



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



Mémoire

Présenté Pour l'obtention du diplôme de :
MASTER EN ENERGIES RENOUVELABLES
Option : CONVERSION THERMIQUE

Thème :

**Choix d'une centrale héliothermique à
concentration à travers l'analyse du cycle
de vie**

Par

Melle ZOUAK Sihem

Soutenu le 02/10/2017 devant le jury compose de :

Pr. MERZOUK Mustapha	Professeur à Université de Blida1	Président
Dr. MEHALAINE Koussaila	Maitre-assistant B à Université de Blida1	Examineur
Mr. KACI Karim	Maitre-assistant B à Université de Blida1	Examineur
Mr. SAID Noureddine	Chercheur à CDER	Promoteur

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en Energies Renouvelables, option Conversion Thermique au Département des Energies Renouvelables de l'université Saad Dahlab de Blida 1, sous la direction du Mr. Said. Noureddine, que je remercie vivement pour toute l'aide qu'il m'a apportée durant toute la durée de préparation du présent mémoire.

Tout comme je remercie l'ensemble du personnel du Laboratoire de Recherche de notre département des Energies Renouvelables.

Mes plus vifs remerciements vont au Pr. Merzouk Mostapha pour m'avoir fait l'honneur de présider le jurée de soutenance du présent mémoire.

Le remercie vivement Dr. Mehalaine Koussaila et Mr. Kaci Karim pour l'honneur qu'ils m'ont fait en participant au jury en qualité d'examineurs.

Je veux remercier encore une autre fois le promoteur Mr. Said. Noureddine

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des enseignants personnes, qui ont largement contribué à son aboutissement.

DEDICASE

*Avant tout, je remercie **ALLAH** « الله » le seul dieu tout puissant de me donner la volonté de terminer ce projet et le mener à bien.*

A mon cher père

A la penser de ma chère mère

A ma deuxième mère

*Je tiens à remercier mon encadreur **Mr SAID. Noureddine** pour m'avoir faites travailler sur un projet très intéressant et riche*

*A ma source d'inspiration et de bonheur mes sœurs **NAWEL et ASMA, LEILA**, je leurs souhaite un avenir plein de succès une vie pleine de joie*

*A mes frères : **RABEH, SALIM et WALID** pour leur encouragement durant cette période et pour leur soutien moral dans les moments critiques*

*A toute les familles **ZOUAK et BELLAL, BOUSAIDIN, REKIK,***

*A ma chère ami : **MEGHDOURI Fatiha** que j'aime beaucoup et qui à soutenu tout au long de ce mémoire et sa famille*

*A tous mes amis de « **masjid SONNAH** »*

A tous mes amies du département des énergies renouvelables

A tous ceux et celles dont les noms n'ont pu être cités

Tous ceux qui sont proches de mon cœur et qui m'encouragent à donner le meilleur en moi

À ceux qui œuvrent pour un monde meilleur

Sihem

Résumé :

À l'heure actuelle, la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) provenant du secteur de la production d'électricité fait l'objet d'un grand débat. En outre, le changement climatique et la pénurie d'eau sont des problèmes importants pour le secteur de l'électricité d'aujourd'hui. Par conséquent, il est nécessaire d'accélérer le développement de technologies avancées d'énergie propre afin de relever les défis mondiaux de la sécurité énergétique, du changement climatique et du développement durable.

L'énergie solaire est l'alternative la plus intéressante dans cet aspect. Chaque jour, le rayonnement solaire qui atteint la surface terrestre dépasse 4000 fois la consommation mondiale dans le monde. Nous avons seulement besoin de collecter, de stockage et de savoir comment l'utiliser. Il existe deux technologies principalement destinées à utiliser le rayonnement solaire : photovoltaïque (PV) et énergie solaire de concentration (CSP).

Le CSP est une autre possibilité d'utilisation du rayonnement solaire. Ce n'est pas une conversion directe. La technologie CSP utilise un fluide intermédiaire de transfert de chaleur (HTF) pour transférer l'énergie contenue dans le rayonnement solaire vers le bloc de puissance dans la turbine à vapeur. Il existe deux options différentes et mature concernant CSP : Central à Tour et Cylindro-parabolique.

Toutes ces centrales à énergie renouvelable ont une empreinte environnementale qui doit être évaluée pour quantifier l'impact réel des technologies renouvelables sur l'environnement. De nos jours, l'outil le plus important pour évaluer cet impact d'un produit est l'évaluation du cycle de vie (ACV). Le bon choix d'une technologie à travers uniquement les études technico-économique s'avère aujourd'hui insuffisant s'il n'est pas complété par une étude d'impact environnementale par la réalisation de l'étude de son cycle de vie.

Abstract:

At present, the reduction of greenhouse gases (GHGs) emission from electricity generation sector is a subject of great debate. In addition, climate change and water scarcity are important issues for today's power sector. Therefore, there is a need to accelerate the development of advanced clean energy technologies in order to address the global challenges of energy safety, climate change and sustainable development.

Solar energy is the most interesting alternative in this aspect. Each day the solar radiation that hits the earth's surface is over 4000 times the global consumption in the world. We only need to collect, to storage and to know how to use it. There are two mainly technologies to use solar radiation: Photovoltaic (PV) and Concentration Solar Power (CSP).

CSP is another possibility for using solar radiation. It is not direct conversion. CSP technology uses an intermediate heat transfer fluid (HTF) for transferring the energy contained in solar radiation to the power block in the steam turbine. There are two different options referring to CSP: Central Tower and Parabolic Trough. In this report, we focus in Central Tower.

All this renewable energy plants have an environmental footprint that has to be evaluated to quantify the real impact of renewable technologies on the environment. Nowadays, the most important tool to evaluate this impact of a product is the Life Cycle Assessment (LCA).

ملخص:

في الوقت الحالي، سبب انبعاث الغازات الدفيئة من طرف قطاع توليد الكهرباء موضوع نقاش كبير، إضافة إلى ذلك، فإن تغير المناخ وندرة المياه هما من القضايا الهامة لقطاع الطاقة اليوم. ولذلك، نحتاج إلى التعجيل بتطوير تكنولوجيات الطاقة النظيفة المتقدمة من أجل التصدي للتحديات العالمية المتعلقة بسلامة الطاقة وتغير المناخ والتنمية المستدامة.

الطاقة الشمسية هي البديل الأكثر إثارة للاهتمام في هذا الجانب. إن الإشعاع الشمسي الذي يضرب سطح الأرض يوميا أكثر من 4000 ضعف الاستهلاك العالمي في العالم. نحن فقط بحاجة إلى جمعه، تخزينه ومعرفة استخدامه. يوجد نوعان من التقنيات المستخدمة أساسا للإشعاع الشمسي: الكهروضوئية (بي في) وتركيز الطاقة الشمسية (سي ا س بي).

تعتبر تكنولوجيا (سي ا س بي) إمكانية أخرى لاستخدام الإشعاع الشمسي. ولكن بطريقة التحويل الغير مباشر للإشعاع الشمسي. تستخدم تقنية (سي ا س بي) سائل نقل الحرارة لنقل الطاقة الموجودة في الإشعاع الشمسي إلى كتلة الطاقة في التوربينات البخارية. هناك نوعان من الخيارات المختلفة التي تشير إلى (سي ا س بي) : البرج المركزي والحوض المكافئ. ولجميع محطات الطاقة المتجددة هذه بصمة بيئية يجب تقييمها لتحديد الأثر الحقيقي للتكنولوجيات المتجددة على البيئة في الوقت الحاضر، وأهم أداة لتقييم هذا التأثير للمنتج هو تقييم دورة الحياة

Nomenclature et Abréviation

Abréviation

Description

ACV	Analyse du cycle de vie
CED	la demande énergétique cumulative
COV	Composés organiques volatils
EICV	Evaluation des impacts du cycle de vie
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe intergouvernemental pour le changement climatique
Gigawatt (GW)	Unité de mesure représentant 1 milliard de watts de puissance
Gigawattheure (GWh)	Unité de mesure représentant 1 milliard de wattheures d'électricité
Kilowatt (kW)	Unité de mesure représentant 1 000 watts de puissance
Kilowattheure (kWh)	Unité de mesure représentant 1 000 wattheures d'électricité
n	nombre de jours écoulés depuis le 1 ^{er} Janvier
N	nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps.
NREL	Laboratoire national des énergies renouvelables
PCA	Principaux contaminants atmosphériques
HTF	Huile synthétique
ICV	Inventaire du cycle de vie
INE	Institut national de la statistique
ISO	Organisation internationale de normalisation
SAM	System Advistor Model
TES	Sels fondus

Nomenclature :

θ : Angle d'incidence [degrés]

ω : Angle horaire du soleil [degrés]

δ : La déclinaison du soleil..... [degrés]

$CO2_{\text{évitée}}$: Emissions de CO2 pour 2 technologies de production d'électricité..... [tonne]

$CO2_{\text{consommée}}$: Le CO2 consommée par les 2 technologies pendant les deux phases (la construction et l'utilisation)..... [tonne]

$CO2_{\text{produite,CSP}}$: Le CO2 produite par les deux filières par an [tonne]

DNI : l'éclairement normal direct [kWh/m²]

$E_{\text{consommée}}$: Consommation d'énergie de la centrale [MWh]

E_{produite} : Energie annuel de la centrale [MWh]

f_{Charbone} : Facteur de charge de la centrale à charbon..... [%]

f_{CSP} : Facteur de charge de la centrale thermique à concentration [%]

h : Hauteur angulaire du soleil [degrés]

R_d : Rayonnement direct [W/m²]

TRE : Temps de retour énergétique [année]

TSV : temps solaire vrai exprimé en heure [heure]

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE :

Figure 1 : Produit intérieur brut (PIB) mondial et prospectif, 1980-2015 (évaluation annuelle en pourcentage)	1
Figure 2 : Consommation mondiale d'énergie, 1980-2008 (évaluation annuelle en pourcentage).....	2
Figure 3 : Consommation mondiale de carburant et matières premières pour l'électricité, 1980-2008 (PJ)	3

CHAPITRE 1 : Généralités

Figure 1.1 : Vue du soleil	6
Figure 1.2 : Coupe du soleil	7
Figure 1.3 : Variation saisonnière du rayonnement solaire.....	8
Figure 1.4 : Repérage d'un astre sur la voûte céleste entourant le lieu d'observation (au centre)	10
Figure 1.5 : Capteur parabolique avec moteur Stirling	10
Figure 1.6 : Schéma d'une centrale à tour.....	12
Figure 1.7 : Schéma d'une centrale cylindro-parabolique	12
Figure 1.8 : Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel.....	14
Figure 1.9 : Centrale de Fresdemo à Tabernas (Espagne)	14

CHAPITRE 2 : Méthodologie de l'analyse du cycle de vie

Figure 2.1 : Le cycle de vie d'un produit.....	17
Figure 2.2 : Les phases de l'analyse de cycle de vie	17

LISTE DES FIGURES

Figure 2.3 : Exemple de processus élémentaire	19
Figure 2.4 : Cycle de vie d'une centrale thermique solaire	19
Figure 2.5 : Procédure de calcul de l'inventaire (tiré de ISO 14 044, 2006)	21
Figure 2.6 : Éléments de la phase d'ÉICV (Tiré de ISO 14 040, 2006)	23
Figure 2.7 : Relation entre la phase d'interprétation et les autres phases	24

CHAPITRE 3 : Application aux centrales héliothermiques de puissance

Figure 3.1 : Configuration typique d'une centrale à collecteurs cylindro-paraboliques	26
Figure 3.2 : L'énergie annuelle que produit la centrale cylindro-parabolique dans chaque site	33
Figure 3.3 : Irradiation annuelle directe DNI(W/m ²)	33
Figure 3.4 : Les composants d'une centrale solaire à tour	37
Figure 3.5 : Exemple d'une configuration du champ d'héliostats	38
Figure 3.6 : Résultats de la configuration du champ d'héliostats	39
Figure 3.7 : L'énergie annuelle que produit à la centrale à tour dans chaque site	45
Figure 3.8 : Irradiation annuelle directe DNI(W/m ²)	45

CHAPITRE 4 : Analyse et comparaison des deux filières

Figure 4.1 : L'énergie annuelle que produit la centrale cylindro-parabolique dans le site de Tamanrasset.....	50
Figure 4.2 : L'énergie annuelle que produit la centrale cylindro-parabolique dans le site de Bechar.....	51
Figure 4.3 : L'énergie annuelle que produit la centrale cylindro-parabolique dans le site d' Illizi	51
Figure (4.5) : Le CO ₂ consommée par la centrale à cylindro-parabolique pour les trois sites	53

LISTE DES FIGURES

Figure (4.6) : Le CO2 évitée par la centrale à cylindro-parabolique pour les trois sites	53
Figure 4.7 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Tour dans le site de Tamanrasset	54
Figure 4.8 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Tour dans le site de Bechar.....	55
Figure 4.9 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Tour dans le site d' Illizi	55
Figure 4.10 : Le CO2 consommé par la centrale à Tour pour les trois sites.....	57
Figure 4.11 : Le CO2 évitée par la centrale à Tour pour les trois sites.....	57
Figure 4.12 : Le CO2 consommée par les deux technologies par an	58
Figure 4.13 : Le CO2 évitée par les deux technologies par an.....	59

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1 : Généralités

Tableau 1.1 : Caractéristiques principales du soleil.....	7
--	---

CHAPITRE 3 : Application aux centrales héliothermiques de puissance

Tableau 3.1.1 : Caractéristique de la centrale à cylindro-Parabolique.....	24
Tableau 3.1.2 : Composants de collecteurs.....	24
Tableau 3.1.3 : Poids en masses de l'échangeur de chaleur	25
Tableau 3.1.4 : poids en masses du réservoir de sel fondu	25
Tableau 3.1.5 : poids en masses de la turbine à vapeur	25
Tableau 3.1.6 : poids en masses du générateur électrique	26
Tableau 3.1.7 : Poids en masses de la tour de refroidissement.....	26
Tableau 3.1.8 : Composants du transformateur	26
Tableau 3.1.9 : poids en masses des sels fondus.....	27
Tableau 3.1.10 : poids en masses de l'huile synthétique.....	27
Tableau 3.1.11 : Consommation d'énergie de la centrale par an	27
Tableau 3.1.12 : Fin de vie dans les matériaux	28
Tableau 3.1.13 : les données qui entrée sur SAM.....	28
Tableau 3.1.14 : L'énergie annuelle produite par la centrale à cylindro-parabolique	29
Tableau 3.1.15 : Temps de retour énergétique de la centrale cylindro-parabolique.....	29
Tableau 3.1.16 : quantité de CO2 consommée par la centrale cylindro-Parabolique.....	31
Tableau 3.1.17 : quantité de CO2 évitée par la centrale de cylindro-parabolique.....	32
Tableau 3.2.1 : Les caractéristiques de la centrale à Tour	36
Tableau 3.2.2 : composants héliostat	37
Tableau 3.2.3 : poids en masses de l'échangeur de chaleur.....	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.2.4 : poids en masses du réservoir de sel fondu	37
Tableau 3.2.5 : poids en masses de la turbine à vapeur	38
Tableau 3.2.6 : poids en masses du générateur électriques.....	38
Tableau 3.2.7 : poids en masses de la tour de refroidissement.....	38
Tableau 3.2.8 : poids en masses de « centrale à tour »	38
Tableau 3.2.9 : composants du transformateur	39
Tableau 3.2.10 : poids en masses des sels fondus.....	39
Tableau 3.2.11 : Consommation d'énergie de la centrale par an	39
Tableau 3.2.12 : Fin de vie dans les matériaux.....	40
Tableau 3.2.13 : les données qui entrée sur SAM.....	40
Tableau 3.2.14 : L'énergie annuelle produite par la centrale à tour	41
Tableau 3.2.15 : Temps de retour énergétique par la centrale à tour.....	41
Tableau 3.2.16 : le CO2 consommée par la centrale à tour	43
Tableau 3.2.17 : Emission de CO2 par la centrale à tour pour les trois sites	44

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abréviation et nomenclature

Listes des figures et tableaux

Introduction générale..... 1

CHAPITRE 1 : Généralités

Introduction 5

1.1 Estimation de l'éclairement solaire 5

1.2 Astronomie solaire..... 5

1.2.1 Le soleil 5

1.2.2 Les coordonnées horaires 8

1.2.3 Les coordonnées azimutales 9

1.3 Technologies solaires à concentration 10

1.3.1 Technologie parabolique 10

1.3.2 Technologie à tour (héliostat) 11

1.3.3 Technologie à capteur cylindro-parabolique..... 12

1.3.4 Les centrales à capteur linéaires à miroirs de Fresnel 13

1.4 L'état de l'art..... 15

Conclusion..... 15

CHAPITRE 2 : Méthodologie de l'analyse du cycle de vie

Introduction 16

2.1 Objectifs et champ de l'étude 18

2.2 Inventaires de l'ACV 19

2.2.1 Collecte de données..... 20

2.2.2 Calcul des données 20

Sommaire

2.2.3 Affectation des flux et des rejets	20
2.3 Impact de l'ACV	21
2.4 Interprétation de l'ACV	23
Conclusion.....	24

CHAPITRE 3 : Application aux centrales héliothermique de puissance

Introduction	25
3.1 Application à la centrale cylindro-parabolique	25
3.1.1 Objectif.....	25
3.1.2 Description de la centrale	25
3.1.3 Analyse du cycle de vie.....	27
3.1.4 Evaluation de l'éco-bilan	31
3.1.5 Interprétation des résultats	35
3.2 Application à la centrale à tour	36
3.2.1 Objectif.....	36
3.2.2 Description de la centrale	37
3.2.3 Analyse du cycle de vie.....	40
3.2.4 Evaluation de l'éco-bilan	43
3.2.5 Interprétation des résultats	47
Conclusion.....	49

CHAPITRE 4 : Analyse et comparaison des deux filières

Introduction	50
4.1 Etude et comparative des deux filières.....	50
4.1.1 Centrale cylindro-parabolique.....	50
4.1.2 Centrale à tour	54
4.2 Critères de choix à travers l'analyse du cycle de vie	59

Sommaire

Conclusion.....	60
CONCLUSION GENERALE	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIE	62
Annexe A : Simulation sur logiciel SAM	64
Annexe B : Les détaillés des calculs	65
Schéma de principe de mémoire	69

Introduction générale :

De nos jours, au début du 21^{ème}, la consommation d'énergies renouvelables représente une partie minoritaire de la consommation mondiale totale d'énergie. Heureusement, cette situation évolue. En raison du changement climatique, provoqué par les gaz de serre (GES) et d'autres émissions nocives, de nombreux pays développent des énergies vertes pour réduire la dépendance à l'égard des combustibles fossiles. Les attentes sont que les énergies renouvelables joueront un rôle majeur à la fin de ce siècle [1]. Ainsi, il convient d'examiner comment le problème de l'énergie est traité et quelles sont les technologies existantes.

L'Humanité consomme chaque jour une énorme quantité d'énergie (environ 50 TWh / jour). La majeure partie provient des combustibles fossiles. Cela signifie que les émissions de gaz nocifs (non seulement les GES) sont d'une importance alarmante et, par conséquent, nous devons changer la façon dont nous obtenons l'énergie, tout en réduisant la dépendance des ressources fossiles des autres pays. La situation énergétique actuelle n'est pas durable car les réserves de combustibles fossiles diminuent et ne pourront pas satisfaire la demande croissante associée au développement économique et à l'augmentation de la population. En 2005, la consommation mondiale de pétrole était égale à 85 millions de barils par jour [2].

La plus grande partie de la croissance de la consommation d'énergie est associée aux économies en transition qui continueront à exiger plus d'énergie électrique que les pays développés. L'estimation du Département de l'Énergie des États-Unis (US-DOE) d'ici 2025 est que le carburant le plus utile continuera d'être du charbon, mais d'autre part, les énergies renouvelables vont dépasser la production de gaz.

Sur la base de l'information de World Economic Outlook 2010 (WEO) du Fonds monétaire international (FMI), l'économie mondiale de 2009 a diminué de -0,6% (figure 1.1). En raison de la crise économique internationale de cette année, les économies développées ont connu une récession mondiale de -3,2%.

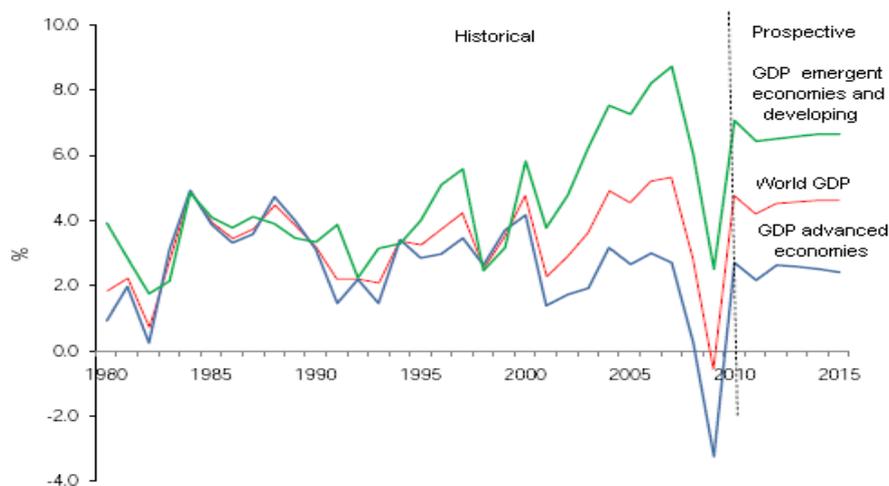


Figure 1 : Produit intérieur brut (PIB) mondial et prospectif, 1980-2015 (évaluation annuelle en pourcentage) [2]

Selon les estimations du FMI pour la période 2010-2015, la croissance moyenne pourrait être de 4,6% pour l'économie mondiale, de 2,5% pour les économies développées et de 6,7% pour les économies émergentes. Ainsi, dans de nombreux pays où la consommation d'énergie est une relation avec l'économie (comme on peut le voir au cours des années précédentes avec une crise économique, figure 2), l'énergie prévue augmentera à nouveau [3].

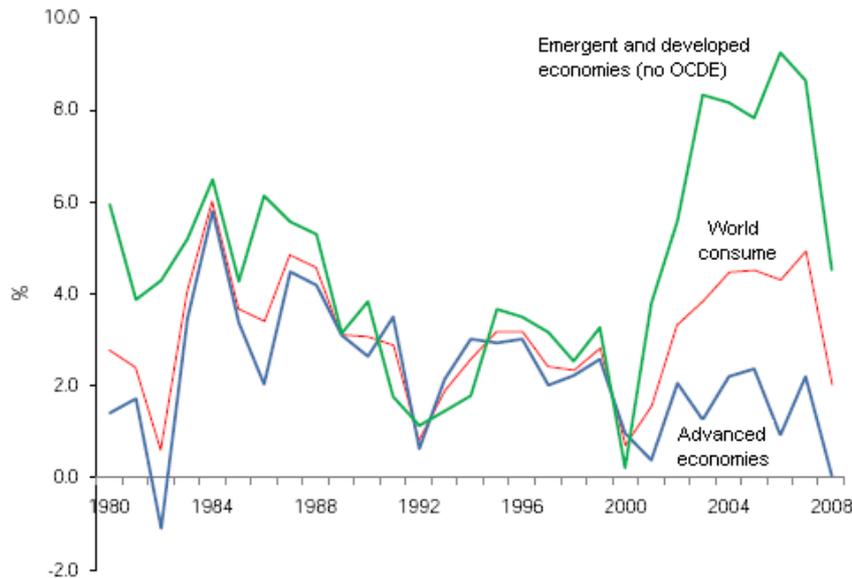


Figure 2 : Consommation mondiale d'énergie, 1980-2008 (évaluation annuelle en pourcentage) [3]

La population du monde continuera de croître et on s'attend à ce qu'elle se stabilise autour de 9 milliards (aujourd'hui environ 6,9 milliards). Si l'on s'attendait à ce que tous les 9 milliards de personnes consomment la même quantité d'énergie par habitant que les pays industrialisés aujourd'hui, nous aurions besoin d'un facteur 20 fois plus élevé que nous le faisons maintenant. Désormais, il est nécessaire de définir une cible utile car il faut longtemps pour exploiter la rentabilité des nouvelles technologies et pour changer les habitudes à l'échelle mondiale. Au cours de cette période, l'efficacité énergétique croissante affectera nos besoins. Les pays en développement auront besoin d'un dévouement plus profond pour rattraper les besoins énergétiques ; et regrettement, certains d'entre eux ne le feront jamais. D'autre part, les pays développés réduiront leurs habitudes d'énergie inutiles [4].

Mais, il n'y a aucun doute sur le fait que nous aurons besoin de beaucoup plus d'énergie que maintenant. Si de mauvaises parties du monde atteignent à peu près la moyenne, un facteur de 2 - 3 énergies supplémentaires sera nécessaire. En outre, des besoins énergétiques supplémentaires sont susceptibles d'apparaître, par exemple, pour répondre aux besoins futurs en eau, par exemple, le dessalement. Par conséquent, nous aurons besoin d'un système énergétique fort. En passant, cela ne peut pas résulter de l'huile car les puits de pétrole se tarissent lentement. Il devrait également être considéré comme l'augmentation du prix du pétrole qui a endommagé les économies et les pays en développement. Ce n'est que la prédiction des temps difficiles à venir, tant sur le plan économique que sur le plan politique. Il ne proviendra pas non plus de l'énergie de fission, car l'uranium est également une ressource

limitée. En outre, la technologie de fusion ne sera pas développée au moins dans 40 ans à partir de maintenant [4].

La manière renouvelable de l'énergie, dans tous ses modes, ne se fait pas seulement par une nécessité éthique, mais par une nécessité stratégique, dont l'importance sera évidente dans les 20 prochaines années. Les énergies renouvelables sont des acteurs clés concernant la sécurité mondiale de l'approvisionnement en énergie et la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles et des émissions nocives pour l'environnement (figure 3). Des développements considérables ont été réalisés sur les énergies renouvelables, en particulier en Europe occidentale.

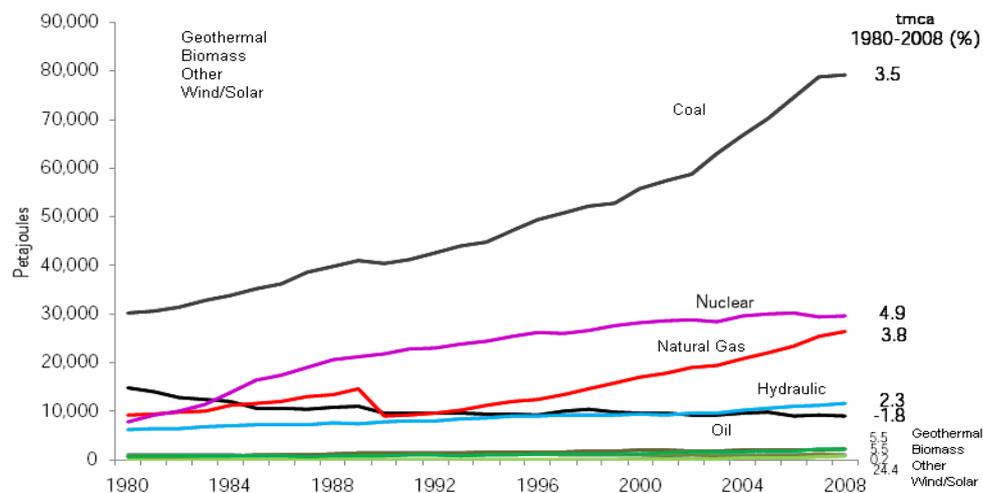


Figure 3 : Consommation mondiale de carburant et matières premières pour l'électricité, 1980-2008 (PJ) [4]

1. L'objectif de travail :

L'objectif principal de ce projet actuel est de comparer deux technologies solaires à concentration: les centrales à cylindro-parabolique et les centrales à tour afin de voir qui est plus rentable et plus approprié en fonction de l'emplacement, de la puissance et d'autres aspects de la centrale à travers la méthode de l'analyse de cycle de vie.

Pour ce faire, on effectue une évaluation du cycle de vie (ACV) des centrales, en utilisant les mêmes paramètres (emplacement, rayonnement solaire, unité fonctionnelle, ...), afin de pouvoir effectuer une comparaison optimale. Le résultat de l'étude permet le choix de la technologie la mieux adaptée quand la question environnementale est prise en charge.

Les tâches spécifiques qui ont été réalisées dans ce travail étaient :

- Description des aspects les plus importants de la relation solaire avec l'énergie solaire,
- Brève description de la méthodologie d'une évaluation du cycle de vie,
- Description sur les centrales solaires à concentration ,
- Comparaison entre les deux technologies à concentration par l'approche ACV,

- Évaluation du cycle de vie de chaque centrale électrique dans l'étude : CSP cylindro-parabolique et CSP à tour,
- Comparaison entre les ACV des centrales électriques afin de voir qui est plus rentable sur le plan environnemental.

2. Présentation de travail :

Le travail est divisé en quatre chapitres suivant :

- **Premier chapitre** : comporte une étude sur les généralités sur l'énergie solaire avec les technologies solaires à concentration.
- **Deuxième chapitre** : comprend une étude sur la méthode de l'analyse de cycle de vie (Methodologie).
- **Troisième chapitre** : comporte une étude sur la modélisation théorique des deux filières à concentration sur logiciel **SAM**
- **Et le dernier chapitre** : la discussion et l'interprétation des résultats obtenues.

Généralités :

Introduction :

On appelle gisement solaire l'ensemble des caractéristiques de la ressource locale en énergie solaire, c'est-à-dire ces fluctuations temporelles. Un gisement de pétrole représente une quantité de combustible prouvée ou estimée que l'on pourrait extraire selon certains coûts. La cadence d'extraction dépendra des besoins et des conditions socio-économiques : c'est un gisement passif, un stock dont la décroissance est dans les mains de l'homme. Le gisement solaire est lui-même fluctuant et instantané, il est renouvelable, mais ce qui n'a pas été utilisé ne le sera plus. Pour dimensionner un système énergétique solaire il faut, pour la région intéressée, définir le profil des fluctuations du rayonnement solaire, en intensité et en quantité, à partir d'une étude statistique sur plusieurs années. Le volume des données solaires instantanées peut être ensuite réduit afin de rendre la simulation du fonctionnement du système compatible avec les moyens informatiques [5].

1.1 Estimation de l'éclairement solaire :

La ressource utilisée par les systèmes solaires à concentration est le rayonnement solaire direct (DNI), le terme normal signifie que le rayonnement direct incident est perpendiculaire à la surface. Il représente entre 50% et 90% de la totalité du rayonnement solaire. Ce qui conduit à deux conséquences [6] :

- La nature de l'intermittence (fréquence, amplitude) est différente de celle observée dans le cas de l'ensoleillement global. On peut s'attendre à une plus forte amplitude, les coupures de flux liées aux passages nuageux sont plus brutales.
- La distribution de la ressource (cartographie du DNI) introduit des différences remarquables par rapport à l'utilisation du Photovoltaïque ou solaire thermique. Le rayonnement direct normal est mesuré par un pyréliomètre ou calculé par des modèles numériques. La relation qui permet de calculer le rayonnement direct est comme suit :

$$R_D = DNI \cdot \cos(\theta) \quad (1.1)$$

Où :

R_D : rayonnement direct (W/m²)

θ : Angle d'incidence

1.2 Astronomie solaire :

1.2.1 Le soleil :

Il est normal de s'intéresser d'abord au soleil dont nous dépendons si nous voulons mieux connaître les processus de conversion de l'énergie solaire. Le soleil (figure 1.1) est

une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chaud qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [7].

Comme vu de la terre, le soleil tourne autour de son axe une fois toutes les quatre semaines, cependant il ne tourne pas comme un corps solide; une rotation est faite en 27 jours à l'équateur et en 30 jours aux régions polaires [8].

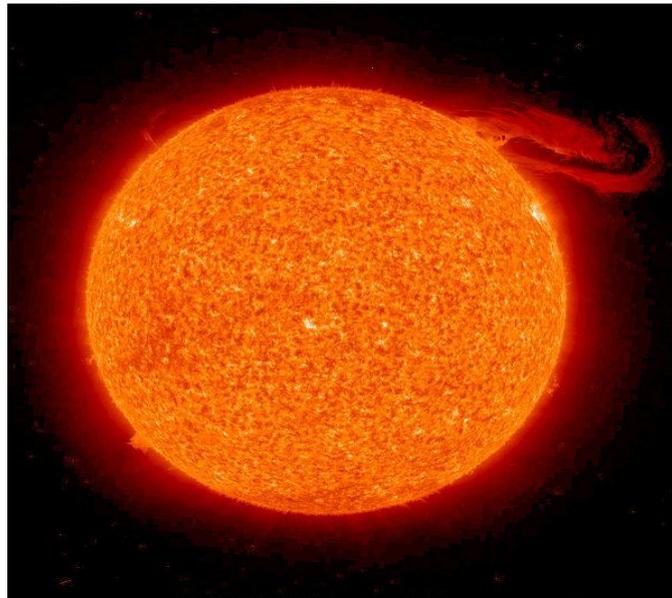


Figure 1.1 : vue du soleil [9].

Le soleil est considéré comme un corps noir avec une température effective de 5777K. La température des régions intérieures centrales est de l'ordre de 8106 à 40106 K et la densité est estimée à 100 fois celle de l'eau. Le soleil est en effet, un réacteur de fusion qui fournit continuellement l'énergie par rayonnement. Il utilise l'hydrogène comme combustible. Dans la réaction thermonucléaire, l'hydrogène fusionne en hélium. Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium. Cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons de l'hydrogène et ceux de l'hélium donnant une énergie libérée sous forme de rayonnement (Effet de masse) estimée à $3,8 \cdot 10^{20}$ MW. Les principales caractéristiques du soleil sont regroupées dans le Tableau 1 [8].

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	$2 \cdot 10^{30}$
Surface (km^2)	$6,09 \cdot 10^{12}$
Volume (km^3)	$1,41 \cdot 10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m^3)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2,5 \cdot 10^{17}$
Gravitation à la surface	$273,95 \text{ m/s}^2$
Température au noyau	15106 K
Température à la surface	5770 K

Tableau 1.1 : Caractéristiques principales du soleil [7].

Les processus radiatif et convectif (figure 1.2) sont le résultat des états successifs d'émission, d'absorption et de radiation. La gamme de spectre de rayonnement dans le noyau du soleil est comprise entre la longueur d'onde des rayons X et celle des rayons gamma, avec une longueur d'onde de radiation qui augmente suivant la diminution de la température à grandes distances [8].

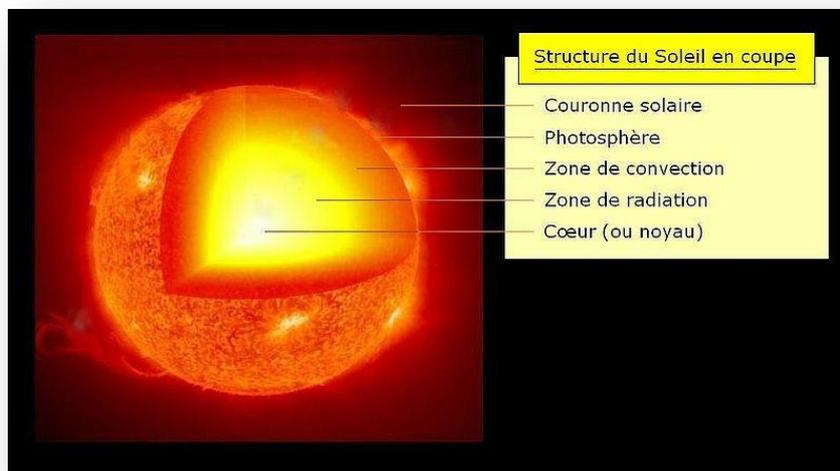


Figure 1.2 : Coupe du soleil [9].

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 juin) qu'elle en est la plus éloignée.

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique [8].

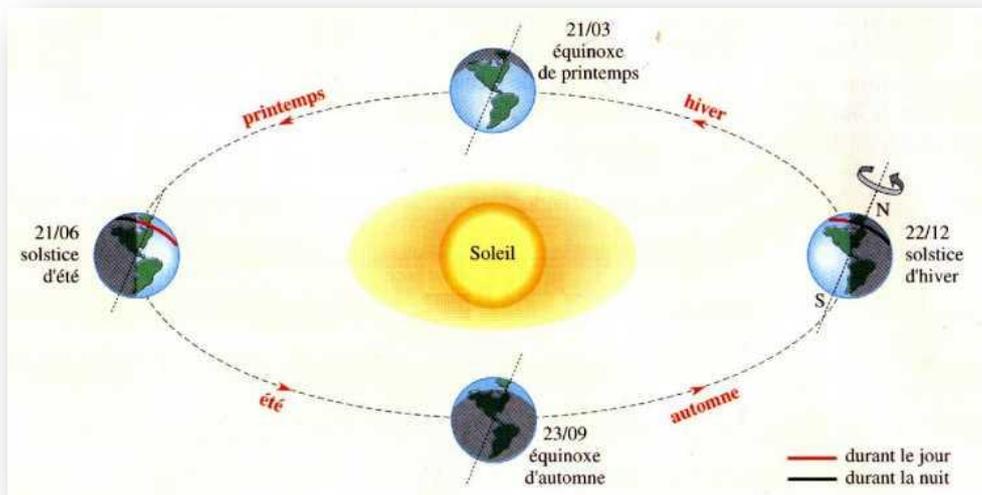


Figure 1.3 : Variation saisonnière du rayonnement solaire [10].

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents [11].

Les coordonnées d'une astronomie :

Si l'on considère que le ciel est comme une voûte sphérique entourant le lieu d'observation, repérer un astre consiste à déterminer deux angles pour le positionner à la surface d'une sphère.

- Dans le système des coordonnées horizontales, l'astre est repéré par sa hauteur h au-dessus de l'horizon (angle entre la direction de l'astre et le plan horizontal) et par son azimut A (angle entre la direction du méridien – le Sud, dans l'hémisphère Nord – et la direction de l'astre dans le plan horizontal).
- Dans le système des coordonnées horaires, l'astre est repéré par sa déclinaison δ au-dessus de l'équateur céleste (angle entre la direction de l'astre et le plan équatorial) et par son angle horaire H , qui est la durée qui sépare son passage au méridien de sa position actuelle [12].

1.2.2 Les coordonnées horaires:

- **La déclinaison δ :**

δ est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons.

Equinoxe de printemps :	21 Mars	$d = 0$
Solstice d'été :	22 Juin	$\delta = + 23^{\circ} 27'$
Equinoxe d'automne :	23 Septembre	$\delta = 0$
Solstice d'hiver :	22 Décembre	$\delta = - 23^{\circ} 27'$
Approche maximale :	Périhélie	2 Janvier
Approche minimale :	Aphélie	2 Juillet

Entre ces 4 points remarquables, d prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par la relation :

$$\sin \delta = 0.4 \sin t$$

Où $t = N * \frac{360}{365}$ avec N , nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps.

Ou par la relation :

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284+n}{365}\right) \quad (2.1)$$

Avec n , nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} Janvier.

La déclinaison étant une fonction sinusoïdale, elle varie rapidement au voisinage des équinoxes (0.4° / jour) alors qu'elle est pratiquement stationnaire durant les périodes qui encadrent les solstices d'été et d'hiver [12].

- **Angle horaire H :**

C'est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui passant par la direction du soleil. Cet angle augmente de quinze degrés (15°) par heure, la valeur zéro degré (0°) est atteinte au passage du soleil à la verticale (zénith) du plan méridien (midi solaire vrai = 12 h TSV (TSV: Le temps solaire vrai) [13].

L'angle horaire est compté négativement avant midi TSV et positivement à l'après-midi. La relation directe entre TSV et l'angle horaire (ω) du soleil est donnée par :

$$\omega = 15^{\circ} (TSV - 12) \quad (3.1)$$

Si $\omega = 0$, $TSV = 12h.00$

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

1.2.3 Les coordonnées azimutales :

- **Hauteur angulaire du soleil (h) :**

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0 (soleil à l'horizon) à 90° (soleil au zénith) [14].

- **Azimut :** C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [14].

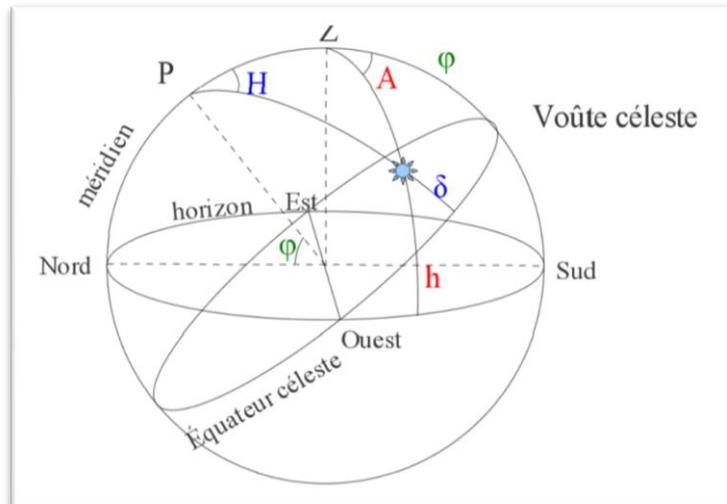


Figure 1.4 : Repérage d'un astre sur la voûte céleste entourant le lieu d'observation (au centre) [15].

1.3 Technologies solaire à concentration :

1.3.1 Technologie parabolique :

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C.

De toutes les technologies solaires, les capteurs paraboliques ont démontré les meilleurs rendements solaire-électricité (29.4%) [16].

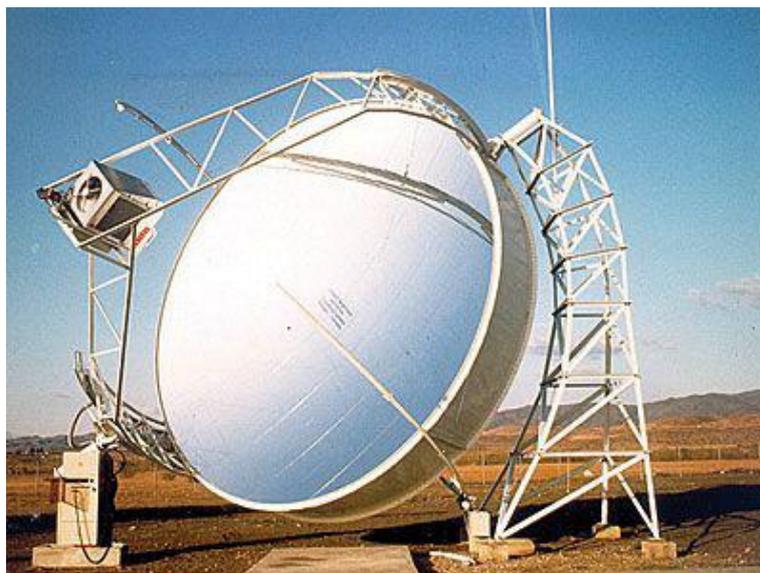


Figure 1.5 : Capteur parabolique avec moteur Stirling [16].

Un de leurs principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Ils possèdent donc également un important potentiel de développement, particulièrement dans des régions peu peuplées de certains pays du sud.

Le récepteur absorbe l'énergie réfléchiée par le concentrateur et la transfère au fluide de travail du cycle de puissance. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température supérieure à 1000°C.

Les fluides caloporteurs les plus utilisés sont la vapeur d'eau, l'air et les sels fondus. Les sels fondus ont l'avantage d'être également un moyen de stockage de l'énergie calorifique.

Le système chargé de transformer la chaleur est monté directement sur le capteur parabolique, à proximité de son foyer. La température de la source chaude peut être adaptée en plaçant le récepteur plus ou moins loin du foyer du collecteur.

Son principal avantage est sa modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique.

Deux types de cycles peuvent être utilisés en aval du récepteur :

- le cycle de Stirling ou le cycle de Brayton.
- Le cycle Stirling est utilisé dans les « Dish Stirling ».

C'est le capteur le plus courant des capteurs paraboliques. Le Dish Stirling suit le soleil et concentre le rayonnement sur un point (foyer) où est placé l'absorbeur de chaleur d'un moteur Stirling. La production d'électricité a lieu directement par le moteur Stirling (relié à une génératrice électrique). C'est l'hélium (ou l'hydrogène) qui sont principalement utilisés comme fluide caloporteur. Ce gaz est la source chaude du moteur de Stirling. La source froide peut être soit un refroidisseur à eau, soit l'air ambiant.

Les Dish Stirling sont des unités entièrement autonomes et automatiques (mini centrale) utilisées pour la production décentralisée d'électricité de 10 à 25 kW.

C'est en associant plusieurs Dish Stirling que l'on constitue une centrale de haute puissance [17].

1.3.2 Technologie à tour (héliostat) :

Ce type de centrales est constitué de nombreux miroirs plats (plus de 100m²) concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour (80 à 100m de haut). La tour solaire offre l'avantage de ne pas avoir à faire circuler de fluide dans l'ensemble du champ de miroirs (la surface exposée est limitée), les pertes thermiques sont donc significativement réduites.

Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat traque le soleil individuellement (motorisation sur 2 axes) et réfléchit le rayonnement solaire sur la chaudière

(récepteur). Le facteur de concentration varie de 600 à plusieurs milliers, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 800 °C à 1000°C

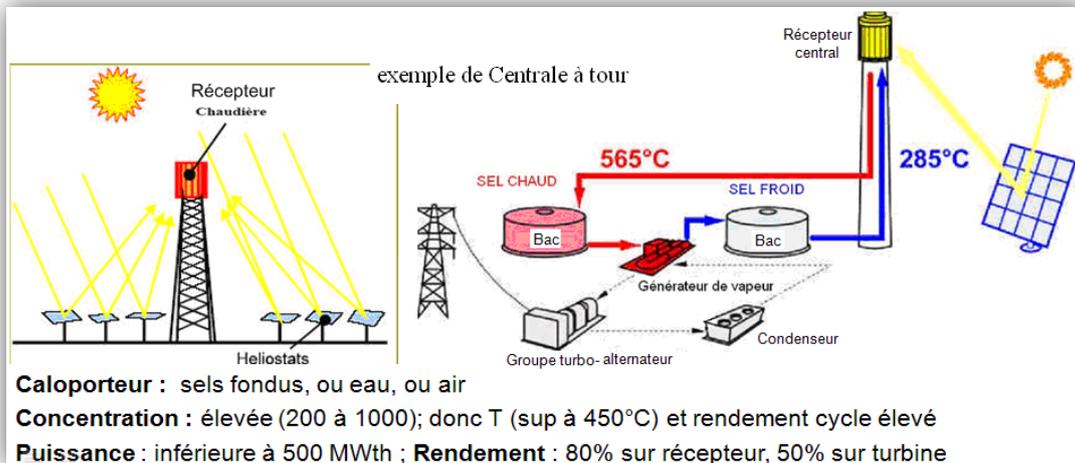


Figure 1.6 : Schéma d'une centrale à tour [18]

Les hautes températures atteintes dans les tours solaires peuvent être utilisées pour alimenter non seulement un cycle de Rankine, mais aussi une turbine à gaz et un cycle combiné. Ce système de centrale permet un rendement récepteur (énergétique solaire/chaueur) de 80%, un rendement turbine de 50% et un rendement annuel solaire-électrique de 25% [18].

1.3.3 Technologie à capteur cylindro-parabolique :

L'installation typique est constituée de trois éléments principaux : le champ solaire, le système de transfert de la chaleur (génération de vapeur) et le système de génération électrique :

Le champ solaire est la partie réceptrice de l'installation : la radiation solaire est transformée en énergie thermique. Le champ solaire est l'ensemble des capteurs solaires connectés en série pour former de longues files qui à leur tour sont connectées en parallèle. Le facteur de concentration pour un capteur cylindro-parabolique est de l'ordre de 80.

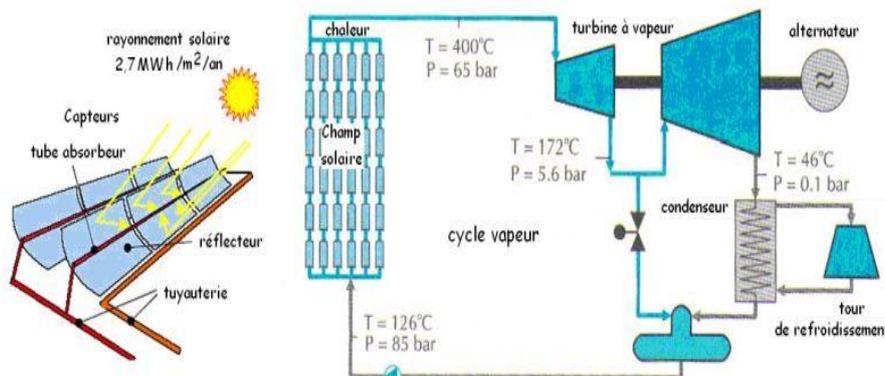


Figure 1.7 : Schéma d'une centrale cylindro-parabolique [17]

Les collecteurs (capteurs) cylindro-paraboliques sont de longs miroirs (composés de verre pauvre en fer recouvert d'une pellicule d'argent en sa partie inférieure et d'un enduit spécial de protection) cylindriques qui concentrent les rayons sur une ligne (tube absorbant) et qui permet d'élever sa température jusqu'à 500°C.

La taille du champ solaire (ou champ de miroirs) dépend de la puissance désirée et de la température du fluide caloporteur en sortie. Les collecteurs sont alignés dans la direction nord-sud, et disposent d'un système mono axial de suivi du soleil (tracker) dans la direction est-ouest.

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur.

L'énergie thermique reçue au collecteur est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide (huile synthétique par exemple) qui circule à l'intérieur du tuyau (tube), est chauffé à une température supérieure à 400°C. Ce fluide est ensuite pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire de la vapeur d'eau à hautes températures et pressions. La vapeur produite est ensuite intégrée dans un cycle thermodynamique générant de l'énergie électrique au moyen d'un (ou de plusieurs) alternateur couplé à une (ou à plusieurs) turbine à vapeur [17].

1.3.4 Les centrales à capteur linéaires à miroirs de Fresnel :

Historique :

Inventé par le physicien français Augustin Fresnel, la lentille de Fresnel a été conçue pour équiper le système optique des phares de signalisation marine. Le système est aujourd'hui repris à grande échelle pour concentrer le rayonnement solaire sur un tube horizontal [19].

Principe de fonctionnement :

Le principe d'un concentrateur de Fresnel réside dans ses miroirs plans (plats) dits "réflecteurs compacts linéaires". Chacun de ces miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube absorbeur. Un fluide caloporteur est chauffé jusqu'à 500°C en circulant dans ce tube horizontal. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité [19].

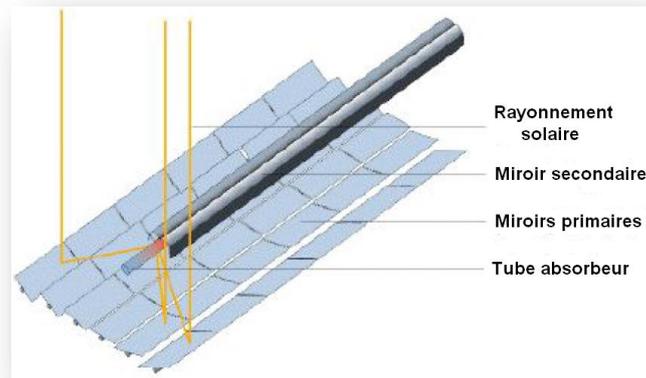


Figure 1.8 : Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel [19]

Centrale en marche :

Située dans la seule zone désertique d'Europe occidentale, le site de recherche et développement Plataforma Solar de Almería, à Tabernas, en Andalousie, accueille l'espace de recherche allemand Fresdemo [19].

Les avantages :

Les principaux avantages de cette technologie par rapport aux concentrateurs traditionnels Sont :

- Faible coût des miroirs
- Pas de vide à l'intérieur du tube récepteur, ce qui facilite sa conception et sa durabilité.
- Les contraintes mécaniques dus à la poussée du vent sont réduites par la disposition plane des miroirs.



Figure 1.9 : Centrale de Fresdemo à Tabernas (Espagne) [17]

Les inconvénients :

- Performances optiques inférieures d'environ 30% par rapport aux réflecteurs paraboliques et cylindro paraboliques [19].

1.4 L'état de l'art :

2005 : M. PEHNT [20] a étudié une approche dynamique de l'ACV des technologies énergies renouvelables et a montré que les émissions de gaz à effet de serre par ces systèmes sont extrêmement faibles par rapport aux systèmes conventionnels.

2006 : HELIOTROP [21] a réalisé une analyse de cycle de vie d'une centrale photovoltaïque à haute concentration (HCPV) de 2 MW. Le bilan carbone obtenu est de 12,5 g CO₂ eq/kWh et la centrale produit en 6 mois l'énergie totale utilisée pour sa fabrication (temps de retour énergétique).

2008 : J. CHRISTOPHER et al [22] ont étudié les impacts environnementaux de la production de 1MW d'électricité dans une centrale solaire. Le travail a pris en considération l'entrée et la sortie dans tous les stades du cycle de vie, depuis l'excavation des matières premières jusqu'au stade de fin de vie. L'utilisation des matériaux, la consommation d'énergie et les émissions produites ont été étudiées. La durée de construction est de 3 ans tandis que la durée de vie de la centrale solaire est de 30 ans.

2012 : F. ASDRUBALI et G. BALDINELLI [4] ont étudié et comparés entre deux technologies solaires différents : l'énergie photovoltaïque (PV) et l'énergie solaire concentrée (CSP), afin de voir qui est plus rentable et plus approprié en fonction de l'emplacement, la puissance et d'autres facteurs de la centrale.

En 2013 : B. CORONA et G. SAN MIGUEL [23] ont analysé la performance environnementale associée à la production d'électricité dans une centrale CSP commerciale de 50 MWe basée sur la technologie parabolique et actuellement en exploitation à Ciudad Real (Espagne). L'installation intègre un système de stockage d'énergie thermique de 7,5 heures basé sur des sels fondus et une chaudière auxiliaire utilisant du gaz naturel qui fournit 12% de l'apport énergétique.

Conclusion :

Les centrales solaires thermodynamiques recouvrent l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée, puis à convertir cette chaleur en énergie électrique. Selon le mode de concentration du rayonnement solaire.

Introduction :

Ce chapitre est destiné à la présentation de la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie et à celle des diverses considérations devant être prises en compte lors de la réalisation d'une étude d'analyse de cycle de vie. Les outils les plus courants permettant de mettre en œuvre une Analyse de Cycle de Vie ainsi que les bases des données utilisées par les logiciels spécialisés dans le domaine sont également présentées.

Hypothèses de :**La principale question est :**

Comment modéliser les conséquences environnementales sur le long terme de changements majeurs survenant dans un ou plusieurs cycles de vie en suivant les approches conséquentielles et prospective de l'analyse de cycle de vie?

La réponse proposée dans ce travail correspond à l'hypothèse de recherche :

L'intégration du modèle économique d'équilibre général et d'éléments de prospective permettent de simuler les conséquences environnementales de changements majeurs survenant sur le long terme dans un ou plusieurs cycles de vie en suivant les approches conséquentielle et prospective de l'analyse de cycle de vie.

Définition de la méthode ACV :

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode définie dans les normes internationales ISO (14040: 2006 et 14044: 2006) qui vise à modéliser les impacts environnementaux potentiels d'un produit ou d'un service en se basant sur l'ensemble des ressources naturelles consommées et des substances émises dans l'environnement à chaque étape du cycle de vie du produit ou du service analysé. Est résumée ci-après la procédure suivie pour réaliser une ACV [24].

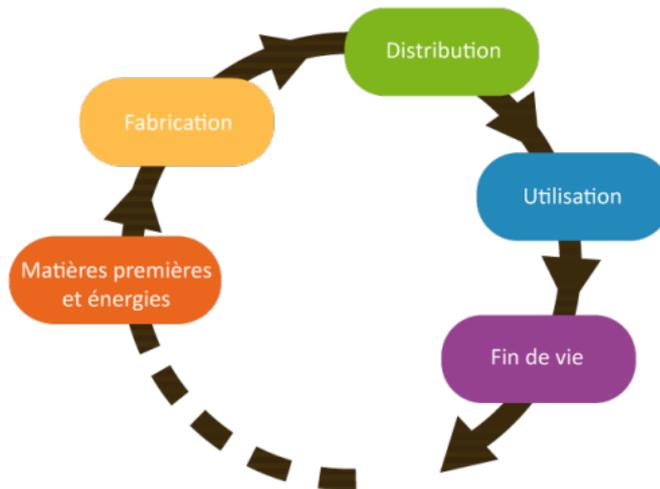
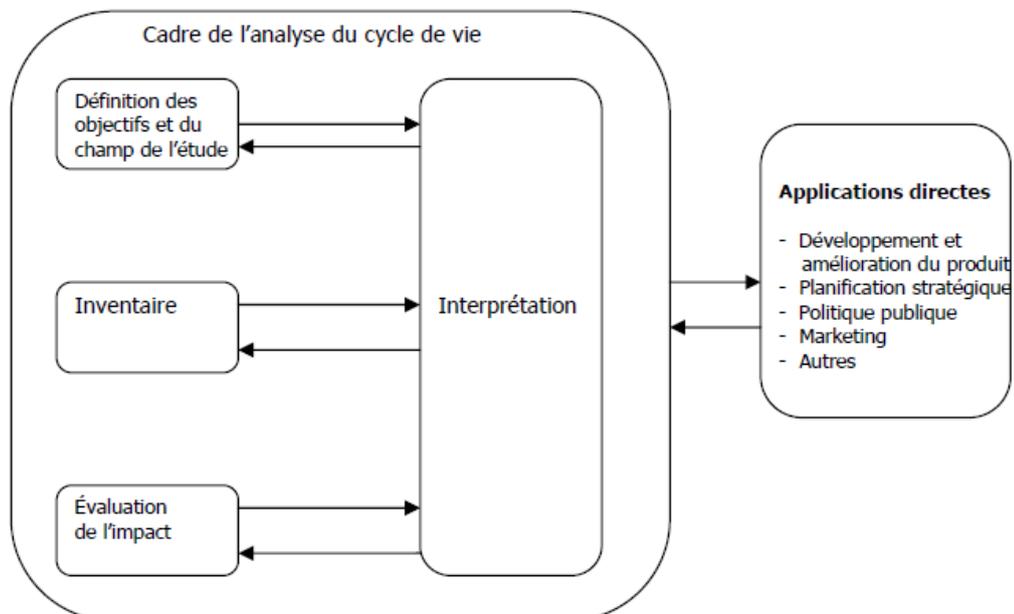


Figure 2.1 : Le cycle de vie d'un produit [25]

Une analyse de cycle de vie se compose de quatre étapes comme le montre la Figure (2.2), à savoir :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude,
2. Inventaire des ressources naturelles consommées et des substances émises au cours du cycle de vie,
3. Calcul des impacts potentiels sur l'environnement,
4. Interprétation des résultats.



Source : ISO 14040, 2006(F).

Figure 2.2 : Les phases de l'analyse de cycle de vie [25]

- **Définition des objectifs et du champ de l'étude :**

La première étape sert à déterminer quel est le produit à l'étude et les conditions dans lesquelles il est étudié. Sont définis à cette étape un certain nombre de paramètres qui permettent de constituer une base de comparaison pour plusieurs produits. Sont ainsi définis : la fonction du produit, l'unité fonctionnelle, les flux de références, les scénarios de comparaison et les frontières du système [24].

- **Analyse d'inventaire :**

Consiste à dresser la liste des ressources naturelles consommées et des substances émises dans l'environnement à chaque étape du cycle de vie du produit en fonction de l'unité fonctionnelle [24].

- **Evaluation des impacts :**

La troisième étape a pour objectif le calcul des impacts potentiels sur l'environnement du cycle de vie analysé. Pour ce faire, les données d'inventaire du produit sont agrégées suivant différentes catégories correspondant à différents problèmes environnementaux puis converties en impacts potentiels sur l'environnement à l'aide de facteurs de caractérisation préalablement déterminés à partir de modèles environnementaux reproduisant des chaînes de causes à effet reliant par exemple l'émission d'une substance dans l'environnement à un impact sur l'environnement. Le calcul des impacts potentiels sur l'environnement peut se faire à différents niveaux d'agrégation permettant de décrire les impacts environnementaux suivant une dizaine de catégories d'impacts (nombre variable dépendant de la méthode de calcul d'impact utilisée) ou bien 4 catégories de dommages : la santé humaine, les écosystèmes, les changements climatiques et les ressources naturelles [24].

- **Interprétation des résultats :**

La quatrième étape donne lieu à une évaluation des résultats dans le cadre des limites des calculs réalisés et des analyses de sensibilité et d'incertitude conduites [24].

2.1 Objectif et champ de l'étude :

Dans cette phase, l'objectif et la portée de l'étude sont formulés et spécifiés en fonction de l'application prévue.

L'unité fonctionnelle est définie, c'est-à-dire la fonction avec laquelle les effets environnementaux obtenus sont liés ; Il est fourni par l'objet analysé de l'ACV (dans ce projet, la sortie des centrales électriques).

Le but principal d'une unité fonctionnelle est de fournir une référence à laquelle les entrées et les sorties sont liées. Cette référence est nécessaire pour assurer la comparabilité des résultats d'ACV. La comparabilité des résultats d'ACV est particulièrement critique lorsque différents systèmes sont évalués, afin de s'assurer que de telles comparaisons sont faites sur une base commune.

La limite du système détermine les processus unitaires inclus dans l'ACV et doit refléter le but de l'étude [26].

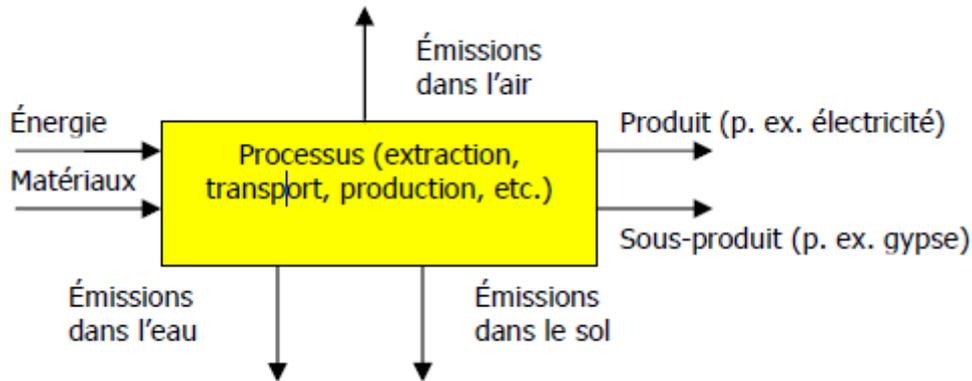


Figure 2.3 : Exemple de processus élémentaire [27]

Cet outil analytique décrit et évalue systématiquement tous les flux qui entrent dans les systèmes étudiés et tous les flux qui sortent des systèmes tout au long du cycle de vie (voir figure 2.3).

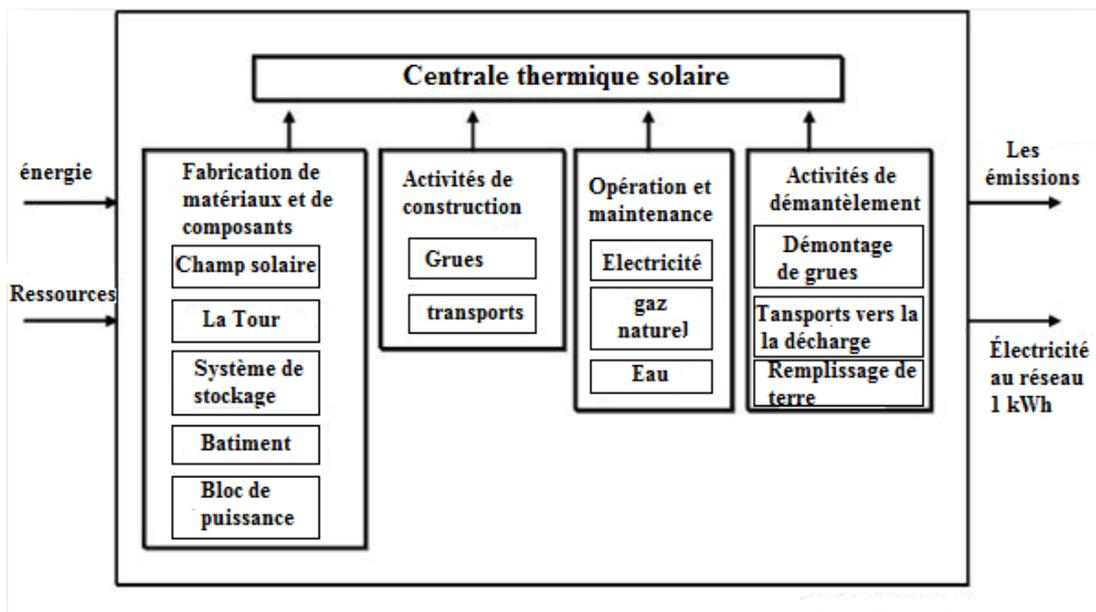


Figure 2.4 : Cycle de vie d'une centrale thermique solaire [26]

2.2 Inventaire de l'ACV :

La deuxième phase «Inventaire» implique des procédures de collecte et de calcul de données pour quantifier les entrées et sorties pertinentes d'un système de produit, ainsi que la description et la vérification des données. Cela englobe toutes les données relatives aux quantités environnementales (par exemple, CO₂) et techniques (par exemple, produits chimiques intermédiaires) pour tous les processus unitaires pertinents dans les limites de

l'étude qui composent le système du produit. Les données doivent être liées à l'unité fonctionnelle définie dans la définition d'objectif et d'étendue. Les résultats de l'inventaire sont un LCI (Life Cycle Inventory) qui fournit des informations sur toutes les entrées et sorties sous la forme de flux élémentaires à destination et en provenance de l'environnement de tous les processus unitaires impliqués dans l'étude.

Le processus de réalisation d'une analyse d'inventaire est itératif (figure 3.3). Au fur et à mesure que les données sont collectées et que l'on connaît davantage le système, de nouvelles exigences ou limitations de données peuvent être identifiées, ce qui nécessite une modification des procédures de collecte de données afin que les objectifs de l'étude soient toujours respectés. Parfois, des problèmes peuvent être identifiés qui exigent des révisions de l'objectif ou de la portée de l'étude [26]

2.2.1 Collecte de données

Les données pour chaque processus d'unité dans la limite des systèmes peuvent être classées selon les principales rubriques [26] :

- Entrées d'énergie, entrées de matières premières, entrées auxiliaires, autres entrées physiques.
- Produits, coproduits et déchets.
- Les émissions dans l'air, les rejets dans l'eau et le sol.
- Autres aspects environnementaux.

2.2.2 Calcul des données

Suite à la collecte des données, les procédures de calcul comprennent [26] :

- Validation des données collectées.
- La relation entre les données et les processus unitaires.
- La relation des données au flux de référence de l'unité fonctionnelle.

Le calcul des flux d'énergie devrait tenir compte des différents combustibles et sources d'électricité utilisés, de l'efficacité de la conversion et de la distribution du flux d'énergie, ainsi que des entrées et sorties associées à la génération et à l'utilisation de ce flux d'énergie.

2.2.3 Affectation des flux et des rejets

Peu de processus industriels produisent une sortie unique ou sont basés sur une linéarité des entrées et sorties de matières premières. En fait, la plupart des procédés industriels produisent plus d'un produit, et ils recyclent les produits intermédiaires ou abandonnés comme matières premières [26].

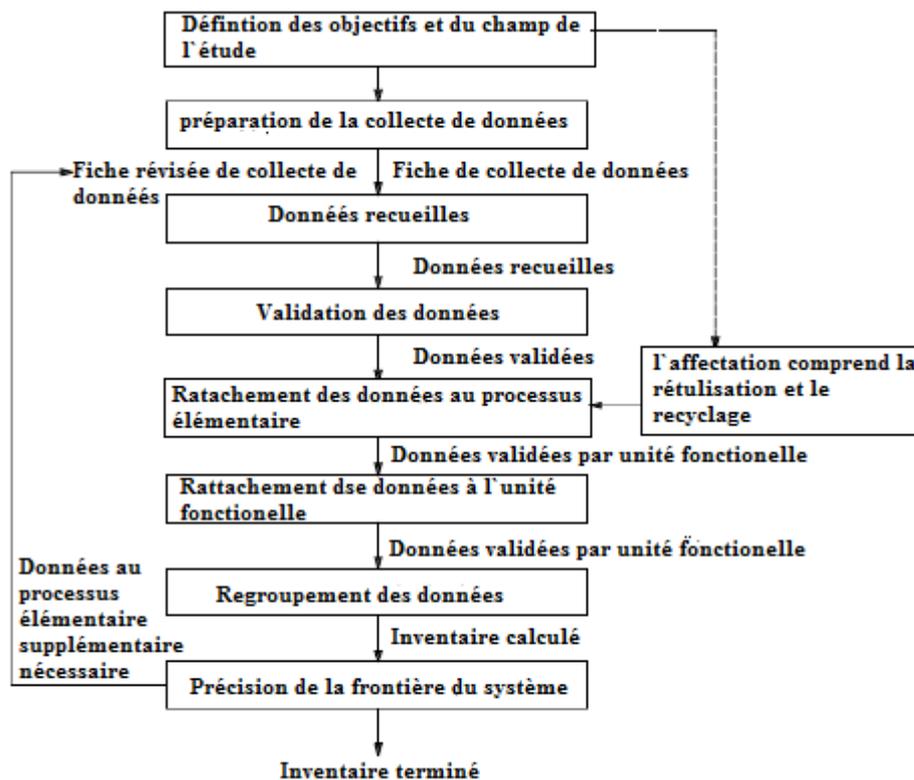


Figure 2.5 : Procédure de calcul de l'inventaire (tiré de ISO 14 044, 2006) [27]

2.3 Impacte de l'ACV :

La troisième phase de l'ACV, appelée l'évaluation des impacts du cycle de vie (EICV), est l'interprétation des résultats de l'analyse de l'inventaire du cycle de vie du système de produits étudié afin d'en comprendre la signification environnementale.

L'analyse de l'inventaire permet la quantification des échanges entre le système de produits et l'environnement. Selon le champ d'étude, l'information obtenue sera plus ou moins importante (c.-à-d. des centaines de flux de ressources naturelles et d'émissions dans l'environnement peuvent être quantifiés) et son utilisation pratique peut s'avérer difficile. Durant la phase d'ÉICV, certains enjeux environnementaux, appelés catégories d'impacts, sont modélisés et des indicateurs de catégories sont utilisés pour condenser et expliquer les résultats de la phase d'inventaire [27].

➤ Catégorie d'impacte :

- Cancérogènes,
- Produits organiques respiratoires,
- Inorganiques respiratoires,
- Changements Climatiques,
- Rayonnement,
- Couche d'ozone,
- Ecotoxicité,
- Acidification / Eutrophisation,

- Utilisation des terres,
- Minéraux,
- Combustibles Fossiles [22].

Les six premières catégories d'impact sont normalisées et regroupées dans la macro-catégorie «Santé humaine» qui tient compte de l'impact global des émissions associées au produit analysé sur la santé humaine; Les catégories Écotoxicité, acidification / eutrophisation et utilisation des terres circulent dans la macro-catégorie "Qualité de l'écosystème" qui considère les dommages globaux sur l'environnement, tandis que les "Minéraux et les combustibles fossiles" sont regroupés dans la macro-catégorie "Ressources" qui représente l'épuisement des ressources non renouvelables.

D'autre part, les méthodes du Groupe intergouvernemental pour le changement climatique (GIEC) et de la demande énergétique cumulative (CED) sont également utilisées pour estimer le réchauffement climatique et les besoins énergétiques totaux [25].

Les polluants les plus importants sont les suivants [27] :

❖ **Gaz à effet de serre (GES)**

- Dioxyde de carbone (CO₂)
- Méthane (CH₄)
- Oxyde de diazote (N₂O)

❖ **Principaux contaminants atmosphériques (PCA)**

- Dioxyde de soufre
- Monoxyde de carbone
- Oxydes d'azote
- Composés organiques volatils (COV)
- Matières particulaires

❖ **Autres polluants atmosphériques**

- Plomb
- Mercure
- Arsenic
- Uranium

❖ **Polluants aquatiques**

- Plomb
- Mercure
- Arsenic
- Uranium

❖ **Rayonnements**

- Tritium
- Autres

➤ **Classification:**

Dans le processus de classification, les émissions sont associées aux catégories d'impacts. Dans cette étude, les émissions sont proportionnées à toutes les catégories d'impacts. On considère que les émissions contribuent à 100% à toutes les catégories d'impacts [27].

Évaluation de l'impact sur le cycle de vie

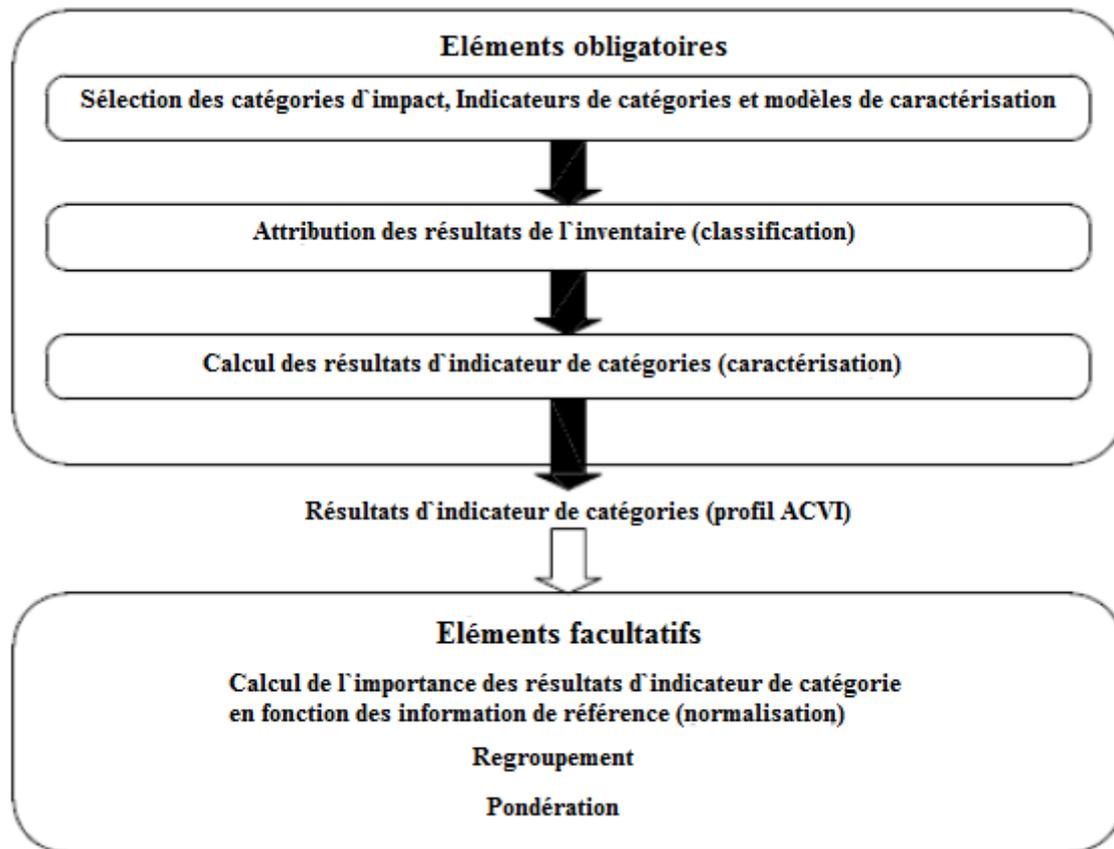


Figure 2.6 : Éléments de la phase d'ÉICV (Tiré de ISO 14 040, 2006) [24]

2.4 Interprétation de l'ACV :

L'interprétation est la phase d'ACV dans laquelle les résultats de l'analyse d'inventaire et l'évaluation d'impact sont considérés ensemble.

La phase d'interprétation devrait fournir des résultats conformes à l'objectif et à la portée définis et qui aboutissent à des conclusions, expliquent les limites et fournissent des recommandations. Les résultats de cette interprétation peuvent prendre la forme de conclusions et de recommandations aux décideurs, conformément à l'objectif et à la portée de l'étude (figure 2.7) [28].

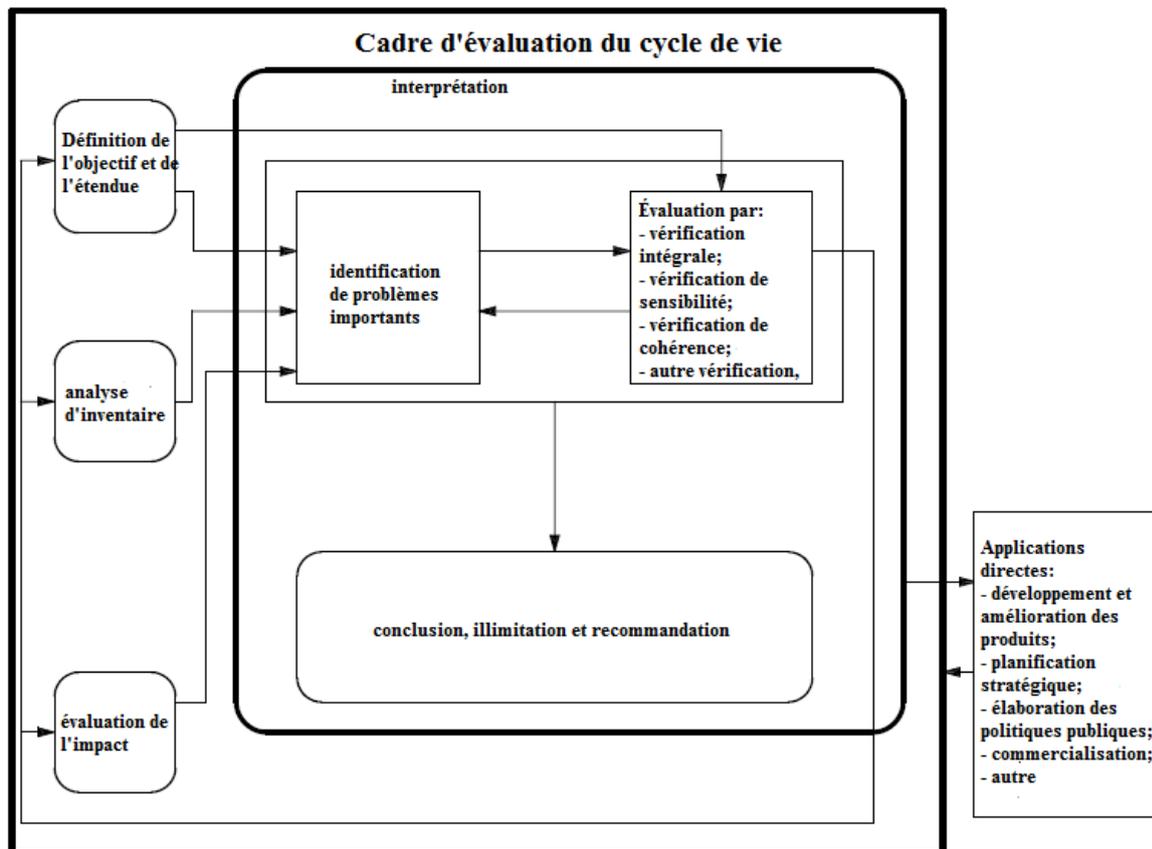


Figure 2.7 : Relation entre la phase d'interprétation et les autres phases [24]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons discuté la définition de la méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV), et les étapes utilisées pour évaluer les impacts environnementaux d'un service ou d'un produit au fil de son existence, de la conception jusqu'à la gestion de sa fin de vie. Pour notre étude de cycle de vie, nous considérons seulement les polluants qui affectent directement l'environnement, c'est-à-dire les gaz à effet de serre (GES) et les principaux contaminants atmosphériques (PCA).

Chapitre 3 : Application aux centrales héliothermiques de puissance

Introduction :

Dans ce chapitre et à l'aide du logiciel 'SAM', nous allons calculer les performances d'une centrale héliothermique à concentration, sels fondus de 100 MWe, les technologies concernées sont : les centrales à cylindro-parabolique et les centrales à tour, le plan de ce chapitre sera comme suit :

- Nous allons déterminer les caractéristiques de la centrale dans les différents sites algériens (Bechar, Tamanrasset et Illizi).
- Nous allons établir des bilans énergétiques annuels pour calculer le temps de retour énergétique et comptabiliser le CO2 évitée.

La présentation des résultats sera soit sous forme de courbes, ou de tableaux ou bien sous forme d'histogramme. Les résultats obtenus vont nous servir à comparer les performances technico-économique de la centrale dans les sites retenus.

3.1 Application à la centrales cylindro-parabolique :

3.1.1 Objectif :

Le but de ce travail est :

- Évaluer les impacts environnementaux dérivés de la production d'électricité d'une centrale thermique solaire de 100 MWe à technologie parabolique.
- Identifier les opportunités d'améliorer les systèmes afin de réduire ces impacts environnementaux.

3.1.2 Description de la centrale :

La technologie des capteurs cylindro-paraboliques est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire. De nombreuses installations ont déjà été testées et commercialisées, dont certaines dans les années 80.

L'installation typique est constituée de trois éléments principaux : le champ solaire, le système de transfert de la chaleur et le système de génération électrique.

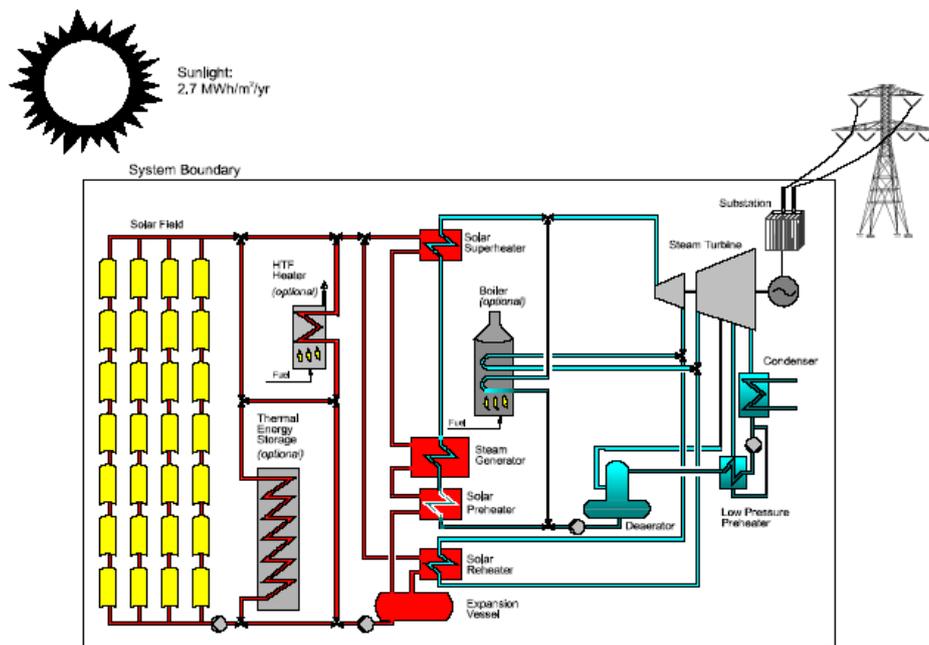


Figure 3.1 : Configuration typique d'une centrale à collecteurs cylindro-paraboliques [16]

L'énergie thermique reçue au collecteur est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide (huile synthétique) qui circule à l'intérieur du tuyau, est chauffé à une température d'environ 400°C. Ce fluide est ensuite pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire de la vapeur surchauffée qui fait fonctionner une turbine/générateur électrique [16].

➤ **Caractéristique de la centrale :**

Après avoir optimisé le champ, les résultats qu'à donner le logiciel sont repris, dans le tableau ci-dessous.

En plus des résultats de la simulation, quelques données météo sont mentionnées pour chaque site de la manière suivante :

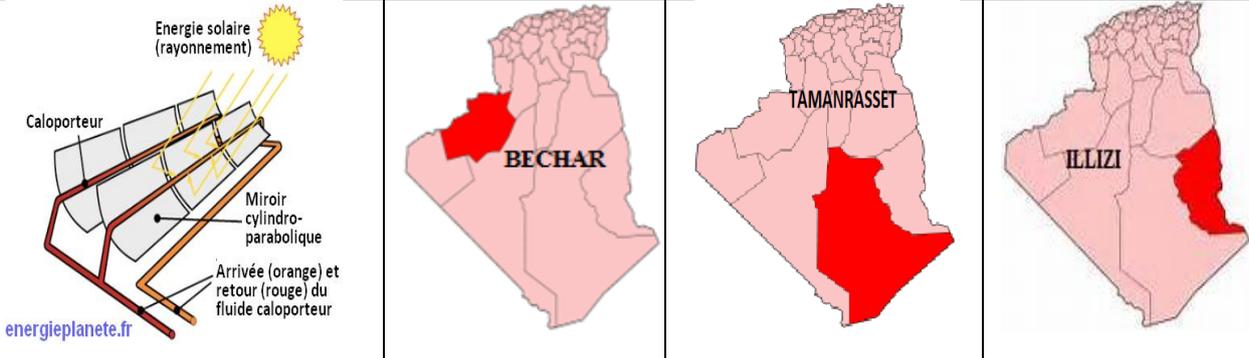
Résultats de la simulation	BECHAR	TAMANRASSET	ILLIZI
Puissance de centrale	100 MW _e	100 MW _e	100 MW _e
Nombre de capteurs paraboliques	912.055	932.578	932.578
L'élévation	772.0 m	1377 m	558.0 m
Latitude / Longitude	31°37 / 2°13	22°78 / 5°52	36°28/ 8°16
Décalage horaire	GMT +1hr	GMT+1hr	GMT+1hr
 <p>The diagram shows a cylindrical-parabolic collector with labels: 'Energie solaire (rayonnement)', 'Caloporteur', 'Miroir cylindro-parabolique', and 'Arrivée (orange) et retour (rouge) du fluide caloporteur'. The website 'energieplanete.fr' is also mentioned. To the right are three maps of Algeria with the regions of Bechar, Tamanrasset, and Illizi highlighted in red.</p>			

Tableau 3.1.1 : lesCaractéristiques de la centrale à Cylindro-Parabolique

3.1.3 L`analyse du cycle de vie :

Phase de construction :

Tout d'abord, nous distinguons les constructions des différentes composantes de la centrale :

➤ **Champ de collection :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Miroirs	Verre	17 900
Elément de collecteur de chaleur (HCE)	Acier	4 216
Boîte de couple	Acier	14 260
Plaques d'extrémité	Acier	4 216
Armes cantilever	Acier	8 140
Fondation	Béton	120 000

Tableau 3.1.2 : Composants de collecteurs [4]

➤ **Échangeur de chaleur :**

Nous devons remarquer qu'il existe deux échangeurs de chaleur différents : entre l'huile et les sels et le générateur de vapeur. On considérera que les deux échangeurs sont construits par les mêmes matériaux.

Partie	Matière	Masse (Kg)
Échangeur de chaleur	Acier	914 400

Tableau 3.1.3 : Poids de l'échangeur de chaleur [4]

➤ **Réservoir de sels fondus :**

Il existe deux réservoirs de sels fondus (chaud et froid). On considérera que les deux réservoirs utilisent les mêmes matériaux.

Partie	Matière	Masse (Kg)
Réservoir de sel fondu	Acier	3 434 434
Fondation	Béton	7 564 156
Fondation	Fibre de verre	116 900

Tableau 3.1.4 : poids du réservoir de sel fondu [4]

➤ **Turbine à vapeur :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Turbine à vapeur	Acier	791 280
Turbine à vapeur	Polyéthylène	226 080
Turbine à vapeur	Cuivre	113 040
Fondation	Béton	792 000

Tableau 3.1.5 : poids de la turbine à vapeur [4]

➤ **Générateur électrique**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Générateur électrique	Fonte de Fer	300 000
Générateur électrique	Cuivre	130 000
Fondation	Béton	300 000

Tableau 3.1.6 : poids du générateur électrique [4]➤ **Tour de refroidissement :**

Pour refroidir l'eau après l'avoir utilisé dans le bloc d'alimentation, on utilise une tour de refroidissement modulaire dans un circuit à eau ouverte avec trois ventilateurs.

Partie	Matière	Masse (Kg)
Structure	Fibre de verre	3 000
Structure	Plastique	3 000
La Coupe transversale	Le fer	2 000
La Coupe transversale	Acier	2 000

Tableau 3.1.7 : Poids de la tour de refroidissement [4]➤ **Transformateur :**

Matière	Masse (Kg)
Ferrite (Un composé de fer)	135 000
Une résine époxy	100 974
Cuivre	28 656
Acier	6 858
Huile de graissage	81 540

Tableau 3.1.8 : Composants du transformateur [4]

➤ **Sels fondus :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Sels fondus	60 % $NaNO_3$ 40 % KNO_3	57 000 000

Tableau 3.1.9 : poids des sels fondus [4]➤ **Huile synthétique :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Huile synthétique	Huile synthétique	200 000

*Tableau 3.1.10 : poids de l'huile synthétique [4]***Phase d'application :**

Dans ce type de centrales, il existe des pompes, pour les sels fondus, l'huile thermique et l'eau, il y a également trois ventilateurs pour la tour de refroidissement, des traceurs d'un axe dans chaque bac parabolique et de nombreuses opérations quotidiennes pour le maintien de la centrale opérationnel. Par conséquent, on considérera une consommation électrique à partir de la grille, par an de

Partie	Consommation (MWh / an)
Centrale CSP	32.676

*Tableau 3.1.11 : Consommation d'énergie de la centrale par an [4]***Phase de fin de la vie :**

Pour son évaluation, nous utiliserons les informations extraites de l'INE (Institut national de la statistique), qui disposent d'enregistrements détaillés et détaillés relatifs à la gestion des déchets d'emballages. Un scénario de recyclage dans lequel une partie des matériaux sont recyclés après la fermeture du déclassé :

MATÉRIEL	Recyclage (%)	Décharge (%)	Incinération (%)
Acier	96,2	3,8	0,0
Verre	99,8	0,2	0,0
Fibre de verre	44,0	56,0	0,0
Béton	9,3	80,1	10,6
Cuivre	96,2	3,8	0,0
Plastique	90,3	9,7	0,0
Le fer	96,2	3,8	0,0

Tableau 3.1.12 : Fin de vie dans les matériaux [4]

3.1.4 Evaluation de l'Eco-bilan :

➤ Bilan énergétique :

C'est le temps de retour énergétique qui correspond au ratio entre l'énergie totale consommée au cours de sa fabrication, de son transport, de son installation, de son recyclage et l'énergie produite annuellement.

$$E_{\text{consommée}} = E_{\text{produite}} * TRE \quad (3.1) \quad \Longrightarrow \quad TRE = \frac{E_{\text{consommée}}}{E_{\text{produite}}}$$

Avec :

TRE : Temps de retour énergétique (Nombre d'année)

$E_{\text{consommée}}$: Consommation d'énergie de la centrale par an en MWh

E_{produite} : Energie annuel de la centrale par an en MWh

a) Entrée sur SAM

	Bechar	Tamanrasset	Illizi
Collecteur	Solargenix SGX-1	Solargenix SGX-1	Solargenix SGX-1
Récepteur	Schott PTR70 2008	Schott PTR70 2008	Schott PTR70 2008
Fluide caloporteur	Therminol VP-1	Therminol VP-1	Therminol VP-1
Puissance nette	100 MWe	100 MWe	100 MWe
Stockage	6 heures	6 heures	6 heures

Tableau 3.1.13 : les données qui entrée sur SAM

b) Résultats de la simulation

Les résultats de la simulation de la production annuelle d'énergie pour les trois sites sont comme suite :

- **L'énergie annuelle produite**

Site	Energie annuel en KWh	Energie annuel en MWh	Energie annuel en MJ
Bechar	381 388 192	381 388,192	$1,372 * 10^9$
Tamanrasset	382 091 520	382 091,520	$1,375 * 10^9$
Illizi	364 927 456	364 927,456	$1,313 * 10^9$

Tableau 3.1.14 : L'énergie annuelle produite par la centrale à Cylindro-parabolique

- **Le temps de retour énergétique** (voir les détails des calculs en annexe)

Site	Temps de retour énergétique
Bechar	8 ans 7 mois
Tamanrasset	8 ans 7 mois
Illizi	9 ans 2 mois

Tableau 3.1.15 : Temps de retour énergétique

c) Les résultats sous forme de graphes

- **L'énergie annuelle produite :**

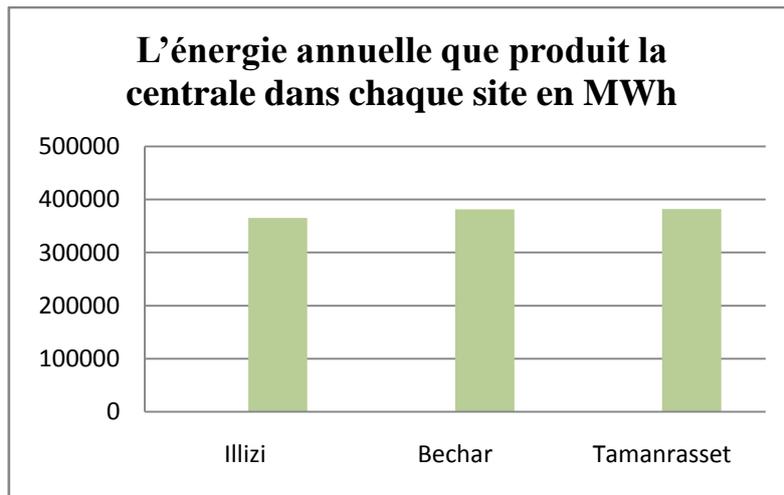


Figure 3.2 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Cylindro-parabolique dans chaque site.

- L'irradiation annuelle directe :

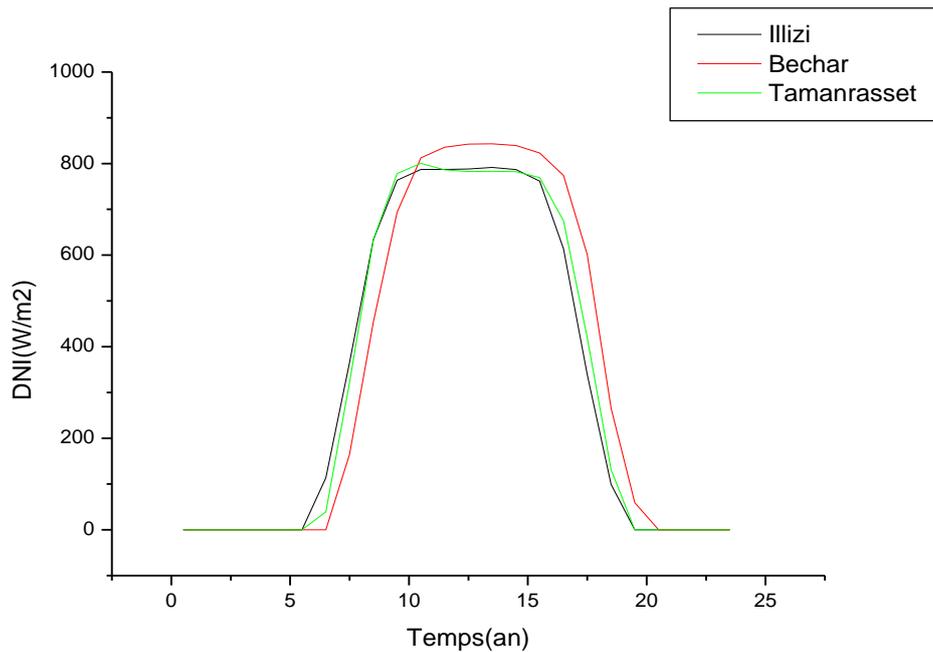


Figure 3.3 : L'éclairement normal direct (DNI) en fonction du temps TSV en kWh/m²

➤ **Bilan carbonique (CO2)**

a) **Résultats de la simulation**

- Le CO2 consommée :

Phase	Matière	Masse en Kg	Kg CO2 eq	Ton CO2 eq
Champ de collection	Verre	17 900	11 098	11,09
	Acier	30 832	38 848	38,84
	Béton	120 000	30 000	30
Echangeur de chaleur	Acier	914 400	1 152 144	1152,14
Réservoir de sels fondus	Acier	3 434 434	4 327 386	4327,38
	Béton	7 564 156	1 891 039	1891,03
	Fibre de verre	116 900	72 478	72,47
Turbine à vapeur	Acier	791 280	997 012	997,02
	Polyéthylène	226 080	395 640	395,64
	Cuivre	113 040	171 820	171,82
	Béton	792 000	198 000	198
Générateur électrique	Fonte de fer	300 000	489 000	489
	Cuivre	130 000	197 600	197,6
	Béton	300 000	75 000	75
Tour de refroidissement	Fibre de verre	3 000	1 860	1,86
	Le fer	2 000	3 260	3,26
	Acier	2 000	2 520	2,52
Transformateur	Ferrite (un composé de fer)	135 000	220 050	220,05
	Cuivre	28 656	43 557	43,55
	Acier	6 858	8 641	8,64
	Huile de graissage	81 540	99 478	99,47
Sels fondus	Sels fondus (TES)	57 000 000	36 480 000	36480
Huile synthétique	Huile synthétique (HTF)	200 000	28 000	28
Global		72 313 076	46 934 431	46 934

Tableau 3.1.16 : quantité de CO2 consommée par la centrale cylindro-parabolique

Emission de CO₂ suivant la filière de production énergétique : (voir l'annexe)

Site	Production annuelle (MWh)	Facteur de charge (%)	Nombre d'heure (h)	Production de CO ₂ par la centrale de cylindro-parabolique (ton)	Production de CO ₂ par la centrale à charbon (ton)	Le CO ₂ _{consommée} par la centrale à cylindro-parabolique (ton)	Le CO ₂ _{évitée} par la centrale de cylindro-parabolique (ton)
Bechar	381388	43	3819	4 576	381900	46 934	330 390
Tamanrasset	382091	43	3828	4 585	382800	46 934	340 451
Illizi	364927	41	3652	4 379	365200	46 934	313 887

Tableau 3.1.17 : quantité de CO₂ évitée par la centrale de cylindro-parabolique

3.1.5 Interprétation des Résultats :

a) Bilan énergétique

- **L'énergie annuelle produite :**

- Dans la figure (3.3), on représente l'énergie annuelle produite, on remarque que la centrale à Tamanrasset produit une énergie plus importante que dans les autres sites, suivis de Bechar puis d'Illizi, l'énergie annuelle produite est respectivement égale à 382091,52 MWh/an, 381388,19 MWh/an, 364927,45 MWh/an.
- La comparaison des résultats obtenues pour les 3 sites algériens montre une forte variation de la production de l'électricité (jusqu'à 382091,52 MWh/an) et la production totale de ces sites est 1128407,16 MWh/an.
- En générale les sites du sud algérien sont les plus appropriés pour la réalisation des centrales solaires thermiques comme le site de Tamanrasset qui peut fournir jusqu'à 382091,52 MWh/an.

- **L'irradiation directe annuelle**

- La figure (3.3) représente l'éclairement normal direct (DNI) en fonction du temps TSV en kWh/m² incident sur les trois sites d'Illizi, Bechar, et Tamanrasset

respectivement. On remarque que ces sites ont un gisement solaire important vu que l'irradiation directe annuelle dépasse les 800 kW/m² par an ce qui rend ces sites favorables à la technologie de concentration.

- **Le temp de retour énergétique :**

- Le tableau (3.1.15) représente le temp de retour énergétique pour les trois sites, Tamanrasset, Bechar et Illizi respectivement équivalent à 8ans 7moiset, 8ans 7mois, 9ans 2mois. Ces résultats dépendent du rayonnement solaire, du rendement des collecteurs, de l'alimentation électrique, etc. Par conséquent, le TRE n'est pas toujours identique.

- b) Bilan Carbonique**

- **Le CO2 consommée :**

- Le tableau (3.1.16) représente le CO2 consommé par la centrale à concentration à cylindro-parabolique pendant les deux phases (la construction et l'utilisation), est équivalent à 46943 Tonnes par an.

- **Le CO2 évité :**

- Le tableau (3.1.17) représente l'émission de CO2 par la centrale à tour pour les sites de Bechar, Tamanrasset, et Illizi respectivement équivalent à 330390 tonnes par an, 340451 tonnes par an et 313887 tonnes par an. On remarque que le site d'Illizi est le meilleur site par rapport aux autres pour cette technologie puisque nous remarquons que la production de CO2 par la centrale à charbon pour ce site est peu par rapport les autres sites est et égale à 365200 tonnes par an. Alors ces résultats dépend de la production de CO2 par la centrale de charbon (voir l'annexe B), de la production de CO2 par la centrale de cylindro-parabolique, le CO2 consommée... etc.

3.2 Application à la centrale à tour

3.2.1 Objectif :

Les principaux objectifs de ce projet sont les suivants :

- Évaluer les impacts environnementaux dérivés de la production d'électricité d'une centrale thermique solaire de 100 MW à technologie centrale tour .
- Identifier les opportunités d'améliorer les systèmes afin de réduire ces impacts environnementaux.

3.2.2 Description de la centrale :

D'une façon générale, une centrale solaire à tour est définie par deux blocs ; le bloc solaire et le bloc de puissance. Les deux blocs regroupent des mécanismes spécifiques appelés sous-systèmes, en générale on les trouve classé comme suit :

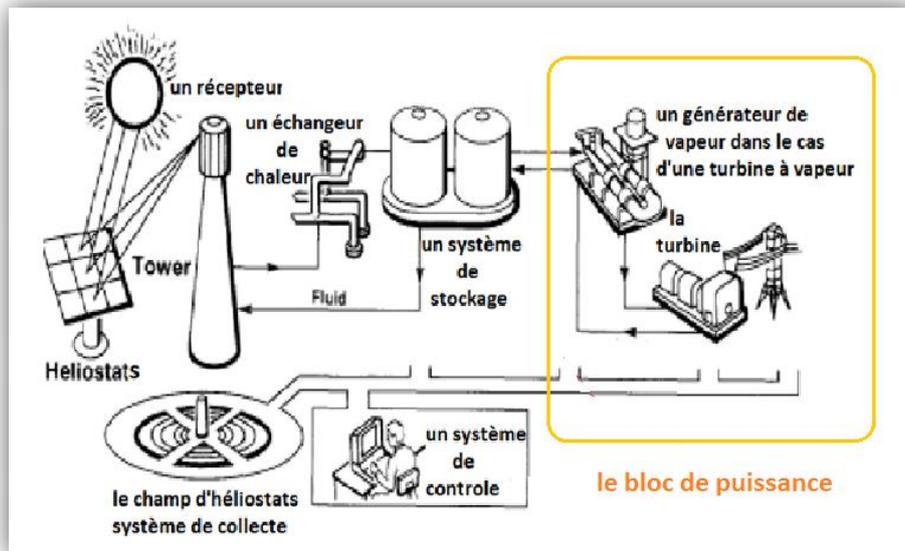


Figure 3.4 : Les composants d'une centrale solaire à tour [17]

- Un système de collecte, ou champ d'héliostats, créé avec un grand nombre de miroirs répartis en rangées. les miroirs sont orientables suivant deux axes et pilotés par un système centralisé.
- Le récepteur solaire. Il est l'élément clé de la tour, il assure l'absorption du flux concentré ce dernier est transmis sous forme de chaleur à un fluide actionnant ainsi un bloc de puissance conventionnel.
- Un échangeur de chaleur, au niveau de l'échangeur un fluide caloporteur peut être utilisé pour transporter l'énergie thermique absorbé par le récepteur vers la turbine.
- Un système de stockage thermique, avec lequel on assure la continuité de la production lors des passages nuageux, ou durant la nuit, généralement quand la source solaire n'est pas ou peu disponible.
- Un système d'appoint, lorsque en couple une centrale solaire à une autre source d'énergie dans le cas présent à un système d'appoint utilisant des combustibles fossiles, on les appelle centrales hybrides, dans ces systèmes on peut s'en passer du

stockage thermique, la continuité de fonctionnement est assurée par les combustibles fossiles lors des passages nuageux et pour la production nocturne d'électricité.

- Un bloc de puissance, il regroupe le générateur de vapeur, la turbine et l'alternateur.
- Système de Control, et les systèmes de refroidissements [17].

Optimisation du champ :

La simulation de la centrale dans SAM, adonnée une configuration du champ dont voici un exemple tels que affiché sur la page du logiciel :

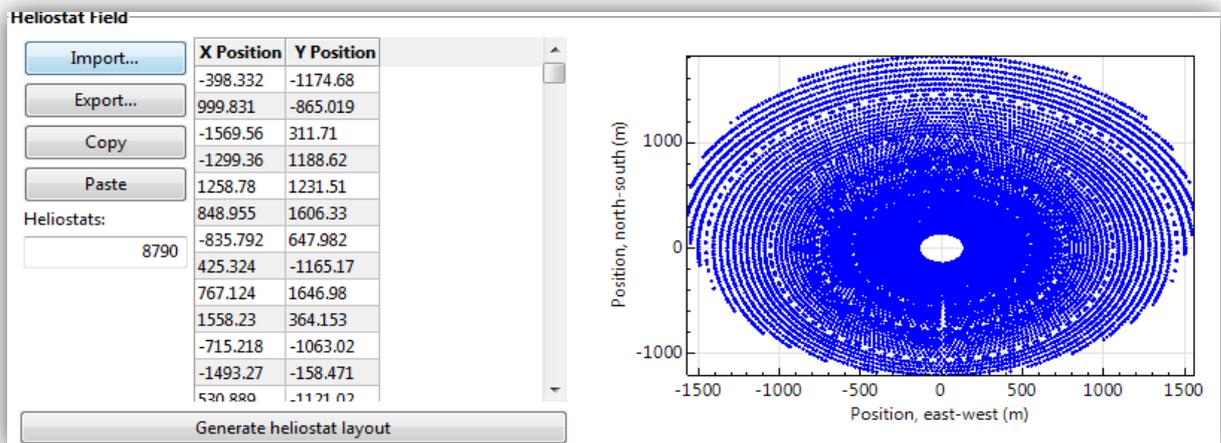


Figure 3.5 : Exemple d'une configuration du champ d'héliostats

Les différentes configurations pour les 3 sites, sont présentées ci-dessous :

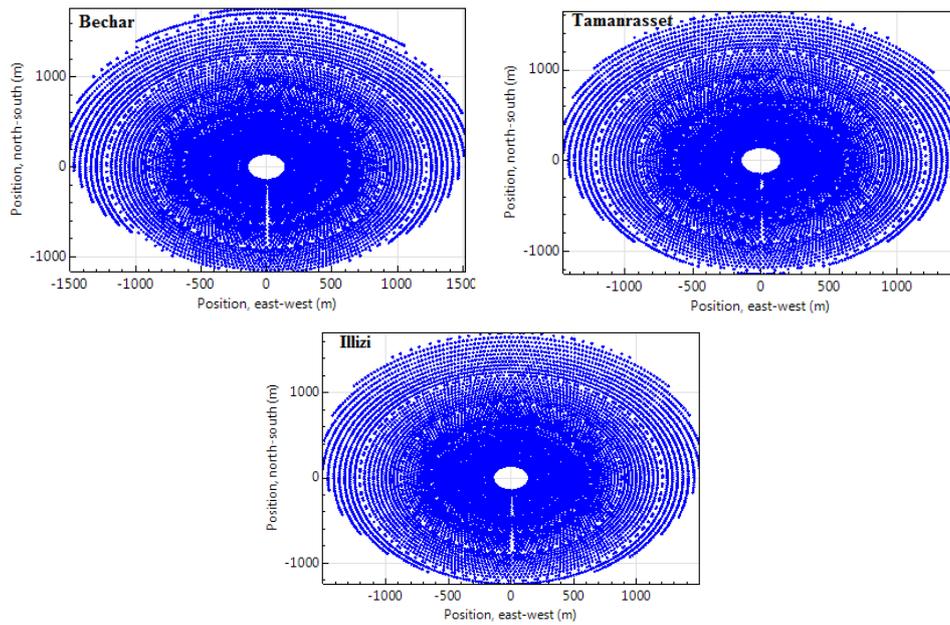


Figure 3.6 : Résultats de la configuration du champ d'héliostats.

Résultats de l'optimisation :

Après avoir optimisé le champ, les résultats qu'à donné le logiciel sont repris, dans le tableau ci-dessous.

En plus des résultats de la simulation, quelques données météo sont mentionnées pour chaque site de la manière suivante :

Résultats de la simulation	BECHAR	TAMANRASSET	ILLIZI
Nombre d'héliostats	8503	8397	8457
Longueur de la tour (m)	201.129	203.497	195.89
Hauteur du récepteur (m)	19.1052	19.1845	19.3118
Diamètre du récepteur (m)	18.4285	17.3874	17.1056
Surface réfléchissante	1, 227,619	1, 212,315	1, 220,978
L'élévation (m)	772	1377	558
Latitude / Longitude	31°37 / 2°13	22°78 / 5°52	36°28/ 8°16
Décalage horaire	GMT +1hr	GMT+1hr	GMT+1hr

Tableau 3.2.1 : Les caractéristiques de la centrale à Tour

Chapitre 3 : Application aux centrales héliothermiques de puissance

3.2.3 Analyse du cycle de vie :

- **Phase de construction**

Tout d'abord, nous distinguons les constructions des différentes composantes de la centrale.

➤ **Champ d'héliostat :**

Nous devons considérer la fabrication de tous les héliostats et aussi la fondation et la structure qui les supportent :

Partie	Matière	Masse (Kg)
Miroirs	Verre	4 000
Structure	Acier	6 000
Fondation	Béton	75 000

Tableau 3.2.2 : composants héliostat [4]

➤ **Echangeur de chaleur :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Echangeur de chaleur	Acier	1 776 700

Tableau 3.2.3 : poids de l'échangeur de chaleur [4]

➤ **Réservoir de sels fondus :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Réservoir de sel fondu	Acier	4 930 585
Fondation	Béton	15 910 390
Fondation	Fibre de verre	227 250

Tableau 3.2.4 : poids du réservoir de sel fondu [4]

➤ **Turbine à vapeur :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Turbine à vapeur	Acier	1 550 000
Turbine à vapeur	Polyéthylène	450 000
Turbine à vapeur	Cuivre	225 000
Fondation	Béton	1 400 000

Tableau 3.2.5 : poids de la turbine à vapeur [4]➤ **Générateur électrique :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Générateur électrique	Fonte de fer	750 000
Générateur électrique	Cuivre	325 000
Fondation	Béton	750 000

Tableau 3.2.6 : poids du générateur électriques [4]➤ **Tour de refroidissement :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Structure	Fibre de verre	7 500
Structure	Plastique	7 500
La coupe transversale	Le fer	5 000
La coupe transversale	Acier	5 000

Tableau 3.2.7 : poids de la tour de refroidissement [4]➤ **Tour du central :**

Partie	Matière	Masse (Kg)
Tour de la centrale	Béton armé	16 008 000
Fondation	Béton	21 598 445

Tableau 3.2.8 : poids de « centrale à tour » [4]

Chapitre 3 : Application aux centrales héliothermiques de puissance

➤ Transformateur :

Matière	Masse (Kg)
Ferrite	225 000
Une résine époxy	168 290
Cuivre	47 760
Acier	11 430
Huile de graissage	135 900

Tableau 3.2.9 : composants du transformateur [4]

➤ Sels fondus :

Partie	Matière	Masse (Kg)
Sels fondus	60 % $NaNO_3$ 40 % KNO_3	40 750 000

Tableau 3.2.10 : poids des sels fondus [4]

Phase d'application :

Par conséquent, on considérera une consommation électrique à partir de la grille, par an de :

Partie	Consommation (MWh / an)
Centrale CSP	53 785

Tableau 3.2.11 : Consommation d'énergie de la centrale par an [4]

Phase de fin de vie :

Pour l'évaluation de cette phase, nous utiliserons les informations extraites de l'INE (National Institute of Statistics), qui disposent de mises à jour et détaillées.

MATÉRIEL	Recyclage (%)	Décharge (%)	Incinération (%)
Acier	96.2	3.8	0.0
Verre	99.8	0.2	0.0
Fibre de verre	44.0	56.0	0.0
Béton	9.3	80.1	10.6
Béton armé	9.3	80.1	10.6
Cuivre	96.2	3.8	0.0
Plastique	90.3	9.7	0.0
Fer	96.2	3.8	0.0

Tableau 3.2.12 : Fin de vie dans les matériaux [4]

3.2.4 Évaluation de l'Eco-Bilan :

➤ Bilan énergétique :

On utilise la même relation pour le central à tour.

a) Entre dans SAM

	Bechar	Tamanrasset	Illizi
Fluide caloporteur	TES	TES	TES
Puissance nette	100 MWe	100 MWe	100 MWe
Stockage	6 heures	6 heures	6 heures

Tableau 3.2.13 : les données qui entrée sur SAM

b) Résultats de la simulation

- L'énergie annuelle produite

Site	Energie annuel en KWh	Energie annuel en MWh	Energie annuel en MJ
Bechar	623 804 224	623 804,224	$2.245 * 10^9$
Tamanrasset	590 121 728	590 121,728	$2.124 * 10^9$
Illizi	583 506 752	583 506,752	$2.1 * 10^9$

Tableau 3.2.14 : L'énergie annuelle produite par la centrale à tour

- **Le temps de retour énergétique**

Site	Le retour énergétique
Bechar	5 ans 3 mois
Tamanrasset	5 ans 6 mois
Illizi	5 ans 7mois

Tableau 3.2.15 : Le temps de retour énergétique

- a) **Les résultats sous formes de graphes :**

- **L'énergie annuelle produite**

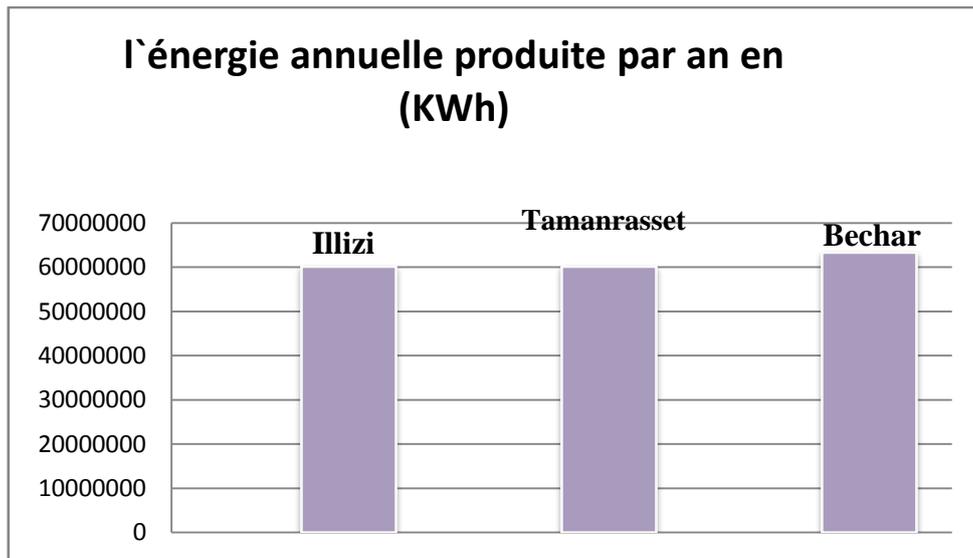


Figure 3.7 : L'énergie annuelle que produit la centrale à tour dans chaque site.

- **L'irradiation annuelle directe :**

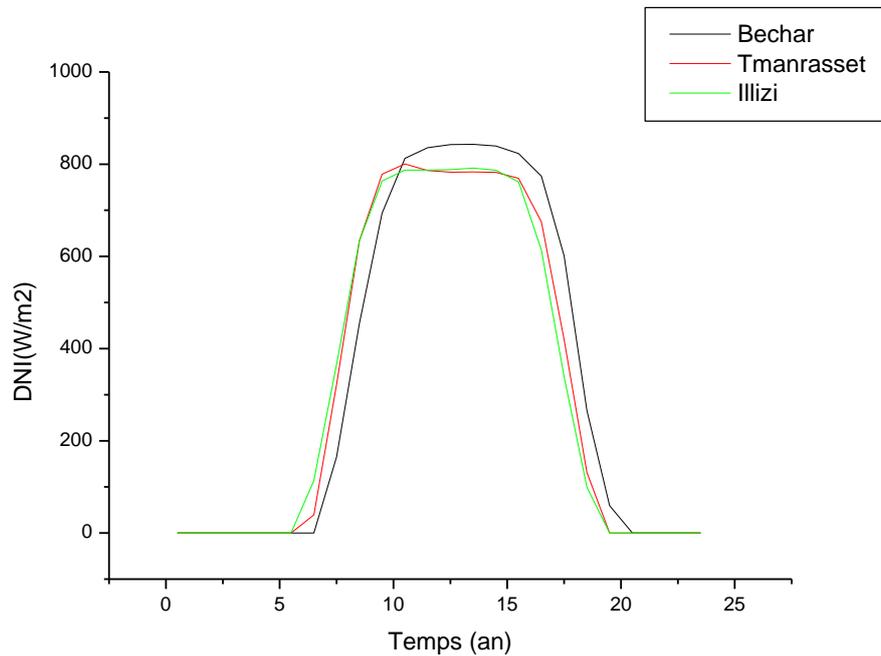


Figure 3.8 : L'éclairement normal direct (DNI) en fonction du temps TSV en kWh/m²

- **Bilan carbonique (CO2)**

- a) **Résultats de la simulation**

- Le CO₂ consommée :

Phase	Matière	Masse en Kg	Kg CO ₂ eq	Ton CO ₂ eq
Champ d'héliostat	Verre	4 000	2480	2,48
	Acier	6 000	7560	7,56
	Béton	75 000	18750	18,75
Echangeur de chaleur	Acier	1 776 700	2238642	2238,64
Réservoir de sels fondus	Acier	4 930 585	6212537	6212,53
	Béton	15 910 390	3977597	3977,59
	Fibre de verre	227 250	140895	140,89
	Acier	1 550 000	1953000	1953
	Polyéthylène	450 000	787500	787,5
	Cuivre	225 000	342000	342
	Béton	1 400 000	350000	350
Générateur électrique	Fonte de fer	750 000	1222500	1222,5
	Cuivre	325 000	494000	494
	Béton	750 000	187500	187,5
Tour de refroidissement	Fibre de verre	7 500	4650	4,65
	Le fer	5 000	8150	8,15
	Acier	5 000	6300	6,3
Transformateur	Ferrite (un composé de fer)	225 000	366750	366,75
	Cuivre	47 760	72595	72,59
	Acier	11 430	14401	14,4
	Huile de graissage	135 900	165798	165,7
Centrale à tour	Béton armé	16 008 000	4002000	4002
	Béton	21 598 445	5399611	5399,6
Sels fondus	Sels fondus (TES)	40 750 000	2608000	2608
Global		107 181 460	54 055 216	54 055

Tableau 3.2.16 : le CO₂ consommée par la centrale à tour

- **Le CO₂ évitée :**

Les détaille des calculs (voir l'annexe)

Site	Production annuelle (MWh)	Facteur de charge (%)	Nombre d'heure (h)	Production de CO ₂ par la centrale à tour (tonnes)	Production de CO ₂ par la centrale à charbon (tonnes)	Le CO ₂ _{consommée} par la centrale à tour (tonnes)	Le CO ₂ _{évitée} par la centrale a tour (tonnes)
Bechar	623 804	71.3	6245	7 485	624500	54 055	562 960
Tamanrasset	590 121	64.7	5667	7 081	566700	54 055	505 564
Illizi	583 506	66.7	5842	7 002	584200	54 055	523 143

Tableau 3.2.17 : Emission de CO₂ par la centrale à tour pour les trois sites.

3.2.5 Interprétation des Résultats :

a) Bilan énergétique

- **L'énergie anuelle produite :**

- Dans la figure (3.8) qui représente l'énergie annuelle produite, on remarque quela centrale installée à Bechar produit une énergie plus importante que dans les autres sites, elle est suivis de celle de Tamanrasset puis d'Illizi, ces sites offre une énergie annuelle respectivement égale à 623,804 MWh/an, 590,121 MWh/an et 583,506 MWh/an.
- La comparaison des résultats obtenues pour les 3 sites algériens montre une forte variation de la production de l'électricité (jusqu'à 623,804 MWh/an) et la production totale de ces sites est 1797,431 MWh/an
- En générale les sites du sud algérien sont les plus appropriés pour la réalisation de centrales solaires thermiques comme le site de Bechar qui peut fournir jusqu'à 623,804 MWh/an

- **L'irradiation directe annuelle**

- La figure (3.9) représente l'éclairement normal direct (DNI) en fonction du temps TSV en kWh/m² incident sur les trois sites Illizi, Bechar, et Tamanrasset respectivement équivalente une journée type dans l'année. On remarque que les sites ont un gisement solaire important vu que l'éclairement normal direct dépasse les 2200 kWh/m² par an ce qui rend ces sites favorables à la technologie de concentration.

- **Le temp de retour énergétique :**

- Le tableau (3.1.15) représente le temp de retour énergétique pour les trois site, Tamanrasset, Bechar et Illizi respectivement équivalent à 5 ans 6 mois, 5 ans 3mois et 5 ans 7 mois. Ces résultats dépendent du rayonnement solaire, du rendement des héliostat, la hauteur de la tour, la puissance nette de cycle, de l'alimentation électrique, etc. Par conséquent, le TRE n'est pas toujours identique.

b) Bilan Carbonique

- **Le CO2 consommée :**

- Le tableau (3.1.16) représente le CO2 consommé par la centrale à concentration à Tour pendant les deux phases (la construction et l'utilisation), est équivalent à 54055 tonnes par an.

- **Le CO2 évité :**

- Le tableau (2.3.17) représente l'émission de CO2 par la centrale à tour pour les sites Tamanrasset, Bechar et Illizi respectivement équivalent à 505564 tonnes par an, 562960 tonnes par an et 523143 tonnes par an. On remarque que le site de Tamanrasset est le meilleur site par rapport les autres pour cette technologie, ces résultats dépend de la production de CO2 par la centrale de charbon (voir l'annexe B), de la production de CO2 par la centrale de cylindro-parabolique, le CO2 consommée... etc.

Conclusion :

La simulation avec le logiciel SAM nous a permis d'obtenir des courbes qui décrivent l'éclairement normal (DNI) direct et les performances de la centrale Après avoir étudié l'allure des *courbes* l'éclairement normal direct (DNI) en fonction du temps TSV en kWh/m² incident sur les trois sites Bechar, Tamanrasset et Illizi, nous avons déterminé le temps de retour énergétique, le CO2 consommée, le CO2 évité (pour les deux technologies concernées : la centrale à Cylindro-parabolique et la centrale à Tour). Les résultats de la première partie du chapitre étaient favorables au site de Tamanrasset et Bechar pour le temps

Chapitre 3 : Application aux centrales héliothermiques de puissance

de retour énergétique (8ans 7mois) avec une énergie annuelle produite respectivement égale à 382091,520 MWh et 381388,192 MWh et 381388, Pour le CO₂ évité, le site d`Illizi est le meilleur avec 313887 tonnes par an. Pour les résultats de la deuxième partie du chapitre, le temps de retour énergétique du site de Bechar est le meilleur (5ans 3mois), mais pour le CO₂ évitée le site de Tamanrasset est plus favorable avec 505564 tonnes.

Introduction :

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale performante qui se démarque des autres méthodes de par sa capacité à analyser les produits sur l'ensemble de leur cycle de vie et en incluant de nombreux indicateurs environnementaux.

Les résultats de l'ACV sont comparés pour toutes les centrales héliothermiques considérées dans ce travail.

4.1 Etude comparative des deux filières

Pour faire la comparaison entre les centrales héliothermiques, il faut réaliser l'ACV de chaque centrale.

4.1.1 Centrale cylindro-parabolique :**a) Energie annuelle produite :**

Dans cette étude, on recherche l'influence du site de l'installation sur la production de l'électricité

- **Site de Tamanrasset :**

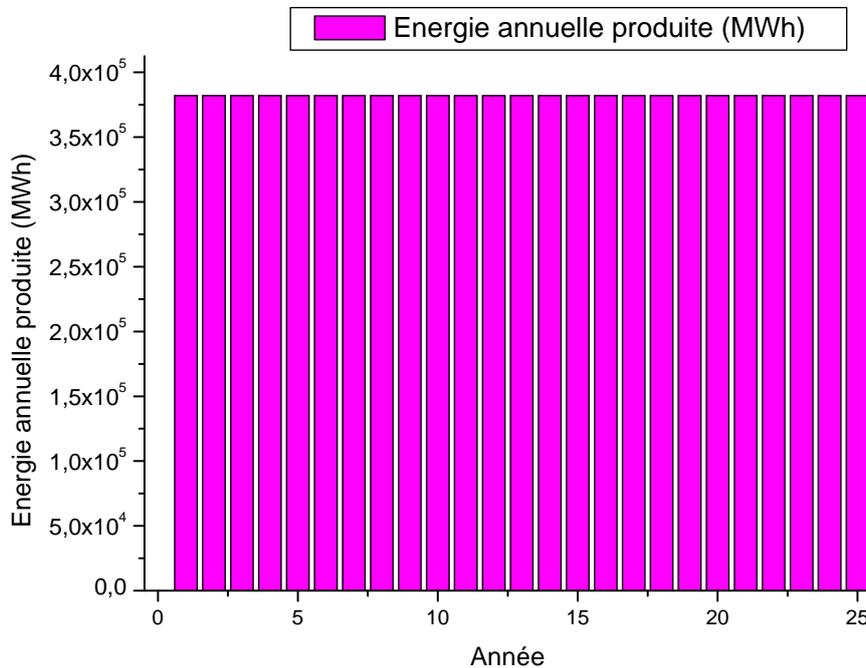


Figure 4.1 : L'énergie annuelle que produit la centrale Cylindro-parabolique dans le site de Tamanrasset

- **Site de Bechar :**

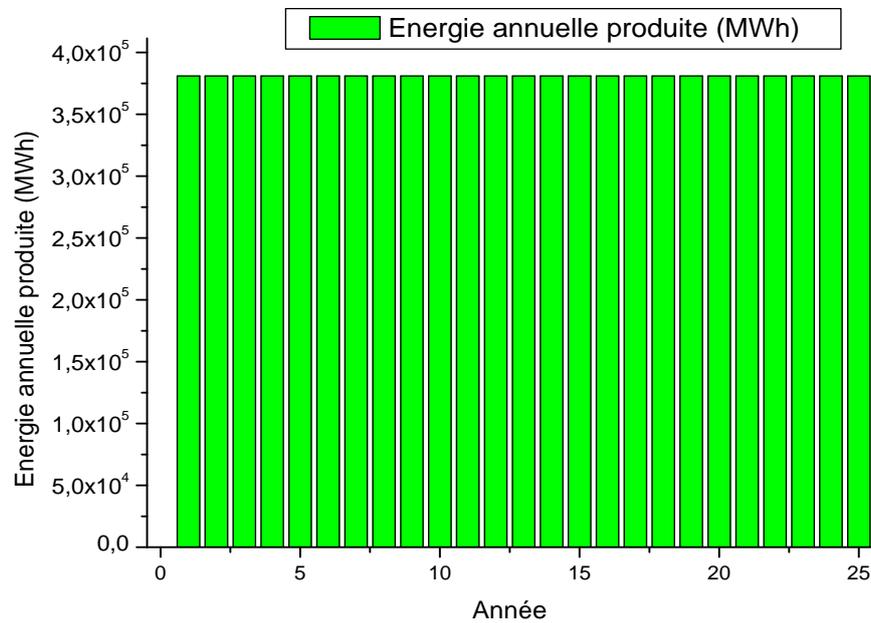


Figure 4.2 : L'énergie annuelle que produit la centrale Cylindro-parabolique dans le site de Bechar

- **Site d' Illizi :**

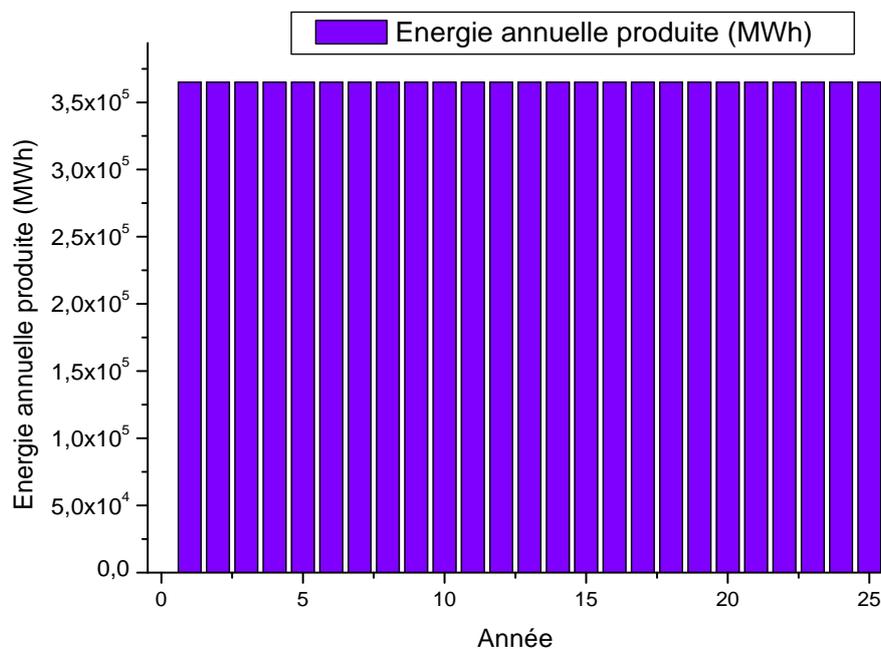


Figure 4.3 : L'énergie annuelle que produit la centrale Cylindro-parabolique dans le site d' Illizi

➤ **Interprétations des résultats :**

- La comparaison d'une centrale solaire thermique installée sur le site de Tamanrasset produit plus de 382091,520 MWh par an par rapport celle installée à Bechar équivalent à 381388,192 MWh par an, et 364927,456 MWh par rapport à celle installée à Illizi.
- La centrale sur le site de Tamanrasset fournit plus d'énergie électrique comparée à celles installées à Bechar et Illizi.
- Le site de Tamanrasset est le meilleur site pour une centrale thermique solaire cylindro-parabolique.
- Les figures (4.1, 4.2 et 4.3) montrent que l'énergie annuelle produite est stable pendant la durée de vie de la centrale cylindro-parabolique (25 ans) pour les trois sites.

b) Le temps de retour énergétique

Sur la base de ces résultats, voir tableau (3.1.15), nous comparons le temps de retour énergétique pour les trois sites :

• **Site de Tamanrasset :**

- Nous remarquons que le site de Tamanrasset est le meilleur site par rapport au site d'Illizi. Le temps de retour énergétique est égal à 8 ans et 7 mois, parce que l'éclairement normal direct (DNI) de ce site est le plus important en moyenne et aussi l'énergie produite de ce site est grande 'élevant à 382091,520 MWh par an.

• **Site de Bechar :**

- Le site de Bechar est le meilleur site par rapport aux sites d'Illizi.
- Le temps de retour énergétique est évalué à 8 ans et 7 mois

• **Site d'Illizi :**

- Nous remarquons que le site d'Illizi se classe derrière les deux autres sites Tamanrasset et Bechar avec un temps de retour énergétique équivalent de 9 ans 2 mois.

Note :

- Nous remarquons que le temps de retour énergétique dépend du rayonnement solaire et l'énergie annuelle produite.

- Les sites de Bechar et Tamanrasset sont les meilleurs sites pour le temps de la récupération de l'énergie suivis du site d'Ilizi.

c) **Le CO2 consommée :**

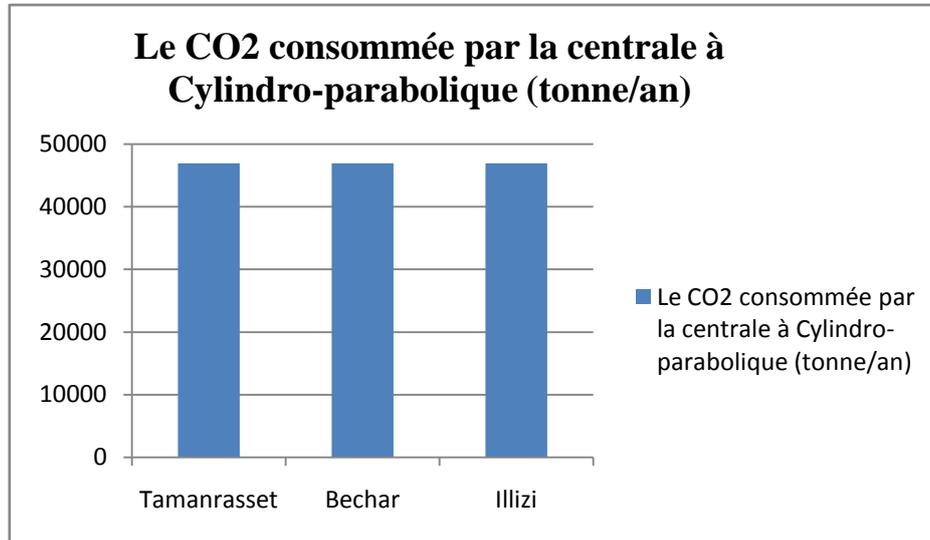


Figure (4.5) : Le CO2 consommée par la centrale à Cylindro-parabolique pour les trois sites

- Le figure (4.5) représente le CO2 consommé par la centrale à concentrateurs cylindro-parabolique pendant les deux phases (la construction et l'utilisation) avec une consommation de 46943 tonnes équivalents de CO2 par an. Cette valeur ne dépend que de la technologie et donc prise constante pour tous les sites étudiés.

d) **Le CO2 évitée :**

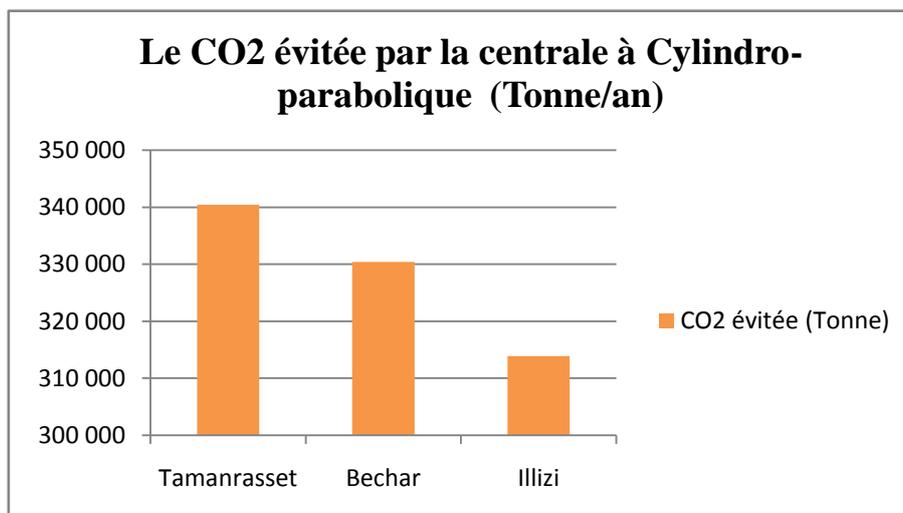


Figure (4.6) : Le CO2 évitée par la centrale à Cylindro-parabolique pour les trois sites

Sur la base de ces résultats, voir tableau (3.1.17) et la figure (4.6), nous comparons le CO₂ évitée pour les trois sites :

- **Site de Tamanrasset :**

- Le CO₂ évitée par la centrale Cylindro-parabolique dans ce site est équivalent à 330 390 tonnes par an, cette valeur est calculée par rapport à une centrale au charbon ayant la même puissance et la même la production annuelle. Avec 4576 tonne par an de CO₂ produit, la centrale implantée à Tamanrasset se classe premier celle installées à Becher et Illizi.

- **Site de Bechar :**

- Ce site est classé meilleur par rapport au site d' Illizi mais viens après celui d' Illizi avec 4 585tonnes par an de CO₂ produite.

- **Site d' Illizi :**

- le site d' Illizi est le meilleur site pour abriter une centrale héliothermique à concentrateurs cylindro parabolique du point de vue de la quantité de CO₂ produite.

4.1.2 Centrale à Tour :

a) Energie annuelle produite :

- **Site de Tamanrasset :**

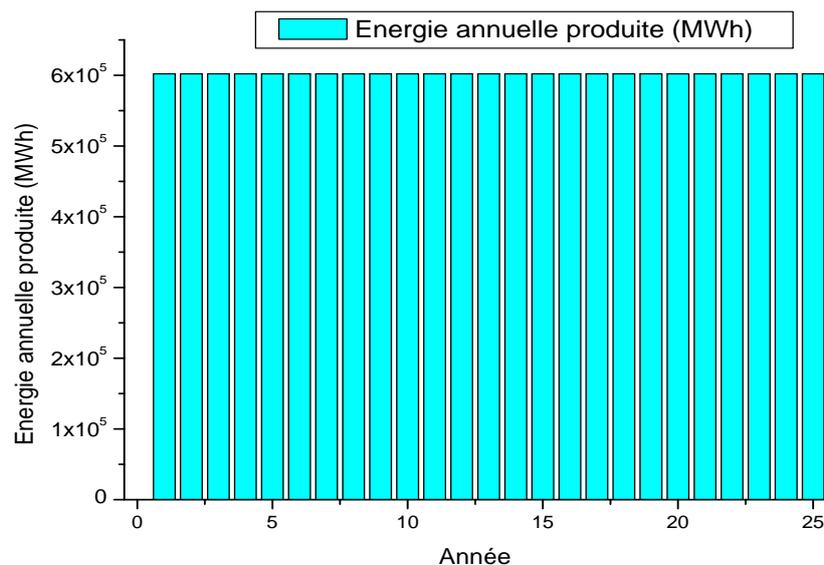


Figure 4.7 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Tour dans le site de Tamanrasset

- **Site de Bechar :**

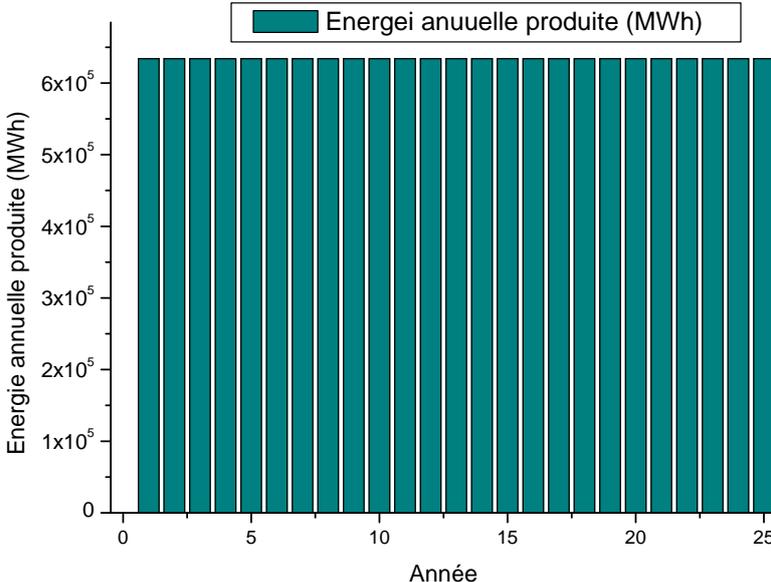


Figure 4.8 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Tour dans le site de Bechar

- **Site d' Illizi :**

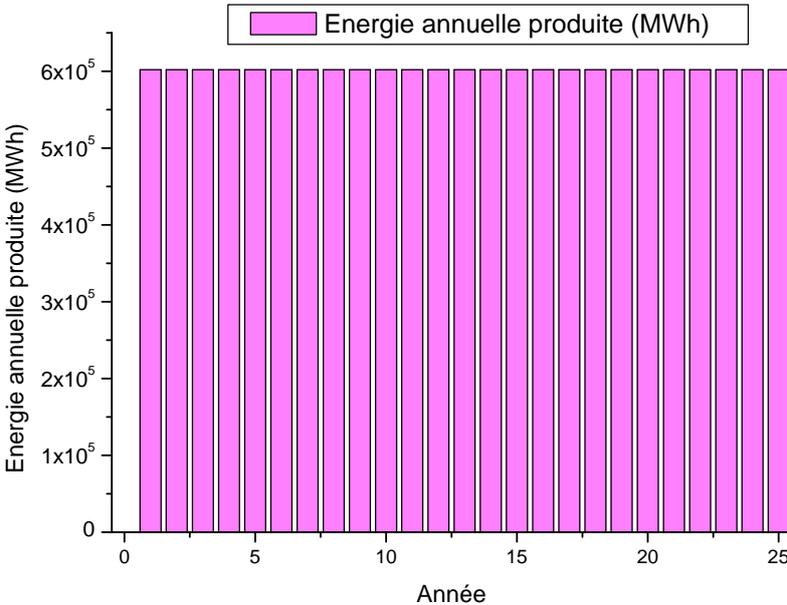


Figure 4.9 : L'énergie annuelle que produit la centrale à Tour dans le site d' Illizi

➤ **Interprétations des résultats :**

- La comparaison d'une centrale solaire thermique installée au site de Bechar produit plus de 623804,224 MWh par an par rapport au site de Tamanrasset équivalent à 590121,728 MWh par an, et 583506,752 MWh par rapport au site d'Ilizi.
- Les figures (4.4 ,4.5 et 4.6) montre que l'énergie annuelle produite est stable pendant la durée de vie de la centrale soit 25 ans pour les trois sites.
- La comparaison des résultats obtenus pour les 3 sites algériens montre une forte variation de la production de l'électricité.

b) Le temps de retour énergétique

Sur la base de ces résultats, voir tableau (3.2.15), nous comparons le temps de retour énergétique pour les trois sites :

• **Site de Tamanrasset :**

- le site de Tamanrasset se classe en deuxième position par rapport les deux autres sites avec un temps de retour énergétique équivalent à 5ans 6mois, par ce que l'énergie produite de ce site est grande avec 590121,728MWh par an.

• **Site de Bechar :**

- Nous remarquons que le site de Bechar se classe en première position par rapport aux deux autres sites Tamanrasset et Ilizi avec un temps de retour énergétique équivalent à 5 ans 3 mois.

• **Site d'Ilizi :**

- Nous remarquons que le site d'Ilizi se classe derrière les deux autres sites Tamanrasset et Bechar avec un temps de retour énergétique équivalent à 5 ans 7 mois. Ceci est dû au fait que l'énergie annuelle produite dans ce site est faible par rapport à d'autres sites est égale à 583506,752 MWh par an.

Note :

- Nous remarquons que le temps de retour énergétique dépend des conditions météorologique et l'énergie annuelle produite.
- Le site de Bechar est le meilleur site, puis Tamanrasset suivi d'Ilizi pour une centrale thermique solaire à tour.

c) Le CO2 consommée :

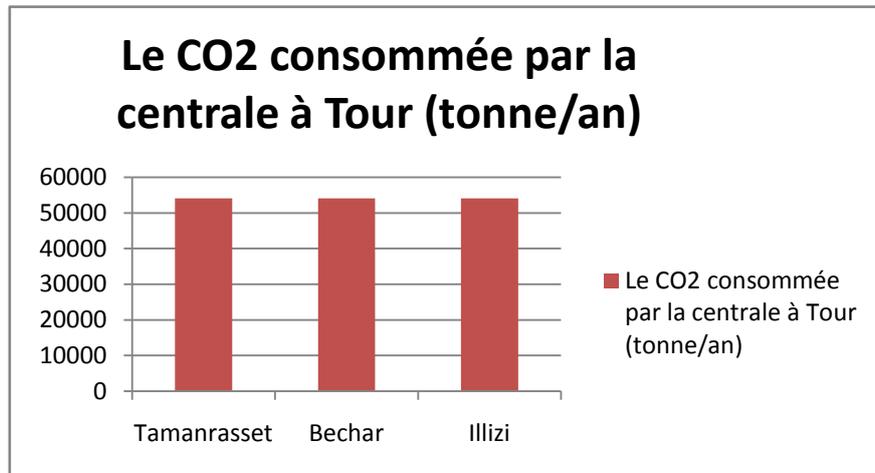


Figure 4.10 : Le CO2 consommé par la centrale à Tour pour les trois sites

- La figure (4.10) représente le CO2 consommé par la centrale à concentration à tour pendant les deux phases (la construction et l'utilisation), et est équivalent à 54055 tonnes par an. Cette valeur est la même pour les trois sites étudiés.

d) Le CO2 évitée :

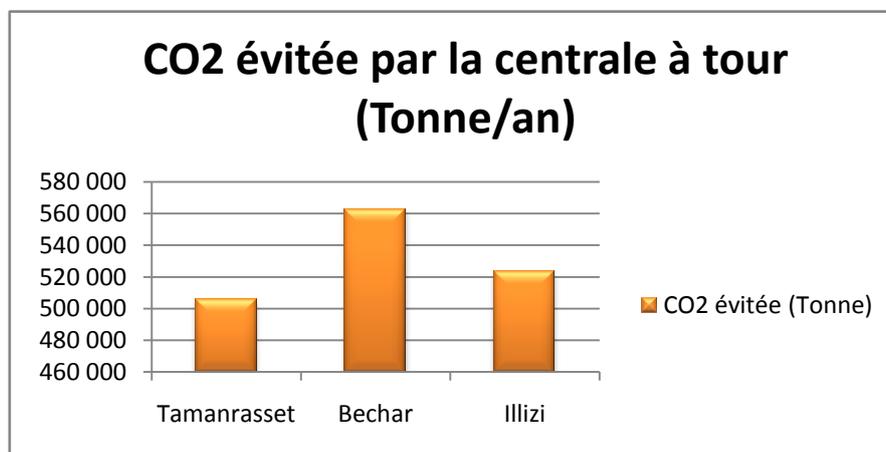


Figure 4.11 : Le CO2 évitée par la centrale à Tour pour les trois sites

Sur la base de ces résultats, voir le tableau (3.2.17), nous comparons le CO2 évitée pour une centrale à tour installé sur les trois sites Bechar, Tamanrasset et Illizi :

- **Site de Tamanrasset :**

- Le CO2 évitée par la centrale à Tour dans ce site équivaux à 505564 tonnes par an, cette valeur est calculée par rapport à une centrale au charbon ayant la même

puissance et la même la production annuelle. Avec 7081 tonne par an de CO₂ produite, la centrale implantée à Tamanrasset se classe la première celle installées à Illizi.

- Nous remarquons que ce site est classé le dernière par rapport les deux autres sites.

- **Site de Bechar :**

- Ce site est classé le premier par rapport aux deux autres sites Tamanrasset et Illizi avec 7485tonnes par an de CO₂ produit, et 562960 tonnes par an de CO₂ évitée.

- **Site d`Illizi :**

- Le site d`Illizi se classe à la deuxième place par rapport aux deux autres sites avec 523143 tonne par an de CO₂ évité, et 7002 tonnes par an de CO₂ produite.

La comparaison entre les deux filières :

➤ **Le temps de retour énergétique :**

- Les deux tableaux (3.1.15) et (3.2.15) montre que la meilleur technologie est la centrale solaire à tour, nous remarquons que le temps de retour énergétique est petit par rapport à la technologie Cylindro-parabolique, par ce que la centrale à tour peut fournir plus d`énergie électrique comparée au centrale Cylindro-parabolique dans les trois sites Tamanrasset, Bechar et Illizi.

➤ **Le CO₂ consommée :**

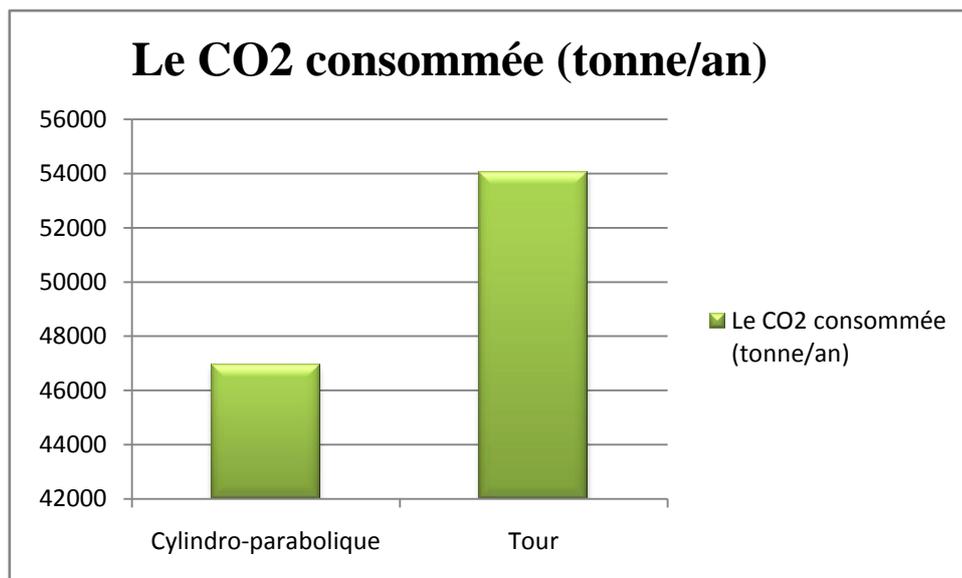


Figure 4.12 : Le CO₂ consommée par les deux technologies par an

- Les deux tableaux (3.1.16) et (3.2.16) et la figure (4.12) montre que la meilleur technologie est la centrale solaire cylindro-parabolique. Le CO₂ consommé par cette centrale équivaut à 46934 tonnes par an comparé à la centrale à tour qui consomme 54055 tonne par an, par ce que la tour de cette centrale est construite en général avec du béton, grand producteur de CO₂.

➤ **Le CO₂ évitée :**

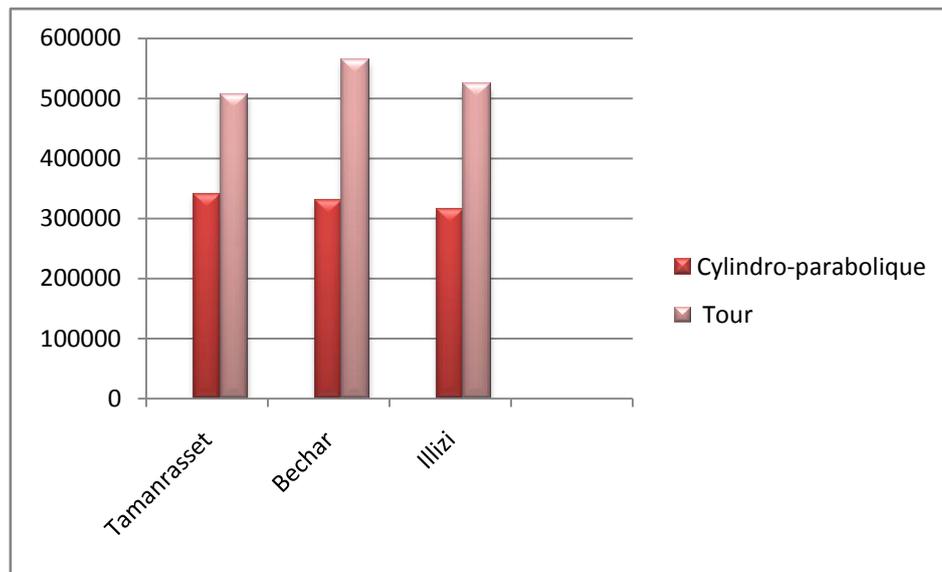


Figure 4.13 : Le CO₂ évitée par les deux technologies par an

- Les deux tableaux (3.1.17) et (3.2.17) et la figure (4.13) montre que la meilleure technologie est celle des centrales à tour, par ce que le CO₂ évitée par cette technologie est plus fort par rapport à la technologie à Cylindro-parabolique avec environ à 562960 tonne par an.

4.2 Critère de choix à travers l'analyse du cycle de vie :

- ✓ **Emplacement** : l'emplacement de la centrale dépend de l'éclairement annuelle direct (DNI), si l'éclairement est grand, donc la centrale peut fournir plus d'énergie électrique, mais les facteurs environnementaux, si pris en considération peuvent renverser cette règle. La décision juste serai donc d'établir en plus d'une étude technico-économique, une étude du cycle de vie de la centrale.
- ✓ **Le temps de retour énergétique** : plus le temps de récupération d'énergie est bas, plus la production énergétique nette de la centrale est élevée.

- ✓ Le CO₂ consommée par les deux filières à concentration dans les trois sites algérienne est relativement bas mais a permis même à ce niveau de classer les technologies et les sites.

Conclusion :

Au cours de cette étude, nous avons mis en évidence l'intérêt de l'exploitation de l'énergie solaire et l'efficacité des centrales solaires thermiques à concentrateur cylindro-parabolique et à tour en Algérie.

Les résultats de cette étude a permis le choix de la technologie la mieux adaptée quand la question environnementale est prise en charge.

La technologie des énergies renouvelables reste également plus chère que celle de l'énergie fossile mais c'est une seule solution à prendre au sérieux dans le souci de préserver l'environnement.

Conclusion générale

Dans ce travail, les performances de deux centrales héliothermiques solaires ont été évaluées d'un point de vue environnemental en utilisant le logiciel SAM pour la production énergétique annuelle et d'autres ressources spécialisées pour l'évaluation du retour énergétique, du CO2 consommé et évité. La technologie de centrales thermiques solaires à concentrateurs cylindro-paraboliques est comparée à la technologie de centrales thermiques solaires à tour afin de permettre de choisir la technologie la plus adaptée pour un site donné.

Nous avons aussi évalué et comparé les performances techno-économiques des deux filières de centrales solaires à concentration en tenant compte des aspects environnementaux. De plus, nous avons réalisé le recensement des matières composant chaque centrale et établi sur cette base un écobilan pour chaque filière. Ce travail est de nature théorique, il a été réalisé en s'appuyant sur des outils disponibles dans la littérature spécialisée. Aussi, le CO2 consommé et évité a été mis en évidence pour les deux technologies et dans différents sites du sud Algériens. Il en ressort une classification des sites et technologies qui sert aux décideurs pour l'implantation de la filière la plus adaptée.

La méthodologie adoptée dans ce travail reste incomplète car ne tenant pas compte d'une part de l'aspect économique et d'autre part d'autres parts des aspects liés à la santé publique et la contamination des eaux conformément à la norme ISO 14000. Toutefois, ces aspects nécessitent une analyse multicritères qui a elle seule fera l'objet d'une étude. Nous recommandant vivement un tel exercice qui est à notre sens la démarche la plus juste pour la caractérisation et le choix d'une technologie par rapport à autres.

Références bibliographique

References bibliographique:



[1] International Journal of Low Carbon Technologies. The energy shift: towards a renewable future. Armando C. Oliveira. Ijltc.oxfordjournals.org



[2] International Energy Agency, IEA Energy Statistics (2006).



[3] Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025. SENER.



[4] **F. Asdrubali et G. Baldinelli**, « Comparision between pv and csp plants through LCA approach », Universidad Carlos Iii De Madrid et Università Degli Studi Di Perugia, février 2012



[5] **T. Sekhri**, «Etude comparatif entre deux Concentrateur solaire »Université de Ouargla, 2012.



[6] **P. Garcia**, « Outils d'évaluation technico-économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur », université de Perpignan, 2007.



[7] **J. Bernard**, « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing. (2004).



[8] **J. A. Duffie et J.W.Beckman**, « Solar Engineering of Thermal Processes», 2nd edition, Inc, 1991



[9] **Site web**: <http://fr.wikipedia.org/wiki/soleil>



[10] **site web** : <http://bienrediger.tumblr.com/post/114959916539/notion-du-temps-en-fantasy> (Notion du temps en fantasy).



[11] **J. Bernard**, « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing. (2004).



[12] **A. Ricaud**, « Gisement solaire et transfert énergétique », Université de Cergy-Pontoise, Jan 2011.



[13] **A. Paulo Panzo**, « Mini Centrale Solaire à Miroirs de Fresnel Couplé à un Moteur Ericsson », université de Blida 2016.



[14] **A. Messai et M. Benzerga**, « Optimisation des centrales solaires à capteur cylindro-parabolique », université de Blida 2011.



[15] **Site web** :<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/determination-latitude-Soleil-etoiles.xml>

Références bibliographique



[16] **Q. Sylvain**, «Les Centrales Solaires à Concentration », Université de Liège Faculté des sciences appliquées, Mai 2007.



[17] **K. SAMIR**, « Modélisation analytique d'un système de production direct de vapeur par un concentrateur cylindro-parabolique », université de Blida 2012.



[18] **H. Kadraoui**, « étude comparative et rendement énergétique des différents degrés de concentration des convertisseurs thermodynamique de l'énergie solaire », université de Tlemcen 2011.



[19] **P. Florian**, « Hybridation solaire/biomasse pour la conception de centrale efficaces de grande capacité de production d'électricité », juin 2009.



[20] **M. Pehnt**, « Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies », Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg (Ifeu), Wilckens, Germany, Mai 2005



[21] **Site web**: <http://www.heliotrop.fr/actualite-bilan-carbone-et-temps-de-retour-energetique-26.php>



[22] **J. Christopher et al**, « Life Cycle Assessment of a Solar Thermal Concentrating System », University of Western Macedonia, Bakola & Sialvera, Kozani, 50100 GREECE , Spain, 23-25 September 2008



[23] **B. Corona et G. San Miguel**, « Environmental Assessment Of Concentrating Solar Power (CSP) Technology Using LCA », Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 5-7 September 2013



[24] **T. DANDRES**, « développement d'une méthode d'analyse du cycle de vie conséquentielle prospective macroscopique : évaluation d'une politique de bioénergie dans l'union européenne à l'horizon 2025 », Université de Montréal, 2012.



[25] **Siteweb** : http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap03/res/ch03_image01.png



[26] **S. Jazayeri et al**, « Analyse du cycle de vie comparative pour la production d'électricité de base en Ontario », Canadian Energy Research Institute, octobre 2008.



[27] **Site web** : (http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap03/res/ch03_image01.g)



[28] European Standard. ISO 14040 and ISO 14044, July 2006.

Les collecteurs prédéfinis sur le SAM

- **Solargenix SGX-1**

Tableau 1(Annexe A) : représenter la géométrie et les paramètres optique de collecteur utilisé sur SAM pour la simulation.

La géométrie du collecteur	
Secteur réfléchissant d'ouverture	470.3 m ²
largeur d'ouverture, structure totale	5 m
largeur d'ouverture, structure totale	100 m
nombre de modèles par assemblée	12
longueur de trajet moyenne de surface-à-foyer	1.8 m
distance sifflante entre les assemblées	1 m
Les paramètres optiques	
erreur de cheminement	0.994
Effets géométriques	0.98
Réfectivité de miroir	0.935
saleté sur le miroir	0.95
Erreur optique générale	0.99

➤ **Bilan énergétique :**

$$E_{consommée} = E_{produite} * TRE \iff TRE = \frac{E_{consommée} MWh}{E_{produite} MWh / an}$$

Avec :

 N : Nombre d`année (Temps de retour énergétique) $E_{consommée}$: Consommation d'énergie de la centrale par an en MWh $E_{produite}$: Energie annuel de la centrale par an en MWh par an**Application numérique :****Centrale à Cylindro-Parabolique :**✓ **Site de Bechar :**

$$Temps_{recupéré} = \frac{12.28 * 10^9}{1.372 * 10^9} = 8.95ans = 8ansmois$$

✓ **Site de Tamanrasset :**

$$Temps_{recupéré} = \frac{12.28 * 10^9}{1.375 * 10^9} = 8.93ans = 8ans7mois$$

✓ **Site d'Ilizi :**

$$Temps_{recupéré} = \frac{12.28 * 10^9}{1.313 * 10^9} = 9.35ans = 9ans2mois$$

Centrale à Tour :✓ **Site de Bechar :**

$$Temps_{recupéré} = \frac{18.6 * 10^9}{2.245 * 10^9} = 8.285ans = 8ans2mois$$

✓ **Site de Tamanrasset :**

$$Temps_{recupéré} = \frac{18.6 * 10^9}{2.124 * 10^9} = 8.757ans = 8ans6mois$$

✓ **Site d'Ilizi :**

$$Temps_{recupéré} = \frac{18.6 * 10^9}{2.1 * 10^9} = 8.857ans = 8ans7mois$$

➤ Bilan carbonique :

$$CO2_{\text{évitée}}_{CSP} = CO2_{\text{produite}}_{\text{charbon}} - (CO2_{\text{produite}}_{CSP} + CO2_{\text{consommé}}_{CSP})$$

Figure 1(annexe B) : Emissions de CO2 pour 6 technologies de production d'électricité. On utilise cette figure pour les calculs de CO2 évitée par les deux filières.

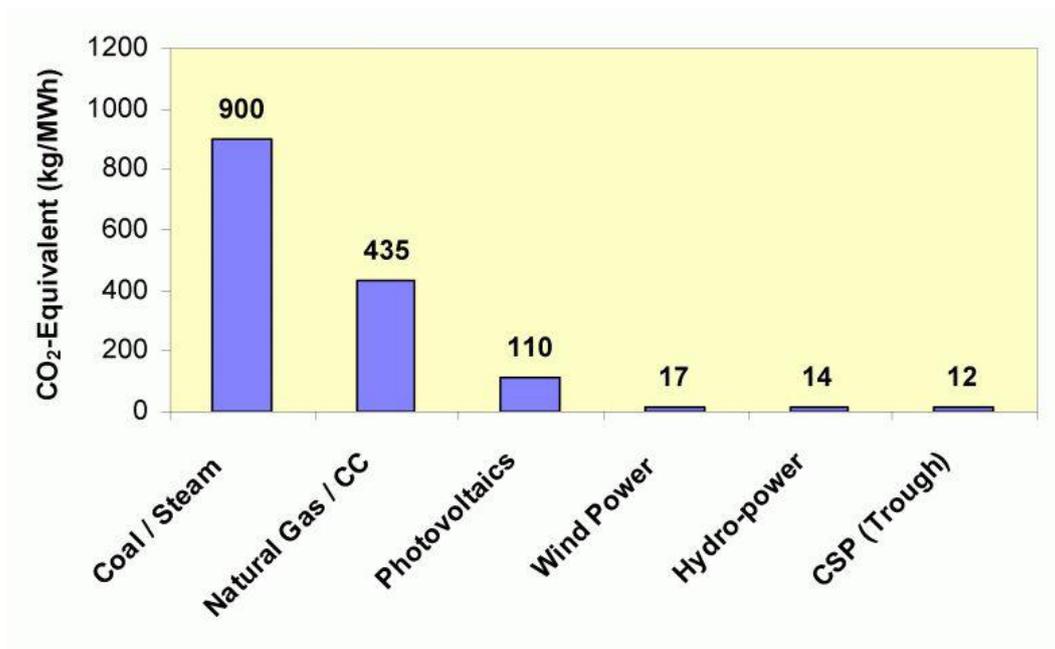
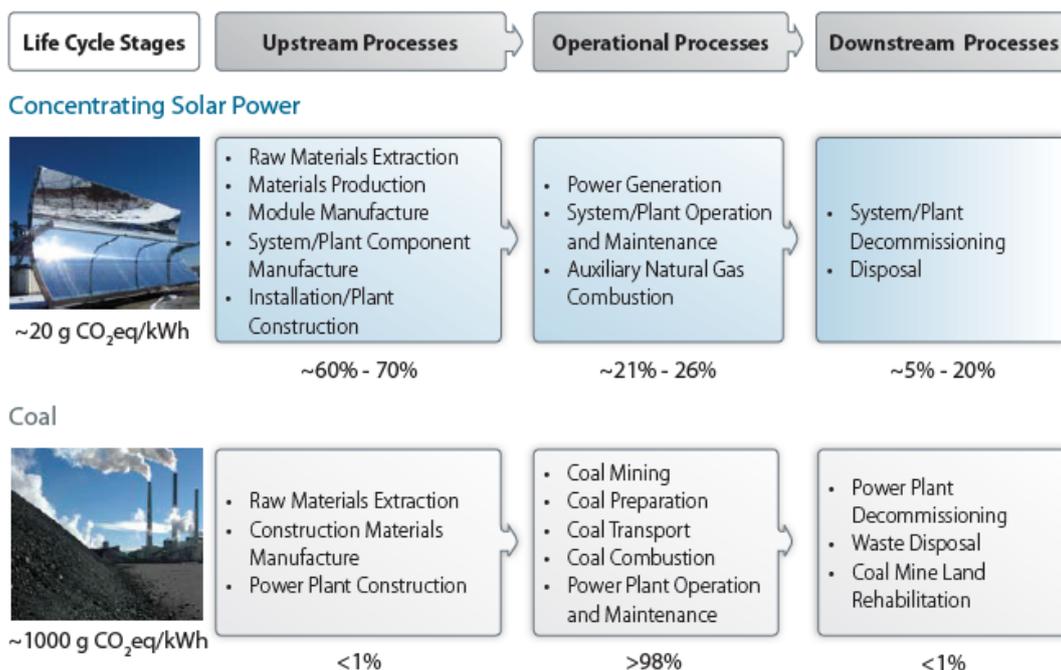


Figure 2 (annexe A) : Émissions de gaz à effet de serre de la concentration de l'énergie solaire.



Source: Burkhardt et al. (2012) and Whitaker et al. (2012), NREL/PIX 18553 and iStock/1627655, Top (left to right): Photo from iStock/13737597, NREL/PIX 18553, iStock/12123595, NREL/PIX 16933, NREL/PIX 18381, NRE/PIX 19163

Tableau 1(annexe A) : Liste des matériaux incorporés dans la centrale CSP de référence et les impacts environnementaux de leurs respectifs. Pour déterminer le CO2 consommée pendant la durée de vie par les deux filières.

Matériel	kg CO2eq
Verre	0,62
Acier	1,26
Béton	0,25
Fibre de verre	0,62
polyéthylène	1,75
Cuivre	1,52
Fonte de Fer	1.63
Fer	1,63
Ferrite (un composé de fer)	1,63
Huile de graissage	1,22
Huile synthétique (HTF)	0,14
Sels fondus (TES)	0,64

Application numérique :

- **Exemple : Centrale à Cylindro-parabolique « site de Bechar »**

Centrale à cylindro-parabolique :

La production annuelle = 381 388 192 KWh = 381 388,192 MWh

Facteur de charge = 43,6 % = 0.436

Le nombre d`heure dans l`année = 8 760 h

Le nombre d`heure de travail de la centrale pendant l`année :

$$0,436 \times 8760 = 3819h$$

La production de CO2 par la centrale à Cylindro-parabolique :

$$CO2_{produite,CSP} = production_{annuelle} \times f_{CSP}$$

$$CO2_{produit,CSP} = 381388,192 \times 12 = 4576656Kg = 4576,7Tonne$$

Centrale à Charbon :

La production de CO2 par la centrale à Charbon :

$$CO2_{\text{évité}} = puissance_{\text{nette,CSP}} \times f_{\text{Charbon}} \times \text{nbre,d`heure}_{\text{CSP}}$$

$$CO2_{\text{évité}} = 100 \times 1000 \times 3819 = 381900000 \text{Kg} = 389100 \text{Tonne}$$

Alors le CO2 évitée par la centrale à cylindro-parabolique :

$$CO2_{\text{évité}} = 381900 - (46934 + 4576) = 330390 \text{Tonne}$$

Analyse du cycle de Vie

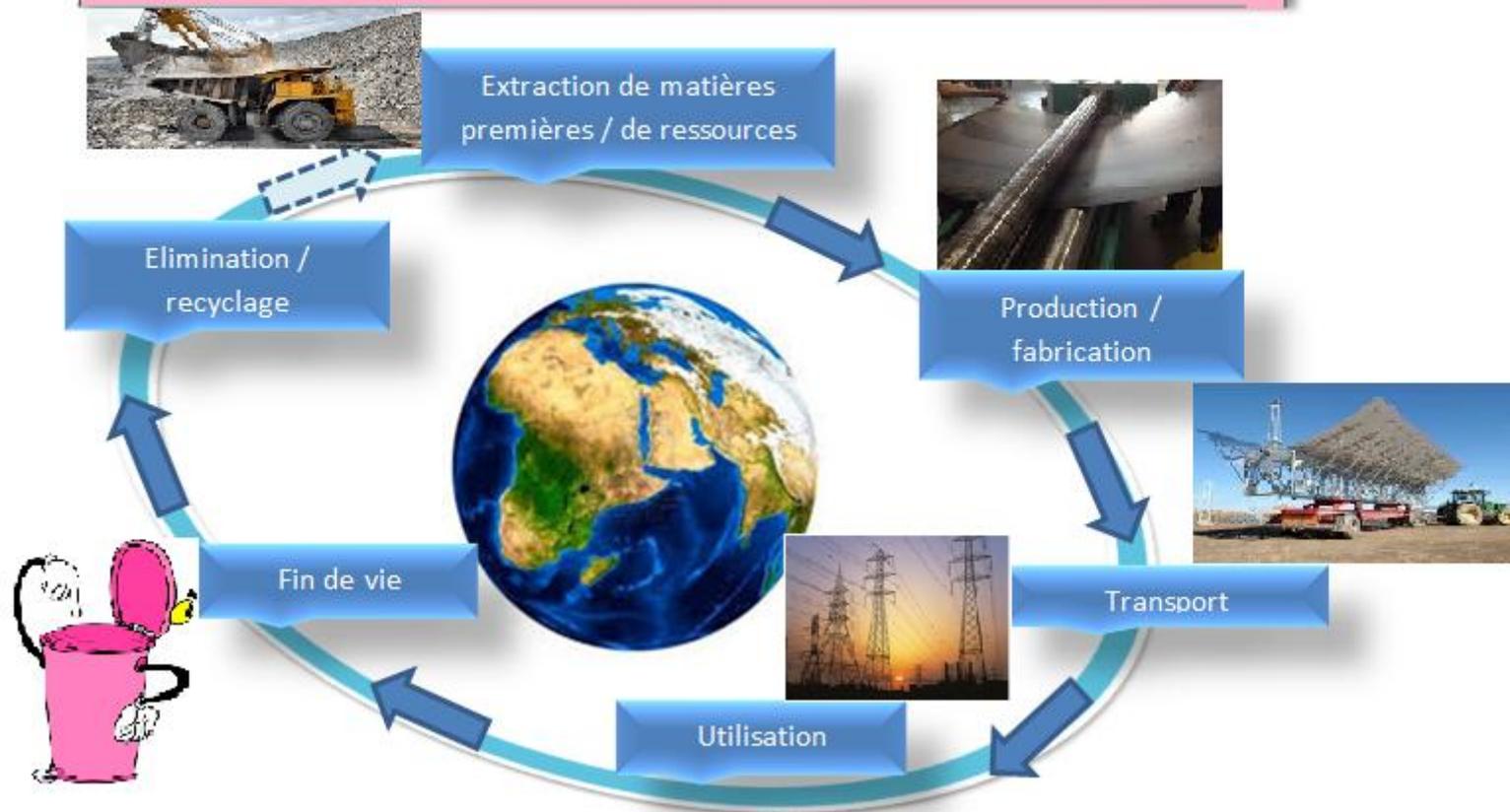


Schéma de principe de mémoire