réfrigérant | Eau | Eau-Glycol | Eau |
| Gamme de température (froid) | 6 jusqu'à 20 °C | -60 jusqu'à +20 °C | 6 jusqu'à 20 °C |
| Gamme de température (chaleur) | 90 jusqu'à 120 °C | 100 jusqu'à 140 °C | 55 jusqu'à 100 °C |
| Température eau de refroidissement | 30 jusqu'à 50 °C | 30 jusqu'à 50 °C | 25 jusqu'à 35 °C |
| Puissance de génération de froid | 40 jusqu'à 5.000 kW | 10 jusqu'à 1.000 kW | 70 jusqu'à 350 kW |
| Coefficient de performance | 0,6 jusqu'à 0,7 | 0,6 jusqu'à 0,7 | 0,6 jusqu'à 0,7 |
| | | | 0,5 jusqu'à 1,0 |

La fourniture d'une chaudière classique, basé sur le bois, le mazout ou le gaz est nécessaire, indépendamment du choix de la technologie pour l'utilisation du biogaz, pour assurer la charge de pointe et d'autre part, pour assurer la sécurité de fonctionnement de l'unité de cogénération ou de la turbine à gaz. Par cette mesure l'approvisionnement durant toute l'année pour le chauffage et l'énergie de refroidissement peut être assuré.

L'énergie électrique produite sera utilisée directement dans la zone industrielle de l'agropole, cependant une liaison avec le réseau électrique local est indispensable pour pouvoir prélever du réseau électrique le courant nécessaire ou plutôt injecter dans le réseau avec le courant excédentaire. La connexion au réseau d'électricité de l'unité de cogénération ou de la turbine à gaz rend l'approvisionnement énergétique beaucoup plus fiable pour assurer les procédés de production (même en cas de défaillance de l'unité de cogénération ou de la turbine à gaz).

7.1.3.2.1 Scénario 1 – Valorisation du biogaz dans une unité de cogénération

Partant d'un rendement électrique de 40%, d'un pouvoir calorifique de méthane de 10 kWh/m³ et de 8.000 heures à pleine charge sur l'installation, il en résulte une puissance électrique d'environ 700 kW et une puissance thermique de 780 kW du module de cogénération.

Ainsi, environ 5.600 kWh/an d'électricité et 6.300 kWh/an d'énergie thermique peuvent être produits. Après déduction de la consommation propre d'électricité et de chaleur de l'installation, il reste une énergie électrique utilisable d'environ 4.500 kWh/an (net) et une énergie thermique utilisable de 5.000 kWh/an (net).

²¹⁵ Solares Kühlen: Einführung in die Technologie". Tagungsband Erstes Symposium Solares Kühlen in der Praxis. FH Stuttgart; vgl. auch Solar betriebene Diffusions-Absorptionskältemaschinen, FH Stuttgart, Dipl.-Ing. Uli Jakob.

Tableau 72 : Paramètres unité de biogaz

| Valorisation du biogaz dans une unité de cogénération | |
|--|--------------------------|
| Rendement en méthane | 1.529.535 m ³ |
| Puissance calorique méthane | 10 kWh/m ³ |
| Efficacité électrique unité de cogénération | 40% |
| Efficacité thermique unité de cogénération | 45% |
| Puissance électrique | 698 kW |
| Puissance thermique | 786 kW |
| Courant brut | 5.587 MWh/a |
| Chaleur brute | 6.286 MWh/a |
| Courant net | 4.470 MWh/a |
| Chaleur nette | 5.029 MWh/a |
| Engrais | 21.405 t/a |

La chaleur générée d'environ 5.000 kWh/a pourrait ensuite être transmises par le biais d'un réseau de chaleur aux entreprises concernées avec un niveau de température d'environ 90 °C.

Economie

Les investissements pour l'installation de biogaz, y compris les digesteurs, les centrales de cogénération et les infrastructures nécessaires s'élèvent à environ 6 millions € et sont repartis dans le tableau ci-dessous.

Tableau 73 : Investissement – unité de biogaz

| Investissement | |
|--|--------------------|
| Unité de cogénération (15% de l'investissement) | 735.000 € |
| Equipement technique unité de biogaz (40% de l'investissement) | 1.960.000 € |
| Digesteur (45% de l'investissement) | 2.205.000 € |
| Véhicules | 100.000 € |
| Raccordement pour une réseau de chaleur | 50.000 € |
| Planification (5% de l'investissement) | 245.000 € |
| Redevance, taxe à l'importation, autres | 490.000 € |
| Total | 6.030.000 € |

Un prix de 7.000 €/kW²¹⁶ de puissance installé sert comme référence pour le calcul des investissements de l'unité de biogaz (y compris les digesteurs, les centrales de cogénération et les infrastructures nécessaires).²¹⁷

Les tableaux suivants présentent les hypothèses utilisées pour calculer les coûts d'exploitation et des revenus potentiels provenant de la vente de l'électricité et de la chaleur, les recettes résultant de la vente des crédits MDP et celles résultant de la vente du digestat.

²¹⁶ Puisqu'il s'agit d'une installation de traitement des déchets, dont l'infrastructure technique est plus complexe que dans une installation pour les déchets agricoles, les investissements s'élèvent à environ 7.000 €/kW de puissance installé.

²¹⁷ Les coûts pour un désenclavement et desserte infrastructurelle n'ont pas été pris en considération.

Tableau 74: Hypothèses couts d'opération

| Hypothèses coûts d'opération | |
|--|----------|
| Dirigeant | 1 |
| Techniciens | 2 |
| Ouvriers | 6 |
| Salaire dirigeant | 15.000 € |
| Salaires techniciens par an | 8.000 € |
| Salaire ouvriers | 5.000 € |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de fermentation (% de l'investissement sans l'unité de cogénération) | 2,00% |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de cogénération (% de l'investissement) | 5,00% |
| Administration | 5.000 € |
| Opération réseau de chaleur | 2.000 € |
| Matières de production | 10.000 € |
| Mesures de sensibilisation / intervalle de 3 ans | 10.000 € |
| Assurance (% de l'investissement) | 0,50% |
| Costs Landfilling Residual Materials (€/t) | 5 € |
| Costs Transportation Residual Materials (€/t) | 10 € |
| Taux d'inflation | 2,50% |

Tableau 75: Hypothèses recettes de l'unité de biogaz

| Hypothèses recettes | |
|---|---------|
| Couts évités pour la mise en décharge (€/t) | 10 € |
| Prix de l'électricité (€/kWh) | 0,100 € |
| Prix de chaleur (€/kWh) | 0,010 € |
| Prix de l'engrais (€/t) | 5 € |
| Taux d'inflation | 2,50% |
| CERs | 10,0 € |

Les des coûts et revenus annuels ont été déterminés avec un taux d'inflation annuel de 2,5%.

Le tableau suivant montre le cash-flow du projet sur une durée de projet de 20 ans. Les coûts de capitaux ont été calculés considérant un prêt (annuité) d'une durée de 20 ans et un taux nominal de 8,5%. Les investissements sont entièrement financés. Les réductions des émissions de CO₂ par la production d'électricité à partir des énergies renouvelables (3400 t CO₂/a) et les émissions de gaz de décharge évité (ca. 4.000 t CO₂/a) sont pris en considération avec un prix des CERs de 10 €/t de CO₂ évité.

Comme montre le tableau suivant, le cash-flow cumulé du projet est positif à partir de la 5^{ème} année.

Tableau 76: Calcul valeur actuelle nette (net present value)

| Année | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2021 | 2026 | 2031 |
| Recettes | | | | | | | | |
| Electricité | 458.175 € | 469.629 € | 481.370 € | 493.404 € | 505.739 € | 572.198 € | 647.389 € | 732.462 € |
| Chaleur | 51.547 € | 52.836 € | 54.157 € | 55.511 € | 56.899 € | 64.375 € | 72.835 € | 82.406 € |
| Engrais | 62.781 € | 64.351 € | 65.960 € | 67.609 € | 69.299 € | 78.405 € | 88.708 € | 100.365 € |
| CERs | 75.000 € | 75.000 € | 75.000 € | 75.000 € | 75.000 € | 75.000 € | 75.000 € | 75.000 € |
| + Redevances évités | | | | | | | | |
| Redevances de mise en décharge évités (15.000 t/a) | 245.000 € | 245.000 € | 245.000 € | 245.000 € | 245.000 € | 245.000 € | 245.000 € | 245.000 € |
| - Salaires | | | | | | | | |
| Dirigeant | -15.375 € | -15.759 € | -16.153 € | -16.557 € | -16.971 € | -19.201 € | -21.724 € | -24.579 € |
| Techniciens | -16.400 € | -16.810 € | -17.230 € | -17.661 € | -18.103 € | -20.481 € | -23.173 € | -26.218 € |
| Ouvriers | -30.750 € | -31.519 € | -32.307 € | -33.114 € | -33.942 € | -38.403 € | -43.449 € | -49.158 € |
| - Couts d'opération | | | | | | | | |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de cogénération | -37.669 € | -38.610 € | -39.576 € | -40.565 € | -41.579 € | -47.043 € | -53.225 € | -60.219 € |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de biogaz | -108.548 € | -111.261 € | -114.043 € | -116.894 € | -119.816 € | -135.561 € | -153.375 € | -173.529 € |
| Couts d'exploitation réseau de chaleur | -2.050 € | -3.152 € | -3.231 € | -3.311 € | -3.394 € | -3.840 € | -4.345 € | -4.916 € |
| Matières de production | -10.250 € | -10.506 € | -10.769 € | -11.038 € | -11.314 € | -12.801 € | -14.483 € | -16.386 € |
| - Autres dépenses | | | | | | | | |
| Administration | -5.125 € | -5.253 € | -5.384 € | -5.519 € | -5.657 € | -6.400 € | -7.241 € | -8.193 € |
| Mesures de sensibilisation | -10.000 € | 0 € | 0 € | -10.000 € | 0 € | -10.000 € | 0 € | 0 € |
| Assurance | -25.113 € | -25.740 € | -26.384 € | -27.043 € | -27.720 € | -31.362 € | -35.483 € | -40.146 € |
| Intérêt | -512.550 € | -501.955 € | -490.460 € | -477.987 € | -464.454 € | -377.452 € | -246.630 € | -49.919 € |
| MDP (validation & Vérification) | -50.000 € | 0 € | 0 € | -20.000 € | 0 € | -20.000 € | 0 € | 0 € |
| = Résultat opérationnel | 68.675 | 146.250 | 165.950 | 156.833 | 208.986 | 312.434 | 525.804 | 781.969 |
| - Amortissement | | | | | | | | |
| | -502.500 | -502.500 | -502.500 | -502.500 | -502.500 | -502.500 | -502.500 | -502.500 |
| = Profit/perte avant impôts | -433.825 | -356.250 | -336.550 | -345.667 | -293.514 | -190.066 | 23.304 | 279.469 |
| - Taxes | | | | | | | | |
| Taxes | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | -2.330 € | -27.947 € |
| = Profit/perte après impôts | -433.825 | -356.250 | -336.550 | -345.667 | -293.514 | -190.066 | 20.974 | 251.522 |
| + Amortissement | | | | | | | | |
| | 502.500 € | 502.500 € | 502.500 € | 502.500 € | 502.500 € | 502.500 € | 502.500 € | 502.500 € |
| =Cash-Flow | 68.675 | 146.250 | 165.950 | 156.833 | 208.986 | 312.434 | 523.474 | 754.022 |
| - Amortissement | | | | | | | | |
| Remboursement | -124.646 € | -135.241 € | -146.736 € | -159.209 € | -172.742 € | -259.744 € | -390.566 € | -587.277 € |
| = Liquidité | -55.971 | 11.009 | 19.214 | -2.376 | 36.245 | 52.690 | 132.907 | 166.745 |
| Liquidité cumulée | -55.971 | -44.962 | -25.749 | -28.124 | 8.120 | 266.385 | 802.553 | 1.510.660 |

7.1.3.2.2 Scénario 2 – Valorisation du biogaz dans une turbine à gaz

Le dimensionnement de la turbine à gaz se fait de la même manière que celui du module de cogénération. La seule différence se situe au niveau du rendement électrique comme les turbines à gaz ont une efficacité beaucoup plus faible que les unités de cogénération. Pendant que les modules de cogénération modernes fournissent un rendement électrique de plus de 40%, les turbines à gaz fournissent un rendement entre 18 et 33%, selon la grandeur de la turbine. Les turbines de l'ordre de 8 MW peuvent atteindre des rendements jusqu'à 33%, les petites turbines de 500 kW par contre réalisent des rendements de 18 à 20%.²¹⁸

Les rendements électriques bas influencent en conséquence la taille de l'installation et la quantité d'électricité produite par an. Partant du même potentiel de matières entrantes (matières organiques), la puissance électrique installée de la turbine à gaz s'élève à 320 kW seulement.

La quantité annuelle d'énergie électrique pouvant être produite est d'environ 2.550 kWh par an. Celle-ci se réduit à 2.300 kWh/an en incluant la consommation propre de l'unité de biogaz. Par rapport à l'utilisation du biogaz dans les modules de cogénération et si l'on admet que le potentiel de substrat reste stable, il est possible de produire la moitié de l'électricité.

Tableau 77 : Paramètres turbines à gaz

| Valorisation du biogaz dans une turbine à gaz | |
|---|--------------------------|
| Rendement en méthane | 1.529.535 m ³ |
| Puissance calorifique méthane | 10 kWh/m ³ |
| Efficacité électrique unité de cogénération | 18% |
| Efficacité thermique unité de cogénération | 50% |
| Puissance électrique | 314 kW |
| Puissance thermique | 873 kW |
| Courant brut | 2.514 MWh/a |
| Chaleur brute | 6.984 MWh/a |
| Courant net | 2.313 MWh/a |
| Chaleur nette | 5.587 MWh/a |
| Capacité frigorifique | 611 kW |
| Energie frigorifique | 3.911 MWh/a |
| Production de vapeur (maximal) | 5 t/h |
| Engrais | 21.405 t/a |

L'utilisation de turbines à gaz peut être beaucoup plus efficace que l'emploi des modules de cogénération dans le domaine de production d'énergie thermique. Ainsi, les turbines à gaz présentent un rendement thermique allant jusqu'à 55% dans la gamme de 5 MW et environ 50% dans celle de 500 kW.

La production annuelle de chaleur d'une turbine à gaz est d'environ 5.600 kWh (montant net), ce qui représente une puissance thermique de 880 kW. En combinaison avec une chaudière de récupération, il est possible de générer environ 1,25 tonnes de vapeur par heure et ce avec une température du vapeur d'environ 350 à 400 °C. La production de vapeur peut augmenter par environ

²¹⁸ Comparaison de différents types de turbines à gaz et de différents fabricants.

5 tonnes par heure avec une température allant jusqu'à 500 °C, lorsqu'on utilise une chaudière à vapeur avec une installation de combustion supplémentaire.

Le réfrigérateur à absorption permet d'utiliser la chaleur produite par les énergies renouvelables pour la production de froid. La capacité frigorifique installée sera environ 610 kW, avec une énergie de refroidissement disponible d'environ 4.000 kWh par an. Due aux températures plus élevées de la chaleur d'excès de la turbine à gaz les réfrigérateurs à absorption peuvent utiliser les agents frigorifiques sur la base d'ammoniaque. Les réfrigérateurs produisent ainsi des températures froides allant jusqu'à -40 °C. D'un point de vue thermique, l'utilisation de turbines à gaz peut représenter la méthode la plus efficace.

Tableau 78: Paramètres – turbine à gaz

| Production d'énergie - Turbine à gaz (350 kWel.) | |
|---|-------------|
| Electricité | 2.313 MWh/a |
| Chaleur | 5.587 MWh/a |
| Vapeur (à 350°C, sans installation de chauffe supplémentaire) | 10.000 t/a |
| Vapeur (à 500°C, avec installation de chauffe supplémentaire) | 40.000 t/a |
| Froid (à -40 °C) | 3.911 MWh/a |

7.1.3.2.3 Scénario 3 – Valorisation du biogaz dans une chaudière à vapeur

Si la demande en vapeur ou en froid représentent les principaux besoins en énergie de l'agropole, le biogaz produit peut également être utilisé pour l'exploitation d'une chaudière à vapeur. Bien qu'aucune énergie électrique ne puisse être gagnée dans le cadre de ce processus, les besoins en énergie thermique de l'agropole de Berkane seront comblés par la production et l'utilisation des énergies renouvelables. Partant du même potentiel de matières entrantes que dans les deux autres scénarios, il est possible de produire annuellement 15.300 tonnes de vapeur, dont la température se situe aux alentours de 180 °C. Une augmentation de la température de la vapeur et du niveau de pression est également possible.

Tableau 79: Paramètres - chaudière

| Production d'énergie - Chaudière avec machine frigorifique à absorption en aval | | |
|---|----------|-------------|
| Electricité | | 0 MWh/a |
| Vapeur (180°C à 10 Bar) | maximal* | 15.295 t/a |
| Froid (jusqu'à -40 °C) | maximal* | 7.840 MWh/a |

*sans ou bien avec l'utilisation complet de chaleur pour la production de froid

Dans le cas où la vapeur produite est entièrement utilisée pour la production du froid dans un réfrigérateur à absorption celui-ci peut fournir une quantité d'énergie thermique (froid) d'environ 7.800 kWh par an. Dans ce scénario, l'utilisation des solutions d'ammoniac est possible pour générer du froid industriel jusqu'à -40 °C. La quantité de vapeur, qui doit être extraite pour produire du froid industriel dépend des besoins énergétiques des partenaires industriels dans l'agropole. Dans le cas

où la moitié de l'énergie thermique est extrait, environ 7.500 tonnes de vapeur industrielle et 4.000 kWh d'énergie de refroidissement seront disponibles chaque année.

Il convient de signaler que le réfrigérateur à absorption aura une taille beaucoup plus petite dans le cas de l'extraction d'une partie de l'énergie thermique pour la production du froid.

7.1.4 Evaluation & Perspectives

La réalisation d'un concept d'efficacité énergétique et d'approvisionnement en énergies renouvelables de l'agropole de Berkane représente une chance énorme pour le développement durable et la compétitivité de l'agropole ainsi qu'un projet modèle au niveau national pour l'application de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans le secteur industriel.

La réalisation d'un tel concept pourrait aussi servir comme exemple pour le développement d'autres agropoles au Maroc qui sont prévues dans le cadre de l'implémentation du Plan Maroc Vert.

L'esquisse de projet a montré qu'il existe de nombreuses options techniques pour la valorisation des flux de matières locaux pour l'approvisionnement énergétique de l'agropole. Selon les besoins spécifiques en énergie thermique et électrique des futures entreprises de l'agropole il faut choisir la technologie la plus efficace.

Le tableau suivant résume les informations principales des trois scénarios.

| | Scénario 1 Unité de cogénération | Scénario 2 Turbine à gaz | Scénario 3 Chaudière à gaz/Chaudière à vapeur |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--|
| Efficacité électrique | 40 % | 18 % | néant |
| Efficacité thermique | 45 % | 50 % | 90 % |
| Production d'électricité (net) | 4.470 MWh/a | 2.310 MWh/a | néant |
| Production de chaleur (net) | 5.030 MWh/a | 5.590 MWh/a | 15.300 MWh/a |
| Production de froid (net) | néant | 3.900 MWh/a | 7.840 MWh/a |
| Gamme de température (chaleur) | jusqu'à 100 °C | jusqu'à 300 °C | jusqu'à 400 °C |
| Production de vapeur | néant | 10.000 t/a | 15.300 t/a |
| Gamme de température (froid) | jusqu'à 5 °C | jusqu'à -40 °C | jusqu'à -40 °C |
| Investissement | 6,25 Mio. Euro ¹ | 6,8 Mio. Euro ² | 6,5 Mio. Euro ³ |

¹ Unité de fermentation, unité de cogénération

² Unité de fermentation, turbine à gaz, réfrigérateur à absorption

³ Unité de fermentation, chaudière à gaz (chaudière à vapeur), réfrigérateur à gaz

Tableau 80: Comparaison des différents scénarios

Outre la création de nouveaux emplois et de la valeur ajoutée régionale la réalisation d'une installation de valorisation des matières organiques contribuera à un transfert de technologie dans le domaine de l'approvisionnement énergétique durable dans l'industrie.

7.2 Valorisation énergétique et matériel des déchets organiques dans la province de Nador

7.2.1 Approche & Objectifs

L'objectif de l'esquisse de projet est la valorisation énergétique et matérielle des déchets organiques de l'agglomération de Grand Nador. En plus des déchets organiques produits par les 435.000 habitants de l'agglomération, les résidus organiques issus des industries agro-alimentaires à Nador, seront recyclés dans une usine de fermentation anaérobique.

L'esquisse de projet présente deux différents scénarios pour l'exploitation du biogaz produit :

- Le scénario 1 décrit l'utilisation du biogaz dans une centrale de cogénération pour la production de la chaleur et de l'électricité. Tandis que l'électricité produite sera injecté au réseau régional d'électricité, la chaleur générée par contre servira à sécher le reste de déchets résiduels produit par la population de l'agglomération. Les résidus secs seront transformés en combustibles secondaires et sont appropriés pour une utilisation dans les centrales de cogénération ou des entreprises industrielles avec des besoins de chaleur élevés (l'industrie du ciment par exemple).
- Le scénario 2 présente aussi l'utilisation du biogaz dans une centrale de cogénération. La chaleur d'excès devra être utilisée comme énergie de chauffage dans un procédé de carbonisation hydrothermal et ainsi pour la production de charbon (voir l'esquisse de projet 3)

7.2.2 Flux de matériaux & Acteurs

La fraction organique des déchets ménagers et les déchets industriels organiques issus de l'agglomération de Nador représentent la source de substrat majeure nécessaire pour le fonctionnement de l'installation de biogaz. Comme mentionné dans le chapitre 5.4, la société Veolia est responsable depuis mars 2009 de l'élimination des déchets dans les communes suivantes : Nador, Beni Nsar, Selouane, Segangane, El Aroui, Ihaddadene, Arekmane, Bni Bouifrour, Bouarg, Oulad Settout, Zaio et Farkhana. Les déchets sont actuellement éliminés dans une décharge non-contrôlée à 25 km hors de Nador.²¹⁹ Ceci a conduit dans le passé à augmenter la pollution (émissions de gaz d'enfouissement et contamination des sols et des eaux souterraines) autour de la décharge. La nouvelle décharge, équipée d'une bâche imperméable et un système de captage de gaz, a été construit à côté de l'ancienne décharge, mais n'est pas encore en service. Bien qu'il soit prévu d'utiliser le gaz de décharge à l'avenir, le traitement anaérobique des déchets dans une installation de fermentation est plus avantageux en ce qui concerne la création de la valeur ajoutée et la protection des ressources car le processus est caractérisé par un rendement de gaz contrôlé et une valorisation du digestat comme substitut d'engrais.

En se basant sur la quantité moyenne des déchets ménagers urbains de 0,75 kg/hab/j, la quantité totale des déchets ménagers des 435.000 habitants de l'agglomération de Grand Nador s'élève à

²¹⁹ Les déchets organiques sont actuellement transportés sur une distance de 25 km de Nador ville à la décharge. La consommation en carburant pour le transport des déchets s'élève à ca. 81.500 litres de diesel et des émissions en CO₂ de 220 tonnes par an (supposant une consommation de carburant de 25 litres par 100 km et des émissions de CO₂ de 2,65 kg par litre de diesel).

119.000 t/a. Si on suppose la fraction organique moyenne de 75% prélevée dans la région Oriental comme donnée de référence, on obtient une quantité de déchets ménagers organiques d'environ 89.000 t/an. Pour déterminer la fraction organique fermentescible dans le cadre de cette esquisse de projet un taux de matières fermentescible dans les déchets ménagers de 50% est supposé. Ainsi la quantité totale disponible de déchets ménagers organiques fermentescibles s'élève à 54.000 t/an. La quantité de déchets résiduels avec une part de 25% est de 30.000t/an.

Les déchets industriels organiques produits par les industries agro-alimentaires de la région représentent une autre source de substrat, qui sera pris en considération dans le cadre de cette esquisse de projet. Outre les abattoirs, la province de Nador recouvre aussi d'entreprises spécialisées dans le la transformation d'olives (production d'huile et conservation) et de traitement de poissons (congélation et conditionnement de poisson frais). Les déchets organiques utilisables ici sont constitués de déchets de poisson et des abattoirs et de résidus liquides et solides issus du traitement d'olives. Ces derniers forment la quantité de déchets utilisables le plus important. La détermination de la quantité de substrat disponible résultant de l'industrie alimentaire est basé sur les résultats de l'analyse des flux de matières effectuée dans le chapitre 5.3 Une quantité totale annuelle d'environ 23.000 t de déchets organiques industriels a été identifiée. Le tableau suivant donne un aperçu des différentes fractions de déchets et les quantités correspondantes dans l'agglomération de Nador.

Tableau 81: Quantités de différentes fractions de déchets du Grand Nador

| Quantités des déchets | |
|---|---------|
| | t/an |
| Déchets ménagers | 119.081 |
| Déchets ménagers organiques (fraction organique: 75%) | 89.311 |
| Déchets ménagers fermentescible (fraction organique fermentescible: 50%, disponibilité: 90%) | 53.587 |
| Déchets industriels/touristiques (estimation/analyse de flux de matériaux) | 23.026 |
| Déchets industriels/touristiques disponible (estimation) | 20.000 |
| Déchets résiduels (25%) | 29.770 |
| Déchets résiduels disponible pour la production de CDD (20%) | 23.816 |

La figure ci-dessous montre la quantité de déchets organiques mensuelle par fraction au cours de l'année.

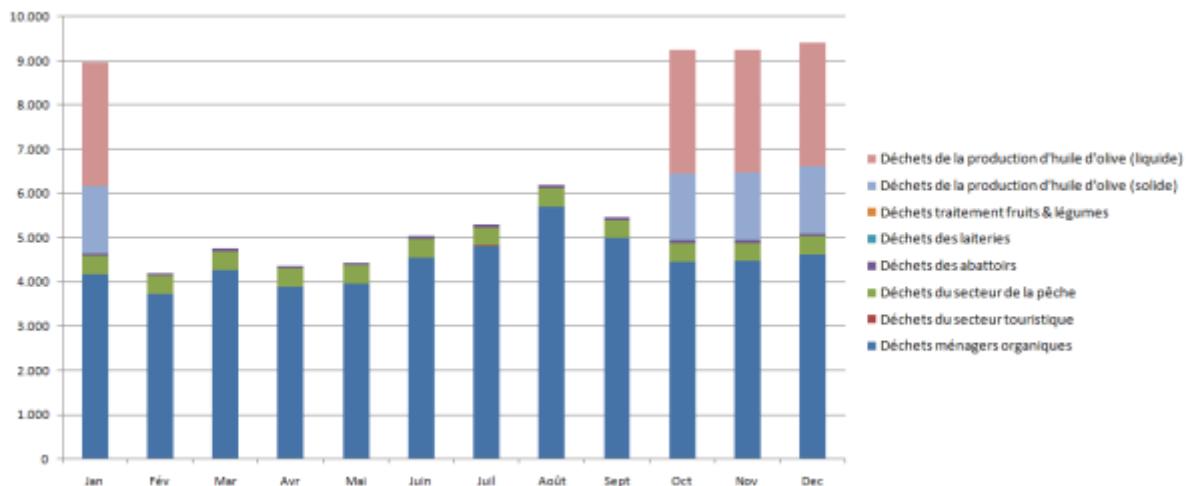


Figure 46: Quantités des fractions des déchets organiques au cours de l'année

Puisque la quantité minimale de déchets disponible par mois s'élève à environ 4.000 t, l'installation de biogaz évoquée dans l'esquisse de projet présente, est initialement conçue pour supporter une capacité de traitement de 50.000 tonnes par an. Cette quantité se compose de 30 000 t de déchets ménagers organiques (de 53.000 tonnes disponibles par an) et 20.000 t de déchets industriels organiques (des 23 000 t disponibles par an).²²⁰ Cette quantité a été choisie pour pouvoir exploiter la capacité de l'installation d'une manière continue et ainsi favoriser un fonctionnement économiquement efficace. Dans le cas où la quantité de déchets s'accroît (par l'augmentation de la production des déchets en générale ou par un taux de collecte élevé), il est possible d'augmenter également et le volume de traitement de l'installation.

Le tableau suivant indique les quantités totales disponibles de déchets organiques (quantité max.) et celles des matériaux organiques pris en considération dans le calcul (quantité min.).

| | Quantité max. des déchets organiques | Quantité min. des déchets organiques |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | t/a | t/a |
| Déchets ménagers organiques | 53.587 | 30.000 |
| Déchets industriels | 23.000 | 19.980 |
| Déchets abattoirs | 772 | 660 |
| Déchets laiteries | 0 | 0 |
| Déchets traitement fruits & légumes | 0 | 0 |
| Déchets production d'huile d'olive (solide, 100%) | 6.039 | 5.250 |
| Déchets production d'huile d'olive (liquide) | 11.164 | 9.700 |
| Déchets industrie de pêche | 5.024 | 4.370 |
| Déchets touristiques | 26 | 20 |
| Total | 76.612 | 50.000 |

Tableau 82: Quantités des déchets organiques (max. et min.)

En ce qui concerne les quantités de déchets évoquées dans le Tableau 82, il faut toutefois mentionner que dans les mois pendant lesquels la quantité de déchets dépasse la capacité de

²²⁰ Dans le cadre d'une planification technique détaillé et après une analyse de la relation C-N, les modifications concernant les quantités des différents substrats peuvent être nécessaire, sans que la quantité totale de matières entrantes soit variée.

traitement de l'installation de biogaz, une partie des déchets doit être compostée où déposée sur la décharge.

Dans l'élaboration du projet décrit ci-dessus, les acteurs suivants jouent un rôle important.

- Entreprises de gestion de déchets de la ville de Nador
- Fournisseur d'électricité (ONE)
- Entreprises industrielles de la ville de Nador
- Les agriculteurs de la région
- Les gérants de l'usine de biogaz prévue
- Cimenterie de la société Holcim

7.2.3 Technologies

Dans les prochaines parties de l'esquisse de projet, il s'agit tout d'abord de présenter les technologies pertinentes et les résultats du bilan de flux de matériaux concernant la valorisation des déchets organiques de la ville de Nador dans une installation de fermentation. Ensuite on montrera, dans le cadre de deux scénarios, comment valoriser le biogaz gagné du processus de fermentation.

La quantité de substrat de 50.000 tonnes de déchets organiques par an prise en compte dans la présente esquisse de projet correspond à un volume de biogaz d'environ 6 millions de m³/a (avec une part de méthane de 60%), soit environ 3,6 millions de m³ de méthane par an. Le tableau suivant indique les quantités de déchets considérés, le rendement spécifique de biogaz des différents substrats et la quantité de gaz de méthane produite.

Tableau 83: Quantité des déchets prise en considération, rendement spécifique de biogaz et de méthane

| | Quantité min. des déchets organiques | Rendement en biogaz | Rendement de méthane |
|---|--------------------------------------|---------------------|----------------------|
| | t/a | m ³ /t | m ³ /a |
| Déchets ménagers organiques | 30.000 | 100 | 1.800.000 |
| Déchets industriels | 19.980 | | 1.795.443 |
| Déchets abattoirs | 660 | 93 | 35.343 |
| Déchets laiteries | 0 | 35 | 0 |
| Déchets traitement fruits & légumes | 0 | 100 | 0 |
| Déchets production d'huile d'olive (solide, 100%) | 5.250 | 180 | 945.000 |
| Déchets production d'huile d'olive (liquide) | 9.700 | 57 | 552.900 |
| Déchets industrie de pêche | 4.370 | 100 | 262.200 |
| Déchets touristiques | 20 | 100 | 1.200 |
| Total | 50.000 | | 3.596.643 |

Le traitement de 50.000 tonnes de déchets organiques et à une durée moyenne de stockage des substrats dans le digesteur de 40 jours, le volume requis du digesteur s'élève à environ 7.600 m³.²²¹

Le digestat résultant du processus de fermentation s'élève à environ 42.700 tonnes par an. Pour une période de stockage de 3 mois, il faudra donc prévoir un stockage de digestat ayant un volume de

²²¹ Calcul supposant une densité des déchets organiques de 0,7 t/m³.

10.000 m³.²²² Le digestat disponible pourrait être utilisé directement soit comme substitut d'engrais minéraux pour l'agriculture ou pour la production d'un substrat d'humus riche en nutriments appelé « Terra Preta ».

Potentiels énergétiques

En se basant sur un rendement électrique de 40%, un rendement thermique de 45% et une valeur calorifique de 10 kWh/m³ de méthane, la puissance électrique de la centrale de cogénération s'élève à 1.642 kW et à une puissance thermique d'environ 1.848 kW. En supposant 8.000 heures de pleine charge par an, la centrale peut produire annuellement 13.100 MWh d'énergie électrique et environ 14.800 MWh d'énergie thermique. Sachant que la centrale a une consommation interne d'électricité de 2.620 MWh/an et de chaleur de 2.960 MWh/an, il reste une quantité d'électricité utilisable (net) d'environ 10.500 MWh/an et quantité utilisable d'énergie thermique d'environ 11.800 MWh/an.

Le Tableau 84 résume les paramètres relatifs à l'unité de biogaz.

Tableau 84: Paramètres techniques de l'unité de biogaz

| Unité de biogaz | |
|---|----------------------------|
| Rendement en méthane | 3.596.643 m ³ |
| Puissance calorifique méthane | 10 kWh/m ³ |
| Efficacité électrique unité de cogénération | 40% |
| Efficacité thermique unité de cogénération | 45% |
| Puissance électrique | 1.642 kW |
| Puissance thermique | 1.848 kW |
| Courant brut | 13.138 MWh/a |
| Chaleur brute | 14.781 MWh/a |
| Courant net | 10.511 MWh/a |
| Chaleur nette | 11.825 MWh/a |
| Engrais | 42.721 t/a |
| Emissions en CO ₂ évité | 7.883 t CO ₂ /a |

Dans ce qui suit, on présentera les deux alternatives (scénarios 1 et 2) pour l'utilisation de la chaleur d'excès provenant de la centrale de cogénération.

7.2.3.1 Scénario 1 – Utilisation de la chaleur d'excès pour le séchage des déchets résiduels

Le scénario 1 décrit l'utilisation du biogaz dans une unité de cogénération. L'électricité produite sera injectée dans le réseau régional d'électricité et la chaleur générée sera utilisée pour le séchage des déchets résiduels. L'objectif à atteindre avec l'utilisation de la chaleur résiduelle est la production de combustibles dérivés de déchets (CDD), qui peuvent être utilisés dans les unités de cogénération ou dans des installations industrielles à haute consommation de chaleur, comme les cimenteries par exemple. Grâce à cette approche, il est possible d'améliorer le bilan énergétique de la fermentation

²²² Calcul supposant un poids de 0,0012 t/ m³ de biogaz.

anaérobique, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de réduire la quantité de déchets à éliminer et de générer des revenus supplémentaires

Pour cela, la quantité de chaleur produite d'environ 11.800 MWh par an doit être menée avec un niveau de température d'environ 90°C vers une unité de séchage en passant par un réseau de chaleur. Le séchage de résidus s'effectuera donc indirectement par le biais d'un sécheur à bande transporteuse.

La capacité annuelle de vaporisation de la chaleur d'excès de l'unité de cogénération s'élève à 11.000 tonnes de l'eau par an. En prenant en considération le rendement du sécheur à bande transporteuse de 70%, des pertes de chaleur de 10% par le transport dans le réseau de chaleur, un taux de matière sèche de 50% des déchets résiduels et un taux de matière sèche visé de 85%²²³ il s'ensuit une capacité de séchage de 32.000 tonnes des déchets résiduels par an. Ainsi la quantité des combustibles dérivés de déchets qui peut être générée s'élève à 21.000 tonnes par an avec une valeur calorifique de 18 MJ/kg.²²⁴ Le potentiel énergétique s'élève à 378 TJ ce qui équivaut à 13.000 tonnes de lignite (28,5 MJ/ de kg lignite).

Logistique

Pour minimiser les efforts logistiques entraînées par le traitement et l'exploitation des déchets ainsi que les émissions résultant du transport de déchets, il est recommandé de choisir dans ce scénario comme un emplacement pour l'installation de fermentation (avec une unité de cogénération pour le séchage de déchets) à proximité de la nouvelle décharge, puisque les déchets doivent de toute manière y être transportés.

L'électricité produite pourrait directement être injecté au réseau public et la chaleur résiduelle résultant de la centrale de cogénération pourrait être utilisée sur le site dans l'installation de séchage de résidus.

La Figure 47 figure 1 montre la ville de Nador et l'emplacement de l'ancienne et de la nouvelle décharge.

²²³ Pour la valorisation des CDD dans les cimenteries un taux de matière sèche minimum de 85% est requis.

²²⁴ Calcul en se basant sur les comparaisons entre différents combustibles dérivés de déchets à différents taux d'humidité, cp.: Energiegewinnung aus Ersatzbrennstoffen, Prof. Dr. Pruckner, Fachhochschule Heilbronn



Figure 47: Distances ville - décharge²²⁵

La cimenterie Holcim Maroc, qui se trouve à proximité d'El Aioun, pourrait être un consommateur idéal pour les combustibles dérivés des déchets. Pour transporter les combustibles de l'unité de biogaz à la cimenterie, il faut parcourir une distance d'environ 100 km (voir Figure 48).



Figure 48: Distance unité de biogaz - cimenterie²²⁶

²²⁵ Réalisé par IfaS, carte: Google Earth.

²²⁶ Réalisé par IfaS, carte: Google Earth.

Pour le transport de 21.000 tonnes de combustibles dérivés de déchets annuellement, il faut prévoir environ 70.000 litres de diesel par an, ceci correspond à environ 185 tonnes d'émissions de CO₂ par an.²²⁷

Puisque l'exploitation énergétique des combustibles dérivés de déchets ou plutôt la substitution des combustibles fossiles par des combustibles alternatifs permet d'épargner environ 42.575 t de CO₂²²⁸ par an, une réduction significative des émissions de CO₂ peut être achevée. En se basant sur le facteur d'émissions de la production d'électricité (« carbon emission factor ») au Maroc de 0,75 kg CO₂/kWh, la production de 10.500 MWh/a d'électricité permettra une réduction additionnelle d'émissions de CO₂ de 7.875 t/a. En tout, il est possible d'épargner 50.265 t de CO₂ par an. Ceci permet de laisser certifier les projets dans le cadre des mécanismes flexibles du Protocole de Kyoto²²⁹ comme de petit projet (« small scale project »).

7.2.3.2 Scénario 2 – Valorisation de la chaleur d'excès de l'unité de cogénération pour l'approvisionnement en chaleur dans une installation de carbonisation hydrothermale

Le scénario 2 présente aussi l'utilisation du biogaz dans une centrale de cogénération. La chaleur d'excès sera utilisée comme énergie de chauffage dans un procédé de carbonisation hydrothermal et en fin de compte pour la production de charbon (voir l'esquisse de projet 3). Une puissance thermique de 640 KW est nécessaire pour transformer les quantités évoquées dans l'esquisse de projet 3 en charbon. Cette puissance peut être entièrement tirée de la chaleur résiduelle provenant de l'unité de cogénération (puissance thermique de 1.800 kW).

L'esquisse de projet 3 donne des informations supplémentaires sur la production du charbon.

7.2.4 Economie

L'analyse économique suivante concerne seulement l'installation de biogaz. Les investissements, dépenses et recettes provoquées par le séchage des résidus ou la production et le séchage du charbon ne seront pas pris en compte.²³⁰

Les investissements pour l'installation de biogaz, y compris les digesteurs, les centrales de cogénération et les infrastructures nécessaires s'élèvent à environ 13,1 millions € et sont repartis dans le tableau ci-dessous.

²²⁷ Calculé avec une charge utile des camions de 15 tonnes par véhicule et une consommation de 25 litres par 100 km.

²²⁸ Supposant un facteur d'émissions de CO₂-de 3,25 t CO₂/t de lignite.

²²⁹ Supposant que après l'année 2010 („post-Kyoto“) un mécanisme basé sur les projets et similaire au mécanisme actuel sera établie ou continue.

²³⁰ Seuls les coûts supplémentaires d'une station de transfert de chaleur ont été pris en considération.

Tableau 85: Paramètres économiques – unité de biogaz Nador

| Investissement | |
|--|---------------------|
| Unité de cogénération (15% de l'investissement) | 1.680.000 € |
| Equipement technique unité de biogaz (40% de l'investissement) | 4.480.000 € |
| Digesteur (45% de l'investissement) | 5.040.000 € |
| Véhicules | 150.000 € |
| Raccordement pour une réseau de chaleur | 75.000 € |
| Planification (5% de l'investissement) | 560.000 € |
| Redevance, taxe à l'importation, autres | 1.120.000 € |
| Total | 13.105.000 € |

Un prix de 7.000 €/ kW de puissance installé sert comme référence pour le calcul des investissements de l'unité de biogaz (y compris les digesteurs, les centrales de cogénération et les infrastructures nécessaires).²³¹

Les tableaux suivants présentent les hypothèses utilisées pour calculer les coûts d'exploitation et des revenus potentiels provenant de la vente de l'électricité, les recettes résultant de la vente des crédits MDP et celles résultant de la vente du digestat. Les revenus liés à la vente de la chaleur n'ont pas été prise en considération dans le calcul. Pour le calcul des recettes de CERs une quantité de réduction d'émissions de CO₂ de 8.000 t/a par la génération de l'électricité et de 17.000 t/a²³² par le remplacement des énergies fossiles par les combustibles dérivés des déchets ont été pris en considération.

Tableau 86: Hypothèses couts d'opération

| Hypothèses coûts d'opération | |
|--|----------|
| Dirigeant | 1 |
| Techniciens | 5 |
| Ouvriers | 10 |
| Salaire dirigeant | 15.000 € |
| Salaires techniciens par an | 8.000 € |
| Salaire ouvriers | 5.000 € |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de fermentation (% de l'investissement sans l'unité de cogénération) | 2,00% |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de cogénération (% de l'investissement) | 5,00% |
| Administration | 8.000 € |
| Raw Materials and Supplies (lump sum) | 15.000 € |
| Mesures de sensibilisation / intervalle de 3 ans | 10.000 € |
| Assurance (% de l'investissement) | 0,50% |
| Taux d'inflation | 2,50% |

Tableau 87: Hypothèses recettes de l'unité de biogaz

| Hypothèses recettes | |
|---|---------|
| Couts évités pour la mise en décharge (€/t) | 10 € |
| Prix de l'électricité (€/kWh) | 0,100 € |
| Prix de chaleur (€/kWh) | 0,000 € |
| Prix de l'engrais (€/t) | 5 € |
| Taux d'inflation | 2,50% |

Les des coûts et revenus annuels ont été déterminés avec un taux d'inflation annuel de 2,5%.

²³¹ Les coûts pour un désenclavement et desserte infrastructurelle n'ont pas été pris en considération.

²³² Le calcul économique ne prend pas en considération la quantité totale du potentiel de réduction de 42.575 t de CO₂, mais prend une valeur conservatrice de 17.000 t/a d'émissions de CO₂ évitée.

Le tableau suivant montre le cash-flow du projet sur une durée de projet de 20 ans. Les coûts de capitaux ont été calculés considérant un prêt (annuité) d'une durée de 20 ans et un taux nominal de 8,5%. Les investissements sont entièrement financés.

Comme montre le tableau suivant, le cash-flow cumulé du projet est positif pendant toute la durée du projet ce qui permet un financement de l'installation conforme aux hypothèses décrites.

Tableau 88: Calcul valeur actuelle nette (net present value)

| Year | 1 | 2 | 3 | 4 | 9 | 14 | 19 | 20 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Recettes | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2031 |
| Electricité | 1.077.378 € | 1.104.312 € | 1.131.920 € | 1.160.218 € | 1.312.680 € | 1.485.177 € | 1.680.341 € | 1.722.350 € |
| Chaleur / CDD | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € |
| Engrais | 128.125 € | 131.328 € | 134.611 € | 137.977 € | 156.108 € | 176.622 € | 199.831 € | 204.827 € |
| CER's (€) | 250.000 € | 250.000 € | 250.000 € | 250.000 € | 375.000 € | 375.000 € | 500.000 € | 500.000 € |
| + Redevances évités | | | | | | | | |
| Redevances de mise en décharge évités (50.000 t/a) | 500.000 € | 500.000 € | 500.000 € | 500.000 € | 500.000 € | 500.000 € | 500.000 € | 500.000 € |
| - Salaires | | | | | | | | |
| Dirigeant | -15.375 € | -15.759 € | -16.153 € | -16.557 € | -18.733 € | -21.195 € | -23.980 € | -24.579 € |
| Techniciens | -41.000 € | -42.025 € | -43.076 € | -44.153 € | -49.955 € | -56.519 € | -63.946 € | -65.545 € |
| Ouvriers | -51.250 € | -52.531 € | -53.845 € | -55.191 € | -62.443 € | -70.649 € | -79.933 € | -81.931 € |
| - Couts d'opération | | | | | | | | |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de cogénération | -86.100 € | -88.253 € | -90.459 € | -92.720 € | -104.904 € | -118.690 € | -134.287 € | -137.644 € |
| Couts d'exploitation et de maintenance unité de biogaz | -234.213 € | -240.068 € | -246.070 € | -252.221 € | -285.365 € | -322.865 € | -365.292 € | -374.424 € |
| Matières de production | -15.375 € | -15.759 € | -16.153 € | -16.557 € | -18.733 € | -21.195 € | -23.980 € | -24.579 € |
| - Autres dépenses | | | | | | | | |
| Administration | -18.200 € | -8.405 € | -8.615 € | -8.831 € | -9.991 € | -11.304 € | -12.789 € | -13.109 € |
| MDP (Validation & Vérification) | -30.000 € | 0 € | 0 € | -10.000 € | 0 € | 0 € | -15.000 € | 0 € |
| Assurance | -57.400 € | -58.835 € | -60.306 € | -61.814 € | -69.936 € | -79.127 € | -89.524 € | -91.763 € |
| Intérêt | -1.113.925 € | -1.090.899 € | -1.065.916 € | -1.038.809 € | -864.540 € | -602.498 € | -208.477 € | -108.488 € |
| = Résultat opérationnel | 292.665 | 373.106 | 415.939 | 451.342 | 859.188 | 1.232.759 | 1.862.966 | 2.005.116 |
| - Amortissement | | | | | | | | |
| | -1.110.750 € | -1.110.750 € | -1.110.750 € | -1.110.750 € | -1.110.750 € | -1.110.750 € | -1.110.750 € | -1.110.750 € |
| = Profit/perte avant impôts | -818.085 | -737.644 | -694.811 | -659.408 | -251.562 | 122.009 | 752.216 | 894.366 |
| - Taxes | | | | | | | | |
| Taxes | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | 0 € | -36.603 € | -225.665 € | -268.310 € |
| = Profit/perte après impôts | -818.085 | -737.644 | -694.811 | -659.408 | -251.562 | 85.406 | 526.551 | 626.056 |
| + Amortissement | | | | | | | | |
| | 1.110.750 € | 1.110.750 € | 1.110.750 € | 1.110.750 € | 1.110.750 € | 1.110.750 € | 1.110.750 € | 1.110.750 € |
| =Cash-Flow | 292.665 | 373.106 | 415.939 | 451.342 | 859.188 | 1.196.156 | 1.637.301 | 1.736.806 |
| - Amortissement | | | | | | | | |
| Remboursement | -270.893 € | -293.919 € | -318.902 € | -346.009 € | -520.278 € | -782.320 € | -1.176.341 € | -1.276.330 € |
| = Liquidité | 21.772 | 79.187 | 97.037 | 105.333 | 338.909 | 413.836 | 460.960 | 460.476 |
| Liquidité cumulée | 21.772 | 100.959 | 197.995 | 303.328 | 1.400.855 | 3.349.691 | 5.669.613 | 6.130.089 |

7.2.5 Evaluation & Perspectives

La construction d'une installation de biogaz, dont l'objectif principal est l'exploitation de la fraction organique des déchets ménagers et des déchets industriels organiques à Nador ainsi que la production de combustibles dérivés de déchets pour les entreprises industrielles ou la production du charbon (et la production de « Terra Preta »), n'est pas seulement économiquement réalisable mais pourrait aussi apporter de nombreux avantages à la province Nador.

Outre la création de près de 15 nouveaux emplois, il est possible d'éviter des émissions de gaz à effet de serre d'environ 50.000 tonnes par an grâce à l'utilisation matérielle et énergétique des déchets organiques actuellement déversés dans la décharge de Nador. Ceci serait réalisé par la transformation du biogaz produit en électricité d'une part et la substitution du charbon par les combustibles dérivés des déchets dans les industries à haute consommation énergétique. Ainsi, il est possible de générer pendant une période de 20 ans 210.200 MWh d'énergie renouvelable et de substituer environ 134.000 tonnes de charbon et par conséquent de réduire la dépendance des énergies fossiles.

Pendant cette période environ 1 million de tonnes de résidus pourrait être traité dans l'installation au lieu d'être éliminé sur la décharge. A travers l'installation de l'unité de biogaz la durée d'opération de la décharge sera prolongée et représentera une première étape pour l'établissement d'une décharge inerte (qui entraîne seulement des couts bas pour le suivi postopératoire).

Grâce à la production et l'utilisation du digestat (liquide ou solide), il est possible de mettre à la disposition des agriculteurs un substitut d'engrais bon marché.

La technologie du biogaz est une technologie largement expérimentée et répandue en Europe. Son utilisation au Maroc paraît très probable surtout à cause du fait que la fraction organique représente une grande partie des déchets ménagers. La réalisation d'un projet de biogaz et la démonstration de la faisabilité technique et économique au Maroc pourrait favoriser la diffusion de cette technologie dans toute la région africaine, puisque les résultats et les expériences faites au Maroc pourraient être utilisés pour réaliser ce projet dans d'autres endroits.

7.3 Valorisation matériel des boues d'épuration de la STEP de Nador et des résidus industriels organiques (HTC, Terra Preta)

7.3.1 Approche & Objectifs

Au Maroc, l'extension des infrastructures de captage et de traitement des eaux usées entraîne l'augmentation des quantités de boues d'épuration. Actuellement, ces boues sont le plus souvent séchées (séchage solaire dans ce que l'on appelle des "lits de séchage") et stockées à proximité des stations d'épuration, épandues sur des surfaces limitrophes ou encore mises en décharge.

Les estimations prévoient une hausse de la quantité totale de boues d'épuration produites par le Maroc à environ 400 000 t de MS/a d'ici 2030 (40 g de MS/hab/j), ce qui constitue un potentiel élevé pour sa valorisation matérielle ou énergétique. Il convient donc de développer des solutions techniques adéquates pour son exploitation.

Depuis 2010, une station d'épuration à trois phases (boues activées avec désinfection par rayons UV) ayant une capacité de 20 600 m³/j nettoie les eaux usées en provenance de l'agglomération du Grand Nador (245.000 habitants).



Figure 49 : La station d'épuration de Nador

Le procédé d'épuration en trois phases et la désinfection par UV permet d'utiliser par la suite les eaux usées épurées pour l'irrigation sans aucune restriction; toutefois, la station de Nador ne dispose à ce jour pas encore de concept de recyclage des boues d'épuration. L'esquisse de projet qui suit a donc pour objet de développer un concept de valorisation énergétique et matérielle des boues d'épuration (et d'autres matières organiques). Il présente une approche sur la base de la carbonisation hydrothermique en vue de produire du charbon. Ce charbon peut ensuite être utilisé dans la production d'un fertilisant (terra preta), servir de combustible supplémentaire dans des centrales électriques ou de combustible dérivés de déchets dans l'industrie du ciment (par ex. Holcim).

7.3.2 Flux de matériaux & Acteurs

Cette esquisse de projet prend en compte les boues d'épuration produites par la station d'épuration ainsi que d'autres résidus organiques comme flux de matière.

En raison du manque d'informations sur les quantités effectives de boues d'épuration produites par la station d'épuration de Nador, nous supposons que la quantité moyenne se situe à 40 g de MS/hab/j²³³. Il en résulte donc une quantité totale disponible de 3.577 t/a (100% MS) ou de 17.885 t/a si l'on suppose que la part de MS est de 20%.

²³³ SEEE : Stratégie nationale de gestion des boues des STEPs des boues au Maroc, 2010

Dans l'agglomération du Grand Nador, d'autres matériaux pourraient par ailleurs être exploités pour la production de biochar, dans la mesure où ils ne sont pas déjà efficacement recyclés²³⁴ ailleurs :

- 3.000 t/a de noyaux d'olives provenant de conserveries d'olives (95% MS)
- 17.000 t/a de résidus solides provenant de la production d'huile d'olive (43% MS)
- les déchets ménagers organiques ou les digestats solides provenant d'une éventuelle unité de biogaz qui recyclerait les déchets ménagers organiques.

Le dimensionnement de l'installation de carbonisation hydrothermale peut être flexible et permettra ainsi de recycler entièrement les boues d'épuration susnommées tout en traitant les autres matières en fonction de leur disponibilité saisonnière comme matériaux de compensation. La composition modulaire des installations de carbonisation hydrothermale permettrait par ailleurs de réagir avec souplesse à une future augmentation des quantités de boues d'épuration ou de digestat.

Selon les flux de matières identifiés des activités pris en compte dans cette esquisse de projet, les acteurs économiques importants pour ce projet seront :

- L'exploitant de la station d'épuration de Nador (ONEP)
- Les producteurs d'huile d'olive de l'agglomération du Grand Nador
- Les conserveries d'olives de l'agglomération du Grand Nador
- Les acheteurs potentiels des combustibles dérivés des déchets
- Les acheteurs potentiels du fertilisant (agriculteurs locaux)
- L'organisme de collecte des déchets ménagers de l'agglomération du Grand Nador ou les exploitants potentiels de la future unité de biogaz (cf. esquisse de projet 2).

7.3.3 Technologie

Le processus de carbonisation hydrothermale permet de transformer des matières biogènes, par ex. les boues d'épuration, les déchets verts ou les déchets ménagers biogènes en un produit du type charbon (combustible solide ayant des caractéristiques normalisées).

La carbonisation hydrothermale ou HTC (*Hydro-Thermal Carbonisation*) reproduit le processus naturel de la formation du charbon. Il s'agit d'une transformation isochore²³⁵ dans une sorte de « cocotte-minute ». Pendant le processus continu la biomasse est mélangée avec de l'eau et un catalyseur et bouillie pendant plusieurs heures sous des conditions anaérobies. Le temps d'exposition moyen se situe entre 3 et 5 heures à des températures entre 180° et 220°

La Figure 50 montre le schéma du processus de carbonisation hydrothermale. L'installation est composée d'un collecteur, d'un dispositif d'entraînement (pompe à béton), d'un échangeur de chaleur et du réacteur avec séparation solide-liquide consécutive.

²³⁴ Les noyaux d'olives et les résidus secs provenant de l'extraction d'huile d'olive sont en partie utilisés comme combustible dans des briqueteries.

²³⁵ Le terme isochore est appliqué sur un changement d'état d'une matière homogène durant laquelle le volume reste constant et où l'entropie est positive ou négative. La transformation isochore est donc un processus de réchauffement ou de refroidissement.

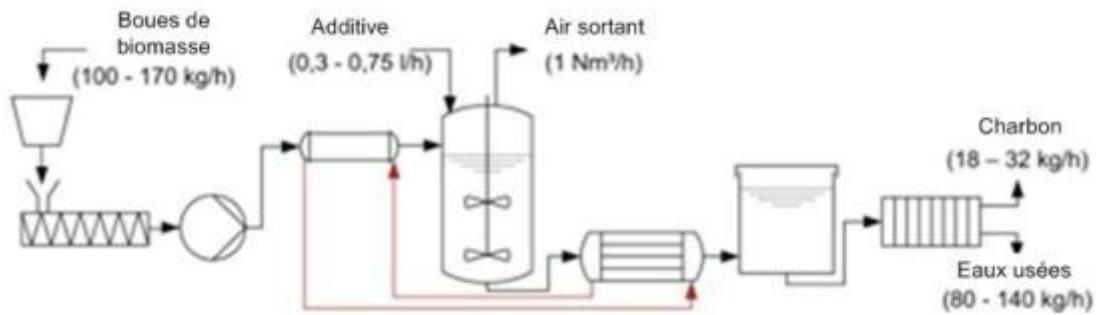


Figure 50 : Schéma fonctionnel d'une installation HTC continue²³⁶

Le résultat est une boue de charbon qui peut être déshydratée jusqu'à une teneur en matières sèches de 50% en raison de la structure très fine de ses particules. La taille moyenne des particules de carbone se situe aux alentours de 70 µm. La boue de charbon contient une part remarquable de nanoparticules de carbone, ce qui résulte en une grande surface spécifique (cf. image MEB).

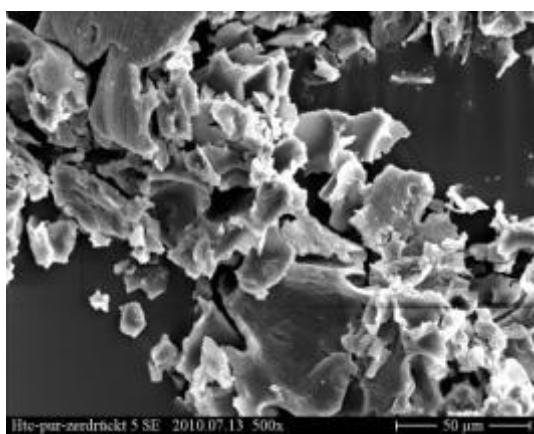


Figure 51 : Image MEB d'un charbon HTC

De nombreux domaines d'application sont envisageables pour le processus de carbonisation hydrothermale :

- transformation efficiente de digestats et boues d'épuration en combustible apte au stockage (jusqu'à env. 32 MJ/kg)
- production de combustibles à partir de matières premières agricoles
- fabrication d'un produit facile à sécher et apte au stockage à partir de boues d'épuration
- exploitation énergétique de plantes provenant de la phytoremédiation
- matière de base pour la « terra preta »
- matière de base pour la production de charbon activé
- en raison d'un rapport surface-volume favorable, ce charbon peut servir de milieu d'absorption/d'adsorption

Parmi les avantages de la carbonisation hydrothermale, citons d'abord son insensibilité face aux variations de composition de la matière première. De plus, il est possible d'y introduire de la biomasse humide, comme par exemple les boues d'épuration, sans séchage préalable. En raison du caractère exothermique du processus, l'apport nécessaire en énergie de chauffage est minimal. Le besoin en énergie de chauffage du processus peut être comblé par une récupération judicieuse de la chaleur résiduelle (en provenance de l'installation à biogaz et de l'unité de cogénération qui y est

²³⁶ TerraNova-Energy

raccordée, cf. ébauche de projet 3) ou par l'énergie solaire. En cas de surplus calorifique, il est possible de sécher la boue de charbon produite après la déshydratation mécanique, ce qui permet de créer un combustible solide apte au stockage. Dans le cas d'un recyclage matériel du charbon, par exemple pour la production de terra preta²³⁷, le séchage thermique de la boue de charbon n'est pas nécessaire.

Comme le carbone est capturé de façon durable, on peut ici parler d'un puits de carbone. Ajoutons que l'eau issue de la HTC est décontaminée après le processus. Le rendement en carbone est très intéressant comparé à celui de la fermentation et de la digestion anaérobique, comme l'illustre la figure 4.

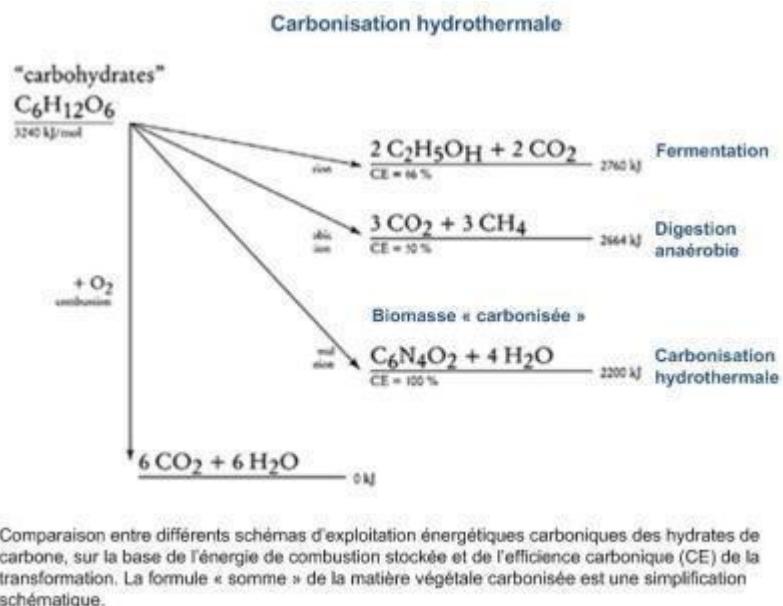


Figure 52 : Comparaison des possibilités de valorisation en regard de l'exploitation du carbone et du pouvoir calorifique²³⁸

La carbonisation hydrothermale induit toutefois des charges de maintenance et d'utilisation et rend nécessaire la formation du personnel d'exploitation de l'installation. Selon la composition du matériel de base, le charbon ou l'eau HTC peuvent accumuler des métaux lourds ou d'autres substances nuisibles.

7.3.4 Conception de l'installation

Comme nous l'avons évoqué au chapitre 7.3.2, la station d'épuration de Nador produit 17 885 t/a de boues d'épuration avec une teneur en matières sèches de 20%, disponibles pour le processus de carbonisation hydrothermale. Ceci nécessite un volume de réacteur d'environ 15 m³.

²³⁷ Le terme « terra preta » (en portugais : terre noire) désigne un sol anthropogénique découvert par des archéologues dans le cadre d'explorations sur les traces d'anciennes habitations humaines dans le bassin de l'Amazone. La terra preta amazonienne se caractérise par la présence de tessons de poterie, une forte concentration de charbon de bois, des apports d'os et d'arêtes de poissons ; elle contient un taux remarquable de carbone et de nutriments, par exemple de phosphore. Particulièrement fertile (4 à 5 fois plus que des sols « normaux » en Europe centrale), elle dispose d'une capacité de rétention d'eau supérieure à la moyenne (env. 200 l/m²). De nombreux projets de recherche étudient actuellement la production d'un substrat d'humus riche en nutriments qui ressemble à la terra preta et qui se compose, par exemple, de déchets verts, de déchets organiques et de charbon. En raison de l'importance de l'agriculture au Maroc et dans la région de l'Oriental, la production d'un tel substrat d'humus pour l'amélioration de la qualité des sols pourrait offrir d'énormes avantages à l'agriculture.

²³⁸ Max-Planck-Institut

Par ailleurs, l'installation de carbonisation hydrothermale pourrait utiliser les noyaux d'olives provenant des conserveries. Étant donné que cette activité traite environ 17 000 t d'olives par an dans la province de Nador, nous obtenons une quantité totale de noyaux d'olives d'environ 3 000 t/a²³⁹. Un volume de réacteur supplémentaire de 1 m³ serait nécessaire pour traiter cette quantité.

Il est en outre possible d'étudier, dans le cadre d'une étude de faisabilité détaillée, si les grignons produits par l'extraction d'huile d'olive (6 000 t/a ; 100% de MS), que l'étude présente prévoit pour alimenter l'installation à biogaz (cf. ébauche de projet 2), pourraient alternativement servir pour l'alimentation du processus de carbonisation hydrothermale.

Dans le cadre de cette ébauche de projet, nous nous contenterons dans un premier temps de prendre en compte comme intrants uniquement les boues d'épuration de la station de Nador (17.000 t/a) et les noyaux d'olives provenant des conserveries (3.000 t/a). Nous obtenons donc un volume de réacteur de 16 m³. Le besoin énergétique (chauffage) d'une installation de 16 m³ est d'environ 640 kW. Comme le montre l'ébauche de projet 3, la fermentation des déchets organiques ménagers et industriels permettra d'obtenir une capacité thermique installée allant jusqu'à 1 500 kW. La carbonisation hydrothermale pourrait ainsi servir comme consommateur de chaleur, ce qui améliorerait nettement la faisabilité économique de l'esquisse de projet 3 ainsi que le bilan énergétique des deux esquisses de projet.

Le processus de carbonisation hydrothermale permet de produire à partir de 20.000 t/a de matières entrants environ 20.000 t/a de boue de charbon (32% MS) ou 6.427 t/a de charbon (100% MS). Avec une capacité calorifique moyenne d'environ 14 MJ par kg de charbon, on obtient un potentiel énergétique de 89.978 GJ par an du charbon HTC.

Pour le conditionnement des boues de charbon pour la production de charbon il nécessite d'abord un déshydration mécanique pour achever un taux de matière sèche de 60%. Avec ce teneur en matière sèche les boues sont utilisable pour la production de « terra preta » par exemple. Pour la valorisation énergétique du charbon il nécessite un procédé de séchage supplémentaire (augmentation du taux de matière sèche de 60% à 80%) qui entraîne dans cet exemple une consommation d'énergie thermique de 3,5 GJ.

Par conséquent, le bilan énergétique est positif (production de 89.978 GJ de charbon par an) malgré les besoins en énergie thermique de (640kW * 300 jours *24 heures = 4,6 Mio. kWh = 16.588 GJ) pour la chaleur de processus et les 3,5 GJ pour le processus de séchage (plus l'électricité pour la déshydration mécanique des boues).

Le schéma suivant illustre flux de matériaux possibles dans le cadre de la création d'une installation de carbonisation hydrothermale associée à une unité de biogaz et à la production de terra preta (cf. esquisse de projet 3).

²³⁹ Les noyaux d'olives contribuent pour env. 20% au poids total du fruit. Partant de cette estimation, nous obtenons 3 400 t de noyaux d'olives par an. Dans nos calculs, nous nous sommes basés sur seulement 3 000 t/a comme quantité disponible.

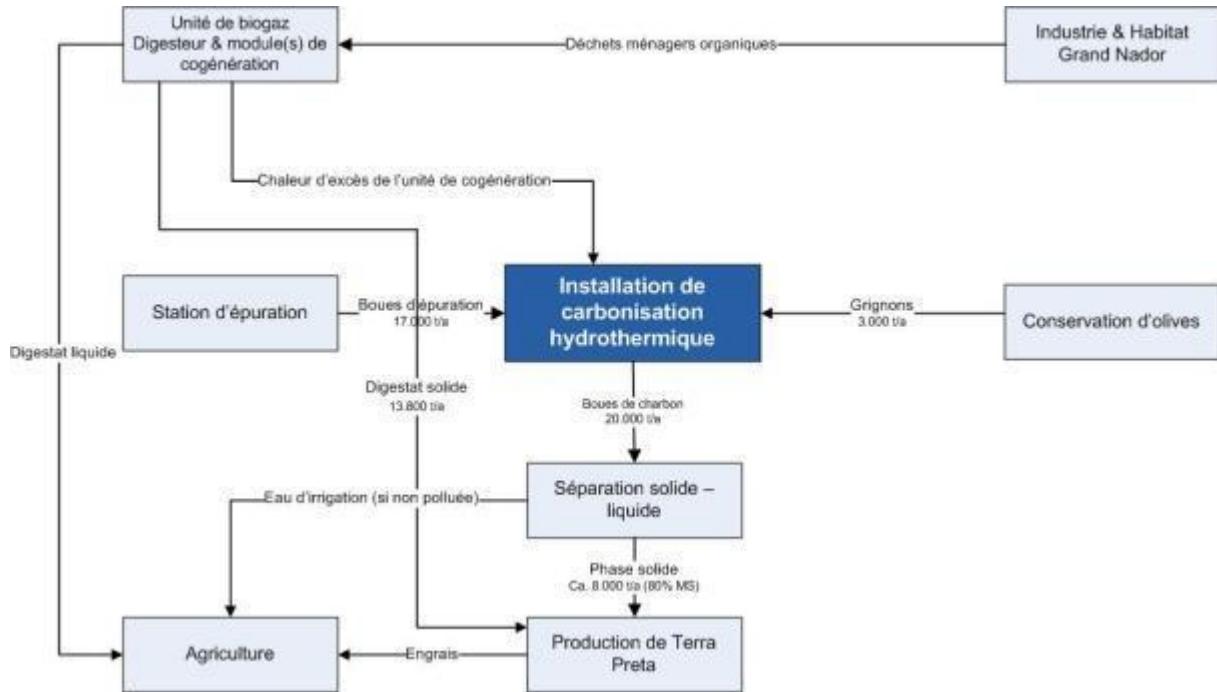


Figure 53 : Schéma d'une installation combinée biogaz-HTC

Outre la production de charbon et en absence d'une contamination par des métaux lourds, le digestat liquide résultant du processus de carbonisation hydrothermale peut être utilisé dans l'agriculture.

En raison de la nouveauté du processus HTC, nous ne pouvons donner ici que des valeurs approximatives d'après des expériences faites dans le cadre de projets pilotes en ce qui concerne la rentabilité économique du système.

Le tableau suivant donne une estimation des investissements, coûts d'exploitation et recettes possibles.

Tableau 89: Paramètres économiques d'une installation de carbonisation hydrothermale

| | Quantité | Prix | | |
|--|------------|--------|------------------|----------------------|
| Couts d'exploitation (2% de l'investissement) | | | -500.000 MAD | |
| Recettes de la vente de charbon | 6427 t/a | 90 €/t | 578430 € | 6.594.102 MAD |
| Couts évités pour l'élimination des boues d'épuration | 17.000 t/a | 5 €/t | 85.000 € | 969.000 MAD |
| Total | | | 663.430 € | 7.063.102 MAD |
| Investissement | | | 25.000.000 MAD | |
| ROI/a | | | | 3,54 |

7.3.5 Évaluation & Perspectives

La technologie de carbonisation hydrothermale exige des investissements élevés qui peuvent être refinancé par les recettes de la vente de charbon et par les coûts évités de stockage des boues d'épuration sur une décharge.

D'un point de vue de gestion de flux de matériaux le procédé HTC offre de diverses possibilités pour la création de la valeur ajoutée régionale. Outre le niveau d'innovation de la technologie et le

transfert de technologie initié, cette technologie permet de résoudre des problèmes d'élimination dans le secteur de traitement des eaux usées, offre aux agriculteurs des engrains régionaux ou permet aux industriels de remplacer les énergies fossiles. Notamment l'utilisation du charbon en agriculture entraîne des avantages écologiques comme l'application du charbon améliore les conditions du sol et ainsi l'approvisionnement en eau et nutriments des plantes.

7.4 Bosquet villageois

7.4.1 Approche & Objectifs

Dans la région de l'Oriental, on observe depuis quelques années déjà une dégradation progressive des forêts naturelles. Les raisons de cette dégradation sont nombreuses: Il s'agit de la récolte excessive de bois d'énergie, du surpâturage, des défrichements pour la recherche de nouvelles terres de cultures, des incendies et de l'urbanisation.²⁴⁰ La demande croissante de bois de chauffage par la population locale et la forte demande de produits du bois en général s'ajoutent au phénomène de dégradation en cours. (voir chapitre 5.2).

Sur le plan régional, la baisse de la superficie forestière est due à une croissance continue de l'érosion hydrique, de hautes pertes par évaporation, des taux d'infiltration réduite et un renouvellement des eaux souterraines presque inexistant.

Toutefois, le nombre de surfaces agricoles cultivables (par exemple : maraîchage, cultures arboricoles) dans la région de l'Oriental accroît, ceci notamment grâce à la réalisation des mesures du Plan Maroc Vert (voir chapitre 5.1.5). L'une de ces mesures est l'utilisation beaucoup plus fréquente des moyens de production tels que l'irrigation, la fertilisation ou encore la protection des cultures.

Outre la surexploitation des ressources en eau ce sont aussi le manque d'assainissement ou encore le traitement inappropriate des eaux usées qui risquent la dégradation des ressources en eau. En plusieurs endroits, les eaux usées municipales s'infiltraient dans le sol ou sont déversées dans les eaux côtières et superficielles sans être traitées au préalable. Les éléments nutritifs contenus dans les eaux usées (en particulier l'azote et le phosphore) entraînent l'eutrophisation ou la formation de nitrate dans les eaux souterraines. Les conséquences de ce phénomène sont : des réductions de grande envergure en ce qui concerne la qualité des ressources en eau régionales et l'augmentation des coûts pour l'approvisionnement en eau potable.

Cette esquisse de projet décrit la possibilité d'irriguer les peuplements d'oléagineux et de bosquet à l'aide des eaux usées prétraitées. L'exploitation des plantations constituées de différentes sortes d'arbres et arbustes sera organisée par une coopérative locale. L'objectif est de créer une situation avantageuse pour l'homme et l'environnement grâce à un traitement effectif et décentralisé des eaux usées et une horticulture intégrée : Outre des avantages directs tels que la création d'emplois et de revenus dans les zones rurales par la valorisation d'éléments nutritifs et des ressources provenant des eaux usées, il est possible d'obtenir grâce aux plantations extensives des effets positifs indirects concernant la protection des ressources biotiques et abiotiques.²⁴¹

²⁴⁰ <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/index.aspx>

²⁴¹ Cp. Waldwissen : Waldbesitzer auf dem Weg in die Zukunft, 2009

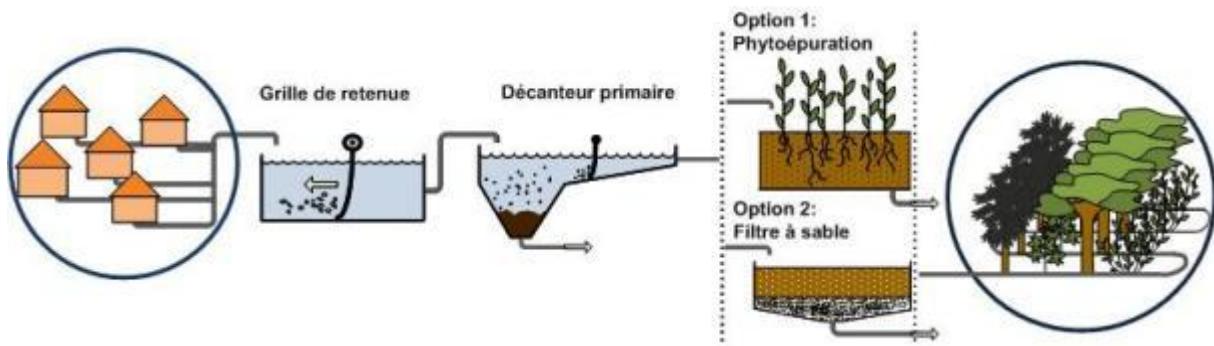


Figure 54:Systèmes de bosquet villageois

De différents cycles de production des bois (annuel ou pérenne) résultent de divers éléments structurants dans le paysage qui freinent d'une part l'érosion éolienne et hydrique ainsi que la désertification, et d'autre part promouvaient la biodiversité et le développement de l'humus. L'utilisation des eaux usées municipales (communales) pour la production de la biomasse végétale ou des matières premières (pétrole, bois, fourrage) conduit d'une part à réduire l'écoulement (le déversement) des matières nutritives dans les eaux de surface et d'autre part à augmenter la disponibilité de l'eau et des matières nutritives dans le système agricole. La création d'un peuplement sur les terres presque désertiques peut avoir des effets très positifs sur la fertilité des sols (enrichissement d'humus et protection contre l'érosion) et la qualité de l'eau.

L'utilisation horticole des eaux usées municipales pour irriguer les bosquets villageois, peut fournir à moyen terme des revenus, qui seront par exemple utilisés pour la séparation des flux d'eaux usées afin d'établir une utilisation de l'eau (protection intégrée du sol et augmentation de la vitalité des plantes) en fonction des besoins.

L'esquisse de projet présente le développement d'un bosquet villageois (bois et oléagineux) par une collectivité locale. La fondation des coopératives pour une exploitation agricole et forestière optimisée est déjà établie au Maroc par la DREFLCD pour l'exploitation des arganiers.

7.4.2 Flux de matériaux & Acteurs

Administration et considération économique

La principale caractéristique de bosquets villageois, c'est le fait que les citoyens d'une communauté autrement dit les membres de la coopérative, ont seulement une propriété idéologique et temporaire sur les plantations. Ce droit attribue aux citoyens des droits d'utilisation contingents (tels que le bois de chauffage, fourrage) en fonction de leur niveau d'engagement. L'exploitation des terres relève des membres de la coopérative (la communauté), tandis que la direction de la coopérative (les membres de l'administration des eaux et forets au niveau local et communal, les organisations agricoles) est responsable de l'organisation et la planification. Le conseil d'administration de la coopérative a pour fonction de veiller à ce que l'exploitation des plantations soit conforme aux règles et d'attribuer les droits d'utilisation.²⁴²

Une structure sociale stable est impérative pour réaliser correctement les projets de la coopérative. C'est pour cette raison que le développement du projet s'effectuera par le biais des étapes suivantes :

²⁴² Cp. Waldwissen : Waldbesitzer auf dem Weg in die Zukunft, 2009

- L'information de la population sur l'assainissement/hygiène et les projets possibles, ainsi que
- L'intégration des communautés et des ONG régionales dans le projet (par exemple grâce à des campagnes de plantation communes et des séances d'information, l'éducation comme un pilier central du système)

Les aspects suivant assureront la stabilité financière du projet :

- Options d'utilisation des terres définies contractuellement,
- Possibilité d'utilisation des eaux usées définie contractuellement,
- Cession des revenus aux membres de la coopérative,
- Attribution de petits prêts pour les investissements, l'achat de machines, la formation complémentaire (cp. « microcrédits »),
- Octroi de subventions pour les mesures environnementales telles que la végétalisation et le reboisement,
- Avantages fiscaux pour les produits commercialisables,
- Extension des conditions d'amortissement,
- Soutien politique aussi d'une manière financière (« Plan Maroc Vert »).

Culture et écologie

La protection des ressources abiotiques qui entre dans le cadre de la protection des sols et l'eau est l'un des effets positifs résultant de la mise en place de bosquet et d'oléagineux cultivés de manière extensive. C'est pour cette raison que les consignes sont strictes en ce qui concerne l'orientation écologique. Il peut s'agir de:

- Culture mixte, autant d'espèces autochtones que possible²⁴³
- Création de surfaces utilisables et de repos grâce à la gestion et planification appropriée des cultures
- Création d'un peuplement horizontal (répartition des surfaces par type d'utilisation)
- Prise en considération de l'exposition (réduction du vent ou des effets de vent)

Selon l'objectif visé, les espèces d'arbres adaptés au site avec une forte efficacité d'utilisation d'eau et une forte tolérance à la salinité, des taux de croissance élevés et une utilisation diversifiée devront être utilisées. La création d'un peuplement grâce aux boutures et les cultures pérennes représentent d'autres propriétés souhaitables. L'exploitation adapté au site avec une composition approprié des plantes sera supporté par :

- La sélection d'espèces d'arbres selon la demande locale en matières premières, les caractéristiques du site, les connaissances horticoles (agronomiques), la disponibilité de la main-d'œuvre et sources financières
- Etablissement par parcelle pour tester l'aptitude des espèces, le succès de l'accroissement et la tolérance aux eaux usées
- Multiplication végétative (de préférence par bouturage) des espèces appropriées (réduction des coûts)

La sélection des plantes dignes d'être cultivées sera principalement influencée par les caractéristiques du site et la qualité des eaux usées utilisées. L'établissement d'un peuplement

²⁴³ Cp. Mhirit, Blerot : Le grand livre de la forêt marocaine, 1999

d'espèces différentes (culture mixte) renforce la résistance de la population totale (l'ensemble des stocks) contre la pression exercée par les maladies et les ravageurs. Les pertes de rendement d'une espèce se laissent compenser par l'utilisation adéquate des autres espèces.

L'irrigation avec des eaux usées nécessite une certaine tolérance en sel des cultures. Le Tableau 90 montre des espèces, qui sont adaptées à un climat semi-aride, disposent d'une tolérance en sel suffisante et peuvent être utilisées dès la première année. Ils seront décrits en détail dans l'annexe.

Les espèces énumérées dans le Tableau 90 sont des propositions: La connaissance des paramètres climatiques, écologiques et sociaux repose sur la population locale et régionale sera complétée par les experts régionaux.

Tableau 90: Espèces potentiels pour l'établissement d'un bosquet villageois^{244, 245}

| Espèces | <i>Rhizinus communis</i> | <i>Calotropis procera</i> | <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | <i>Simmondsia chinensis</i> | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Azadirachta indica</i> |
|---|--|---|--|---|--|---|
| Distribution | 40°S - 52°N, origine: Afrique du Nord-Est | gisement en Afrique, Asie, Amérique | naturellement 32-38°S, origine: Australie | naturellement 23-35°N, Amérique | naturellement 30-44°N, Méditerranée | naturellement 10-25°N, origine: Asie du Sud-Est |
| Climat | tropique, semi-aride | désert, aride / semi-aride, steppe | tropique humide et sec, steppe, semi-aride, oceanique | tropique humide et sec, steppe, subtropicale, aride | subtropical, été sec, aride | tropique humide et sec, steppe, semi-arid, désert, aride |
| Sol | Sols eutrophe, bien drainés | CEC modérée à faible, sols bien drainés, meuble | CEC modéré à faible | CEC modérée à faible, sols meubles/moyens, sols bien drainés | CEC modéré à faible, sols bien drainé | CEC modérée à faible, sols bien drainé |
| Cycle de production, durée d'utilisation | durée de vie 8 - 12 ans, exploitation annuelle ¹ | | rotation tous les 7-10 ans sur des bons sols | porte ses fruits après 7 - 8 ou 10 - 12 ans, pendant 100- | 0,3-0,5 m croissance de longeur par an, environ 50 | 4-7 m après 3 ans, 5-11 m après 8 ans |
| Croissance/an, gain | rendement moyen des semences 0,75 t/ha, irrigué 3,0 t/ha | | 10 - 22 m ³ /ha | gain de semences par arbre 0,5 - 15 kg, gain moyenne par an 2,25 | 6 - 12 m ³ /ha | 5 - 18 m ³ /ha |
| Vitalité | 0,5 - 4 m d'huteur, gèle en hiver (zones tempérées), 6 - 10 m (zones tropiques) | sécheresse, (sur)pâturage | sécheresse et inondation | feux, vent, sécheresse, (sur)pâturage, érosion | feux, sécheresse, vents maritimes, termites | |
| Plantation | ca. 1 m x 20-30 cm ¹ | | | 2 x 5 m ^{3,4} , sex-ratio | | |
| Emploi | huile, gras, cire, colorants, produits pharmaceutique, fourrage: vitamines, amendement | fibres, bois léger, fourrage: protéine, protection contre l'érosion | énergie, fibres, bois dur, matériaux, culture des shiitake, reforestation, abat-vent, plante | huile, cire, produits cosmétique et pharmaceutique, détergent, protéine | matériaux, bois de feu, préservation du sol, plante ornementale, abat-vent | abat-vent, matériaux, fourrage, produits pharmaceutiques et cosmétiques, lubrifiant |

7.4.3 Technologies

Afin d'économiser les ressources naturelles d'eau de surface ou souterraine, l'irrigation des surfaces d'afforestation s'effectuera par le biais des eaux usées municipales. Les autorités forestières, les représentants des villages et les experts régionaux d'irrigation doivent effectuer une analyse de risques en tenant compte des caractéristiques de chaque site (relief, la direction de drainage, la capacité de rétention d'eau du sol). Cette analyse servira comme base pour la planification du développement (accumulation de sel ou de matières polluantes) et la sélection du site approprié.

L'irrigation par gravité est une technique d'irrigation simple et bon marché. Son application sur les différents sites dépend de la quantité et de la qualité d'eau disponible. La consommation en eau joue un rôle important dans le choix du système de d'irrigation. C'est la raison pour laquelle les systèmes économies en eau tels que l'irrigation goutte à goutte ou les systèmes souterrains sont autant convoités chez les consommateurs. Le gouvernement marocain soutient la transition vers l'irrigation localisée financièrement avec les subventions jusqu'à 100%. Par conséquent, la présente esquisse de projet va se limiter à l'usage de l'irrigation localisée.

²⁴⁴ www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/castor.html; www.springerlink.com/index/j1272468p73p9766.pdf; www.duftart.ch/; www.umweltlexikon-online.de/RUBlandwirtsrohstoffe/Jojoba.php; <http://ecocrop.fao.org>

²⁴⁵ CEC = Capacité d'Echange Cationique

Dans ce qui suit, on jettera un coup d'œil sur deux systèmes simples (« low-input-system ») pour le traitement des eaux usées, qui ont une certaine affinité avec l'irrigation localisée. L'utilisation de systèmes d'irrigation exclut un fonctionnement harmonieux avec l'emploi des eaux usées non traitée. Un certain niveau d'hygiénisation et l'élimination des matières en suspension sont nécessaires.

La présente esquisse de projet prend comme point de départ l'utilisation d'un système d'épuration avec grille de retenue (pour la séparation de grosses particules), et d'un décanteur primaire (pour la sédimentation). Les deux alternatives pour le traitement secondaire sont un filtre planté de roseau et une installation d'infiltration-percolation.

Dans le cadre de cette esquisse de projet seront comparés un filtre planté de roseau (horizontale) avec une station d'infiltration-percolation en ce qui concerne leur adaptabilité à un système d'irrigation localisée. En plus, ils seront calculés les charges de nutriments dans les boues d'épuration du traitement primaire et sous quels conditions les boues peuvent être appliquée sur la plantation.

Pour le calcul exemplaire d'une unité coopérative, un village de 1.000 habitants a été pris pour base. Celui-ci sera relié par un réseau d'assainissement au système de traitement des eaux usées. Les charges en éléments nutritifs pour les stations d'épuration municipales marocaines ont été prises de l'étude de Medaware de l'UE. Le Tableau 91 donne des informations sur les données utilisées pour l'exemple considéré. Il s'agit des caractéristiques des eaux usées, des hypothèses et des paramètres calculés au niveau de l'affluent de la station d'épuration.

Tableau 91: Quantités et flux de matériaux des eaux usées

| Hypothèses | | |
|---|-------------------------|-----------------|
| Paramètres | | Source |
| Habitants | 1.000 EW | Hypothèse |
| Equivalent-habitant | 0,04 m ³ /EW | US AID |
| Effluent | 40 m ³ /j | calculé |
| Concentrations dans les eaux usées (affluent) | | |
| DCO | 1.344 g/m ³ | calculé |
| Charge des DBO5 | 43 g/EH/j | DWA 2008 |
| DBO ₅ | 1075 g/m ³ | calculé |
| P _{Total} | 90 g/m ³ | EU-MEDWARE 2004 |
| N _{Total} | 150 g/m ³ | EU-MEDWARE 2004 |
| Matière sèche par habitant et jour | 70 g TS/j | Gujer 2007 |
| MS (affluent) | 0,17% | calculé |
| Charges journalières des nutriments et matières organiques (affluent) | | |
| DCO | 53,75 kg/j | calculé |
| DBO ₅ | 43,00 kg/j | calculé |
| P _{Total} | 3,60 kg/j | calculé |
| N _{Total} | 6,00 kg/j | calculé |
| MS | 70,00 kg/j | calculé |

Variante 1: Station d'épuration naturelle horizontale

Une station d'épuration naturelle est un filtre de sol planté avec des plantes de marais (héliophytes).²⁴⁶ L'écoulement régulier est assuré par une zone de distribution composée de gravier et une zone de collecte également composée de gravier pour le drainage. Entre les deux, se trouve une zone de

²⁴⁶ Arbeitsblatt DWA-A262

traitement composé de sable avec la plantation d'hélophytes. Le rendement élevé d'épuration de la station d'épuration (plus de 90% de la DCO) est du à la bonne saturation en oxygène du substrat de sable à la suite de la pénétration des racines et les conditions associées pour une bonne croissance des bactéries aérobies dans le milieu du sol. Les bactéries aérobies minéralisent les matières organiques et des composés d'azote en présence d'oxygène.²⁴⁷

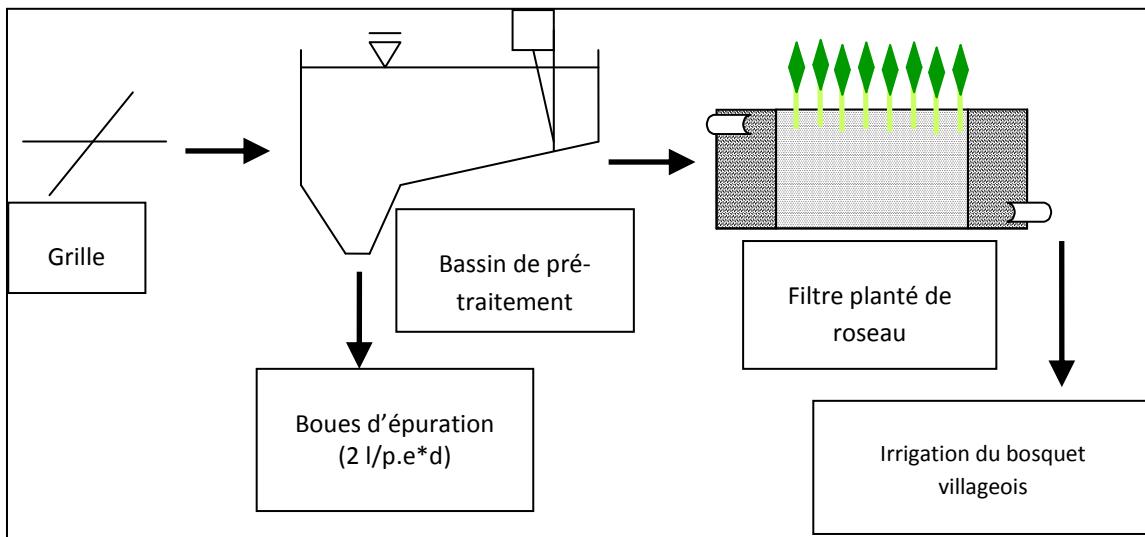


Figure 55: Schéma filtre planté de roseau

Le dimensionnement de la station d'épuration s'effectue conformément aux directives de l'UN-Habitat Constructed Wetland Manual (Manuel sur les filtres plantés des Nations Unies) et a été dimensionnée selon la formule A_h .²⁴⁸ Le dimensionnement dépend de la température, la charge en DBO et de la quantité des eaux usées. La surface nécessaire de la station d'épuration naturelle est fixé à $1,1m^2/EH$.

Tableau 1: Dimensionnement du filtre planté de roseau

| Paramètres | Source |
|--|---|
| $A_h = \frac{Q_d \times (\ln(C_i) - \ln(C_e))}{K_{DBO}}$ | |
| $K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)}$ | Constructed Wetland Manual UN-Habitat 2008 |
| Surface du filtre | 1.100 m ² calculé |
| A_h | Surface nécessaire 1,10 m ^{2/EH} calculé |
| Q_d | Equivalent-habitant 0,04 m ^{3/EH/d} US AID |
| Charge-DBO5 | Charge par habitant 43 g/EH/d DWA 2008 |
| C_{i-DBO5} | Concentration affluent 1.075 mg/l calcule |
| C_{e-DBO5} | 25 mg/l Hypothèse |
| K_{DBO5} | 0,139 m/d calculé |
| K_{DBO5} | 0,139 m/d calculé |
| K_T | 0,92 calculé |
| K_{20} | constante de degradabilité (20°C) 1,10 Constructed Wetland Manual UN-Habitat 2008 |
| T | Température 17 °C Hypothèse |
| d | Profondeur 0,50 m DWA-A 262 |
| n | Porosité 30 % Hypothèse |

²⁴⁷ Constructed Wetland Manual - UN Habitat- 2008

²⁴⁸ Constructed Wetland Manual - UN Habitat- 2008

Tableau 92: Performance d'épuration du filtre planté de roseau horizontal

| Efficacité de l'élimination (filtre planté de roseau) | | |
|---|-----|-------------------------|
| N-Elimination | 98% | HS OWL- Austermann 2010 |
| P-Elimination | 92% | HS OWL- Austermann 2010 |

Pour fermer les cycles des éléments nutritifs d'une manière efficace et ce en considérant l'efficacité d'élimination actuelle, il faut faire recours aux boues primaires isolées (séparées) et aux hélophytes compostés pour permettre une fertilisation adéquate de la superficie cultivée.

Variante 2: Installation d'infiltration-percolation

La deuxième méthode est l'installation d'infiltration-percolation. Il se compose d'un filtre à sable avec une couche de drainage constituée de gravier. Contrairement à un filtre à sable conventionnel, ici les canaux de distribution fournissent servent comme dispositif d'alimentation pour permettre une distribution régulière et une concentration en oxygène élevée.

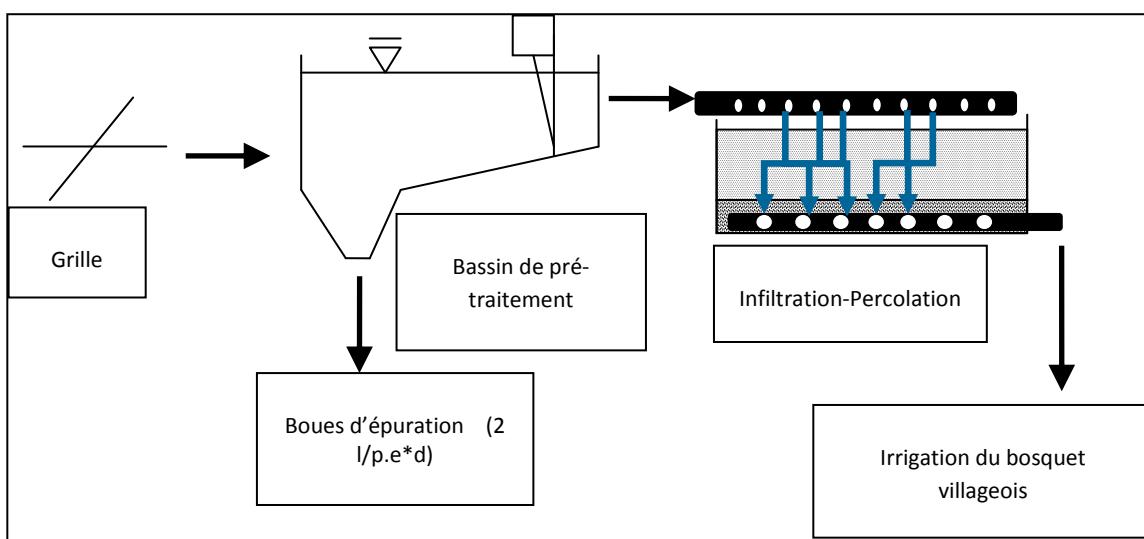


Figure 56 : Schéma infiltration-percolation

Cette méthode permet d'utiliser le gravier le sable existant dans la région comme matériel pour le filtre. La taille et l'irrégularité du sable à utiliser ne doivent en aucun cas être négligées. Le fonctionnement des deux bassins de l'installation ($2 \times 750 \text{ m}^2$) aura lieu de façon alternant. Après les phases d'alimentation et de filtrage, les deux bassins seront plongés l'un après l'autre dans une phase de séchage. Les dépôts organiques collectés sur la surface doivent être extraits régulièrement.

²⁴⁹

²⁴⁹Europäische Kommission & Office International de l'Eau 2001: Handbuch extensive Abwasserbehandlungsverfahren-Leitfaden

Tableau 93: Dimensionnement et performance d'épuration du système infiltration-percolation

| Dimensionnement | | |
|--|------------------------|----------------------------------|
| Surface par habitant | 1,5 m ² /EW | Office Internation de l'Eau 2001 |
| Surface Infiltration-Percolation | 1.500 m ² | |
| Efficacité de l'élimination (infiltration-percolation) | | |
| Elimination N | 50% | Office Internation de l'Eau 2001 |
| Elimination P | <60% | Office Internation de l'Eau 2001 |

Avec une surface du filtre d'environ 1.500 m² la superficie de l'installation d'infiltration-percolation est supérieure à la superficie de la station d'épuration naturelle.

Valorisation des boues d'épuration

En Partant de l'efficacité d'élimination élevée des deux méthodes étudiées ci-dessus, on peut se demander s'il est possible d'approvisionner les plantations d'arbres avec les matières nutritives extraites des eaux usées municipales. Pour répondre à cette question, il faut examiner la possibilité d'utiliser les boues brutes provenant du traitement primaire. Comme montre le Tableau 94, les calculs indiquent un montant journalier de boues provenant du décanteur primaire de 2,1 m³ pour 1.000 habitants, soit 2,1 litres par habitant pour une teneur en MS de 2%. La teneur en MS dans la boue peut être bien plus élevée, mais dans le système actuel avec un temps d'exposition assez court et un bassin beaucoup plus petit on suppose une valeur conservatrice de MS de 2%.

Tableau 94: Exemple des caractéristiques des boues d'épuration

| Quantités des boues d'épuration de la phase du pré-traitement | | |
|---|---------------------------|-------------------|
| MS dans les boues d'épuration | 20.000 gTS/m ³ | ASCE 2000 (TS=2%) |
| Quantités des boues Q (pré-traitement) | 2,10 m ³ /d | calculé |
| Quantités des boues m _{ts} | 42,00 kgTS/d | calculé |
| Concentration du phosphore | 0,80 % | ASCE 2000 |
| Concentration de l'azote | 2,50 % | ASCE 2000 |
| Charge journalière P | 0,34 kg/d | calculé |
| Charge journalière N | 1,05 kg/d | calculé |

Lorsqu'on compare les valeurs des charges d'éléments nutritifs dans les boues primaires du Tableau 91 avec les valeurs des eaux usées du Tableau 94, on peut constater lors du traitement primaire une séparation des éléments nutritifs sur la masse sèche de la boue d'environ 50% par rapport de la teneur en azote et 25% par rapport la teneur en phosphore.

L'utilisation des boues d'épuration provenant du bassin de décantation comme engrais pour les plantes peut s'avérer bénéfique lorsque les plantations se trouvent à proximité de la station d'épuration. Toutefois, l'exposition à des germes pathogènes est un danger à ne pas négliger. Le danger provenant des germes pathogènes n'est en aucun cas comparables aux dommages qui peuvent être causés par des métaux lourds. Quand même, les espaces publics ne sont pas un site approprié pour les plantations car elles présentent des dangers pour la santé surtout lorsque la boue de curage n'a pas été stabilisée correctement. En outre, les boues d'épuration peuvent accroître la capacité d'échange cationique et améliorer la fertilité du sol.²⁵⁰

Les quantités d'éléments nutritifs dans les boues brutes pris en compte dans cette esquisse sont supposées de manière conservative, quand même le traitement ultérieur des boues est important

²⁵⁰ UNEP: Guidelines for sewage sludge treatment, disposal and use, 2005

pour déterminer l'efficacité globale. Si les boues seront appliqués brutes, les charges des matières nutritives peuvent varier entre 25% et 50% des quantités dans l'affluent des eaux usées.

Evaluation des deux variantes et recommandations

Le fait que la station d'épuration naturelle s'avère beaucoup plus efficace que le procédé d'infiltration-percolation en ce qui concerne l'élimination de la concentration en germes a l'avantage que, lorsque les plantations n'ont pas besoin de beaucoup d'eau, l'eau peut être déversée dans un cours d'eau récepteur surtout en hiver par exemple. En outre l'eau peut également être utilisée à d'autres fins comme par exemple la culture maraîchère puisque sa concentration en germes est très basse. Malgré la demande en surface un peu plus élevé de l'installation d'infiltration-percolation, celle-ci permettra un meilleur approvisionnement des arbres en éléments nutritifs grâce à un taux de dénitrification beaucoup plus bas et une extraction de phosphore beaucoup plus faible²⁵¹.

Les deux systèmes de traitement sont appropriés pour assurer une économie d'eau élevée et à la fois un fonctionnement opérationnel de l'irrigation localisée. Cette esquisse de projet opte pour un filtre à sable conventionnel (infiltration-percolation), car une plus forte concentration en éléments nutritif est maintenue dans les eaux usées. En outre, avec un filtre à sable conventionnel, il y a moins de défis logistiques à surmonter et moins d'investissements à faire en comparaison avec une station d'épuration naturelle (recyclage de boues et compostage d'hélophytes). Il est supposé que les coûts d'exploitation et les intérêts seront compensés par des taxes perçues chez chaque citoyen utilisant le filtre. Alors que la gestion et la mise en disposition des eaux usées seront effectués par la municipalité, pour leur recyclage (eau et boues) par contre seront responsables les coopératives.

7.4.4 Economie

La quantité d'eau usée produite dans le scénario de 1.000 habitants et l'eau de pluie provenant des précipitations annuelles est suffisante pour cultiver une superficie de quatre hectares.

Pour présenter la performance économique d'une culture mixte, composé de 4 plantes différentes (2 plantes oléagineuses et à 2 espèces d'arbres), on utilisera un calcul simplifiée de dépenses et recettes pour quatre plantes potentielles.

Les tableaux suivants présentent dans un premier temps les hypothèses prises ci-dessus. Tous les paramètres de calcul sont exprimés en € / ha. On part du fait d'un financement sans intérêt par le secteur public (éventuellement par le Plan Maroc Vert). Pour un bosquet villageois avec une superficie moyenne d'environ 4 ha par parcelle, il faut compter avec des investissements (semences, préparation des terres, etc.) de près de 815 € par ha. En plus, il est supposé que 80% des fonds pour le financement du système d'irrigation proviennent du secteur public sous forme de subvention ou autres instruments.

²⁵¹ Europäische Kommission & Office International de l'Eau 2001: Handbuch extensive Abwasserbehandlungsverfahren-Leitfaden

Tableau 95: Hypothèses Input

| Input | | |
|--|-------|-----------------------|
| Habitant | 1.000 | |
| Eaux usées | 40 | l/hab/j |
| Précipitation | 250 | mm |
| Besoin en eau d'irrigation | 6.000 | m ³ /ha/a |
| Couts administratifs eaux usées | 0,028 | €/m ³ |
| Bouturage | 0,450 | €/pièce |
| Prix des semences | 0,450 | €/kg |
| Semence | 15 | kg/ha |
| Système d'irrigation | 1.500 | €/ha |
| Subvention à l'investissement pour le système d'irrigation | 80 | % |
| Culture du sol | 60 | €/ha |
| Entretien du système d'irrigation | 3 | % de l'investissement |
| Frais de personnel (huile) | 744 | €/ha/a |
| Frais de personnel (bois) | 427 | €/ha/a |
| Frais administrative | 10 | % |

Tableau 96: Hypothèses Output

| Output | | |
|-----------------------------|--------|----------------------|
| Eaux usées | 14.600 | m ³ /ha/a |
| Précipitation | 2.500 | m ³ /ha/a |
| Terre cultivable | 4,17 | ha |
| Prix des semences | 0,450 | €/kg |
| Prix des semences de ricin | 3 | t/ha/a |
| Prix des semences de jojoba | 4 | t/ha/a |
| Rendement bois eucalyptus | 22,75 | m ³ /a |
| Rendement bois pin d'alep | 9,75 | m ³ /a |
| Prix du bois | 25 | €/m ³ |

Tableau 97: Hypothèses plantes

| Plante | Ricin | Jojoba | Eucalyptus | Pin d'alep |
|-------------------------|---------|---------|------------|------------|
| Temp de végétation | annuel | | pérennant | |
| Augmentation | semence | semence | bouturage | bouturage |
| Surface cultivée totale | | | 4 ha | |

Tableau 98: Hypothèses investissement

| Investissement | EURO/ha | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| | Ricin | Jojoba | Eucalyptus | Pin d'alep |
| Fermage pour le terrain | | 0 | | |
| Traiment d'eaux usées | | 0 | | |
| Préparation du sol | | -252 | | |
| Système de irrigation | | -300 | | |
| Semence/Bouturage | -13,5 | -13,5 | -281 | -281 |
| Plantation | -40 | -40 | -192 | -192 |
| TOTAL investissements | -606 | -606 | -1.025 | -1.025 |

Tableau 99 donne les coûts d'exploitations des quatre espèces.

Tableau 99: Couts d'exploitation

| Frais annuels d'exploitation | EURO/ha/a | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | Ricin | Jojoba | Eucalyptus | Pin d'alep |
| Preparation du sol | -140 | 0 | 0 | 0 |
| Culture du sol | -52 | -52 | -52 | -52 |
| Semence+Plantation | -53,5 | 0 | 0 | 0 |
| Entretien du système d'irrigation | -45 | -45 | -45 | -45 |
| Eaux usées | -97 | -97 | -97 | -97 |
| Frais de personnel | -744 | -744 | -427 | -427 |
| Frais administrative | -113 | -94 | -62 | -62 |
| Monitoring | | -60 | | |
| TOTAL frais d'exploitation | -1.305 | -1.032 | -683 | -683 |

Le Tableau 100 livre des approches possibles pour le financement des bosquets villageois. Ce tableau présente les revenus annuels hypothétiques de la vente de graines oléagineuses et le bois de feu. Les recettes sont calculées en tenant compte du cycle de production des différentes plantes. Le ricin commun peut par exemple être récolté annuellement tandis que l'eucalyptus génère des recettes significatives après un cycle de production d'environ 10 ans. Le tableau montre aussi les revenus enregistrés par la vente des produits secondaires. Grâce aux revenus provenant des produits agricoles, il est possible de refinancer du moins en partie les investissements faîtes pour l'afforestation.

Tableau 100: Recettes

| Recettes | EURO/ha/a | | | |
|------------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| | Ricin | Jojoba | Eucalyptus | Pin d'alep |
| Premier an de récolte | 1 | 4 | 10 | 10 |
| Semence | 1.350 | 1.800 | 0 | 0 |
| Bois | 0 | 0 | 569 | 244 |
| Certificats de carbone | 0 | 0 | 307 | 307 |
| TOTAL recettes | 1.350 | 1.800 | 876 | 551 |

Une alternative de financement représente le commerce avec les crédits de réduction d'émission (Certified Emission Reductions, URCE). L'accord international sur le climat (Protocole de Kyoto) qualifie les forêts de puits de carbone.²⁵² Leur capacité de capter le dioxyde de carbone et produire de l'oxygène permet aux forêts d'être pris en considération comme facteur déterminant dans les bilans de CO₂ nationaux. Dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre (MDP), l'un des mécanismes flexibles du protocole de Kyoto, deux objectifs ont été fixés. Il s'agit d'une part de réduire les couts, que les pays industrialisés doivent supporter afin d'atteindre les objectifs fixés contractuellement et d'autre par permettre au pays en voie de développement de mener une politique de développement économique durable grâce aux multiples transferts technologiques et aides financières. Les projets d'afforestation dans les pays en voie de développement sont considérés comme projet pour la création des puits de carbone.

La quantité de CO₂ absorbée grâce à l'afforestation contribue à réduire les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ces émissions peuvent ensuite être vendues comme CER. Les recettes générées par la vente de ces émissions seront réinvestis pour compenser les coûts dus à la création de la forêt. Le bosquet villageois pourrait générer annuellement au total environ 25 tonnes de CO₂ par hectare. Cette valeur se laisse déterminer en tenant compte du cycle moyen de production des espèces d'arbres utilisées. Si on suppose la vente sur le spot CER, les certificats auraient une valeur actuelle de 12,19 € par tonne de CO₂ par an.²⁵³ Supposant une croissance moyenne des arbres de 25

²⁵² Cp. UNFCCC : LULUCF, 2009

²⁵³ Cp. avantTimeConsulting GmbH: Infoportal zum Emissionshandel und Klimaschutz, Marktinformationen

m³/an et en multipliant cette donnée par le prix d'une tonne de CO₂, on obtient une valeur totale annuelle de 307 €/ha. Quand même, les données sur la croissance représentent seulement des valeurs approximatives. Dans le cas où le projet devrait être effectivement réalisé, les taux d'accroissement exact des différentes espèces d'arbres doivent être pris en considération dans le calcul du potentiel de réduction de CO₂.²⁵⁴

Dans l'analyse ci-dessus, les coûts administratifs pour la mise en œuvre d'un projet MDP n'ont pas été considérés (élaboration de PDD, la validation, la vérification). Pour amortir les coûts du système MDP un certain nombre de certificat est nécessaire. L'emploi de ce concept dans plusieurs sites marocains pourrait provoquer la mise en place d'un « projet MDP programmable » (Program of Activities - PoA), qui a l'avantage de repartir les couts sur différents sites de projets.

Le Tableau 101 compare les recettes et les dépenses, y compris les investissements pendant la première année sur une période de culture de 30 ans.

Tableau 101: Recettes et dépenses sur 30 ans

| Année | Calcul de revenu et de dépenses | | | |
|--------------|---------------------------------|--------------|------------|------------|
| | Ricin | Jojoba | Eucalyptus | Pin d'alep |
| 1 | -560 | -1.638 | -1.708 | -1.708 |
| 2 | -515 | -2.670 | -2.391 | -2.391 |
| 3 | -469 | -3.702 | -3.074 | -3.074 |
| 4 | -424 | -2.934 | -3.757 | -3.757 |
| 5 | -378 | -2.166 | -4.440 | -4.440 |
| 6 | -333 | -1.398 | -5.123 | -5.123 |
| 7 | -287 | -630 | -5.806 | -5.806 |
| 8 | -242 | 139 | -6.489 | -6.489 |
| 9 | -196 | 907 | -7.172 | -7.172 |
| 10 | -151 | 1.675 | -6.979 | -7.304 |
| 11 | -105 | 2.443 | -6.787 | -7.437 |
| 12 | -60 | 3.211 | -6.594 | -7.569 |
| 13 | -14 | 3.979 | -6.401 | -7.701 |
| 14 | 32 | 4.747 | -6.208 | -7.833 |
| 15 | 77 | 5.515 | -6.016 | -7.966 |
| 16 | 123 | 6.283 | -5.823 | -8.098 |
| 17 | 168 | 7.051 | -5.630 | -8.230 |
| 18 | 214 | 7.819 | -5.437 | -8.362 |
| 19 | 259 | 8.587 | -5.245 | -8.495 |
| 20 | 305 | 9.355 | -5.052 | -8.627 |
| 21 | 350 | 10.123 | -4.859 | -8.759 |
| 22 | 396 | 10.891 | -4.666 | -8.891 |
| 23 | 441 | 11.659 | -4.474 | -9.024 |
| 24 | 487 | 12.427 | -4.281 | -9.156 |
| 25 | 532 | 13.195 | -4.088 | -9.288 |
| 26 | 578 | 13.963 | -3.895 | -9.420 |
| 27 | 623 | 14.731 | -3.703 | -9.553 |
| 28 | 669 | 15.499 | -3.510 | -9.685 |
| 29 | 714 | 16.267 | -3.317 | -9.817 |
| 30 | 760 | 17.035 | -3.124 | -9.949 |
| Total | | 4.721 | | |

²⁵⁴ Une référence positive représente le projet d'afforestation „Small Scale Cooperative Afforestation CDM Pilot Project Activity on Private Lands Affected by Shifting Sand Dunes in Sirsa, Haryana“ en Inde. Dans le cadre de ce projet MDP les surfaces exploitées par la population locale sont en partie reboisées pour diminuer l'érosion du sol, pour achever une séquestration des émissions de CO₂ et pour générer les recettes supplémentaires par la vente du bois et les certificats de carbone.

Le calcul montre que les plantes oléagineuses sont capables de réaliser des bénéfices pendant la période de 30 ans. Les espèces d'arbres sélectionnés ne livrent pas de résultat positif pendant la période examinée. Dans le sens d'une culture mettant l'accent sur l'amélioration écologique de la zone de chalandise, les rendements économiques de chaque culture doivent être cumulés. Ainsi, l'exploitation peut être économique. Il est enfin à noter que l'efficacité économique du système dépend de conditions réelles et peut alors fortement varier. En outre les coûts futurs liés à la protection de l'environnement peuvent être évités grâce à l'application de ces activités.

7.4.5 Evaluation & Perspectives

Une partie élémentaire d'un projet d'irrigation durable avec les eaux usées est l'intégration et la formation de la population locale. À long terme la séparation des flux d'eaux usées (en particulier les matières fécales) est inéluctable en tenant en compte des exigences hygiéniques et horticoles. L'établissement de technologies de traitement appropriées et bon marché facilite la valorisation des eaux usées et permet une consommation réduite des ressources fossiles.

Les tâches associées à la gestion du bosquet villageois sont variées et multiples et peuvent créer nombreux emplois dans les communautés rurales qui sont souvent défavorisées par l'État.

- Administrateurs municipaux comme lien entre la coopérative du bosquet villageois et l'administration centrale (exigences de documentation, l'attribution des droits d'usage, les ventes de bois et produits secondaires ou auxiliaires),
- Travailleurs saisonniers (préparation du site, plantation, défrichage, etc.),
- Travailleurs saisonniers pour la récolte de bois,
- Renforcement de l'économie régionale, par exemple l'élevage, coopératives de femmes.

7.5 Unité de biogaz et réseau de biogaz à petite échelle

7.5.1 Approche & Objectifs

Cette esquisse de projet a pour objectif d'accroître la valeur ajoutée résultant d'engrais économiques issus de l'agriculture (en général du fumier solide) et d'améliorer l'alimentation électrique à énergie renouvelable et l'alimentation en gaz pour cuisiner dans les zones rurales. Cette proposition concerne les grandes exploitations agricoles laitières et respectivement les regroupements de plus petites exploitations produisant une quantité importante de substrats. Il sera également analysé si d'autres potentiels de substrat pourront être inclus afin d'augmenter la rentabilité d'une installation de biogaz sans compromettre la qualité des engrais.

Dans le cadre de l'élaboration de l'étude sur les potentiels de biomasse il a été identifié qu'il existe un potentiel de production de biogaz à partir de déchets organiques et de résidus agricoles issus de l'élevage dans la région. En se basant sur les flux de matériaux identifiés dans la région, il sera évalué dans l'esquisse de projet quel type de procédé pourrait être techniquement réalisable et financièrement intéressant, afin de mettre en œuvre un projet d'installation d'une usine de biogaz pouvant alimenter en électricité et en gaz de la cuisine (via un micro réseau de gaz) une communauté villageoise.

Pour le développement d'une telle proposition, la disponibilité des potentiels régionaux de biomasse doit être harmonisée avec le besoin en électricité et en gaz dans le but de déterminer un emplacement adéquat et de pouvoir développer un projet d'une unité de biogaz à petite échelle. Comme aucun emplacement concret n'a pu être établit pour la proposition de projet, on considère comme point de départ une performance électrique de 30 kW.

L'installation de biogaz à petite échelle élaborée dans cette esquisse doit pouvoir alimenter un micro-réseau de gaz avec du biogaz et produire de l'électricité pour les ménages situés à proximité de l'installation grâce à un groupe électrogène de secours modifié. L'optimisation de l'usine de biogaz concernant la production parallèle de l'électricité et du biogaz pour cuisiner doit être adaptés aux zones rurales marocaines et les habitudes de consommation locales.

Dans la suite, on se base donc sur cet ordre de grandeur et on détermine tout d'abord les quantités de substrats requises. Dans l'étape suivante, on envisage les différentes variantes techniques et on les évalue en fonction de la possibilité d'implantation au niveau local.

En tant que sous concept, cette esquisse de projet peut être intégré dans les concepts avec d'autres petites unités de biogaz ou peut être combiné avec des panneaux photovoltaïques ou avec des installations d'énergie éolienne raccordés au réseau électrique. En combinaison avec une gestion intelligente de la demande en électricité (gestion de la charge du réseau), l'application des différentes technologies mènera à long terme, au niveau local, à une alimentation autonome, aussi nommé "mini-réseau/minigrid".

7.5.2 Flux de matériaux & Acteurs

Dans le cadre de l'étude de biomasse les substrats suivants ont été identifiés comme matières valorisables dans les petites installations de biogaz:

- Les déchets ménagers organiques
- L'eau issue des fosses septiques et

- Le fumier de bovins.

En général, les déchets organiques ménagers font partie des ordures ménagères non triées, de sorte qu'il est nécessaire d'envisager dans un premier temps, une récupération sélective ou alors un tri des quantités d'ordures collectées avant de les exploiter. Le pourcentage organique a généralement une teneur en matières sèches de l'ordre de 12 à 15 % et il faut extraire au mieux tous les polluants et matières étrangères de ces déchets avant toute utilisation.

Le fumier de bovins utilisable, qui est produit en période de stabulation, a une teneur élevée en matières sèches, de l'ordre de 35 à 40 %, et une teneur en paille importante. Il représente un engrais organique important et un amendement pour l'agriculture marocaine.

Les eaux issues des fosses septiques ont une faible teneur en matières sèches et peuvent être utilisées pour une fermentation humide, afin de réguler la teneur en matières sèches dans le digesteur.

Une combinaison de ces trois substrats, pour une méthanisation commune dans une installation de production de biogaz, est cependant envisageable que sous condition. Ainsi il en résulte des volumes de digesteur très importants, en se basant sur les paramètres caractéristiques usuels pour la capacité du digesteur (KTBL, 2008), par exemple, pour une digestion humide des eaux issues de fosses septiques avec des déchets organiques ou avec du fumier solide. Cela conduit à un faible temps d'exposition, de sorte que d'une part, les matières dangereuses contenues dans les eaux usées et dans les déchets organiques ne sont pas éliminées et que, d'autre part, les rendements du gaz réalisables provenant du fumier solide et des déchets ne sont pas exploités. Parallèlement, un agrandissement significatif du volume du digesteur entraînerait une augmentation considérable de l'investissement, de sorte que, dans le cadre de cette proposition, pour des raisons techniques et économiques, il faut renoncer à un examen plus approfondi de la valorisation des eaux issues des fosses septiques.

En raison de la teneur élevée en matières sèches, pour la méthanisation séparée ou combinée des déchets organiques et de fumier de bovins se qualifie la digestion de matière solide, qui représente une technologie robuste et éprouvée et qui est décrite ci-après. Lors de la méthanisation combinant du fumier et des déchets, une attention particulière sera portée à une séparation complète des fractions des déchets, afin d'éviter la contamination du digestat de la méthanisation avec des polluants et matières étrangères (métaux lourds, déchets plastiques, etc.) comme le digestat devra être utilisés comme engrais et amendement.

Tableau 102: Densité du cheptel par province

| Province | Têtes bovines * |
|-------------|---------------------|
| | UGB/km ² |
| Oujda-Angad | 8,04 |
| Berkane | 7,94 |
| Nador | 3,77 |
| Jerada | 1,13 |
| Taourirt | 1,03 |

D'après l'analyse du potentiel de la région, on peut en déduire la disponibilité des quantités spécifiques de fumier de bovins (Tableau 13) et de déchets organiques ménagers (Tableau 44) dans chaque province ou préfecture. En raison de leur forte proportion de population urbaine et de leur haut potentiel de déchets ménagers associé, ainsi que de leur forte densité d'élevage spécifique, il

faut donc prendre en compte les provinces de Berkane, de Nador et d'Oujda-Angad pour des petites installations de biogaz. On considère ainsi comme lieu, pour la mise en œuvre du projet en question, une ferme d'élevage, de préférence dans une de ces régions/préfectures.

Des efforts de management concernant la logistique et la communication sont essentiels pour pouvoir mobiliser la fraction organique des déchets ménagers.

Pour que des changements aient lieu, il faudrait tout d'abord améliorer le système de logistique concernant le recyclage de déchets et ensuite espérer que les ménages se comportent correctement, c'est-à-dire appliquent les instructions liées au triage de déchets.

Une possibilité serait d'établir un point central de collecte, on peut également envisager le passage de véhicules de collecte. Des accords avec une grande entreprise de collecte et traitement de déchets sont aussi envisageables, tout comme la construction d'une structure logistique autonome assurant la fourniture des quantités requises de déchets organiques ménagers. Comme condition de base pour la réorganisation de la collecte des déchets il faut assurer que la logistique n'est pas encore organisée autrement sur le long terme.

De plus, la logistique d'approvisionnement en fumier de bovins doit être conçue de manière fiable. La prise en compte des jours de stabulation, lors de l'analyse du potentiel, est essentielle, ce qui est déjà inclus dans le fait que pendant le pâturage des animaux, aucun substrat n'est disponible. Néanmoins, de grandes quantités de substrats doivent toujours être disponibles pour assurer la sécurité d'exploitation de l'installation, selon les estimations du dimensionnement, afin d'avoir des solutions de rechange en cas de difficultés d'approvisionnement et ainsi d'assurer l'alimentation en substrat.

Le Tableau 103 représente la taille des fermes d'élevage (en têtes de bétail, UGB) et leur localisation et le nombre d'habitants adéquat pour réunir les conditions nécessaires à la création d'une petite unité de biogaz de 30 kW_{el} dans un village ou dans une petite ville.

Tableau 103: Quantités de substrats requises pour une petite unité de biogaz de 30kWel

| Production de fumier | |
|--|-------------------|
| UGB | 280 UGB |
| Production de fumier bovin | 15 t MF/UGB/a |
| Taux de matière sèche de fumier bovin | 25 % |
| Jours à l'étable | 215 j |
| Production de fumier par an | 2.474 t MF /a |
| Production de fumier par an | 618 t MS /a |
| Production des déchets ménagers | |
| Habitants | 1.000 EH |
| Production des déchets ménagers | 0,750 kg MF/hab/j |
| Taux des déchets organiques fermenticibles | 60 % |
| Production des déchets ménagers | 274 t MF/a |
| Production des déchets ménagers organique fermenticibles | 164 t MF/a |

L'ordre de grandeur retenu sert de référence et peut varier en fonction des conditions locales. Dans les endroits où la taille du troupeau de bovins est inférieure, la quantité de substrat manquante doit être remplacée par des substrats additionnels provenant de la fraction organique des déchets ménagers collectés. En contrepartie et si la densité du troupeau local le permet, une alimentation de l'unité de biogaz, avec uniquement du fumier de bovins est envisageable.

Dans le cadre de la collecte de données sur le lieu d'implantation, une ferme à Saidia dans la province de Berkane, a été identifiée en tant qu'exemple. Il s'agit d'une exploitation bovine typique de la région, composée d'un troupeau de 150 UGB, produisant de viande et du lait.

Afin d'approvisionner l'usine de biogaz avec du fumier comme substrat de biogaz, il faudrait que deux fermes de cette taille soient à proximité de l'unité de biogaz.



Figure 57 Exploitation bovine à Saidia, Berkane



Figure 58 Aperçu de l'exploitation bovine à Saidia, Berkane (Google Earth)

La ferme est située à la périphérie sud-est de la ville de Saidia, près de la frontière algéro-marocaine. Au delà de la densité élevée du bétail, la proximité d'une zone urbaine représente un autre avantage au niveau de la production de matières premières et de la distribution de l'énergie.

7.5.3 Technologies

Au cours de l'évaluation de la pré-faisabilité technique et économique, quatre variantes de mise en œuvre techniques ont été envisagées pour le concept de récupération de chaleur. Suite à la décision concernant une solution de méthanisation sèche, les paramètres de conception technico-économiques d'une petite unité de biogaz sont présentés dans le paragraphe suivant.

Tableau 104: La production de biogaz et la production d'électricité

| Installation de biogaz à petite échelle | |
|--|--|
| Rendement de biogaz (déchets ménagers organiques) | 85 m ³ /t MF |
| Rendement de biogaz (fumier) | 40 m ³ /t MF |
| Rendement methane des dechets menagers | 8.377 m ³ CH ₄ /a |
| Rendement methane de fumier de bovin | 59.375 m ³ CH ₄ /a |
| Consommation de gaz par ménage | 120 m ³ CH ₄ /a*ménage |
| Nombre de ménages | 100 menage |
| Quantite annuel de gaz pour les rechauds à gaz | 12.000 m ³ CH ₄ /a |
| Puissance électrique | 30 kW |
| Rendement électrique -groupe électrogène | 35 % |
| Production d' électricité par an | 195.132 kWh/a |
| Heures de production de electricite par an | 6.504 h/a |

En se basant sur les données caractéristiques du rendement du gaz, il est évident, qu'une quantité de fumier de bovins de 280 UGB et la fraction organique des déchets ménagers de 1.000 habitants sont suffisantes pour permettre l'exploitation d'une petite unité de biogaz d'une capacité de 30 kW et l'approvisionnement en gaz pour cuisiner pour 200 ménages à 4 personnes ou pour 100 ménages à 8 personnes (Tableau 104).

Une production d'électricité de l'ordre de 30 kW_{el} peut être assurée par l'utilisation de différentes technologies. Tandis que la génération de biogaz dans des micro-turbines à gaz et des centrales de cogénération permet une extraction efficace de la chaleur utile, la modification des moteurs standards, qui sont utilisés, par exemple, comme générateurs de secours, représente une solution rentable, même si aucune récupération de chaleur n'est prévue dans les modèles standards.

Les centrales de cogénération actuelles ont un rendement électrique d'environ 38%, l'efficacité des micro-turbines à gaz est d'environ 25 %. Dans les deux cas, il faut prendre en compte des exigences d'entretien importantes et des coûts d'investissement relativement élevés, qui peuvent être réduit par l'utilisation de groupes électrogènes adaptés à l'utilisation de biogaz. Pour ces dispositifs, le rendement électrique est fixé à 35% selon les experts.

L'utilisation de la chaleur résiduelle, issue de la production d'électricité à partir de biogaz dans une centrale de cogénération ou dans une turbine à gaz, entre en ligne de compte d'une part, comme variante directe (production combinée de chaleur et électricité ; cogénération) et d'autre part, dans l'utilisation de la chaleur pour produire du froid (production combinée de chaleur, de froid et d'électricité ; trigénération). Par exemple, le refroidissement du lait, au sein des plus grandes laiteries en raison des aspects logistiques et hygiéniques, est une option possible pour la trigénération. Cependant, la rentabilité d'une centrale de trigénération associée à une unité de biogaz de 30 kW, est généralement à peine représentable, selon les experts.²⁵⁵ Une telle installation impliquerait, sans

²⁵⁵ Discours de Walter Danner, BME GmbH 05.04.2011

prendre en compte le transport et le matériel électrique, une obligation d'investissement d'environ 50.000 €. L'entretien des réfrigérateurs à absorption requiert également des spécialistes et prend donc du temps, ce qui est souvent économiquement inacceptable pour la plupart des entreprises étrangères.²⁵⁶ Un usage exclusif de la chaleur, par exemple pour le séchage des fruits ou des plantes aromatiques, peut être techniquement plus facile à réaliser et mène, lors d'une demande en chaleur donnée et continue, à un meilleur résultat économique.

Selon les précédentes considérations concernant l'étendue des investissements et les exigences d'entretien, on envisage dans la suite une solution technique simple de digestion sèche combinée à un groupe électrogène (moteur à gaz) et un micro-réseau de gaz pour l'approvisionnement en gaz à cuisiner.

La consommation de gaz de cuisine est estimée à 1200 kWh/an, soit environ 120 m³ de CH₄/an pour un ménage de 8 personnes. La distance entre les maisons d'habitation a été estimée à partir d'images satellite et il faut compter avec une distance de 50 m environ entre les maisons.

Lorsqu'on connecte 100 ménages (tous comprenant 8 personnes) au micro-réseau de gaz, on obtient un réseau de 5.000 m de longueur. En supposant que le mètre coûte 15 €, on obtient des investissements de 75.000 € pour le micro-réseau de gaz. Pour l'alimentation de 100 ménages avec du gaz à cuisiner, il faudrait que l'installation de biogaz fournit un volume de 12.000 m³ CH₄/an. En se basant sur le nombre donné d'UGB et la quantité de déchets produits par 1.000 habitants, on suppose qu'environ 20% de la quantité de biogaz est nécessaire pour alimenter le réseau de gaz.

Pour pouvoir fournir l'électricité et le gaz, la production d'électricité devra baisser de 8.000 à 6.500 heures (voir le Tableau 104).

En se basant sur une puissance de 30 kW, une réalisation avec trois digesteurs est judicieuse. Chaque digesteur est rempli alternativement, puis vidé dans un processus discontinu avec un temps de séjour de 30 jours. Tous les 15 jours chaque fermenteur est rempli alternativement dans le processus de rotation, recouvert et humidifié via un réservoir de percolat avec de l'eau et des bactéries. On se réfère à la Figure 59 pour la production de gaz du digesteur. Les fluctuations dans la production de gaz doivent être compensées par un rejet continu du biogaz, issu d'un stock de gaz. Le mélange de substrats joue un rôle crucial lors de l'évaluation du temps de séjour. En fonction de la qualité réelle des substrats sur place, par exemple la teneur en matières sèches et la teneur en paille dans le fumier de bovins, le temps de séjour doit être adapté.

²⁵⁶ Discours avec Walter Danner, BME GmbH 05.04.2011.

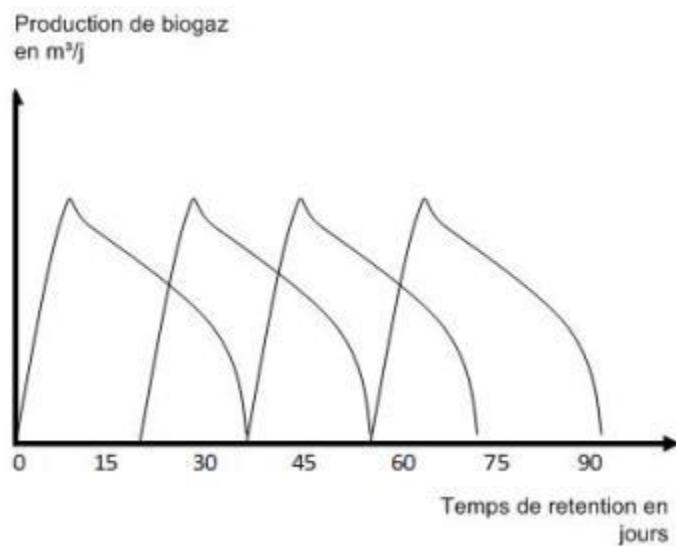


Figure 59: Cycle de digestion et alimentation

La Figure 60 représente schématiquement une conception possible pour le dispositif. La pente du digesteur fosse est dans cet exemple de 12 degrés et la hauteur de la paroi arrière de 3,5 mètres. Il faut 215 m³ de béton pour le digesteur : une épaisseur de 0,35 m pour les parois latérales et la paroi arrière et une épaisseur de 0,5 m pour la dalle.²⁵⁷

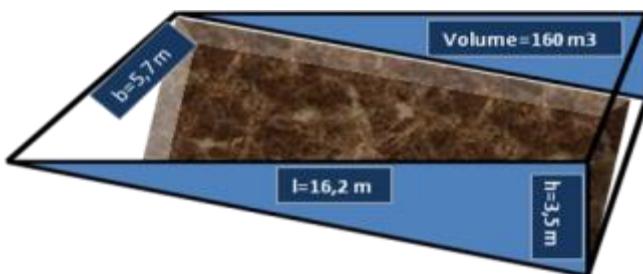


Figure 60 : Dimensions du digesteur²⁵⁸

7.5.4 Economie

On estime les investissements pour une méthanisation sèche entre 4.000 et 5.000 €/kW_{el} ou respectivement à 300 €/m³ du digesteur. Cette valeur correspond aux valeurs expérimentales du Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL - Comité pour la technique et le bâtiment dans l'agriculture), ainsi qu'aux résultats de l'étude EREP en 2009.²⁵⁹ Dans l'ensemble, les investissements globaux sont compris entre 120.000 € et 150.000 €. Une partie de l'investissement est une dépense essentielle pour le coffrage et le béton, qui peut dans le meilleur des cas coûter 50.000 €. A cela s'ajoute les frais de raccordement hydraulique, de pompes, de stockage de gaz et de moteur à gaz.

En ce qui concerne les coûts pour le béton et le coffrage, qui dépendent fortement des prix locaux, on perçoit une économie substantielle pour la réalisation d'une unité dans la région Oriental par rapport à ces indicateurs. Dans un exemple de calcul (Tableau 105), on donne une estimation pour les investissements de l'ordre de 144.000 €.

²⁵⁷ Rapport de Dipl.-Ing (FH) Marco Frenzel, EAW Anlagenbau, 07.04.2011

²⁵⁸ IfaS, modifié d'après EREP 2009

²⁵⁹ Membrez, Y.: Verwertung von organischen Abfällen der Region Oujda durch Biogasproduktion, 2009

Tableau 105: Analyse économique approximative d'une unité de biogaz de 30 kW_{el}

| Installation de biogaz à petite échelle | | Source |
|---|--------------------------|-------------------------------------|
| Installation biogas à petite échelle | 1.596.000 MAD | Plümecke 2008, EREP 2009, Ktbl 2008 |
| Réseau de gaz (5.000 m) | 798.000 MAD | AgriKomp GmbH 2009 (14 €/m) |
| Réservoir électrique (125 kWh vanadium-redox-cell) | 456.000 MAD | VRB Power-Systems 2008 |
| Dépenses d'installation | 114.000 MAD | |
| Investissement total | 2.964.000 MAD | |
| Frais annuels d'exploitation | | |
| Frais de personnel | 27.600 MAD/a | 23,0 MAD/h |
| Frais annuels d'exploitation | 87.780 MAD/a | 5,5% de investissement biogaz |
| Frais annuels par logistique (ordures ménagers, fumier) | 17.100 MAD/a | |
| Frais annuels d'exploitation | 132.480 MAD/a | |
| Dépenses annuels totaux | | |
| Annuité (3,5 %, 20a) | 208.550 €/a | |
| Dépenses par an | 341.030 MAD/a | |
| Rentrées d'électricité et de gaz pour la cuisine | | |
| Prix de l'électricité | 1,60 MAD/kWh | |
| Production d'électricité | 195.000 kWh/a | |
| Recette d'électricité | 312.000 MAD/a | |
| Prix du gaz | 3,70 MAD/m ³ | |
| Consommation de gaz par an (100 ménagers) | 12.000 m ³ /a | |
| Recette de gaz | 44.400 MAD/a | |
| Rentrées annuelles totales | 356.400 MAD/a | |
| Surplus après vingt ans | 307.395 MAD | |

L'analyse économique montre qu'un investissement d'environ 70.000 € est nécessaire pour alimenter 100 ménages tous constitués de 8 personnes, si le réseau a une longueur de 5.000 m. On estime que la construction l'installation coûtera environ 140.000 €. Il faudra également compter avec un investissement d'environ 40.000 € pour une batterie avec une capacité de stockage de 125 kWh ou un générateur de 30 KW (4 heures).

Tableau 106:

| Prix actuel d'énergie | Augmentation moyenne des prix après dix ans (10a, 10%) | Augmentation moyenne des prix après vingt ans (20a, 10%) | Prix du système de biogaz (20 a) |
|-----------------------|--|--|----------------------------------|
| Electricité | 0,9 | 1,6 | 2,8 |
| Gaz naturel | 2,7 | 4,9 | 8,8 |
| Butane | 0,6 | 1,0 | 1,9 |

Le calcul des recettes prend en considération les prix élevés du gaz et de l'électricité. En supposant que les coûts d'énergie augmentent d'environ 10% chaque année, on peut dire que l'hypothèse d'un prix d'électricité de 1,6 MAD/kWh et un prix de gaz de 3,7 MAD/m³ pour une durée de projet de 20 ans est plutôt réaliste. En comparant les coûts annuels avec les recettes, on constate qu'un tel projet est financièrement réalisable (voir tableau 6). Si le capital sera mis en disposition par une entreprise d'approvisionnement énergétique ou par les subventions par l'état les coûts annuels pourraient être réduits.

Selon le ministère de l'Energie et des Mines, les prix du gaz naturel ont augmenté de 0,4 MAD/m³ à 2,7 MAD/m³ de 1999 à 2008. Selon l'Office National de l'Electricité, les prix d'électricité au Maroc vont de 0,6 MAD/kWh à 1,2 MAD/kWh. Les augmentations de prix prévus dans cette esquisse de projet pendant les prochaines 10 u 20 années ne sont pas dramatiques, si on les compare avec les données ou valeurs observées pendant les années précédentes. Le Tableau 107 montre le développement éventuel des prix en comparaison avec un prix stable pour les services et produits de

biogaz. En partant d'une augmentation des prix de 10% par an, les prix de gaz et d'électricité pourraient tripler sur une période de 20 ans.

Tableau 107: Comparaison de développement des prix d'énergie avec les prix actuels et les prix du projet de biogaz proposé

| Prix actuel d'énergie | Augmentation moyenne des prix après dix ans (10a, 10%) | Moyenne d'augmentation des prix après vingt ans (20a, 10%) | Prix du système de biogaz (20 a) |
|-----------------------|---|---|-------------------------------------|
| Electricité | 0,9 | 1,6 | 2,8 |
| Gaz naturel | 2,7 | 4,9 | 8,8 |
| Butane | 0,6 | 1,0 | 1,9 |

7.5.5 Evaluation & Perspectives

Dans le cadre de l'esquisse de projet, différentes possibilités techniques ont été présentées pour l'exploitation du fumier de bovins et des déchets organiques ménagers menant à une production d'énergie décentralisée. La technologie de la méthanisation sèche a été spécifiée plus en détail. Ainsi cette proposition de projet doit être expressément considérée comme une partie d'un projet plus vaste, qui lui doit être combiné avec d'autres activités, comme par exemple une alimentation électrique décentralisée avec des systèmes de panneaux photovoltaïques et avec le développement économique et des infrastructures régionales dans les régions économiquement sous-développées. Cela exige de trouver un lieu approprié dans la prochaine étape. Avec une préférence pour un lieu, qui se trouve dans une région rurale ayant des infrastructures insuffisantes et qui est caractérisé par une densité de bétail élevée aussi bien que par une faible densité de connexion au réseau électrique.

Dans cette partie du projet, sans plan d'utilisation de la chaleur, une rentabilité est achevée par la vente directe de l'électricité aux particuliers, c'est à dire par une connexion à un réseau électrique décentralisé (autonome), aussi nommé « mini-réseau », avec une batterie. La vente du gaz pour cuisiner par un micro-réseau de gaz doit être adaptée aux conditions locales selon les distances entre les maisons et les habitudes de consommation. Dans le projet présenté 800 personnes ou 100 ménages avec 8 personnes peuvent être alimenté avec le gaz et environ 60 ménages avec de l'électricité. En outre, une optimisation de la rentabilité peut être atteinte par des approches innovatrices du financement avec une charge d'intérêt faible, couplée au soutien économique, à l'intégration réalisée en un seul lieu et aux acheteurs adeptes du concept global.

L'approche d'une méthanisation de déchets organiques à petite échelle offre des possibilités pour renforcer la valeur ajoutée régionale, de sorte que les substrats comme le fumier et les déchets, qui étaient jusqu'à maintenant pas utilisés, sont maintenant utilisés valorisé produire de l'énergie. A partir de cette approche de préparation décentralisée et renouvelable d'électricité et respectivement de chaleur, on contribue à la protection du climat et au recyclage des éléments nutritifs.

8 Annexe

Tableau 108: Espèces potentiels pour l'établissement d'un bosquet villageois

| Espèces | <i>Rhizinus communis</i> | <i>Calotropis procera</i> | <i>Eucalyptus camaldulensis</i> |
|--|---|---|---|
| Distribution | 40°S - 52°N, origine: Afrique du Nord-Est | gisement en Afrique, Asie, Amerique centrale ² | naturellement 32-38°S, origine: Australie |
| Climat | tropique, semi-aride | désert, aride / semi-aride, steppe | tropique humide et sec, steppe, semi-aride, oceanique |
| Sol | Sols eutrophe, bien drainés | CEC modére à faible, sols bien drainés, meuble | CEC modéré à faible |
| Cycle de production, durée d'utilisation | durée de vie 8 - 12 ans, exploitation annuelle ¹ | | rotation tous les 7-10 ans sur des bons sols |
| Croissance/an, gain | rendement moyen des semences 0,75 t/ha, irrigué 3,0 t/ha | | 10 - 22 m ³ /ha |
| Vitalité | 0.5 - 4 m d'hauteur, gèle en hiver (zones tempérées), 6 - 10 m (zones tropiques) | sécheresse, (sur)pâturage | sécheresse et inondation |
| Plantation | ca. 1 m x 20-30 cm ¹ | | |
| Emploi | huile, gras, cire, colorants, produits pharmaceutique, fourrage: vitamins, amendement | fibres, bois léger, fourrage: protéine, protection contre l'érosion | énergie, fibres, bois dur, matériaux, culture des shitake, reforestation, abat-vent, plante ornementale |

| Espèces | <i>Simmondsia chinensis</i> | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Azadirachta indica</i> |
|--|---|--|---|
| Distribution | naturellement 23-35°N, Amerique | naturellement 30-44°N, Mediterranée | naturellement 10-25°N, origine: Asie du Sud-Est |
| Climat | tropique humide et sec, steppe, subtropicale, aride | subtropical, été sec, aride | tropique humide et sec, steppe, semi-arid, désert, aride |
| Sol | CEC modéré à faible, sols meubles/moyens, sols bien drainés | CEC modéré à faible, sols bien drainé | CEC modéré à faible, sols bien drainé |
| Cycle de production, durée d'utilisation | porte ses fruits après 7 - 8 ou 10 - 12 ans, pendant 100-200 années | 0,3-0,5 m croissance de longeur par an, environ 50 années | 4-7 m après 3 ans, 5-11 m après 8 ans |
| Croissance/an, gain | gain de semences par arbre 0,5 - 15 kg, gain moyen par an 2,25 t/ha | 6 - 12 m ³ /ha | 5 - 18 m ³ /ha |
| Vitalité | feux, vent, sécheresse, (sur)pâturage, érosion | feux, sécheresse, vents maritimes, termites | |
| Plantation | 2 x 5 m ^{3,4} , sex-ratio 6:1 ⁴ | | |
| Emploi | huile, cire, produits cosmétique et pharmaceutique, détergent, protéine | materiaux, bois de feu, préservation du sol, plante ornementale, abat-vent | abat-vent, materiaux, fourrage, produits pharmaceutiques et cosmétiques, lubrifiant |

¹www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/castor.html

²www.springerlink.com/index/j1272468p73p9766.pdf

³www.duftart.ch/

⁴www.umweltlexikon-online.de/RUBlandwirtsrohstoffe/Jojoba.php

Source: <http://ecocrop.fao.org>

| Azadirachta indica | | | | | | | |
|--|---|-------|--------|-------|------------------------------|------------------|-----------------|
| Description | | | | | | | |
| Forme de vie | arbre | | | | | | |
| Habitus | debout | | | | | | |
| Cycle de vie | pérennant | | | | | | |
| Physiologie | persistante, une tige, pas bifurqué | | | | | | |
| Catégorie | fourrage/pâturage, matériaux, médicaments, arômes | | | | | | |
| Attributs | cultivé à grande échelle | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| Écologie | | | | | | | |
| | Optimal | | Absolu | | | Optimal | Absolu |
| | Min | Max | Min | Max | Profondeur du sol [cm] | >>150 | 20-50 |
| Température nécessaire [°C] | 26 | 40 | 14 | 46 | Texture du sol | lourde - meuble | lourde - meuble |
| Précipitation annuelle [mm] | 450 | 1.200 | 200 | 2.000 | Fertilité du sol | basse | basse |
| Latitude [DD] | - | - | 25 | 30 | Salinité du sol [dS/m] | basse (<4) | moyenne (4-10) |
| Altitude [m] | - | - | - | 1.500 | Drainage du sol | bon | bon, excessif |
| Intensité lumière | ++ | + | ++ | - | pH du sol | 5,5 - 7 | 5 - 7,5 |
| Zone climatique | tropical humide/sec (Aw), aride (Bw), steppe/semiaride (Bs) | | | | Photopériode [h] | jour court (<12) | |
| Disposition abiotique | feux | | | | Tolérance abiotique | | |
| Température mortelle [°C] | - | | | | Temp. m. stade juvénile [°C] | | |

Image: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Neemtree2.jpg&filetimestamp=20061129004846>

Source: <http://ecocrop.fao.org>

Figure 61: Description Azadirachta indica

Pinus halepensis

| Description | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|--------|-------|------------------------------|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|
| Forme de vie | arbre | | | | | | | | | | | | |
| Habitus | debout | | | | | | | | | | | | |
| Cycle de vie | pérennant | | | | | | | | | | | | |
| Physiologie | persistante | | | | | | | | | | | | |
| Catégorie | materiaux, bois, reboisement | | | | | | | | | | | | |
| Attributs | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |
| Écologie | | | | | | | | | | | | | |
| | Optimal | | Absolu | | | Optimal | Absolu | | | | | | |
| | Min | Max | Min | Max | Profondeur du sol [cm] | 50 - 150 | 20-50 | | | | | | |
| Température nécessaire [°C] | 18 | 34 | 6 | 38 | Texture du sol | moyenne | lourde - meuble | | | | | | |
| Précipitations annuelles [mm] | 400 | 600 | 250 | 800 | Fertilité du sol | basse | basse | | | | | | |
| Latitude [DD] | 30 | 30 | 44 | 44 | Salinité du sol [dS/m] | basse (<4) | basse (<4) | | | | | | |
| Altitude [m] | - | - | - | 2.500 | Drainage du sol | bien | bien, excessif | | | | | | |
| Intensité lumière | ++ | ++ | ++ | ++ | pH du sol | 5,5 - 7,5 | 4,5 - 8,5 | | | | | | |
| Zone climatique | désert/aride (Bw), steppe/semiaride (Bs), subtropical été sec (Cs) | | | | Photopériode [h] | jour court (<12), jour neutre (12-14), jour long (>14) | | | | | | | |
| Temperature mortelle [°C] | -20 | | | | Tolérance abiotique | feux, sécheresse, vents maritimes | | | | | | | |
| | | | | | Temp. m. stade juvénile [°C] | -1 | | | | | | | |
| Image: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pinus_halepensis_Rovinj.jpg | | | | | | | | | | | | | |
| Source: http://ecocrop.fao.org | | | | | | | | | | | | | |

Figure 62: Description *Pinus halepensis*

Eucalyptus camaldulensis

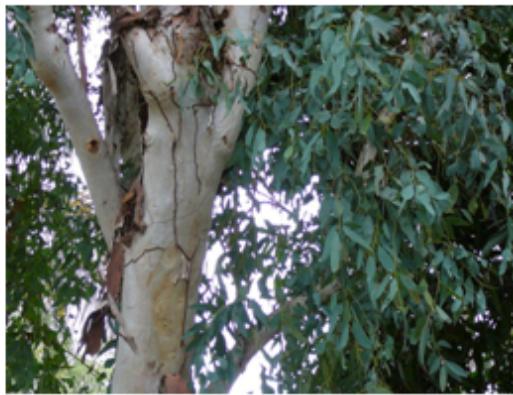
| Description | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------|--------|-------|------------------------------|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Forme de vie | arbre | | | | | | | | | | | | | |
| Habitus | debout | | | | | | | | | | | | | |
| Cycle de vie | pérennant | | | | | | | | | | | | | |
| Physiologie | persistante | | | | | | | | | | | | | |
| Catégorie | materiaux, médicaments, arômes, bois, protection, | | | | | | | | | | | | | |
| Attributs | cultivé à grande échelle | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| Écologie | | | | | | | | | | | | | | |
| | Optimal | | Absolu | | | Optimal | Absolu | | | | | | | |
| | Min | Max | Min | Max | Profondeur du sol [cm] | >>150 | 20-50 | | | | | | | |
| Température nécessaire [°C] | 12 | 28 | 7 | 40 | Texture du sol | modérée, meuble | lourde - meuble | | | | | | | |
| Précipitations annuelles [mm] | 600 | 1.000 | 250 | 2.500 | Fertilité du sol | modéré | basse | | | | | | | |
| Latitude [DD] | 32 | - | 38 | 55 | Salinité du sol [dS/m] | basse (<4) | moyenne (4-10) | | | | | | | |
| Altitude [m] | - | - | - | 1.500 | Drainage du sol | mauvais - bon | mauvais - bon | | | | | | | |
| Intensité lumière | ++ | ++ | ++ | + | pH du sol | 5 - 7 | 4,5 - 8 | | | | | | | |
| Zone climatique | tropical humide & sec (Aw), steppe/semiaride (Bs), subtropical été sec (Cs), subtropical hiver sec (Cw), | | | | Photopériode [h] | jour court (<12), jour neutre (12-14), jour long (>14) | | | | | | | | |
| Temperature mortelle [°C] | -8 | | | | Tolérance abiotique | sécheresse, inondation | | | | | | | | |
| | | | | | Temp. m. stade juvénile [°C] | 0 | | | | | | | | |

Image: http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Eucalyptus_camaldulensis_0002.jpg

Source: <http://ecocrop.fao.org>

Figure 63: Description *Eucalyptus camaldulensis*

Ricinus communis

Description

| | |
|--------------|--------------------------|
| Forme de vie | arbuste, arbre |
| Habitus | debout |
| Cycle de vie | pérennant |
| Physiologie | |
| Catégorie | médicaments, arômes |
| Attributs | cultivé à petite échelle |



Écologie

| | Optimal | | Absolu | | Profondeur du sol [cm] | >>150 | 20-50 |
|-----------------------------|---|-------|--------|-------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| | Min | Max | Min | Max | | | |
| Température nécessaire [°C] | 20 | 30 | 15 | 39 | Texture du sol | moyenne | lourde - meuble |
| Précipitation annuelle [mm] | 600 | 1.000 | 400 | 2.000 | Fertilité du sol | haute | modérée |
| Latitude [DD] | - | - | 50 | 60 | Salinité du sol [dS/m] | basse (<4) | basse (<4) |
| Altitude [m] | - | - | - | 2.000 | Drainage du sol | bien | bien, excessif |
| Intensité lumière | ++ | ++ | ++ | + | pH du sol | 5 - 6,5 | 4,5 - 8 |
| Zone climatique | tropical humide & sec (Aw), steppe ou semiaride (Bs), subtropical humide (Cf), subtropical été sec (Cs) | | | | Photopériode [h] | jour neutre (12-14), jour long (>14) | |
| Temperature mortelle [°C] | -2 | | | | Tolérance abiotique | | |
| | | | | | Temp. m. stade juvénile [°C] | 0 | |

Image: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Castor_beans_in_disturbed_area.jpg

Source: <http://ecocrop.fao.org>

Figure 64: *Ricinus communis*

Calotropis procera

Description

| | |
|--------------|--|
| Forme de vie | arbuste, arbre |
| Habitus | debout |
| Cycle de vie | pérennant |
| Physiologie | |
| Catégorie | fourrage/pâturage, matériaux, médicaments & arômes, bois |
| Attributs | |



Écologie

| | Optimal | | Absolu | | | Optimal | Absolu |
|-----------------------------|---|-----|--------|-------|------------------------------|----------------------|-----------------|
| | Min | Max | Min | Max | Profondeur du sol [cm] | 50 - 150 | 20-50 |
| Température nécessaire [°C] | 15 | 30 | 10 | 40 | Texture du sol | meuble | moyenne, meuble |
| Précipitation annuelle [mm] | 300 | 400 | 200 | 500 | Fertilité du sol | modérée | basse |
| Latitude [DD] | 10 | - | 30 | 36 | Salinité du sol [dS/m] | moyenne (4 - 10) | haute (>10) |
| Altitude [m] | - | - | - | 1.300 | Drainage du sol | bien | bien, excessif |
| Intensité lumière | ++ | ++ | + | ++ | pH du sol | 5,5 - 7 | 5 - 7,5 |
| Zone climatique | désert ou aride (Bw), steppe ou semiarid (Bs) | | | | Photopériode | | |
| Risque de l'introduction | peut devenir une plante adventice | | | | Tolérance abiotique | sécheresse, pâturage | |
| Temperature mortelle [°C] | - | | | | Temp. m. stade juvénile [°C] | - | |

Image: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ThoraThora4.jpg&filetimestamp=20050201200502>

Source: <http://ecocrop.fao.org>

Figure 65: *Calotropis procera*

Simmondsia chinensis

| Description | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|--------|-------|---------------------------------|--|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Forme de vie | arbuste | | | | | | | | | | | | | |
| Habitus | debout | | | | | | | | | | | | | |
| Cycle de vie | pérennant | | | | | | | | | | | | | |
| Physiologie | persistante, bifurqué | | | | | | | | | | | | | |
| Catégorie | fourrage/pâturage, fruits/noix, matériaux, | | | | | | | | | | | | | |
| Attributs | cultivé à petite échelle, cueilli à l'état sauvage | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| Écologie | | | | | | | | | | | | | | |
| | Optimal | | Absolu | | | Optimal | Absolu | | | | | | | |
| | Min | Max | Min | Max | Profondeur du sol [cm] | >>150 | 20-50 | | | | | | | |
| Température nécessaire [°C] | 21 | 36 | 10 | 50 | Texture du sol | modérée, meuble | lourde - meuble | | | | | | | |
| Précipitation annuelle [mm] | 250 | 800 | 100 | 2.000 | Fertilité du sol | modérée | basse | | | | | | | |
| Latitude [DD] | 25 | 23 | 31 | 35 | Salinité du sol [dS/m] | basse (<4) | haute (>10) | | | | | | | |
| Altitude [m] | - | - | - | 1.500 | Drainage du sol | bien | bien, excessif | | | | | | | |
| Intensité lumière | ++ | ++ | ++ | ++ | pH du sol | 6,5 - 7,5 | 5 - 8,2 | | | | | | | |
| Zone climatique | tropical humide/sec (Aw), désert (Bw), steppe/semiaride (Bs), subtropical humide (Cf), subtropical été sec (Cs) | | | | Photopériode [h] | jour neutre (12-14), jour long (>14) | | | | | | | | |
| Temperature mortelle [°C] | -10 | | | | Tolérance abiotique | feux, vent, sécheresse, pâturage, érosion | | | | | | | | |
| | | | | | Temp. m. stade juvenile [°C] | 0 | | | | | | | | |

Image: http://www.biology.sjsu.edu/facilities/garden/plants/Simmondsia_chinensis.html

Source: <http://ecocrop.fao.org>

Figure 66: *Simmondsia chinensis*

Bibliographie

African Development Bank [Ain Beni Mathar, Solar Thermal Power Station Project] : Ain Beni Mathar, Morocco, Solar Thermal Power Station Project ,
<http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/Ain%20Beni%20Mathar%20anglais.pdf>

Agrinz, G. [Erneuerbare Energie]: Erneuerbare Energie,
http://wp1094031.wp129.webpack.hosteurope.de/Infofolder_Biogas_A4_de.pdf

Aujourd’hui – Le Maroc [Oriental : Bilan oléicole satisfaisant, 2010]: Oriental: bilan oléicole satisfaisant, 2010, <http://www.aujourd’hui.ma/regions-details76916.html>

Austermann-Haun, U. [Constructed wetlands, 2010]: Constructed wetlands (Reed Bed Technology), University of applied Science Ostwestfalen-Lippe, International DAAD Summer School "Water and Energy" Bochum, 2010,
http://www.gawn.de/seminars/presentations_bochum10/Bochum_Reed%20bed%20technology.pdf

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft [Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung, 2007]: Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung. Merkblatt Nr. 12, Dezember 2007, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2. überarbeitete Auflage, Freising

Berkat, O.; Tazi, M. [FAO, 2006]: FAO Morocco,
<http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Counprof/Morocco/Morocco.htm>;
<http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/pasture/forage.htm>

Cerdà, A. [The effect of patchy distribution of Stipa tenacissima L. on runoff and erosion, 1997] : Departament de Geografia, Universidad de Valencia, Apartado de Correos 22060, 46080—Valencia, Spain , Journal of Arid Environments, Mai 1997

Chambre de Commerce, d’Industrie et de Services d’Oujda [CCIS Oujda, Monographie de la Région Oriental, 2009] : Monographie de la Région Oriental, 2009

Debdoubi, A.; El amarti, A.; Colacio, E. : [Production of fuel briquettes from esparto partially pyrolyzed, 2004] : Université Abdelmalek Essaïd (Marocco), Universidad de Granada (Spain), Conversation and Management 46, Elsevier, 2004

Debouzie, D.; Bendjedid, A.; Bensid, T.; Gautier, N.: [Stipa tenacissima aerial biomass estimated at regional scale in an Algerian steppe, using geostatistical tools, 1996] : Université Claude Bernard (France), Institut de Biologie, Université de Tlemcen (Algérie), Vegetatio, Kluwer Academic Publishers, Belgium 1996

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [Migration and regional economic development in the Oriental Region of Morocco]: Migration and regional economic development in the Oriental Region of Morocco,
http://www.mideo.ma/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=20&lang=de

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [Migration and regional economic development in the Oriental Region of Morocco, 2010]: Migration and regional economic development in the Oriental Region of Morocco, 2010, <http://www.GIZ.de/en/weltweit/maghreb-naher-osten/marokko/23994.htm>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)/Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) [Promotion des énergies renouvelables, 2007] : Etude sur le cadre organisationnel, institutionnel et législatif pour la promotion des énergies renouvelables, Rapport préfinal, Version longue, Juillet/Décembre 2007

Dimpl, E. [Small scale electricity generation from biomass, 2010]: Small-scale electricity generation from biomass- Part II: Biogas, GTZ-HERA-Poverty oriented Basic Energy Service, Eschborn 2010

Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda [Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 1, 2008]: Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 1, Les principales indicateurs socio-démographiques, 2008

Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda [Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 3, 2008]: Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 3: Agriculture, Fôret et Pêche, 2008

Direction Régionale du Haut Commissariat au Plan à Oujda [Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 4, 2008]: Annuaire statistique sur la région de l'Oriental, Chapitre 4: Mines, Energie et Eau, 2008

Eder; Schulz [Biogas-Praxis, 2006]: Biogas-Praxis, 2006

Ergüder, T.H., Güven, E., Demirer, G.N. Department of Environmental Engineering, Middle East Technical University: Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors, Ankara, Turkey, 2000

Europäische Investitionsbank (Hrsg.) [Rapport Nationale Maroc - Eaux usées, 2009] : Identification et Elimination des Goulets d'Etranglement pour l'Utilisation des Eaux Usées dans le Cadre de l'Irrigation ou autres Usages, Rapport Nationale Maroc, 2009

Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management, Loizidou, M.; Fatta, D.; Skuola, I [Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse, 2004]: Development of Tools and Guidelines for the Promotion of the Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries (MEDAware); Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management., National Technical University of Athen, Athen 2004

Europäische Kommission [Handbuch extensive Abwasserbehandlungsverfahren, 2001]: Handbuch extensive Abwasserbehandlungsverfahren - Leitfaden, Office International de l'Eau, Luxembourg 2001

Excelia [Mediterrania Saidia, Actualités, 2009]: Mediterrania Saidia, Actualités, 2009, http://www.medsaidia.com/site/news_detail.php?IDArticle=84864894

FAO [CLIMWAT Database]: CLIMWAT Database, http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html

Faulstich, M.; Prechtl, S. [Studie zur nachhaltigen Verwertung von Gärresten, 2005]: Studie zur nachhaltigen Verwertung von Gärresten; Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München, ATZ Entwicklungszentrum, Sulzbach-Rosenberg, 2005, http://uok.bayern.de/portal/internalfile/download/E115_Schlussbericht_1168950125571.pdf

Fichtner [Projektbeispiele Erneuerbare Energien]: Projektbeispiele Erneuerbare Energien, http://www.fichtner.de/reg_energien_projekte.html

Fink, M. [Düngung im Freilandgemüsebau, 2007]: Düngung im Freilandgemüsebau, 2007, Schriftenreihe des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren und Erfurt

Gasque, M.; Garcia-Fayos, P. [Seed dormancy and longevity in Stipa tenacissima L., 2003] : Centro de Investigaciones sobre Desertificación, CIDE- (CSIC-UV-GV), Plant Ecology 168, Kluwer Academics, Belgium 2003

Germany Trade and Invest [Datenbank, Länder und Märkte, 2007]: Datenbank – Länder und Märkte, Marokko will Rückstand im Umweltschutz wettmachen, 2007,

http://www.gtai.de/DE/Content/_SharedDocs/Links-Einzelldokumente-Datenbanken/fachdokument.html?fIdent=MKT200710118005

Gujer, W. [Siedlungswasserwirtschaft, 2007]: Siedlungswasserwirtschaft, 3. bearbeitete Auflage, Springerlink, Berlin - Heidelberg 2007

Haut Commissariat au Plan [RGPH, 2004]: RGPH 2004, Conditions d'habitation des ménages aux national, régional, provincial et communal selon le milieu de résidence, 2004

Heck, P.; Bemmann, U. (Hrsg.) [Praxishandbuch Stoffstrommanagement, 2002]: Praxishandbuch Stoffstrommanagement: Strategien – Umsetzung – Anwendung in Unternehmen, Kommunen, Behörden; Deutscher Wirtschaftsdienst: Köln, 2002

Hösel, Bilitewski, Schenkel, Schnurer [Müllhandbuch]: Müllhandbuch, ESV Verlag

Iharchine, K. [Données forestières de l'Oriental]: Volet relatif aux potentialités caractérisant le secteur forestier dans la région de l'Oriental (2010)

Institute of the American Society of Civil Engineers [Conveyance of Residuals from Water and Wastewater Treatment- Sludge Treatment, 2000]: Conveyance of Residuals from Water and Wastewater Treatment- Sludge Treatment, Utilization Reclamation and Disposal; Committee of the Environment and Water Resources, Institute of the American Society of Civil Engineers, 2000

Kadi-Hanifi-Achour, H. [Gestion de l'Alfa]: Diagnostic phytosociologique et phytoécologique des formations à Alfa en Algérie : Proposition de gestion.

<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/c62/04600163.pdf>

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.) [Energie aus Biomasse, 2001]: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer: Berlin, Heidelberg, 2001

Kaltschmitt, Neubarth [Erneuerbare Energien in Österreich, 2000] : Erneuerbare Energien in Österreich, 2000

Keymer, U., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [Biogasausbeuten verschiedener Substrate, 2008]: Biogasausbeuten verschiedener Substrate, 2008,
http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=33%2Cb&strsearch=&pos=left

Kerrouani H. [Annals of the forest research in Morocco 1994; 27(1):225–41] (in French)

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) [KTBL Biogasrechner]: Ktbl Biogasrechner,
<http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do?zustandReq=1&selectedAction=substrate#start>

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) [Faustzahlen Biogas, 2009]: Faustzahlen Biogas, 14. Auflage, Darmstadt 2009

La Vie Eco [La révolution agricole commence, 2009]: La révolution agricole commence, Spécial: Plan Maroc Vert, N° 4 507, Avril 2009, <http://www.lavieeco.com/Nosgrandsdossiers/pdf/Plan-Maroc-vert-Avril-2009.pdf>

La Vie Eco [Oriental : 50 000 ha de plus pour l'olivier et 25 000 ha pour l'amandier, 2009] : Oriental : 50 000 ha de plus pour l'olivier et 25 000 ha pour l'amandier, 2009,
<http://www.lavieeco.com/news/economie/Oriental%C2%A0-50-000-ha-de-plus-pour-l-olivier-et-25-000-ha-pour-l-amandier-13527.html>

Le Matin [Réseau routier, 2010]: Réseau routier 2 milliards de DH pour 2010, 2010,
<http://www.lematin.ma/Actualite/Journal/Article.asp?origine=jrn&idr=113&id=130497>

Lyberatos, G.; Antonopoulou, G.; Koutrouli, E., Kalfas, H.; Gaval, H.; and Skiadas, I. (University of Patras, Chemical Engineering): Gaseous Biofuels Production from Sweet Sorghum and Olive Pulp, Patras, Greece

Mardaga, P. (ed.) [Le grand livre de la forêt marocaine, 1999] : Le grand livre de la forêt marocaine, 1999

Membrez, Y. [Verwertung von organischen Abfällen der Region Oujda durch Biogasproduktion, 2009]: Verwertung von organischen Abfällen der Region Oujda durch Biogasproduktion, Marokko, Machbarkeitsstudie, EREP SA, Aclens & REPIC-Platform- Schweiz 2009

Migration et Développement Economique dans la Région de l'Oriental (MIDEO) [Präsentation der Region] : Präsentation der Region,
http://www.mideo.ma/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=20&lang=de

Migration et Développement Economique dans la Région de l'Oriental (MIDEO) [Province de Berkane, Agriculture] : Province de Berkane, Agriculture
http://www.mideo.ma/images/stories/pdf/Berkane_Agriculture%20_DE.pdf

Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes (MADRPM/DERD) [Technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité, 2006] : Technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité, Bulletin mensuel d'information et de Liaison du PNTTA, Transfert de Technologie en Agriculture, 2006

Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement [Etat de l'Environnement - Eau] : Etat de l'Environnement – Eau, http://www.minenv.gov.ma/8_etat_de_l-environnement/eau.htm

Ministère de l'Environnement [Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental] : Monographie Régionale de l'Environnement, Région de l'Oriental, apport de Synthèse, http://www.minenv.gov.ma/onem/synt_monog_regionales/synth_mono_oriental.pdf

Ministère de l'Environnement [Loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination, 2006] Bulletin officiel no. 5480, 7 Décembre 2006, Loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination, www.minenv.gov.ma/dwn/.../Déchets/Loi/gestion-déchets.doc

Ministère du Tourisme et de l'Artisanat [Statistique sur la fréquentation hôtelière d'Oujda et Saidia pour le mois de décembre 2009] : Statistique sur la fréquentation hôtelière d'Oujda et Saidia pour le mois de décembre 2009

Mountadar, M.; Assobhei, O. [Production and management of sludge and other bow in Morocco, 2006]: Production and management of sludge and other bow in Morocco, Design and Application of an Innovative Composting Unit for the Effective Treatment of Sludge and other Biodegradable Organic Waste in Morocco, MOROCOMP (LIFE TCY05/MA000141), September 2006

Nill, D., Böhnert, E. [Wertschöpfungsketten, 2006]: Wertschöpfungsketten zum Erhalt der biologischen Vielfalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2006, GIZ, Eschborn

ONEP [Prévisions des besoins en eau potable en milieu urbain, Oujda Fiche no. 161]: Prévisions des besoins en eau potable en milieu urbain, Oujda Fiche no. 161

ONEP [Présentation ONEP]: Présentation ONEP, <http://www.onep.ma/>

Oujda 24 [Caractérisation d'huiles d'olive au niveau du Maroc Oriental] : Caractérisation d'huiles d'olive au niveau du Maroc Oriental <http://www.oujda24.com/fra/index.php/agenceoriental/731-caracterisation-dhuiles-dolive-au-niveau-du-maroc-oriental.html>

Plümecke, K. [Preisermittlung für Bauarbeiten, 2008]: Preisermittlung für Bauarbeiten, Verlagsgesellschaft Müller 2008

Province de Berkane [Monographie de la Province de Berkane, 2008] : Monographie de la Province de Berkane, 2008

Regierungspräsidium Darmstadt [Definitionen und Schutzziele von Deponien, 2010]: Definitionen und Schutzziele von Deponien, 2010,
http://www.hessen.de/irj/RPDA_Internet?cid=e32b96e532dc7d8f17da6c4b0e16b738

Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement

Chargé de l'Eau et de l'Environnement (SEEE) [SEEE, Etude pour l'élaboration de la Stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, 2010]: Etude pour l'élaboration de la Stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux au Maroc, Rapport Phase 1, Version définitive, Mars 2010

Seafish Industry Authority [Anaerobic digestion, 2005] : Seafood Waste Utilisation and Disposal Options, Anaerobic digestion,
http://www.seafish.org/upload/file/waste_utilisation/Anaerobic%20Digestion.pdf

Soudi, B. [Le compostage, 2005]: Le compostage des déchets de cultures sous serre et du fumier, Département des Sciences du Sol, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 2005

Stark, O. [Technologien zur Überschusschlammreduktion]: Technologien zur Überschusschlammreduktion respektive –vermeidung bei der biologischen Abwasserbehandlung – Hintergrundinformationen, Konventionelle Klärschlammbehandlung, Oliver Stark,
<http://www.klaerschlammvermeidung.de/konventionell.html>

Technologie Transfer Zentrum Bremerhaven [Biogas stärkt Olivenbauern, 2009]: Biogas stärkt Olivenbauern, 2009, <http://www.ttz-bremerhaven.de/de/presse/250-biogas-staerkt-olivenbauern.html>

Terre et Vie, N° 61-62, Octobre-Novembre 2002 [Maroc : La mobilisation des eaux de surface par les barrages, 2002] : Ministère de l'Equipement, Nation-Unies, Rabat, 2002

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft [Produktqualität und Verbraucherschutz in Thüringen, 2008]: Produktqualität und Verbraucherschutz in Thüringen, Mai 2008

United Nations Environmental Program (UNEP) [Guidelines for sewage sludge treatment, disposal and use, 2005] Mediterranean Action Plan: Guidelines for sewage sludge treatment, disposal and use, in cooperation with WHO, 2005

UN-Habitat, 2008 [Constructed Wetlands Manual, 2008] : Constructed Wetlands Manual, UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Kathmandu 2008,
<http://unic.un.org/imucms/userfiles/kathmandu/file/Publications/Pub2010/CWManual%281%29.pdf>

United States Agency for International Development (US AID) [Water Resources Sustainability Project]: Water Resources Sustainability Project (WRS) Reutilisation des Eaux Usees en Irrigation, Environmental Alternatives Unlimited, Rabat, http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACW890.pdf

Veolia [Etat des déchets déposés par Veolia, Années 2005-2010] : Etat des déchets déposés par Veolia, Années 2005-2010

Wagner, F., Degen, B. & Rather, K., LVG Heidelberg [Beratungsgrundlagen Gartenbau, 2005]: Beratungsgrundlagen zur ordnungsgemäßen Düngung im Gartenbau, 2005, in Überarbeitung

Wauthelet, M. [Traitement des boues et valorisation du biogaz, 2007]: Traitement anaérobie des boues et valorisation du biogaz, 2007, <http://www.ctastree.be/Biogaz%20Boues.pdf>

WBGU [Welt im Wandel – Zukunftsähnige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, 2008]: Welt im Wandel – Zukunftsähnige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, 2008

Wilaya de l'Oriental, Préfecture d'Oujda-Angad, Commune urbaine d'Oujda [Gestion intégrée des déchets solides de la ville d'Oujda, 2009] : Division technique : Présentation: Gestion intégrée des déchets solides de la ville d'Oujda, April 2009

Wolter, C. [Steuerung-und Regelkonzepte der Vorklärung, 1998]: Steuerung-und Regelkonzepte der Vorklärung unter Einbeziehung der Vorfällung, Flockung und Schlamhydrlyse; Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1998

Worldbank [Program Information Document, MA Solid Waste Sector, 2009]: Program Information Document, MA Solid Waste Sector, 2009

Messages écrits

ORMVAM, Monsieur Abdellaoui, Données sur le secteur agricole, 2010

ORMVAM, Monsieur Fekkoul, Production agricole, Elevage, 2010

DRA : Données production végétale des Provinces Jerada et Figuig

Monsieur Kheir, Commune urbain d'Oujda, 22.11.2010 (Veolia : Etat des déchets déposés par Veolia, Années 2005-2010)

Monsieur Kheir, Commune Urbain Oujda, Oujda, 8.7.2010

Monsieur Serhir, Municipalité de Taourirt

Monsieur Iharchine : DREFLCD 2010, 2011