

**ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'INTEGRATION DE LA
MAITRISE DE L'ENERGIE DANS L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET LA FORMATION PROFESSIONNELLE**

**Enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie en
Tunisie :**

Etat des lieux, analyse prospective et propositions d'amélioration

Décembre 2011

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du « Programme de Formation sur la Maîtrise de l'Énergie en Tunisie » que la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH met en œuvre pour le compte du Ministère Allemand des Affaires Etrangères, en Tunisie courant le deuxième semestre de l'année 2011, il a été procédé à l'établissement de l'état des lieux de l'enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie, essentiellement au niveau des écoles d'ingénieurs et des instituts supérieurs.

Cet état des lieux a été dressé en se basant sur réponses des interviewés au questionnaire d'enquête établi à cet effet et présenté et discuté dans le cadre d'une réunion de brainstorming tenue avec les principaux acteurs de l'enseignement supérieur en mois d'août 2011, aux visites de quelques établissements d'enseignement supérieur et aux avis des principaux acteurs et partenaires dans le domaine.

L'état des lieux établi dans le cadre de ce rapport comporte, comme stipulé dans les termes de références de la mission :

- La liste des établissements universitaires qui présentent des cours se rapportant à la maîtrise de l'énergie ;
- L'état des lieux de l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans les établissements universitaires (contenus, matériel didactique, méthodes d'enseignement, rapport avec l'environnement socio-économique, disciplines concernées, niveau d'enseignement, formation des enseignants, lacunes et contraintes, propositions d'amélioration,...) ;
- Les laboratoires de recherche actifs dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

D'autre part, l'état des lieux ainsi préparé, les résultats des travaux et des études et initiatives réalisées pour l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans l'enseignement supérieur, l'analyse des meilleures expériences internationales dans le domaine de l'enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie jugées utiles pour la Tunisie tenant compte du marché national de la maîtrise de l'énergie, du contexte socioéconomique et des spécificités du secteur de l'enseignement supérieur du pays ainsi que les avis des principaux partenaires de l'enseignement supérieur, ont servi à :

- L'analyse prospective de l'enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie en Tunisie ;
- L'élaboration des propositions pour l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans le secteur de l'enseignement supérieur.

2. LISTE DES ETABLISSEMENTS UNIVERSITAIRES PRESENTANT DES COURS SE RAPPORTANT A LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Les principaux établissements d'enseignement supérieur qui présentent des cours se rapportant aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique se présentent comme suit :

Licence Appliquée en Energétique (Bac+3)

Université	Etablissement Universitaire	Spécialités / Options
Gafsa	Institut Supérieur des Sciences et des Technologies de l'Energie de Gafsa	<ul style="list-style-type: none"> • Energétique • Maintenance des Systèmes Energétiques • Energies Renouvelables et Environnement
Tunis-Carthage	Institut Supérieur des Sciences et des Technologies de l'Environnement de Borj Cédria	<ul style="list-style-type: none"> • Energétique
	Faculté des Sciences de Bizerte	<ul style="list-style-type: none"> • Energétique
Sousse	Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de Sousse	<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage et climatisation
	Ecole Supérieure des Sciences et de Technologie de Hammam Sousse	<ul style="list-style-type: none"> • Energétique

Diplôme d'ingénieur (Bac+5)

Université	Etablissement Universitaire	Spécialités / Options
Monastir	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir	<ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur en génie énergétique • Option énergie et environnement • Option systèmes thermiques
Tunis-Manar	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis	<ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur en génie civil • Ingénieur en génie mécanique • Ingénieur en génie industriel
Carthage	Ecole Polytechnique de Tunisie	<ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur généraliste • Option Économie et Gestion Scientifique • Option Mécanique et Structures • Option Signaux et Systèmes
Université Privée de Tunis	Institut Polytechnique Privé (IP2)	<ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur en génie énergétique

Diplôme National d'Architecture

Université	Etablissement Universitaire	Spécialités / Options
Carthage	Ecole Nationale d'Architecture et d'Urbanisme de Tunis	• Architecture

Mastère de Recherche

Université	Etablissement Universitaire	Spécialités / Options
Monastir	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir	• Mastère en Génie Energétique
Sfax	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax	• Mastère Conversions Electriques & Energies Renouvelables : Options commande des machines/ Gestion des Energies
Carthage	Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie de Tunis	• Mastère Energétique et transferts : Option Energétique des systèmes
Tunis-Manar	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis	• Mastère Génie des Systèmes Industriels : Option Systèmes Energétiques

Mastère Professionnel en Energétique (2011-2012)

Université	Etablissement Universitaire	Spécialités / Options
Gafsa	Faculté des Sciences de Gafsa	• Mastère professionnel en ingénierie et management de l'énergie

3. INTEGRATION DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE DANS L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

L'intégration de la maîtrise de l'énergie dans l'enseignement supérieur en Tunisie diffère d'un établissement à un autre parfois même pour des spécialités identiques et ce, selon le corps enseignant et les moyens didactiques disponibles dans l'établissement. Dans cette partie du rapport on s'est limité aux principales spécialités dispensant des cours sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique et qui peuvent être considérées comme des spécialités intégrant la maîtrise de l'énergie dans le cursus de formation.

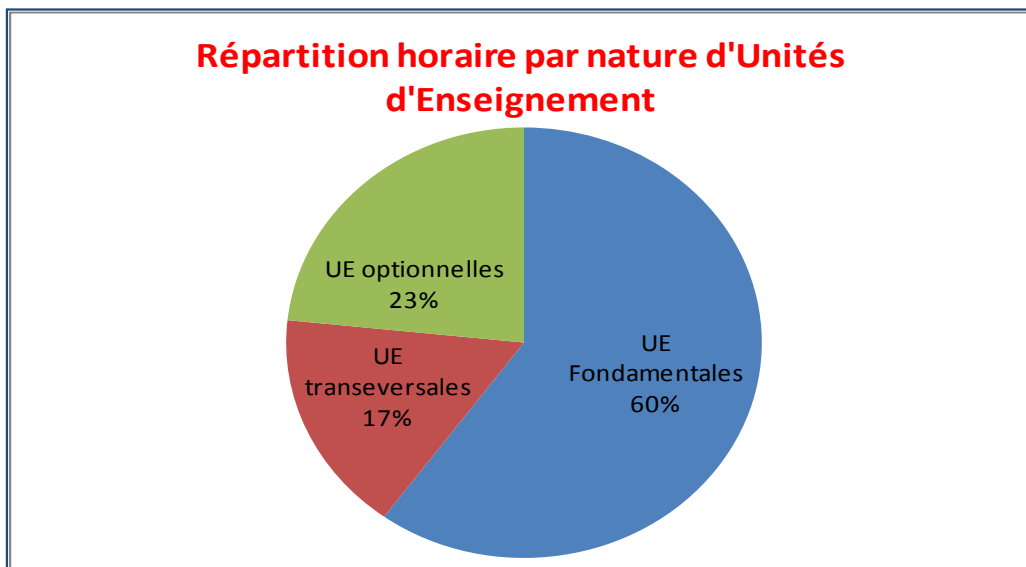
3.1. FORMATION SUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Les cours de formation sur la maîtrise de l'énergie dans les établissements universitaires sont assurés dans le cadre de Licences Appliquées, de formations d'Ingénieurs et de Mastères de recherche et professionnels.

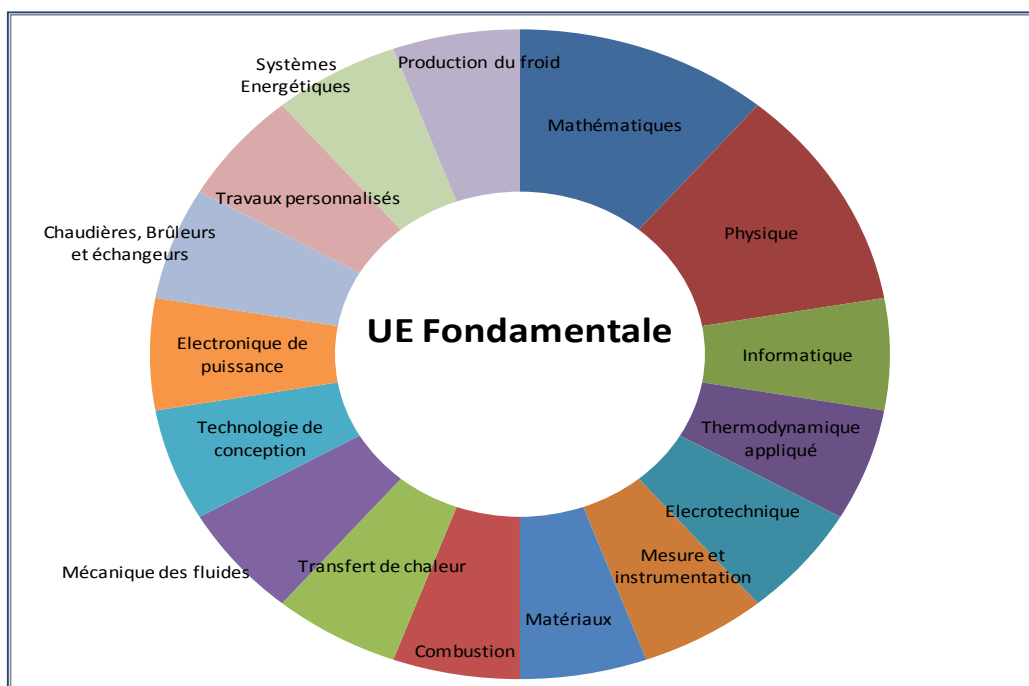
Licence Appliquée en Energétique

L'analyse des contenus des formations au niveau des « Licences Appliquées en Energétiques » dispensées par les Universités de Gafsa, de Tunis Carthage et de Sousse, a permis de dégager les principaux résultats suivants :

- La formation des étudiants en « Licence Appliquée en Energétique » s'étale sur 5 semestres totalisant 1890 heures réparties en trois types d'Unités d'Enseignements (UE) comme suit:



- Dans les Unités d'Enseignement Fondamentales qui représentent 60% du volume horaire de la spécialité « Licence Appliquée en Energétique », les matières enseignées se présentent comme suit :



- L'enseignement de la maîtrise de l'énergie dans les « Licences Appliquées en Energétique » n'est intégré qu'à des proportions différentes, selon l'établissement universitaires, au niveau des Unités d'Enseignement Optionnelles qui ne représentent qu'environ 23% du volume horaire total de la formation de cette spécialité.
- La consistance des éléments d'enseignement de la maîtrise de l'énergie et leur volume horaire diffèrent selon l'établissement universitaire:

➤ **Consistance :**

Etablissement	Thèmes des Eléments d'Enseignement en liaison avec la ME
ISSTE - Gafsa	Maitrise de l'énergie et habitat (Performances énergétiques, Architecture bioclimatique, confort thermique)
	Energies Renouvelables (Photovoltaïque, Eolien, Hydraulique, Biomasse, piles à combustible, énergie solaire thermique, capteurs solaires plans et à concentration, analyse des projets d'énergies propres, connexion au réseau électrique)
	Economie et optimisation de l'énergie
ISSTE – Borj Cedria	Bioclimatologie
	Audit Energétique
	Thermique des bâtiments
ISSAT – Sousse	Audit énergétique
	Régulation des systèmes énergétiques
	Energie nouvelle et renouvelable
ESST - Hammam Sousse	Introduction aux énergies renouvelables
	Audit Energétique
	Thermique des bâtiments
	Froid solaire

➤ **Volume horaire :**

	Cours	TD	TP	Total	Part ME / UE optionnelle
ISSTE - Gafsa	199,5	199,5	0	399	90%
ISSTE – Borj Cedria	143,5	66,5	35	245	56%
ISSAT - Sousse	52,5	10,5	0	63	14%
ESST - Hammam Sousse	99	84	44,5	227,5	52%

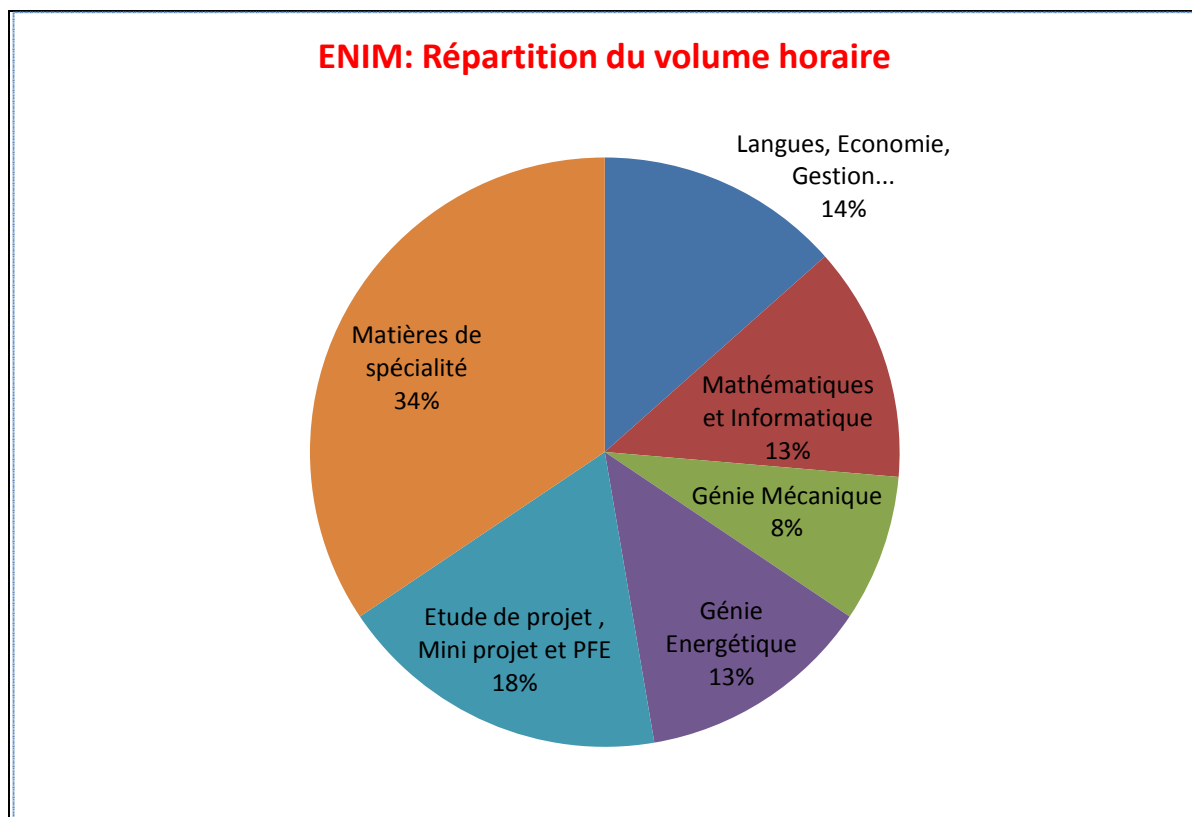
- Le tableau précédent démontre qu'au niveau de l'ISSTE- Gafsa, l'établissement universitaire qui intègre au plus la maîtrise de l'énergie au niveau de la Formation

« Licence Appliquée en Energétique », les étudiants ne font pas de travaux pratiques sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Il en est de même pour l'ISSAT Sousse. Ceci s'explique par le manque de plateformes et de moyens didactiques dédiés à la maîtrise de l'énergie au niveau des établissements universitaires.

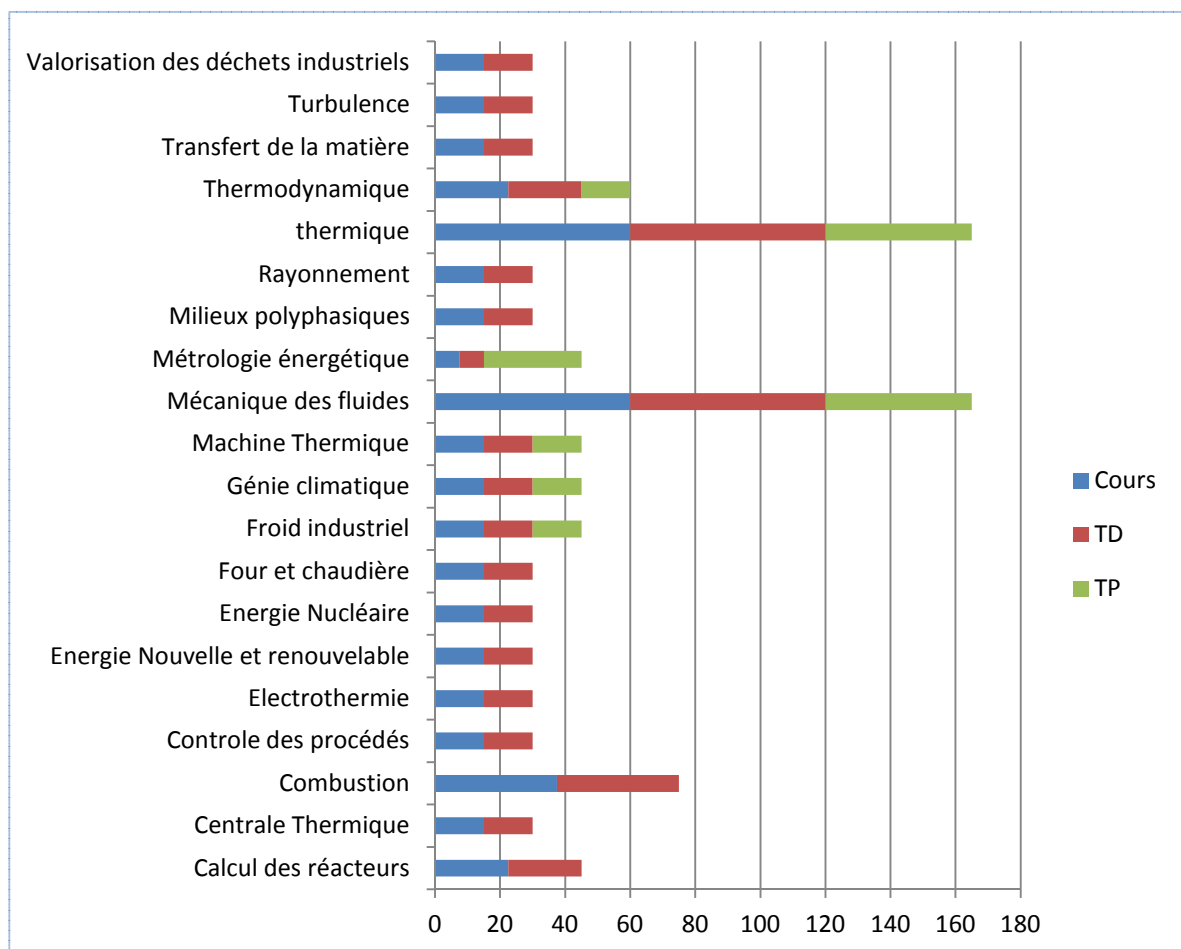
Diplôme d'Ingénieur

Génie Energétique (ENIM/ IP2)

Les étudiants en génie énergétique à l'ENIM reçoivent une formation de 3 ans (après 2 années d'études préparatoires) totalisant 2 790 heures réparties comme suit :



- Les modules d'enseignement de spécialité couvrent les aspects liés à la production, la conversion et l'utilisation de l'énergie et ne touchent pas réellement la maîtrise de l'énergie.



- Les éléments d'enseignement traitant la maîtrise de l'énergie se limitent aux énergies nouvelles et renouvelables : un module optionnel de 30 heures (Cours : 15 h, TD : 15 h) qui s'enseigne à la 3^{ème} année pour la spécialité Energie Energétique- Option Systèmes Thermiques.

Quant à l'Institut Polytechnique Privé (IP2), on a recensé l'enseignement de quatre matières en relation avec la maîtrise de l'énergie à la troisième année de la spécialité « Génie Energétique », se présentant comme suit :

Matière	Volume horaire	
	Cours	TD
Simulation Energétique	36	9
Audit Energétique	36	9
Energies Nouvelles & Renouvelables	36	9
Maîtrise d'Energie & Environnement	18	4,5

Génie Civil / Génie Mécanique / Génie Industriel (ENIT)

Les spécialités de génie civil, génie mécanique et génie industriel enseignées à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT) intègrent des matières se rapportant à la maîtrise de l'énergie. Ces matières diffèrent selon la spécialité comme le montre le tableau suivante :

Spécialité	Eléments d'enseignement en relation avec la ME
Génie Industriel	Stratégies Energétiques, Energie Solaire, T.P. Energétique, Modélisation des systèmes énergétiques, Turbomachines
Génie Mécanique	Energies renouvelables, Production d'énergie, Turbomachines, Climatisation
Génie Civil	Physique du Bâtiment, Chauffage et climatisation

Ingénieur généraliste (EPT)

L'enseignement à l'EPT est à caractère multidisciplinaire et vise la formation des ingénieurs capables d'intégrer et de synthétiser des domaines variés et complémentaires de l'ingénierie. Le plan de formation à l'EPT s'étale sur 3 années : 5 trimestres de tronc commun, 2 trimestres et demi de période d'option, 1 trimestre et demi de projet de fin d'études.

Le cycle d'option intègre des modules se rapportant à la maîtrise de l'énergie, répartis comme suit :

Option	Eléments d'enseignement en relation avec la ME
Mécanique et Structures	Energétique , Aérodynamique, Machines thermiques, Energétique des bâtiments, Energies renouvelables, Technologies de construction en génie civil
Signaux et Systèmes	Energétique, Machines Thermiques, Energétique des bâtiments, Energies renouvelables, Systèmes Electrotechniques
Économie et Gestion Scientifique	Energétique, Théorie des structures I

Diplôme National d'Architecture

La formation des architectes à l'ENAUT comporte un module optionnel portant sur l'Energétique et le Thermique du Bâtiment. Ce module s'enseigne à la cinquième année de la spécialité « architecture » et totalise 64 heures (cours : 30 heures, Travaux Dirigés : 8 heures, Travaux pratiques et Conférences : 22 heures) en plus des visites sur

terrain des chantiers et des laboratoires du Centre de Recherche et des Technologie de l'Énergie (CRTE).

L'objectif de cette formation est de permettre aux futurs architectes de savoir établir un bilan thermique et énergétique d'un bâtiment, d'appliquer la nouvelle réglementation énergétique et thermique des bâtiments neufs en Tunisie et d'intégrer les énergies renouvelables dans les projets de construction.

Les unités d'enseignement constituant le module de formation se présentent comme suit :

C 1	Confort Thermique et Eclairage dans un bâtiment
C 2	Modes de transfert thermique à travers les parois d'un bâtiment :
C 3	Bilan énergétique dans un bâtiment : Importance des apports thermiques gratuits
C 4	La Réglementation Thermique et Energétique des Bâtiments Neuf en Tunisie.
C 5	Efficacité Energétique d'un bâtiment : Stratégie de conception architecturale
C 6	Matériaux et Techniques d'isolation thermique des parois d'un bâtiment.
C 7	Outils simplifiés de simulation numérique du comportement énergétique d'un bâtiment : Stratégie de conception et optimisation des coûts de construction.
C 8	Energies renouvelables appliquées au Bâtiment
C 9	Technique de mesures énergétiques et lumineuses dans un bâtiment existant : Diagnostic et expertise.
Visites sur terrains	Visite du Laboratoire de Borj cedria et quelques chantiers
Projets de Synthèse	Conception d'un projet de bâtiment durable

Mastère de Recherche

Les mastères de recherche intégrant la maîtrise de l'énergie sont dispensés au niveau des grandes écoles d'ingénieurs (ENIT, ENIS & ENIM) et au niveau de l'INSAT.

Les matières enseignées dans le cadre de ces mastères ainsi que leur volume horaire se présentent comme suit :

Mastère	Modules intégrant la ME	Volume horaire
• Mastère en Génie Energétique ENIM-	Energie renouvelables (Optionnel)	15 h
• Mastère Conversions Electriques & Energies Renouvelables ENIS -	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation des Convertisseurs Statiques : Applications aux Energies Renouvelables (module obligatoire – Tronc commun) • Gestion Energétique des Systèmes Photovoltaïques (module obligatoire – Option Gestion des Energies) • 1 module au choix de l'étudiant <ul style="list-style-type: none"> • Aérodynamique des Systèmes Eoliens. • Piles à Combustible. • Systèmes Photovoltaïques. 	24 h/ module

leurs modes d'utilisation et leurs principales caractéristiques peuvent se résumer en ce qui suit :

Etablissement	Désignation	Marque	Type	Etat de fonctionnement	Type d'utilisation	Principales caractéristiques
ENIM	Etude de la convection forcée	Tecquipment	TD1	-	TP	
	Moteur thermique	didacta		±	TP	3 moteurs : essence,
	Pompe à chaleur	P.A. Hilton	RM4	+	TP	
	Echangeur de chaleur eau-eau	P.A. Hilton		±	TP	
	Tour de refroidissement	Prodit	GR0305/000/098		TP	
	Unité de réfrigération	Deltalab		±	TP	
	Etude de la transmission de chaleur	deltalab		±	TP	
	Etude de la convection naturelle et du rayonnement	Didatec		+	TP	
	Transfert de chaleur en lit fluidisé	P.A. Hilton		+	TP	
	Turbine à gaz biarbre	didacta	T200D	±	TP	
	Capteur solaire à eau	TQ	TE39	+	TP	
	Micro Station météo	Hobo		+	TP	
	Unité de conditionnement d'air	P.A. Hilton	A660	+	TP	
	Unité de propagation et de stabilité de la flamme	P.A. Hilton		+	TP	
	Système d'étude d'une éolienne	Didatec	ERL501	+	TP	
Etude de gaz adiabatique	Pasco scientifique	TD8565	+	TP		
INSAT	Système éolien (mod. WG/EV)			+/-	Enseignement	
	Système photovoltaïque			+/-	Enseignement	
	Pile à combustible			+/-	Enseignement	
	kits pédagogiques (valises : éolien, PV, pile à combustible)			+/-	Enseignement	
Institut Polytechnique Privé	TRANSYS : Logiciel de simulation énergétique	----	---	+/-	TD & TP	Ecoulement Fluide,
	Laboratoire : Climatisation, Pompes à Chaleur et Réfrigération	Lab-Volt (Québec-CANADA)	---	+/-	TD & TP	Application en Froid & Climatisation
ENIS	Maquette de transfert thermique			+/-		
	LOGICIELS					

3.3. RAPPORT AVEC L'ENVIRONNEMENT

Les principaux partenariats des établissements universitaires concernés par l'enquête réalisée dans le cadre de la présente mission sont résumés dans les tableaux suivants :

Partenariat avec les centres de recherche

Etablissement	Centre / Laboratoire de recherche	Type de partenariat	Principaux résultats
ENIM	Institut National de Métrologie PTB Draunschweig	Recherche/ Stage de 4 mois	Articles publiés, communications
	LET - Ensma Poitiers France	CNRS/DGRS	3 thèses soutenues, 6 articles publiés
	GPEA université de Nantes	Thèse en cotutelle	3 thèses en cours
	CREVER université de Tarragone France	Thèse	1 thèse en cours
	Université Claude Bernard Lyon France	Recherche/ Thèse	1 thèse en cotutelle, article
	le laboratoire de Centre d'Etudes et de Recherche en Thermique Energétique et Système (CERTES) de l'Université Paris -Est	Thèse en cotutelle/ Partenariat en recherche/ Publications communes	Co-encadrement des étudiants en Mastère (stage de Recherche/ Bourse d'Alternance) et une thèse en cotutelle/ Participation à des Congrès internationaux/ Publications communes dans des Revues Scientifiques
ISSTE - Gafsa	Le laboratoire des systèmes énergétiques et Environnement, Ecole des Mines, Nantes, France	Mastère Encadrement d'étudiants Recherche Publications communes	Co-encadrement des Etudiants (stage de Recherche / bourse d'Alternance) en Mastère Recherche/ Participation à des Congrès internationaux, Publications communes dans des Revues Scientifiques
	Laboratoire d'Etude des Phénomènes de Transferts et de l'Instantanéité Agro-industrie et Bâtiment	Recherche & formation	Enseignement en Mastère et coopération dans le domaine de la Recherche et éventuel création d'un Laboratoire en commun.
ENIS	Creten Borj Cédria	Recherche	Projet de recherche en commun
Institut Polytechnique Privé	Université de Moncton / CANADA / Dépt.Génie Electrique (en cours)	Coopération scientifique interuniversitaire	Gestion et Optimisation de la Consommation Energétique dans les Habitations : 2 Etudiants ULT Masters (1. Génie Electrique & Informatique Industriel, 1. Génie Energétique)

Partenariat avec le milieu économique et social

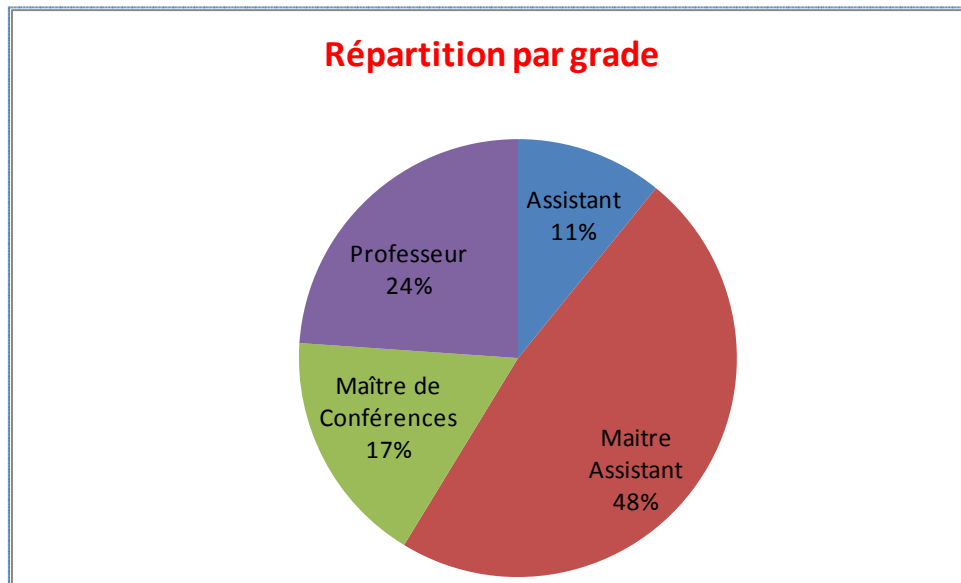
Les établissements universitaires interviewés ont noué des partenariats avec le milieu économique et social. Ces partenariats, restent limités et ne présentent pas une réelle ouverture de l'enseignement supérieur au milieu professionnel de la maîtrise de l'énergie :

Institut	Etablissement/organisation	Type de partenariat	Principaux résultats
ENIM	ANME	Projet de caractérisation thermo physique des matériaux	Un Mastère soutenu, un article publié
	Cami Engineering	Encadrement de PFE	Plusieurs PFE soutenus
	AES	Encadrement de PFE	Plusieurs PFE soutenus
	STIA	Encadrement de PFE	Plusieurs PFE soutenus
	CP Gafsa	Encadrement de PFE	Plusieurs PFE soutenus + mastère
	AMS	Encadrement de PFE	Plusieurs PFE soutenus
ENIS	Groupe chimique Tunisien	Recherche appliquée, PFE, Stages	Sujets de recherche, PFE, Stages
	EPPM Tunis	Recherche appliquée	Conception et fabrication d'un prototype de dessalement solaire
	SATER SOLAR Sfax	Stages, PFE	Encadrement des stages et des PFE
ISSTE – Gafsa	ANME	Sensibilisation, Communication, Formation	Intervention des Experts dans la formation du Mastère Professionnel et Préparation des journées des Sensibilités sur la Maîtrise de l'énergie
	CP Gafsa	Stages, Formation	Encadrement des Stagiaires et intervention dans la Formation des Etudiants
	Groupe Chimique Tunisien (GCT)	Stages, Formation	Encadrement des Stagiaires et intervention dans la Formation des Etudiants
	Agence de Promotion de l'Industrie (API)	Formation, Sensibilisation	Intervention dans la formation création d'entreprise et organisation de concours de meilleur projet au profit des étudiants en troisième année.
	STEG	Stages, Formation	Encadrement des Stagiaires et intervention dans la Formation des Etudiants
Institut Polytechnique Privé	SES	PFE	Application en photovoltaïque (Étude/Comparaison Rentabilité & Performances)
	Société LEMATIC SAL/ CONCORD Company (Beirut-LIBANON)	Classification Energétique des Réfrigérateurs Domestiques	Rapports de Tests selon Normes

3.4. FORMATION DES ENSEIGNANTS

Une cinquantaine d'enseignants présentent des cours se rapportant à la maîtrise de l'énergie au niveau des établissements universitaires ciblés par l'enquête menée dans le cadre de la présente mission. Les détails se rapportant aux grades et à la formation des ces enseignants se présentent comme suit :

Répartition des enseignants selon leur grade :



Formation initiale des enseignants

Qualification	Effectif
Génie Energétique	22
Génie Chimique	6
Génie des procédés	7
Génie mécanique	2
Mécanique des fluides	1
Physique	8

Formation complémentaire des enseignants dans le domaine de la maîtrise de l'énergie

Etablissement	Thèmes de la formation	Contexte et année de la formation	Organisme de formation
ENIM	Eolienne	Ecole de printemps : analyse des projets de conversion de l'énergie éolienne/2008	CRTE n
	Aérodynamique	Aérodynamique des avions/2010	ASENIM

Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis	Combustion	Combustion science et technologies/2011	ASENIM
	Bioénergie	Cycle de formation sur la bioénergie/2009	Centre méditerranéen des énergies renouvelables
	Piles à combustible et stockage de l'hydrogène dans les hydrures métalliques	Projet d'Appui à la Qualité (PAQ), Février 2011, Université Complutense, Madrid	ESSTT
	Stockage dans les batteries électrochimiques	PAQ, Février 2011, Université Complutense, Madrid	ESSTT
	Energie solaire photovoltaïque	PAQ, Janvier 2011, Université de Picardie Jules Vezrne, France	ESSTT
	Energie solaire thermique	PAQ, Janvier 2011, Université de Picardie Jules Vezrne, France	ESSTT
	Photovoltaïque, Hydrolienne, Convertisseurs, Eolienne	PAQ, Avril 2011	ESSTT
ENIS	Audit énergétique	Formation 1999	APAVE - ANME
	Polygénération Technologies and applications	Formation 2007	Université Rovira i virgili Tarragona
IP2	Audit énergétique des bâtiments existants	09-10 JUIN 2009	Ecole d'été / Université de GAFSA (Institut Supérieur des Sciences et de Technologie de l'Energie de GAFSA)

3.5. CONTRAINTES AU DEVELOPPEMENT DE L'ENSEIGNEMENT DE LA ME DANS LES ETABLISSEMENTS UNIVERSITAIRES

Les contraintes au développement de l'enseignement de la maîtrise de l'énergie dans les établissements universitaires sont multiples. Elles peuvent être classées en trois catégories :

- Stratégie et approche de l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans la formation universitaire ;

- Moyens humains et didactiques mis en place pour l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans l'enseignement supérieur ;
- Employabilité dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

L'enquête menée auprès des établissements universitaires a permis de dégager les contraintes suivantes :

Problématique	Contraintes identifiées
Compétences (enseignants) spécialisées dans le domaine	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Insuffisance de compétences techniques spécialisées dans le domaine, notamment en termes de compétences disposant du savoir-faire pratique</i>
Formations spécialisées dans le domaine de ME, destinées aux enseignants	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Insuffisance de la formation et du recyclage des enseignants des matières de spécialité ME</i> • <i>Absence d'opportunité de formation en Tunisie</i> • <i>Problèmes de financement pour les formations à l'étranger</i> • <i>Absence de formations pratiques pour des cas réels</i> • <i>Absence de grands projets de ME impliquant le secteur de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique</i>
Supports de formation / Matériel pédagogique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Faible équipement des laboratoires</i> • <i>Manque de supports techniques de formation</i> • <i>Insuffisance des supports pédagogiques existants par rapport au nombre croissant des étudiants</i> • <i>Manque de logiciels spécifiques à la ME</i> • <i>Insuffisance, voire absence d'unités didactiques</i>
Contenu et volume horaire de la formation	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Inexistence de modules de formation dans le domaine de la ME pour plusieurs spécialités énergétiques</i> • <i>Discordance au niveau des programmes / Incompatibilité des modules de formation avec les spécialités / Répartition inadéquate du volume horaire des modules de formation</i> • <i>Dépendance du contenu de formation à la spécialité du corps enseignant disponible à l'établissement plutôt qu'aux besoins de formation de la spécialité</i> • <i>Insuffisance du volume horaire pour avoir une formation solide qui couvre les différents aspects liés à la ME</i> • <i>Très faible volume horaire prévu pour les Travaux Pratiques</i>
Autres contraintes (programmation, employabilité,...)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Faible coordination avec les différents intervenants institutionnels et professionnels du secteur ME</i> • <i>Faible coordination entre les établissements universitaires et entre les établissements universitaires et les laboratoires de recherche</i> • <i>Faible intérêt de la part des étudiants vu l'employabilité limitée de la filière ME</i> • <i>Manque d'information et de sensibilisation (étudiants+enseignants+décideurs)</i> • <i>Absence de politique claire au niveau de l'habilitation des Mastères spécialisées (Pro + Recherche)</i>

4. LES LABORATOIRES DE RECHERCHE ACTIFS DANS LE DOMAINE DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Il existe en Tunisie 8 laboratoires rattachés à de l'enseignement supérieur ou à des organismes de recherche scientifique actifs dans le domaine de l'énergie:

Université / Organisme	Institution	Dénomination du Laboratoire de Recherches
Monastir	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir	Etude des Systèmes Thermiques et Energétiques
Sfax	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax	Eau, Energie et Environnement
Centre de Recherche et des Technologie de l'Energie (CRTEen)	Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie (Technopôle de Borj Cedria)	Photovoltaïque
		Procèdes thermiques
		Maitrise de l'énergie, éolien et valorisation énergétique des déchets
Centre de Biotechnologie de Sfax	Centre de Biotechnologie de Sfax	Bioprocédés Environnementaux
Tunis-El Manar	Faculté des Sciences de Tunis	Energétique et Transfert Thermique et Massique
Tunis-El Manar	Faculté des Sciences de Tunis	Thermodynamique Appliquée

Parmi ces laboratoires, on peut dénombrer six actifs dans le domaine de la maîtrise de l'énergie :

Laboratoire des Procédés Thermiques (LPT)

Le laboratoire des Procédés Thermiques (LPT) s'intéresse à l'énergie solaire et ses applications dans plusieurs domaines dits énergivores tels que : le chauffe eau et systèmes énergétiques solaires, le séchage industriel, le froid solaire, la production d'électricité solaire thermique et l'efficacité énergétique dans le bâtiment et l'industrie.

Parmi les programmes de recherche menés par le LPT, on peut citer :

- Chauffe eau et systèmes énergétiques solaires
 - Projet 1 : Les systèmes solaires thermiques collectifs et individuels
 - Projet 2 : Chauffe eau solaire à stockage latent : application au traitement thermique.
- Le séchage industriel
 - Projet 1 : Efficacité Energétique des Procédés de séchage
 - Projet 2 : Séchage des milieux déformables : étude énergétique, rhéologique et qualité
- Le froid solaire
 - Projet 1 : Optimisation des systèmes solaire de conditionnement d'air
 - Projet 2 : Pompe à chaleur géothermale : application au conditionnement des serres
- Efficacité énergétique dans le bâtiment et l'industrie
 - Projet 1 : Efficacité énergétique dans les bâtiments
 - Projet 2 : Récupération de chaleur lors de procédés énergivores
- La production d'électricité solaire thermique
 - Projet 1 : Energie solaire à concentration
 - Projet 2 : Etude optimisation et conception d'installations de production d'électricité

Plus d'une trentaine de chercheurs opèrent au niveau du LPT, dont plus de 50% à plein temps.

Laboratoire du Photovoltaïque (LPV)

Parmi les programmes de recherche menés par le LPV, on peut citer :

- Cellules solaires au silicium cristallin :
 - Maîtrise de la gravure et de la micro-gravure pour la fabrication des cellules solaires au silicium efficaces et à faible coût basées sur de nouveaux concepts.
 - Réduction des impuretés dans le silicium cristallin.
- Les cellules solaires en couches minces :
 - Nouvelles générations de cellules solaires en couches basées sur les
- Systèmes photovoltaïques (Conception et applications) :
 - Dimensionnement et optimisation des Systèmes photovoltaïques pour des applications de pompage, d'éclairage...
 - Développement des convertisseurs électroniques à haut rendement pour une chaîne photovoltaïque.
 - Dimensionnement et optimisation des systèmes hybrides photovoltaïque, éolienne, diesel...

A l'instar du LPT, on a recensé plus d'une trentaine de chercheurs qui opèrent dans le LPV, dont environ 60% à plein temps.

Laboratoire Maitrise de l'Énergie, Eolien et Valorisation Énergétique des Déchets (LMEEVED)

Les thématiques de Recherche du laboratoire LMEEVED sont classées en deux principaux programmes. Chaque programme est divisé en trois projets indépendants.

- Programme 1 : Maîtrise des technologies de l'énergie éolienne
 - Projet 1 : Conception, réalisation et expérimentation des éoliennes de petite puissance.
 - Projet 2 : Etude, conception et réalisation d'un Accélérateur de vent.
 - Projet 3 : Etude des systèmes d'éoliennes de grande puissance

- Programme 2: Valorisation énergétique des déchets
 - Projet 1 : Conversion du biogaz pour la production de l'électricité.
 - Projet 2 : Valorisation des déchets solides par voie thermochimique.
 - Projet 3 : Production des carburants à partir des huiles usées et des graisses.

Une vingtaine de chercheurs sont actifs dans le LMEEVED, dont plus de 80% à plein temps.

Laboratoire d'Études des Systèmes Thermiques et Énergétiques (LESTE)

Les travaux de recherche développés au sein du Laboratoire LESTE sont structurés autour des thèmes suivants :

- Aérodynamique : Écoulements compressibles, convection naturelle, convection mixte, évaporation, condensation, moteur alternatif, climatisation, distillation, ventilation, simulation numérique et modélisation de la turbulence.
- Métrologie et méthodes inverses : Conductivité thermique, diffusivité thermique, émissivité, réflectivité, vélocimétrie, diagnostic laser.
- Milieux poreux : Séchage, réacteur métal-hydrogène, silos, caractérisation des propriétés hydriques, validation de la théorie.
- Combustion et plasma : Etude des écoulements turbulents réactifs homogènes et hétérogènes (combustion dans les turbines à gaz, combustion des solides), plasma d'arc de coupure dans le disjoncteur.

- Modélisation et optimisation des systèmes énergétique : cogénération, système d'énergie hybride, modélisation, optimisation.

Laboratoire des Bioprocédés Environnementaux

Les principaux projets de recherche menés par ce laboratoire sont les suivants :

- **Projet 1 : Etude, conception et mise en œuvre de nouveaux procédés de digestion anaérobie et valorisation des bio-ressources :**
 - Traitement des margines pour la production de biogaz : amélioration des rendements du procédé.
 - Traitement des lixiviats de décharge par la digestion anaérobie.
 - Utilisation des laccases fongiques pour l'oxydation des colorants en vue d'améliorer leur biodégradabilité.
 - Mis en œuvre des enzymes hydrolytiques pour la pré-digestion des sous-produits riches en polyphénols.
- **Projet 2 : Etude du traitement des eaux usées domestiques et effluents industriels par les réacteurs membranaires en vue de la réutilisation non restrictive**
- **Projet 3 : Réhabilitation des sites pollués par bioremédiation :**
 - Enrichissement et isolement des microorganismes aérobies et anaérobies mésophiles et thermophiles qui dégradent les hydrocarbures.
 - Etude phylogénétique et moléculaire des consortia et des souches isolées.

Le Laboratoire des bioprocédés environnementaux compte une vingtaine d'enseignants-chercheurs.

Laboratoire Eau, Energie et Environnement (3E)

Les principaux axes de recherche du Laboratoire 3E dans le domaine de l'énergie consistent à :

- La prospection et la valorisation des substances naturelles minérales et énergétiques.
- Les études géologiques générales, cartographie de faciès, qualification de la diagenèse de la matière organique et des substances minérales
- La géodynamique des bassins sédimentaires
- La géothermie et l'énergie solaire
- Le dessalement et la climatisation.

5. ANALYSE PROSPECTIVE ET PROPOSITIONS POUR L'INTEGRATION DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE DANS L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

Afin d'assurer une meilleure intégration de la maîtrise de l'énergie dans l'enseignement supérieur, les propositions devraient prendre en considération:

- Les besoins du marché de travail tunisien en termes de cadres et techniciens supérieurs diplômés dans ce domaine. Ces besoins devrait normalement émaner des résultats attendus de l'étude, financée par la GIZ, relative à l'employabilité du programme national de maîtrise de l'énergie ;
- Les principaux renseignements de l'analyse des expériences internationales en matière d'enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie ;
- Les recommandations des acteurs de l'enseignement supérieur issues de l'enquête effectuée dans le cadre de cette mission.

L'analyse des besoins du marché de travail tunisien en diplômés universitaires a été effectuée dans le cadre de cette mission en se référant au Plan Solaire Tunisien et à la stratégie nationale de maîtrise de l'énergie d'une part, et aux résultats de l'étude «Identification des besoins en formation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie », réalisée en mars 2011 d'autre part, et ce, en l'absence des résultats de l'étude relative à l'employabilité du programme national de maîtrise de l'énergie non encore achevée à la date de la réalisation de ce rapport.

De ce fait, on a pris en considération dans l'analyse prospective que les filières de maîtrise de l'énergie les plus prometteuses en termes de création de postes d'emplois en Tunisie selon les objectifs du PST et de la stratégie nationale de maîtrise de l'énergie à savoir le solaire photovoltaïque, le solaire thermique, l'éolien, l'efficacité énergétique dans le bâtiment, le management énergétique,...

Les propositions issues de cette analyse prospective ne sont pas exhaustives mais elles mettent l'accent sur quelques pistes d'actions qui pourraient contribuer dans la réforme de l'enseignement supérieur dans le domaine de la maîtrise de l'énergie afin de couvrir les besoins en compétences de ce secteur et de soutenir son développement :

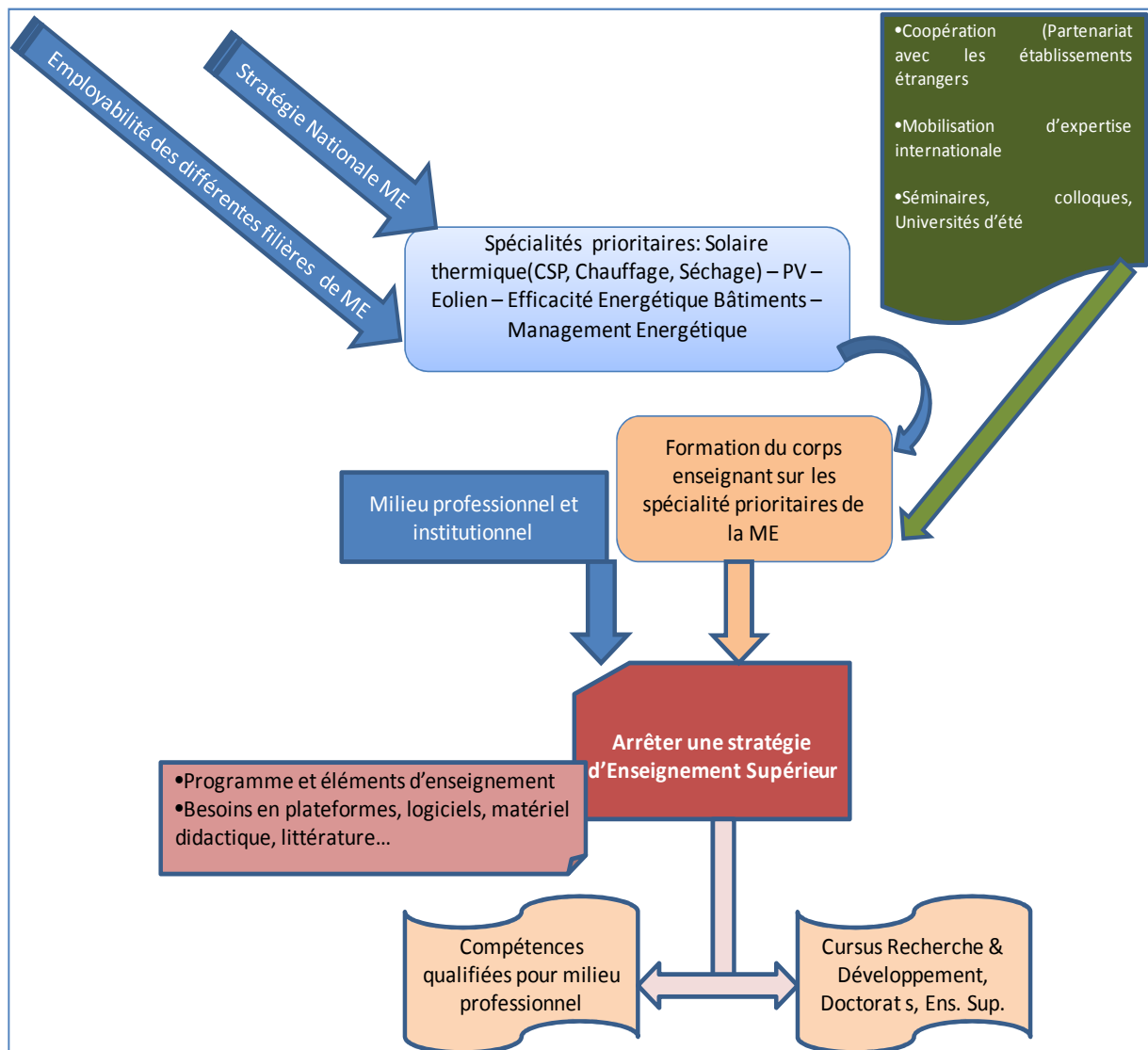
5.1. ETABLISSEMENT D'UNE NOUVELLE APPROCHE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Afin d'assurer les perspectives de développement de l'enseignement de la maîtrise de l'énergie (ME) dans le système universitaire, il est suggéré de mettre en place une nouvelle approche dynamique et évolutive et ce, en étroite concertation avec les

différents intervenants institutionnels et professionnels du secteur de la maîtrise de l'énergie.

Une telle approche devrait viser à la fois la formation de compétences spécialisées répondant aux besoins et aux exigences du marché de l'emploi ainsi que l'amélioration des performances du corps enseignant.

Le principe de cette approche est illustré dans le graphique suivant :



5.2. RENFORCEMENT DES SPECIALITES EXISTANTES A TRAVERS LES BONNES PRATIQUES SUIVANTES :

L'enseignement supérieur est en train de dispenser des spécialités ayant trait à l'énergie (électrique, thermique, fluides, thermodynamique, électromécanique, froid, climatisation, architecture, ...) sans tenir compte parfois des capacités d'absorption du marché de l'emploi. Pour palier aux contraintes d'emploi de ces compétences et afin de leur

présenter de nouvelles opportunités de travail dans des niches de marché prometteuses, il est proposé ce qui suit :

- Intégrer davantage les modules d'enseignement traitant la maîtrise de l'énergie au niveau des spécialités à vocation énergétique actuellement existantes.
- Enrichir et développer les spécialités existantes avec des éléments d'enseignement plus consistants (contenu, volume horaire, travaux pratiques) pour mieux répondre aux besoins de formation de ces spécialités.
- Prévoir des Projets de Fin d'Etudes, des mastères et des doctorats dans les spécialités prioritaires : Solaire thermique (CSP, Chauffage, Séchage) – PV – Eolien – Efficacité Energétique Bâtiments – Management Energétique.
- Recourir à la formation par alternance pour renforcer le côté pratique de la formation des étudiants et contourner en conséquence l'insuffisance des plateformes de formation au sein des établissements universitaires et le manque de compétences au niveau du corps enseignant.
- Se référer aux besoins réels du marché et mieux coordonner avec les acteurs professionnels avant de procéder à la programmation des mastères professionnels.
- Assurer le recyclage des enseignants en fonction des évolutions technologiques de la maîtrise d'énergie.
- Prévoir des modules de sensibilisation sur la maîtrise de l'énergie et sur le management énergétique au niveau de la formation de base de toutes les spécialités énergétiques.
- Créer une commission nationale pour l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans l'enseignement supérieur regroupant les responsables de programmes et des études dans le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, les Universités, les écoles d'ingénieurs, les facultés des sciences et les instituts supérieur, les établissements et organismes nationaux concernés par la maîtrise de l'énergie et le milieu professionnel dont la principale mission est de tracer les axes stratégiques et le suivi de l'intégration de la maîtrise de l'énergie dans l'enseignement supérieur.
- Renforcer la coopération et le partenariat avec des établissements universitaires internationaux spécialisés dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.
- Recourir à l'expertise spécialisée pour le coaching et l'assistance des établissements universitaires dans l'intégration de la maîtrise de l'énergie

dans l'enseignement supérieur conformément à la stratégie définie par la commission nationale ;

- Organiser des voyages des études, des colloques, des écoles/camps d'été et des visites aux foires spécialisées au profit des membres de la commission nationale de l'intégration de la maîtrise de l'énergie et du corps enseignant de la maîtrise de l'énergie ;
- Etablir une plateforme électronique d'échange d'informations entre le secteur de l'enseignement supérieur, le milieu professionnel et les institutions et organismes concernés par la maîtrise de l'énergie ;
- Développer des formations en ligne sur la maîtrise de l'énergie (E-learning, V-learning).

5.3. EXEMPLES D'EXPERIENCES INTERNATIONALES SE RAPPORTANT AUX SPECIALITES DE ME PRIORITAIRES DU MARCHE TUNISIEN

Suite à l'analyse des expériences internationales dans le domaine de l'enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie, il a été identifié deux approches qui pourraient être adoptées dans notre pays tenant en considération de la spécificité du marché de la maîtrise de l'énergie et du secteur de l'enseignement supérieur. Les principaux renseignements à retenir de ces deux approches se présentent comme suit :

- Assurer une qualification pointue, axée sur les aspects pratiques, des ressortissants de l'enseignement supérieur en vue de développer l'innovation dans le secteur de la maîtrise de l'énergie ;
- Faire intervenir le milieu professionnel dans l'élaboration des programmes et dans la réalisation de la formation ;
- Assurer une meilleure coordination entre les établissements universitaires et les laboratoires de recherche afin de présenter des formations répondant aux exigences du marché et faisant impliquer les différentes compétences du secteur de l'enseignement supérieur ;
- Mettre en place des formations ouvrant la possibilité aux étudiants de suivre soit un parcours professionnel soit un parcours de recherche, tous les deux indispensables pour la durabilité du développement de la maîtrise de l'énergie.

Formation de reconversion : Mastère Européen en Energies renouvelables

L'objectif de ce mastère spécialisé est d'offrir aux ingénieurs diplômés une spécialisation technique de haut niveau sur les énergies solaires, éoliennes et hybrides. A l'issue de ce

mastère, les diplômés seront capables de répondre à la demande croissante du marché en matière d'expertise technique sur ces énergies.

Cette formation est délivrée en partenariat avec l'agence européenne EUREC (EUropean Renewable Energy Centres) et les universités de Loughborough, Saragosse, Oldenbourg, Newcastle, Athènes et Kassel en Allemagne, au Royaume Uni, en Espagne et en Grèce.

Le programme de formation de ce mastère qui dure 3 semestres comprend :

- ✓ Un tronc commun comportant 5 modules s'étalant sur un semestre savoir :
 - 1- Fondamentaux scientifiques et techniques sur les énergies renouvelables
 - 2- Energie solaire
 - 3- Energie éolienne
 - 4- Bioénergie
 - 5- Energie hydraulique
- ✓ Une formation de spécialisation durant un semestre dans une université européenne au choix:
 - 1- Bioénergie en Espagne
 - 2- Systèmes hybrides en Allemagne
 - 3- Systèmes photovoltaïques au Royaume Uni
 - 4- Energie solaire dans les bâtiments en Grèce
 - 5- Energie éolienne en Grèce
- ✓ Un projet pratique ou de recherche est à effectuer par le participant à cette formation courant le 3^{ème} semestre.

Formation de base : Licence en Energie solaire SPI - Université de Perpignan Via Domitia (France)

Cette formation est organisée sur 3 semestres (S1, S2 et S3) et est complétée par un stage en entreprise ou en laboratoire de recherche au 4^{ème} semestre (S4).

Les deux semestres S1 et S2 sont communs aux deux parcours Recherche (R) et Professionnel(P). Le troisième semestre est constitué d'enseignements optionnels, laissés au choix de l'étudiant en accord avec l'équipe pédagogique. Suivant les enseignements choisis (il est aidé en cela par l'équipe pédagogique) l'étudiant se construit soit un parcours professionnel, soit un parcours recherche. Cette coloration est renforcée au cours du stage, effectué soit en entreprise, soit en laboratoire de Recherche.

Au niveau pédagogique, la formation s'articule autour de 5 Unités d'Enseignement (UE), dispensées au cours des trois semestres S1, S2 et S3 : (UE Fondamentaux, UE Modélisation et contrôle des systèmes, UE Energie, UE Matériaux, UE Socio-économie).

Chaque Unité d'Enseignement est constituée de six modules d'enseignement de 30 heures, ayant tous la même structure (**10 h cours, 12h TD, et 8h TP**), dont quatre sont des Modules Communs à l'ensemble de la formation (semestres 1 et 2). Les deux autres correspondent à des Modules de spécialité, laissés au choix de l'étudiant (semestre 3).

- Volume horaire de la formation : 3 semestres de 300h
- Durée du stage : 6 mois (4ème semestre)
- Autres modalités pédagogiques : le 3ème semestre est organisé en semaines d'étude, au choix de l'étudiant, localisées sur l'une des trois plates-formes technologiques (Université/Tecnosud/Four Solaire d'Odeillo). Ces séminaires d'étude ont pour objectif de sensibiliser les étudiants à un véritable projet industriel ou de recherche.
- Les activités de travaux pratiques sont selon les modules d'enseignement
 - soit des TP traditionnels (expérimentations d'installations),
 - soit des projets numériques.
 - soit des Travaux d'Etude et de Recherche.

Deux parcours sont possibles suivant l'origine et les aspirations de l'étudiant :

- Le parcours professionnel a pour objectif de former des responsables et des cadres opérationnels pour des entreprises industrielles ou de service ou encore des bureaux d'étude, relevant du secteur des énergies renouvelables, et plus particulièrement de l'énergie solaire.
- Le parcours recherche est destiné à des étudiants souhaitant poursuivre leur cursus au niveau doctorat ciblé sur les problématiques associées au développement durable.

Propositions

1. L'approche de la formation de base ci-dessus mentionnée pourrait être adoptée dans le secteur de l'enseignement supérieur Tunisien avec de légères adaptations selon les spécificités du secteur de l'enseignement supérieur et du marché de la maîtrise de l'énergie conformément au schéma suivant et ce, pour les filières identifiées comme prioritaires suite à l'analyse du marché national de maîtrise de l'énergie (solaire thermique, solaire photovoltaïque, énergie éolienne, biomasse, management de l'énergie, efficacité énergétique dans le bâtiment,...).

Licence en Maîtrise de l'Énergie

Domaine	Énergie renouvelable, Efficacité énergétique	
Spécialités	Énergie solaire, énergie éolienne, management de l'énergie, efficacité énergétique dans le bâtiment,...	
	Tronc commun Semestre 1, Semestre 2, Semestre 3 & Semestre 4	
	Semestre 5 : spécialisation	
	Semestre 6 : Stage en entreprise ↓	Stage en laboratoire ↓
Parcours	Professionnel	Recherche

2. D'autre part, il est proposé de prévoir aux ingénieurs, techniciens supérieurs et diplômés du système LMD, des mastères spécialisés s'étalant sur 3 semestres réparties comme suit :

- Semestre 1 : Tronc commun de formation fondamentale sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique ;
- Semestre 2 : Formation de spécialisation dans la filière ou la spécialité choisie par le participant ;
- Semestre 3 : Projet de fin d'études en entreprise ou en laboratoire selon le parcours choisi par le participant (Professionnel ou Recherche).

5.4. BESOINS EN MATERIEL DIDACTIQUE

Les besoins en matériel didactique ont été présentés dans le premier livrable de cette mission. Ils ont été identifiés suite à des réunions et entretiens tenus avec des représentants l'enseignement supérieur, en analysant les réponses au questionnaire d'enquête adressé aux personnes ressources dans l'enseignement supérieur de la maîtrise de l'énergie ainsi que les résultats des travaux et initiatives effectuées dans le domaine.

Ces besoins qui sont indispensable à l'amélioration du volet pratique de la formation sur la maîtrise de l'énergie peuvent se résumer en ce qui suit :

- Besoins en logiciels de simulation (PV Syst, Transys, Polysun, PV*Sol, T*Sol,...) ;
- Besoins en kits pédagogiques : photovoltaïque, solaire thermique individuel & collectif, éolien, pile à combustible, biomasse, matériel de mesure,...
- Besoins en plateforme de formation : photovoltaïque raccordé au réseau, pompage photovoltaïque, éolien, système hybride, solaire thermique collectif,...
- Besoins en littérature technique et documentation scientifique relatives aux filières et activités de maîtrise de l'énergie.