

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة  
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana



Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie Et Sciences De La Terre  
Département des Sciences Biologiques  
**Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master**  
Filière : Ecologie et environnement  
Spécialité : Protection des écosystèmes

**Utilisation de l'énergie hydraulique des barrages dans la  
protection des écosystèmes : Impact sur l'environnement**

*Présenté par :*

**Melle : NGALEKIRA Rolmie Marlande**

**Membres de jury :**

<b>Président :</b>	Mehaiguene Madjid	MCB	UDBKM
<b>Promotrice :</b>	Baouche Fatima Zohra	MCB	UDBKM
<b>Examineur:</b>	Amrani Rachid	MAA	UDBKM

**Année universitaire 2020/2021**

## **DÉDICACE**

*Je dédie ce modeste travail de fin d'étude à :*

*A mon père car ceci est ma profonde gratitude pour son grand soutien dans mes études, que ce travail soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.*

*A ma mère **Martine Nkoli** pour son amour et ses prières*

*A ma sœur **Marolle** pour ses prières je t'aime*

*A mes frères*

*A ma grande sœur et à toute sa famille*

*A mes neveux et nièces : Jovia, Rolcia Rolvanie, Prospérine, Roland, Kervine, Ronica, Gina, Jorfina, Winner ...*

*Ma grande mère que Dieu lui accorde une longue vie*

*A une personne que je considère comme ma propre sœur **Urjulia***

*A Mes ami(es)*

*A une personne que j'aime beaucoup **Rosaire ABONI***

## **REMERCIEMENTS**

*Je remercie premièrement Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné la volonté, le courage, la force et la patience de parvenir à réaliser ce modeste travail.*

*J'aimerais exprimer ma gratitude à ma promotrice madame **Baouche Fatima Zohra** pour la patience, le soutien et l'aide qu'a pu m'apporter.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, et qui nous feront le plaisir d'apprécier.*

*Je remercie également mes parents pour la confiance qu'ils ont su placer en moi, pour les bonnes valeurs qu'ils ont pu m'inculquer, soyez-en fiers.*

*Je ne saurais vous récompenser pour tout ce que vous avez fait pour moi depuis toujours, seulement considérez ce mémoire comme gage de ma gratitude et mon humilité face à votre présence, vos encouragements, vos bénédictions et tous vos sacrifices.*

*Je remercie toute la promotion Master 2 Protection des écosystèmes*

*Je remercie mon père de m'avoir apporté son aide*

*Je remercie mon ami **Alain chrystian** pour ces conseils*

## Résumé

Ce manuscrit collecte les résultats d'une synthèse détaillée de notre étude théorique sur les impacts sur l'environnement d'installation des centrales hydroélectriques à côté des barrages. Dans le contexte environnemental actuel, L'Algérie a justifié la place majeure de l'hydroélectricité dans sa production, car ce type de système est peu polluant. Les émissions considérables de gaz à effets de serre (GES) et de dioxyde de soufre par les nombreuses centrales thermiques de pétrole et de charbon contribuent à crédibiliser la position adoptée par l'état envers l'énergie hydroélectrique. Malgré les nombreuses critiques formulées en raison des impacts environnementaux négatifs au niveau des centrales, leur avantage positif sert également à justifier la construction de nouvelles centrales hydroélectriques. Notre étude, nous a permis de connaître les différentes sources de l'énergie, ainsi que les blocs descriptifs constituant une centrale hydroélectrique en comprenant bien son principe de mise en marche et son rendement. Une synthèse détaillée a été effectuée sur les impacts de la construction des différents types de barrages et d'installation des centrales hydroélectrique en se basant sur les travaux de recherches réalisées dans le domaine de l'écologie et de l'environnement. Enfin, différents impacts sont pris en considération, tels que : impacts sur le paysage, impacts sur la flore et la faune, impacts sur la qualité de l'air, impacts sur les niveaux de bruit, impacts en matière d'érosion, impact sur le milieu humain, impact sur l'agriculture et impacts sur la santé publique.

**Mots clés :** Barrages ; centrale hydroélectrique ; turbine, Gaz à effet de serre, impacts environnementaux, énergie propre.

## ملخص

هذا المخطوط يجمع نتائج تفصيلية لدراستنا النظرية حول التأثيرات على البيئة الناتجة عن انشاء المحطات الكهرومائية بجوار السدود. في السياق البيئي الحالي ، بررت الجزائر المكانة الرئيسية للطاقة الكهرومائية في إنتاجها لأن هذا النوع من الأنظمة منخفض التلوث. تساعد الانبعاثات الكبيرة لغازات الانحباس الحراري وثاني أكسيد الكبريت من قبل العديد من محطات الطاقة التي تعمل بالنفط والفحم على إضفاء المصداقية على الموقف الذي تتبناه الدولة حول الطاقة الكهرومائية. على الرغم من الانتقادات العديدة التي تم طرحها بسبب التأثيرات البيئية السلبية على مستوى مراكز محطات تصنيع الكهرباء، فإن ميزتها الإيجابية تعمل أيضًا على تبرير إنشاء محطات طاقة مائية جديدة. سمحت لنا دراستنا بمعرفة المصادر المختلفة للطاقات، وكذلك المكونات الوصفية لمحطة الطاقة الكهرومائية ، مع الفهم الجيد لأدائها و عائداتها. قمنا أيضا بجمع معلومات مفصلة حول تأثيرات إنشاء مختلف أنواع السدود وتركيب محطات الطاقة الكهرومائية بناءً على الأبحاث التي أجريت في مجال البيئة. أخيرًا، قمنا بالأخذ في الاعتبار مختلف أنواع التأثيرات الناتجة عن ذلك ، مثل: التأثيرات على المناظر الطبيعية ، والتأثيرات على النباتات والحيوانات ، والتأثيرات على جودة الهواء ، والتأثيرات على مستويات

الضوضاء ، والتأثيرات من حيث التعرية ، والتأثير على البيئة البشرية ، والتأثير على الزراعة وتأثيراتها على الصحة العامة .

**الكلمات المفتاحية :** سدود, محطات هيدروكهربائية, عنفة, غاز الاحتباس الحراري, التأثيرات البيئية, الطاقة النظيفة.

## **Abstract**

This manuscript collects the results of a detailed synthesis of our theoretical study on the environmental impacts of installing hydroelectric plants next to dams. In the current environmental context, Algeria has justified the major place of hydropower in its production, because this type of system is low polluting. The considerable emissions of greenhouse gases (GHGs) and sulfur dioxide by the numerous petroleum and coal-fired power stations help to give credibility to the position adopted by the state towards hydropower. Despite the many criticisms made due to the negative environmental impacts at the plant level, their positive advantage also serves to justify the construction of new hydropower plants. Our study has allowed us to know the different sources of energy, as well as the descriptive blocks constituting a hydroelectric power station by fully understanding its starting principle and its performance. A detailed synthesis was made on the impacts of the construction of different types of dams and the installation of hydroelectric power stations based on research carried out in the field of ecology and the environment. Finally, different types of impacts are taken into consideration, such as: impacts on the landscape, impacts on flora and fauna, impacts on air quality, impacts on noise levels, impacts in terms of erosion, impact on the human environment, impact on agriculture and impacts on public health.

**Keywords:** Dams; hydroelectric power plant; turbine, Greenhouse gas, environmental impacts, clean energy.

# TABLE DE MATIERES

Résumé.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux .....	III
Liste des abréviations.....	IV
<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables.....</b>	<b>5</b>
I.1 Introduction.....	5
I.2 Différentes formes des énergies .....	5
I.3 Types d'énergies .....	6
I.3.1. Energie non renouvelable .....	6
I.3.2. Energie renouvelable .....	7
I.4 Energies renouvelables .....	7
I.4.1 productions de l'énergie électrique .....	7
I.4.2 Différents types d'énergie renouvelable .....	7
A. Solaire Thermique et Photovoltaïque .....	7
B. Géothermie .....	8
C. Biomasse.....	9
D. Energie éolienne.....	10
E. Energie hydraulique .....	11
I.5 Avantages et Inconvénients des énergies renouvelables .....	12
I.5.1 Avantages des énergies renouvelables.....	12
I. 5.2 Inconvénients des énergies renouvelables .....	13
I.6 Conclusion.....	14
<b>Chapitre II: Généralités sur les systèmes hydroélectriques .....</b>	<b>16</b>
II.I Introduction .....	16
II.2 Historique .....	16
II.3 Centrales hydroélectriques .....	17
II.3.1 Centrales gravitaires.....	18
II.2.2 Stations de transfert d'énergie par pompage (S-T-E-P).....	18
II.3.3 Usines marémotrices .....	19
II .4 Types de centrales hydroélectriques.....	19

II.4.1 Centrale alimentée par un réservoir .....	19
II.4.2 Centrale au fil de l'eau .....	20
II.5 Classification des centrales hydroélectriques .....	20
II.5.1 Centrales électriques de haute chute ( $h > 300\text{m}$ ) .....	20
II.5.2 Centrales électriques de moyenne chute ( $30 < h < 300\text{m}$ ) .....	20
II.5.3 Centrales électriques de basse chute ( $h < 30\text{m}$ ) .....	21
II.5.4 Classification des centrales selon la puissance délivrée .....	21
II.6 Utilisation des barrages dans la production de l'électricité .....	22
II.6.1 Types de barrages .....	23
A. Barrages en béton .....	23
B. Barrages en remblai .....	24
II.7 Principe de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique .....	25
II.7.1 Fonctionnement technique.....	26
A. Une prise d'eau (dans le cas des centrales au fil de l'eau).....	26
B. La centrale, appelée aussi usine.....	27
II.7.2 Constitution d'une centrale hydroélectrique.....	27
A. Bassin .....	27
B. Pompe [Cédric FERLAT, 2009] .....	27
II.7.3 Equipements d'une centrale hydroélectrique.....	28
A. Structures de génie civil .....	28
B. Turbine hydraulique.....	29
B.2 Turbine Pelton.....	31
B.3 Turbine Crossflow (ou Banki Mitchell).....	31
II.8 Choix de lieu de la centrale.....	34
II.9 Générateurs ou alternateurs.....	34
II.10 Les transformateurs .....	35
II.11 Avantages des centrales hydroélectriques.....	35
II.12 Inconvénients des centrale hydroélectriques .....	35
II.13 Conclusion .....	36
<b>Chapitre III : Étude des impacts des barrages hydroélectriques.....</b>	<b>38</b>
III.1 Introduction .....	38
III.2 Historique .....	38
III.3 Classification des barrages .....	40
III.4 Utilité des barrages.....	41
III.5 Impacts des barrages .....	42

III.5.1 Types d'impacts.....	42
III.5.2 L'étude d'impacts .....	43
A. Description technique.....	44
B. Cadre institutionnel .....	44
C. Diagnostique et analyse.....	44
D. Identification des impacts.....	45
D.1 Phase de préparation.....	45
D.2 Phase d'exploitation .....	46
D.3 Mesure d'atténuation.....	46
III.6 Identification des impacts sur l'environnement .....	46
III.6.1 Impact de l'ouvrage sur le paysage.....	46
A. Phase de construction.....	46
B. Phase d'exploitation.....	47
III.6.2 Impact de l'ouvrage sur la flore.....	47
A. Phase de construction .....	47
B. Phase d'exploitation.....	47
III.6.3 Impact de l'ouvrage sur la faune .....	48
A. Phase de construction .....	48
B. Phase d'exploitation .....	48
III.6.4 Impact de l'ouvrage sur la qualité de l'air.....	48
A. Phase de construction.....	48
B. Phase d'exploitation.....	48
III.6.5 Impact de l'ouvrage sur les niveaux de bruit.....	48
A. Phase de construction .....	48
B. Phase d'exploitation .....	49
III.6.6 Impact en matière d'érosion .....	49
III.6.7 Impact sur le milieu humain.....	49
A. Impacts démographiques .....	49
B. Impacts sur les infrastructures et les équipements .....	49
C. Impact économique.....	49
III.6.8 Impact sur l'agriculture.....	50
A. Zone de la cuvette .....	50
B. Zone avale .....	50
III.6.9 Impact sur la santé publique .....	51
III.6.10 Impact hydraulique .....	51

III.6.11. Impact sur la faune aquatique.....	52
A. Obstacles à l'écoulement.....	52
B. Tronçon Court-Circuit (TCC).....	52
C. Frayères.....	52
D. Influence de la qualité de l'eau sur les espèces végétales.....	53
E. Espèces de milieux aquatique.....	53
III.6.12 Impact sur les écosystèmes.....	53
III.7 Mesures d'atténuations des impacts .....	54
III.7.1 Mesure pour la flore et la aune.....	54
III.7.2 Mesure pour les effets de 'érosion.....	55
III.7.3 Mesure pour les effets sur l'activité agricole.....	56
III.8 Impact environnemental des centrales hydroélectriques.....	56
III.8.1 Impacts positifs.....	56
III.8.2 Impacts négatifs.....	56
III.9 Conclusion.....	57
<b>Chapitre IV : Impacts des installations hydroélectriques .....</b>	<b>59</b>
IV.1 Introduction .....	59
IV.2 Evaluation des impacts.....	59
IV.2.1 Impacts par rapport à tous les usages.....	59
IV.2.2 Temps et moyens nécessaires pour une analyse sérieuse.....	60
IV.3 Etude comparative entre plusieurs projets .....	60
IV.4 Impacts sur l'eau.....	60
IV.4.1 Stagnation de l'eau .....	60
IV.4.2 Augmentation de la température .....	61
IV.4.3 Evaporation.....	63
IV.4.4 Infiltration, échanges avec les nappes.....	64
IV.4.5 Salinité de l'eau .....	64
IV.4.6 Concentration des polluants .....	65
IV.4.6 Crues .....	65
IV.4.7 Etiages.....	65
IV.5 Impacts sur l'air .....	65
IV.5.1 Production de GES .....	65
IV.6 Impacts sur les sédiments .....	66
IV.6.1 En amont du barrage.....	66
IV.6.2 En aval du barrage .....	67

IV.7 Impacts sur les sols .....	67
IV.7.1 Erosion.....	67
IV.7.2 La pollution.....	67
IV.7.3 Perte de surface agricoles ou forestières .....	67
IV.7.4 Dégradation des terres irriguées .....	68
IV.7.5 Les séismes .....	68
IV.8 Impacts sur la vie aquatique .....	68
IV.8.1 Les végétaux .....	68
IV.8.2 Les poissons .....	68
IV.8.3 Etude de la mortalité des saumons et anguilles à cause des turbines.....	69
IV.8.4 Etude de franchissabilité d'un barrage.....	70
IV.9 Impacts sur les zones humides.....	70
IV.10 Impacts sur les hommes .....	70
IV.10.1 Autonomie énergétique.....	70
IV.10.2 Déplacements de population .....	71
IV.10.3 Le développement.....	70
IV.10.4 Coût des barrages .....	71
IV.10.5 Sécurité des habitants.....	71
IV.10.7 Maladies.....	73
IV.10.8 Les nuisances.....	73
IV.10.9 Différents conflits internationaux .....	73
IV.11 Conclusion.....	74
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>75</b>
<b>References bibliographiques .....</b>	<b>76</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>84</b>

# Liste des figures

## ❖ Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

Figure I.1 : Solaire Thermique et Photovoltaïque .....	08
Figure I.2 : Solaire Thermique et Photovoltaïque .....	08
Figure I.3 : Utilisation de la biomasse .....	09
Figure I.4 : Composition d'une centrale éolienne .....	10
Figure I.5 : Composante mécanique d'une centrale hydroélectrique .....	11

## ❖ Chapitre II : Généralités sur les systèmes hydroélectriques

Figure II.1 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique gravitaire .....	18
Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique STEP .....	19
Figure II.3 : Centrale hydroélectrique de basse chute .....	21
Figure II.4 : Catégories des barrages en remblai .....	24
Figure II.5: Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique .....	26
Figure II.6 : Fonctionnement d'une turbine à action .....	28
Figure II.7 : Turbine Pelton .....	31
Figure II.8 : Turbine Crossflow .....	32
Figure II.9 : Turbine Francis .....	33
Figure II.10: Turbine Kaplan .....	33

## ❖ Chapitre IV : Impacts des installations hydroélectriques

Figures IV.1 .....	61
--------------------	----

## Liste des tableaux

Tableau II-1 : Classification des centrales hydroélectriques en fonction de la puissance.....	20
Tableau III.1 : Les principaux rôles des barrages .....	40

## **Liste des abréviations**

S-T-E-P : Station de transfert d'énergie par pompage STEP

GES : Gaz à effet de Serre

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

## Introduction générale

Un des principaux challenges imposés par la société est d'assurer une disponibilité énergétique pour répondre aux besoins en tout instants. Donc, une énergie renouvelable est une solution pour la réponse au déficit Énergétique qui se présente au XXIème siècle. Pour maîtriser la production d'énergie renouvelable, il est nécessaire de pouvoir maîtriser la source de cette énergie. Si ces éléments n'ont pas été maîtrisés pour l'énergie solaire et éolienne, la construction des barrages hydroélectriques permet de contrôler la production et donc l'offre en fonction de la demande énergétique.

Pour savoir l'origine de l'utilisation de l'énergie hydraulique nous avons fait plusieurs recherches dans ce sens ou on a trouvé que les historiens s'accordent sur une date approximative du IIIème siècle avant Jésus Christ. A cette époque, l'énergie était conservée sous la forme mécanique pour faire actionner les meules des moulins à blé. Cette utilisation de l'énergie hydraulique fut conservée jusqu'à l'avènement de l'électricité. A l'heure actuelle, la production énergétique se tourne majoritairement vers l'électricité avec une grande part de transformation. Dans [ALCEN, 2015], ils ont déclaré qu'avec une production journalière de 10 037 GWh en 2012, il s'agit de la première source de l'énergie renouvelable dans le monde. Par rapport à la disponibilité on peut dire que l'hydroélectricité est reconnue comme une énergie renouvelable répondant particulièrement bien aux besoins énergétiques de la société. Son développement est lié d'une part aux avantages qui lui incombent. [König, 2015].

Le problème de contrôle de stockage de l'énergie est un enjeu majeur pour l'indépendance future de la société par rapport aux énergies fossiles. Dans ce sens, l'énergie potentielle de l'eau est encore utilisée comme solution d'adaptation de l'offre par rapport à la demande. En pompant de l'eau vers un bassin situé en amont lorsque l'offre dépasse la demande et en la turbinant vers un bassin aval lorsque la demande est supérieure, on utilise l'énergie potentielle gravifique comme moyen de stockage de l'énergie et ensuite

l'hydroélectricité comme moyen de valorisation. Si les stations de pompage turbinage permettent donc d'utiliser les surplus d'énergie, les barrages quant à eux permettent d'adapter l'offre en maîtrisant le passage de l'eau dans les turbines. Avec ces caractéristiques de production, les retenues d'eau pour la production électrique sont positives. L'inconvénient de la consommation d'espace pour le stockage de l'eau peut mener à l'expulsion des populations locales, au bouleversement des équilibres écologiques, et à une perte de biodiversité.

Dans le cadre de la poursuite du développement de la production de cette énergie renouvelable et face à ces atteintes environnementales, il convient actuellement de mieux prendre en compte les diverses précautions indispensables pour annuler ou réduire les impacts environnementaux des infrastructures hydroélectriques sur la qualité des eaux, les fonctionnements de l'écosystème du cours d'eau, en particulier la faune piscicole, et la qualité du paysage.

Il est important d'éviter que l'aménagement ou la réhabilitation de nombreux sites de barrages engendre de nouveaux impacts environnementaux difficilement réductibles, en particulier lorsqu'il s'agit de perturbations majeures sur les écosystèmes aquatiques. Ce serait d'autant plus regrettable puisque ce serait cautionné et favorisé par des aides économiques et environnementales notamment liées aux certificats verts. Il est donc essentiel que le développement, a priori non polluant et certainement souhaitable de cette forme d'énergie renouvelable, examine attentivement au préalable les différents moyens disponibles à mettre en œuvre pour réduire et supprimer les impacts environnementaux **[Philip part, J.C. et Sony D., 2002]**.

Notre travail est une étude théorique des impacts de l'utilisation de l'énergie hydraulique des barrages dans la production d'électricité sur l'environnement. Nous avons basé sur les travaux de recherches effectuées par **[AMARA Fatma, 2018]**, **[Billal et Bouroga, 2019]**, **[Stéphane LERAY, 2019]**, **[Pearce Fred, 2006]**, **[Dias Coelho et al,**

2015], pour présenter les impacts environnementaux de l'installation des centrales hydroélectrique à côté des barrages tels que les impacts des barrages, impact de l'ouvrage sur le paysage, impact de l'ouvrage sur la flore et la faune, impact de l'ouvrage sur la qualité de l'air, impact de l'ouvrage sur les niveaux de bruit, impact en matière d'érosion, impact sur le milieu humain, impact sur l'agriculture, impact sur la santé publique, impact hydraulique, les impacts par rapport à tous les usages, impacts sur l'eau, impacts sur l'air, impacts sur les sédiments, impacts sur les sols, impacts sur la vie aquatique, impacts des zones humides, impacts sur les hommes.

Ce manuscrit constituant quatre chapitres. Le premier chapitre se base sur le domaine des énergies utilisées actuellement tandis que le deuxième chapitre est consacré à une explication du principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique et ses blocs constitutionnels. Le troisième chapitre est rédigé après avoir effectué une sérieuse synthèse sur les recherches basées sur l'influence des impacts environnementaux induisent par la construction des barrages. Notre mémoire se termine par un quatrième chapitre consacré à l'étude des différents impacts des installations hydroélectriques. Le manuscrit se finalise par une conclusion générale achève le contenu de ce mémoire en citant les perspectives de notre étude.

# **Chapitre I: Généralités sur les énergies renouvelables**

## Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

### I.1 Introduction

L'énergie, sous ses multiples formes, est un pilier très important du développement socio-économique des sociétés contemporaines. En effet, l'accroissement de la demande pour les ressources énergétiques en provenance des économies émergentes et la rareté grandissante des combustibles fossiles traditionnels bouleversent les modèles énergétiques actuels. La demande accrue des pays émergents et les réserves de pétrole diminuant encouragent la mise en place d'alternatives afin de combler ces besoins en croissance permanente. Les énergies renouvelables constituent de véritables solutions aux combustibles fossiles, notamment pour les communautés quasi exclusivement dépendantes de ces types d'énergies. [ABBAD IMANE, 2019]

### I.2 Différentes formes des énergies

- **Énergie chimique** : Cette énergie provient des atomes, des molécules et de leurs interactions ;
- **Énergie Électrique** : Générée par le mouvement des électrons ;
- **L'énergie d'attraction** : Les objets volumineux tels que la terre et le soleil créent la gravité et le pouvoir d'attraction ;
- **Énergie thermique** : Elle provient des molécules résultant de différentes réactions thermiques ;
- **Énergie solaire** : La lumière est appelée énergie radioactive et la terre tire une grande partie de son énergie de la lumière du soleil ;
- **Énergie cinétique [Zouak Belgacem, 2012]** : Tout ce qui bouge a de l'énergie et cette énergie est appelée carte de mouvement ;

- **Énergie nucléaire** : Les divisions massives de cette énergie peuvent être générées par la division successive des atomes ;

**Énergie potentielle** (l'énergie d'état) : Il s'agit de l'énergie stockée dans un objet particulier.

[Laurence Serra, 2011]

## I.3 Types d'énergies

Les énergies ont été divisées en deux types selon l'étendue de la possibilité de renouvellement et de continuation de cette énergie.

### I.3.1. Energie non renouvelable

C'est l'énergie conventionnelle ou l'énergie qui est épuisée et comprend le charbon, le pétrole, le gaz naturel et les produits chimiques, c'est-à-dire une énergie qui ne peut pas être reconstruite ou compensée rapidement. [Laurence Serra, 2011]

### I.3.2. Energie renouvelable

Les énergies renouvelables sont importantes pour les êtres humains depuis le début de la civilisation. Elles présentent le plus grand taux de croissance parmi les sources d'énergie. Certains nombres de facteurs sont à l'origine de cette attention accrue sur les sources d'énergies renouvelables. Les inquiétudes sur la volatilité des prix du pétrole, la dépendance sur les sources d'énergie étrangères, et les conséquences environnementales par les émissions de gaz à effet de serre sont tous des facteurs contribuant à l'intérêt actuel pour les sources d'énergie renouvelables. De plus, l'émergence de politiques gouvernementales a été essentielle dans la promotion des énergies renouvelables comme solution viable, composante du portefeuille d'énergie des différents pays. Les sources d'énergies renouvelables continueront d'offrir plus de potentiel que la production actuelle basée sur les sources d'énergies fossiles [S. Bilgen, 2014] [N. Apergis et J. E. Payne, 2010] [N. Bowden et J. Payne, 2010] [R. E. Sims, H.-H. Rogner et K. Gregory, 2003].

## I.4 Energies renouvelables

### I.4.1 productions de l'énergie électrique

Une centrale de production d'énergie électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques transforment les différentes sources d'énergies naturelles en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains. Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs. [TRAORE Massitan, 2017]

### I.4.2 Différents types d'énergie renouvelable

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont : [Khadraoui Zakaria, 2017]

- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- la géothermie.

#### A. Solaire Thermique et Photovoltaïque

L'énergie solaire est l'une des ressources renouvelables les plus abondantes sur terre, le flux d'énergie solaire reçu annuellement sur la surface de la terre représente environ 15000 fois la consommation d'énergie [A. Mirecki, 2005]. Comme le montre la figure I.1, L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques :

La conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques c'est le solaire thermique : Il est utilisé dans les chauffe-eau solaires. Il est aussi utilisé dans les planchers thermiques.

La conversion directe du rayonnement lumineux en électricité par des capteurs (Cellule photovoltaïque) c'est le solaire photovoltaïque : Les panneaux photovoltaïques composés de cellules à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La

production d'électricité par générateur photovoltaïque est liée à l'intensité, durée de l'ensoleillement et à l'orientation du panneau par rapport au soleil. [A. MIRECKI, 2005]  
[ABDELHAMID LILIA, 2012]

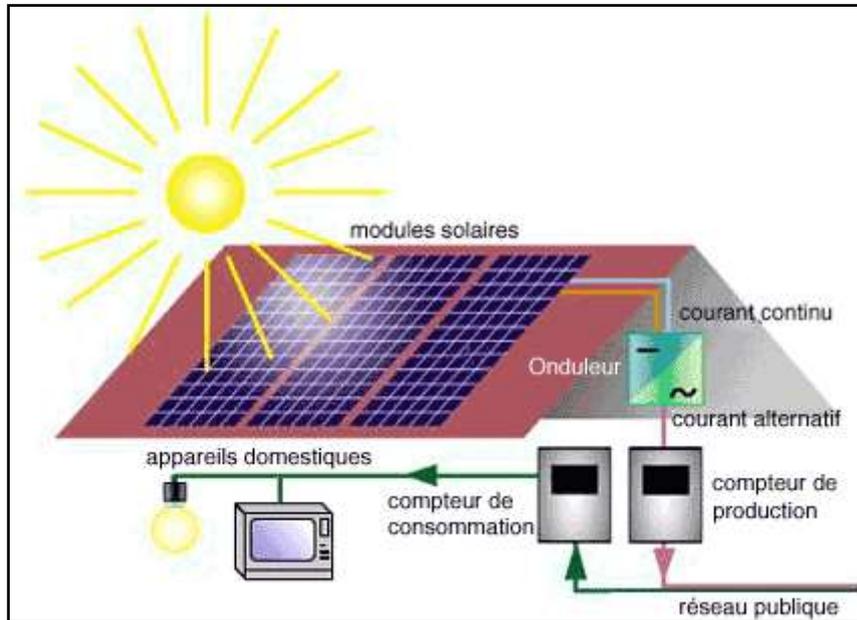


Figure I.1 : Solaire Thermique et Photovoltaïque. Source :

<https://images.app.goo.gl/QLMYMz7ryDffUek76>

## B. Géothermie

La géothermie consiste à capter la chaleur de la croûte terrestre pour produire du chauffage ou de l'électricité. Le sous-sol est naturellement chaud surtout à grande profondeur, plus on s'enfonce dans les entrailles de la terre, plus les températures augmentent, 3 à 4°C tous les 100m, cette eau chaude est utilisée pour le chauffage des maisons et autres immeubles (Figure I.2). L'exploitation des eaux souterraines et le développement des pompes à chaleurs pourraient faire de la géothermie une des grandes énergies durables de demain. Le principe de la pompe à chaleur est : un capteur prélève de la chaleur du sol à l'extérieur par exemple sous une pelouse, son origine se trouve d'ailleurs dans le rayonnement solaire, cette chaleur est transmise dans la maison via un plancher chauffant, dans tous les cas le transfert de la chaleur nécessite un fluide caloporteur. [A. MIRECKI, 2005]

La géothermie s'est développée au 20ème siècle dans de nombreux pays pour la production d'électricité, avec des eaux de très hautes températures transformées en vapeur à titre d'exemple nous pouvons citer la centrale bouillante en GUADLOUPE Française. Une vingtaine de pays produisent de l'électricité à partir de la géothermie.

Dans le monde entier, la capacité de production des installations géothermiques dans 18 pays était d'environ 5800 MW en 1990, elle atteint aujourd'hui les 8700 MW. [ABDELHAMID LILIA, 2012] La géothermie joue un rôle essentiel pour les pays en développement : 22% de l'électricité produite aux philippines, 12% au Salvador 15% en Islande. Le Japon est le premier producteur mondial d'équipement géothermique. [ABDELHAMID LILIA, 2012]

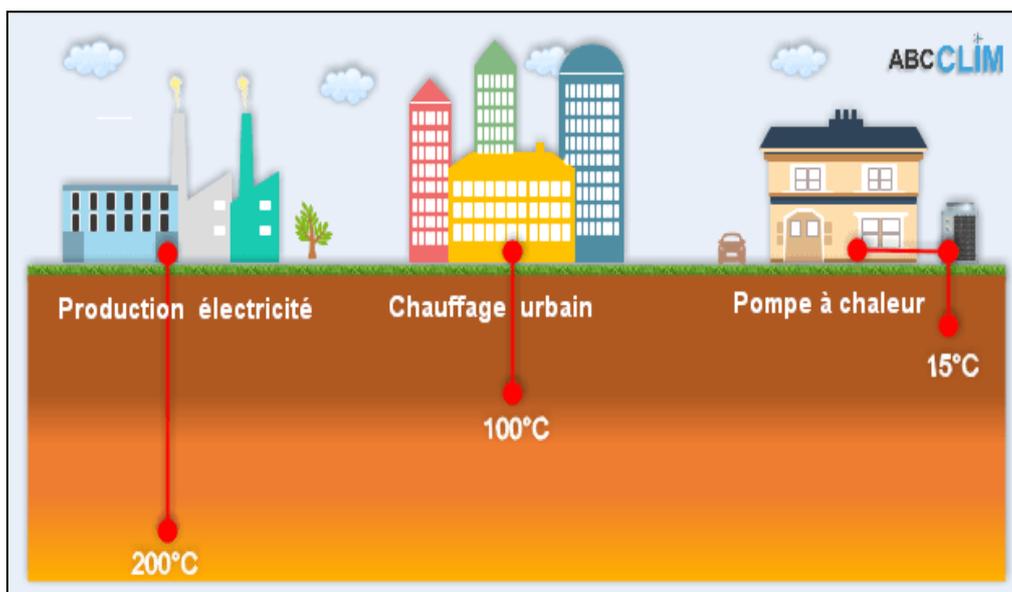


Figure I.2 : Solaire Thermique et Photovoltaïque.

## C. Biomasse

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, haies, parcs et jardins, industries générant des co-produits, des déchets organiques ou des effluents d'élevage. Elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou

déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites. En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité. De ce fait, sa participation à la production d'énergie mondiale est énorme par rapport aux autres énergies. [BIDI Manel, 2019]

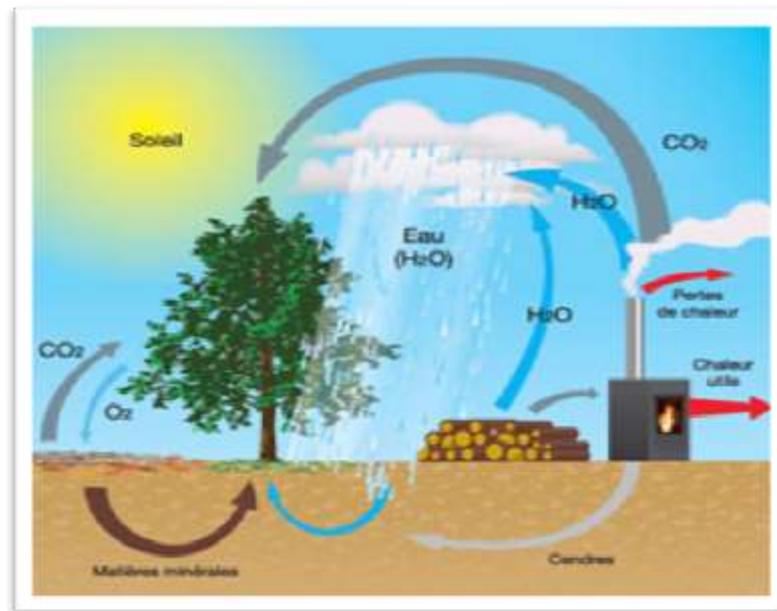


Figure I.3 : Utilisation de la biomasse. **Source :** <https://images.app.goo.gl/mQD72pEAAVPcf5qz8>

## D. Energie éolienne

L'énergie éolienne est produite sous forme d'électricité par une éolienne. En remarquant la figure I.4, nous pouvons citer que les éoliennes sont formées d'un mat surmonté d'un générateur électrique entraîné par une hélice, sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées. [TRAORE Massitan, 2017]

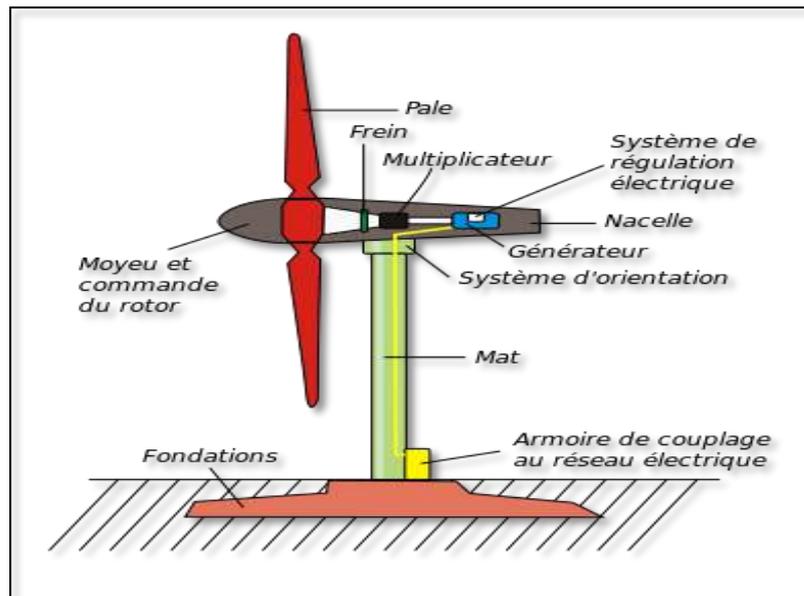


Figure I.4 : Composition d'une centrale éolienne. **Source : 60-**

<https://images.app.goo.gl/H5ZnBrNXAQMzuzU66>

## E. Energie hydraulique

L'énergie hydraulique, provient de la captation de la variation d'énergie potentielle de l'eau entre deux niveaux. L'hydroélectricité met en valeur une richesse naturelle importante et produit une énergie propre et entièrement renouvelable, sans aucune émission à effet de serre. C'est une source d'énergie de mise en service simple et très rapide, en effet lorsque l'eau est stockée, il suffit d'ouvrir des vannes pour commencer le cycle de production d'électricité. Ces caractéristiques lui permettent d'être très flexible pour la régulation de la charge électrique, elle est avantageusement utilisée lors des pics de consommation. Ce qui permet d'éviter la prise en route coûteuse des autres types de centrales électriques reliés au même système.

[Silini.M., - Camblong, H., 2003] [Kendouli.F., 2012]

Suite à la figure I.5, Une centrale hydroélectrique se compose principalement d'un réservoir, d'une conduite à la turbine, d'une turbine couplée avec génératrice électrique. L'énergie hydroélectrique utilise la force de l'eau, c.à.d. la combinaison d'un débit et d'une chute afin de produire de l'énergie électrique. Autrement dit, l'énergie potentielle de l'eau retenue dans le réservoir se transforme en énergie cinétique, ce qui entraîne la rotation de la

turbine hydraulique. La turbine est couplée à un alternateur qui va produire à son tour de l'électricité. [Boulahia.A., 2009]

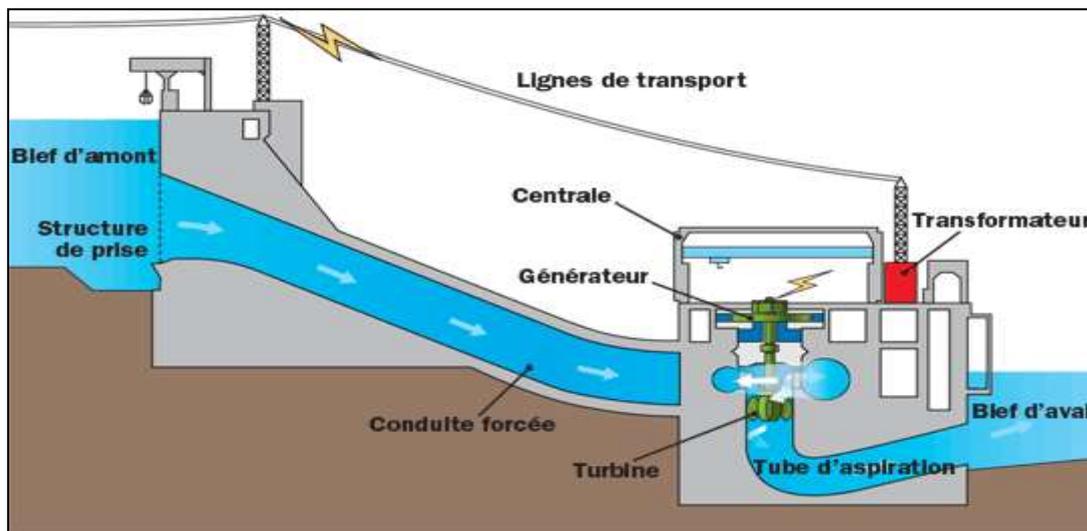


Figure I.5 : Composante mécanique d'une centrale hydroélectrique. Source :

<https://images.app.goo.gl/4QJkCZkTVwQ8ugN57>

## I.5 Avantages et Inconvénients des énergies renouvelables

### I.5.1 Avantages des énergies renouvelables [ABBAD IMANE, 2019]

Les avantages des énergies renouvelables sont nombreux, car ces dernières sont en général propres, sûres et surtout, elles existent en quantité illimitée parmi lesquelles on peut citer :

- La sûreté est l'un des avantages principaux, car il existe de très faibles risques d'accident ;
- Elles génèrent également peu de déchets, et ces déchets sont parfois recyclables ;
- La décentralisation des énergies renouvelables est aussi un facteur positif très important pour développer certains territoires et le développement local ;
- Ces énergies renouvelables permettent de réduire considérablement l'émission de CO<sub>2</sub> ;

- L'énergie nucléaire ne participe pas à l'effet de serre, mais les craintes que représente cette énergie sont beaucoup plus graves comme les risques d'explosion ou d'accident, la prolifération des armes nucléaires et le sort des déchets nucléaires. [Bensaci Wafa, 2011] [Abbad Imane, 2019]

### I. 5.2 Inconvénients des énergies renouvelables

- Leur disponibilité dépend du climat. Pour celles fonctionnant au solaire, il n'est possible d'utiliser que 50 % de leur capacité réelle dans les zones équatoriales et encore moins à cause de la disparition du soleil pendant plusieurs mois dans les pôles. En outre, quand le ciel est nuageux, le rayonnement solaire est moindre. Lors de périodes anticycloniques, il n'y a pas de vent. Cette énergie n'est pas très stable ;
- La responsabilité sur le réchauffement climatique des énergies renouvelables est un inconvénient majeur. Elles sont souvent présentées et admises pour justement résoudre ce problème, mais pour que ce soit réel, il faudrait diminuer considérablement la consommation des énergies fossiles comme le pétrole, le charbon ou le gaz et mieux maîtriser l'énergie renouvelable pour l'économiser davantage ;
- L'impact visuel sur le paysage est à prendre en compte surtout lors de constructions de grandes centrales solaires ou de champs d'éoliennes. Ces productions décentralisées aideraient à diminuer le nombre de lignes à haute tension. Elles restent donc une pollution pour la faune. De plus, les expériences menées déjà dans certains pays montrent qu'elles aident à l'accroissement de ces mêmes lignes ;

Les problèmes majeurs pour la faune sont les barrages hydroélectriques, car ils inondent des vallées entières et ont un fort impact négatif sur l'écosystème. Les poissons migrent difficilement vers leurs lieux de reproduction - même si des passes à poissons ont été

construites. Les éoliennes sont un danger pour les oiseaux et les chauves-souris. [ABBAD IMANE, 2019]

### I.6 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à présenter les différentes sources d'énergie renouvelables à savoir : l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, biomasse et géothermique, leurs avantages et inconvénients, ainsi la production de l'énergie électrique.

**Chapitre II :**

**Généralités sur les systèmes**

**hydroélectriques**

## **Chapitre II: Généralités sur les systèmes hydroélectriques**

### **II.I Introduction**

Le présent chapitre est consacré à la présentation des notions de base sur l'utilisation des sources hydrauliques issue des chutes d'eau d'un barrage ou crée artificiellement (station de transfert d'énergie par pompage STEP) dans la production et la distribution d'énergie électrique. Nous allons citer les différents constituants ainsi que les domaines d'utilisation des centrales hydroélectrique.

### **II.2 Historique**

L'exploitation de l'énergie potentielle de l'eau remonte à l'Antiquité grecque. Pour faciliter les tâches pénibles, il y a plus de 2000 ans que les Grecs utilisaient cette énergie pour faire fonctionner des moulins à eau, tourner des machines pour forger les métaux, scier la pierre, ... etc., [A. H. J. HOUNNOU, 2019] [A. Ammar, 2013]. L'énergie de ces roues motrices était seulement utilisée sur place et ne pouvait être transportée ni stockée, ce qui limitait son utilisation à des zones parcourues par un cours d'eau. Les roues motrices sont ensuite remplacées par des turbines hydrauliques utilisées pour convertir l'énergie potentielle de l'eau en énergie mécanique. [Stempfel Camille, 2015] [B. Bhandari et al, 2015]

Dans les années 1700, l'évolution de la turbine hydraulique a commencé avec l'ingénieur hydraulique et militaire français, « Bernard Forest de Bélidor ». En 1870, le développement de l'hydroélectricité a commencé son ère moderne avec l'installation de la première centrale hydroélectrique à Cragside, en Angleterre [A. H. J. Hounnou, 2019]. L'utilisation commerciale de l'énergie hydroélectrique a commencé en 1880 à Grand Rapids. En effet, une dynamo entraînée par une turbine hydraulique était utilisée pour éclairer la devanture du théâtre et des magasins à Grand Rapids au Michigan. En 1881, une dynamo connectée à une turbine hydraulique a été utilisée pour l'éclairage public à Niagara Falls, dans

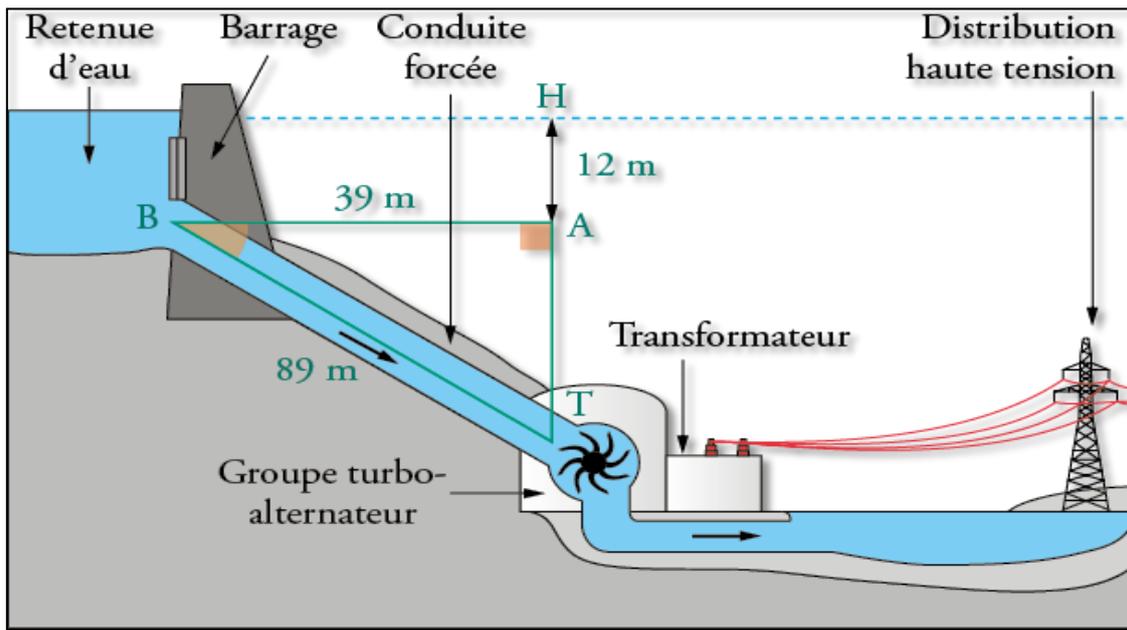
l'État de New York [A. H. J. Hounnou, 2019]. En 1882, 'Thomas Edison' a inventé la première centrale hydroélectrique [T. A. Edison and C. T. Porter, 2003]. Ces premières centrales hydroélectriques utilisaient la technologie du courant continu et avaient de petites capacités. Mais elles ont été pionnières dans le développement de la centrale hydroélectrique moderne [A. H. J. Hounnou, 2019]. Le courant continu avait d'énormes inconvénients (pertes d'énergie) lorsque la distance de transport de l'énergie augmentait en raison d'une plus grande résistance électrique. Par conséquent, on ne pouvait transporter l'énergie qu'à environ un ou deux kilomètres de distance maximum. 'Nikola Tesla', depuis qu'il était étudiant, nourrissait le rêve de remplacer le courant continu par le courant alternatif. A la différence du courant continu, le courant alternatif est un courant électrique dont l'intensité et le sens varient alternativement. Il permet donc de transporter efficacement l'énergie électrique sur de très grandes distances, sans énormes pertes le long du parcours. En effet, on utilise le transformateur pour élever la tension afin de réduire l'intensité du courant. Ainsi les pertes sont réduites. En 1887, 'Nikola Tesla' parvint à construire un prototype de son moteur à courant alternatif, et en démontra le fonctionnement en 1888. La percée du courant alternatif a permis à 'Nikola Tesla' de jeter les bases de la première centrale hydroélectrique à courant alternatif sur les rivières du Niagara en Amérique du Nord. En 1896, cette centrale commença à transmettre de l'énergie électrique dans la région de Buffalo située à 40 km du site [Massimo Teodorani, 2011]. De nos jours, la plus grande centrale hydroélectrique est celle des Trois-Gorges (122,4 GW) [T. Sanjuan and R. Béreau, 1998] [C. Ye *et al.*, 2019].

### **II.3 Centrales hydroélectriques**

Une centrale hydroélectrique permet de fabriquer de l'électricité à partir de l'énergie Hydraulique, grâce à la force de chute d'eau qui est d'origine naturelle (stockage sous forme d'énergie gravitaire) ou créés artificiellement à l'aide de deux bassins qui sont à différents niveau (station de transfert d'énergie par pompage STEP).

### II.3.1 Centrales gravitaires

Les centrales gravitaires sont nommées par les apports d'eau dans leur réservoir où leur prise d'eau est essentiellement issue de cours d'eau par gravitation, telles que les centrales au fil de l'eau ou les centrales hydroélectriques de lac. La figure II .1 représente un exemple de ce type. [Haddar Ryad Et Hail Akli, 2018]

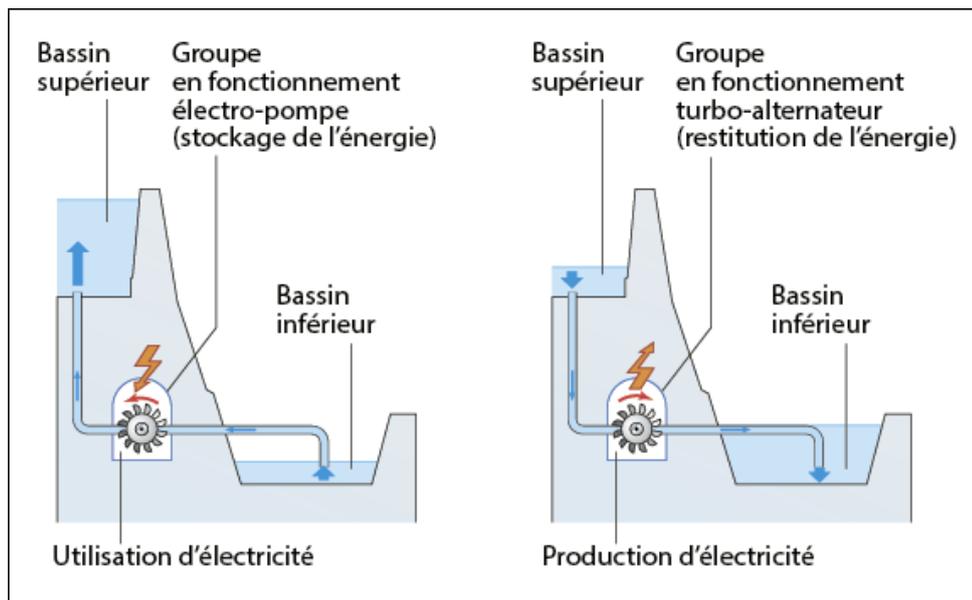


**Figure II.1** : Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique gravitaire.

### II.2.2 Stations de transfert d'énergie par pompage (S-T-E-P)

Les stations de transfert d'énergie par pompage sont aussi appelées « centrales hydrauliques à réserve pompée » ou « centrale de pompage-turbinage », dans lesquelles des turbines réversibles pompent l'eau d'un bassin inférieur vers un bassin supérieur. [Haddar Ryad Et Hail Akli, 2018]

Lorsque la demande augmente généralement, elles turbinent lorsque le prix de l'électricité est plus élevé. Lorsque la demande est faible elles pompent lorsque celui-ci est bas. Les différences de prix entre courant pompé et courant turbiné sont donc un facteur important pour ces centrales.



**Figure II.2 :** Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique STEP.

### II.3.3 Usines marémotrices

Au sens large qui utilisent l'énergie du mouvement des mers, qu'il s'agisse du flux alterné des marées (marémotrice au sens strict), des courants marins permanents (hydroliennes au sens strict) ou du mouvement des vagues. [Bouhenni Imane et Mehdi Fadhila, 2019]

## II .4 Types de centrales hydroélectriques

Il existe une grande diversité d'installations hydroélectriques, en fonction de leur situation géographique, du type de cours d'eau, de la hauteur de la chute, de la nature du barrage et de sa situation par rapport à l'usine de production électrique. On distingue deux types de centrale hydroélectrique : centrale alimentée par un réservoir, centrale au fil de l'eau.

### II.4.1 Centrale alimentée par un réservoir

Ces centrales sont alimentées par la retenue d'eau dans les barrages qui permettent un stockage d'eau saisonnier ou interannuel. Le réservoir permet donc de moduler le débit d'eau selon la demande d'électricité. Il existe deux types de centrale de lac : centrales de hautes

chutes (centrale de lac) qui sont installées en haute montagne. Elles sont caractérisées par un débit faible et avec une chute supérieure à 300 m. Les centrales de moyennes chutes (centrale d'écluse) qui sont installées dans les montagnes de moyenne hauteur, elles sont caractérisées par un débit moyen et un dénivelé assez fort avec une chute comprise entre 30 et 300 m. [Haddar Ryad et Hail Akli, 2018]

#### **II.4.2 Centrale au fil de l'eau**

Elles sont implantées sur le cours de grands fleuves ou de grandes rivières. Elles sont caractérisées par un débit très fort et un dénivelé faible avec une chute de moins de 30 m. Dans ce cas, il n'y a pas de retenue d'eau et l'électricité est produite en temps réel. [HADDAR RYAD et HAIL AKLI, 2018]

### **II.5 Classification des centrales hydroélectriques**

Les centrales hydroélectriques peuvent être aussi catégorisées en fonction de leur hauteur de la chute d'eau et par voie de conséquence, selon le débit [Mekki Mounira, 2014]. On distingue trois grandes catégories :

#### **II.5.1 Centrales électriques de haute chute ( $h > 300\text{m}$ )**

Les centrales de haute chute ont des hauteurs de chute supérieures à 300 m ; elles utilisent des turbines Pelton. Ces centrales se trouvent dans les Alpes et dans d'autres régions très montagneuses. La capacité du réservoir est relativement faible. La puissance dépend principalement de la hauteur de chute. La conduite constitue le plus important ouvrage de cette catégorie de centrale. [Mekki Mounira, 2014]

#### **II.5.2 Centrales électriques de moyenne chute ( $30 < h < 300\text{m}$ )**

Les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30 m et 300 m. Ces centrales sont alimentées par l'eau retenues derrière un barrage construit dans le lit d'une rivière de région montagneuse. Elles comportent un réservoir de grande capacité. La

puissance dépend à la fois du débit d'eau turbinée et de la hauteur de chute. [Mekki Mounira, 2014]

### II.5.3 Centrales électriques de basse chute ( $h < 30\text{m}$ )

Les centrales de basse chute, ou centrales au fil de l'eau, ont des hauteurs de chute inférieures à 30 m. Elles utilisent des turbines Kaplan ou Francis. Ces centrales sont établies sur les fleuves ou les rivières à fort débit (centrale Beauharnois, sur le Saint-Laurent, hauteur de chute 25 m, puissance de 1575 MW. La puissance est liée au débit d'eau turbinée. Le barrage constitue le plus important ouvrage dans cette catégorie de centrales. [Mekki Mounira, 2014]

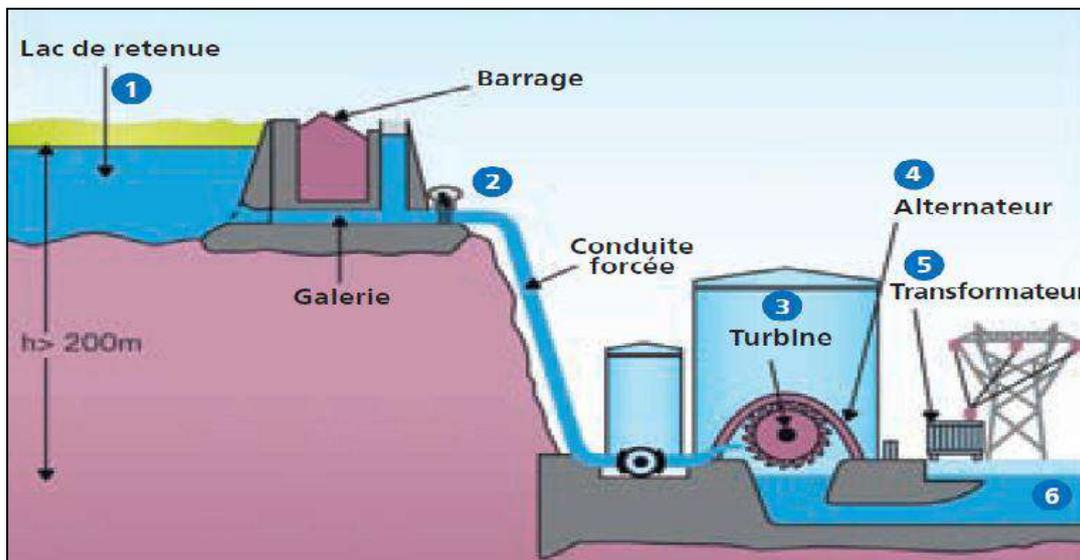


Figure II.3 : Centrale hydroélectrique de basse chute. [Traore Massitan, 2017]

### II.5.4 Classification des centrales selon la puissance délivrée

La classification des centrales peut être aussi faite selon la puissance délivrée. Le Tableau II-1 cite le classement varie d'un pays à l'autre (Tableau II.1) [M. Nasser, 2011] [A. H. J. Hounnou, 2019]

Tableau II-1 Classification des centrales hydroélectriques en fonction de la puissance.

Pays	<i>Micro (MW)</i>	<i>Mini (MW)</i>	<i>Petite (MW)</i>	<i>Grande (MW)</i>
Bénin	0,01 – 1	1 – 10	10 – 30	> 30
Chine	0,005 – 5	–	–	–
France	0,02 – 0,5	0,5 – 2	2 – 10	> 10
Ghana	–	–	≤ 1	
Inde	< 0,1	0,101 – 1	1 – 15	> 15
Mali	≤ 0,1	0,1 – 1	1 – 10	> 10
Nigéria	≤ 0,5	≤ 1	≤ 10	> 10
Sierra Leone	≤ 0,1	0,1 – 1	1 – 30	> 30
USA	< 0,1	0,1 – 1	1 – 30	> 30

## II.6 Utilisation des barrages dans la production de l'électricité

Le barrage retient une partie de l'eau qui s'écoule et crée un lac de retenue. Ce lac constitue un stock d'eau, c'est donc un moyen de stocker de l'énergie renouvelable. Dans le cas de centrales au fil de l'eau, cette réserve n'existe pas et il n'est pas possible de moduler le débit de l'eau en fonction des besoins.

Le débit du cours d'eau ou l'ouverture des vannes du barrage entraîne l'eau dans un canal de dérivation jusqu'aux turbines électriques. Plus le débit et la hauteur de chute d'eau sont importants, plus l'eau ne transporte pas d'énergie.

Cette eau actionne les turbines qui entraînent à leur tour des alternateurs pour produire du courant électrique. Un transformateur injecte ensuite cette électricité dans le réseau, où elle est transportée par des lignes à haute ou très haute tension. [Khouvhane Fatima, (2018)]

Les divers buts d'utilisation d'un barrage sont : [Addad Kenza, 2017]

- ✓ Protection contre les crues,
- ✓ Alimentation en e
- ✓ au potable (après traitement),
- ✓ Irrigation,

- ✓ Production de l'énergie électrique,
- ✓ Besoins industriels,
- ✓ Dilution des eaux usées,
- ✓ Recharge des nappes artificielles,

### II.6.1 Types de barrages

Les techniques et les moyens disponibles à la fin du XIX<sup>ème</sup> et au début du XX<sup>ème</sup> siècle ne permettaient pas la construction de retenues d'une capacité importante. L'amélioration des techniques et des bétons dans le premier quart du XX<sup>ème</sup> siècle permet d'envisager la réalisation de retenues plus conséquentes, capables de réguler la production hydro-électrique. La géologie (nature des roches sur lesquelles sera édifié le barrage, les matériaux disponibles sur le site) et la topographie (largeur de la vallée), déterminent le type de barrage à projeter. Selon la nature du matériau de construction utilisée, on classe les barrages en deux grandes catégories : [Serifeg Fella, Lessaad Khawla, (2020)]

- Les barrages en béton
- Les barrages en remblai

#### A. Barrages en béton

Les barrages poids construits d'abord en maçonnerie, puis en béton puis plus récemment en béton compacté au rouleau (BCR) qui permet d'importantes économies de temps et d'argent. Le rocher de fondation doit être de bonne qualité. Les barrages en béton se partagent en trois groupes. [ATTOU Khadidja, (2020)]

**A. 1 Barrage poids :** Comme son nom l'indique, résiste à la poussée de l'eau par son propre poids. La plupart des barrages poids sont massifs et pleins avec un profil triangulaire. Le parement aval est vertical ou légèrement incliné, quant au parement amont il est incliné avec un fruit de talus de (75 à 80%). [Anton.S et Pougatsch.H, 2011]

**A.2 Barrage voûte :** Le barrage est constitué d'un mur en béton arqué. La poussée de l'eau est reportée sur les flancs de la vallée. Le barrage a parfois une double courbure verticale et

horizontale. Lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies, il permet d'économiser un volume de béton important. [Anton.S et Pougatsch.H, 2011]

- Les barrages voutes en béton adaptés aux vallées relativement étroites et dont les rives sont constituées de rocher de bonne qualité. La subtilité de leurs formes permet de diminuer la quantité de béton et de réaliser des barrages économiques.
- Les barrages à voutes multiples et à contreforts ne sont plus construits. Les barrages poids en BCR les remplacent.

**A.3 Barrage à contreforts :** Résiste à la poussée de l'eau par son poids propre, mais un certain nombre de dispositions permettent de diminuer le volume de béton par rapport au barrage poids. Ces contreforts conduisent les efforts jusqu'aux fondations, qui doivent être de qualité permettant des sollicitations élevées, et sont des éléments stabilisateurs de l'ouvrage.

[ATTOU Khadidja, (2020)]

### **B. Barrages en remblai**

Il s'agit d'ouvrages de grand volume dont la construction a été rendue possible par l'emploi des engins modernes de terrassement et de manutention. On choisit ce type d'ouvrage lorsque la vallée est trop large et lorsqu'on trouve les matériaux sur place ou à faible distance. Ce type de barrage est constitué de terre ou de rochers. Ce type de barrage comporte généralement un noyau central d'argile qui assure l'étanchéité. Dans certains ouvrages, l'étanchéité est assurée par un masque amont en béton ou une géomembrane interne. Cette technique a également été utilisée pour la construction de retenues de moyenne capacité. On distingue deux catégories de barrage en remblai : [Anton.S et Pougatsch.H, 2011]

**B.1 Les barrages en terre :** réalisé à partir de sols naturels meubles prélevés à proximité du site de l'ouvrage.

**B.2 Les barrages en enrochement :** dont la majeure partie est constituée de matériau de carrières concassé.

La figure II.1 représente les sous types de barrage, pour les deux catégories de barrages en remblai en fonction du matériau de construction, et du dispositif d'étanchéité.

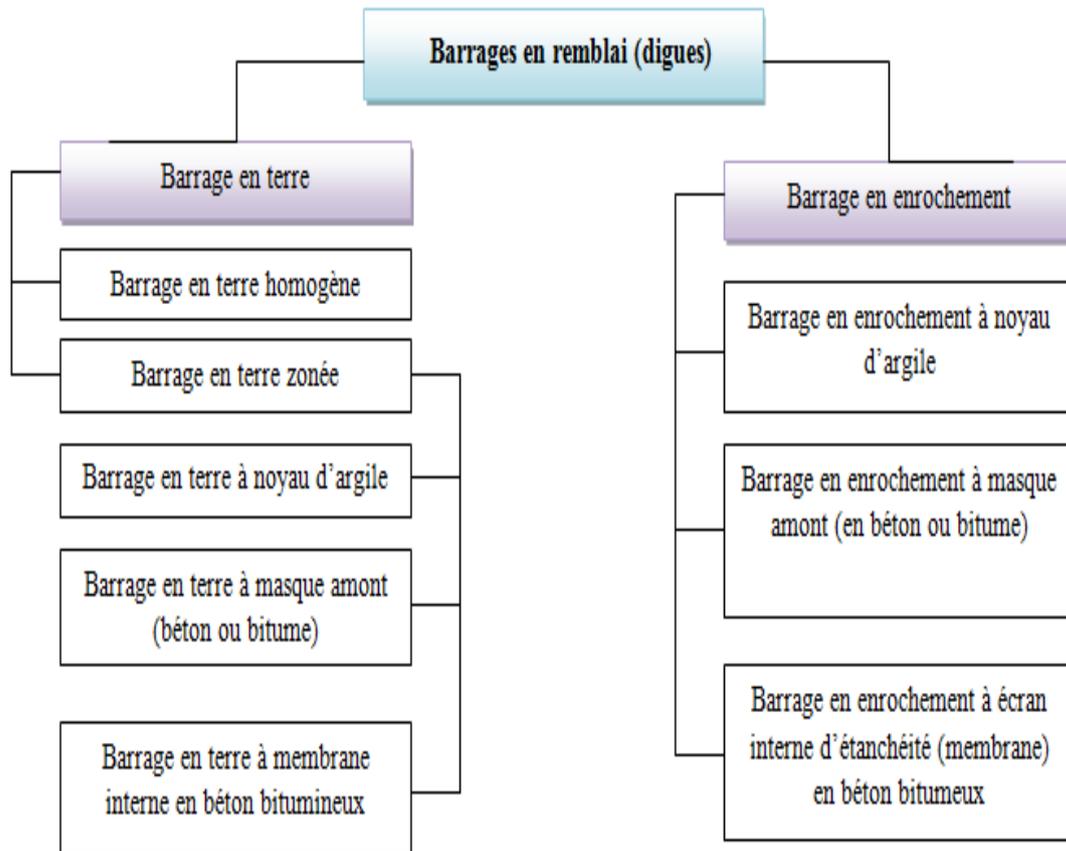


Figure II.4 : Catégories des barrages en remblai [Anton.S et Pougatsch.H, 2011]

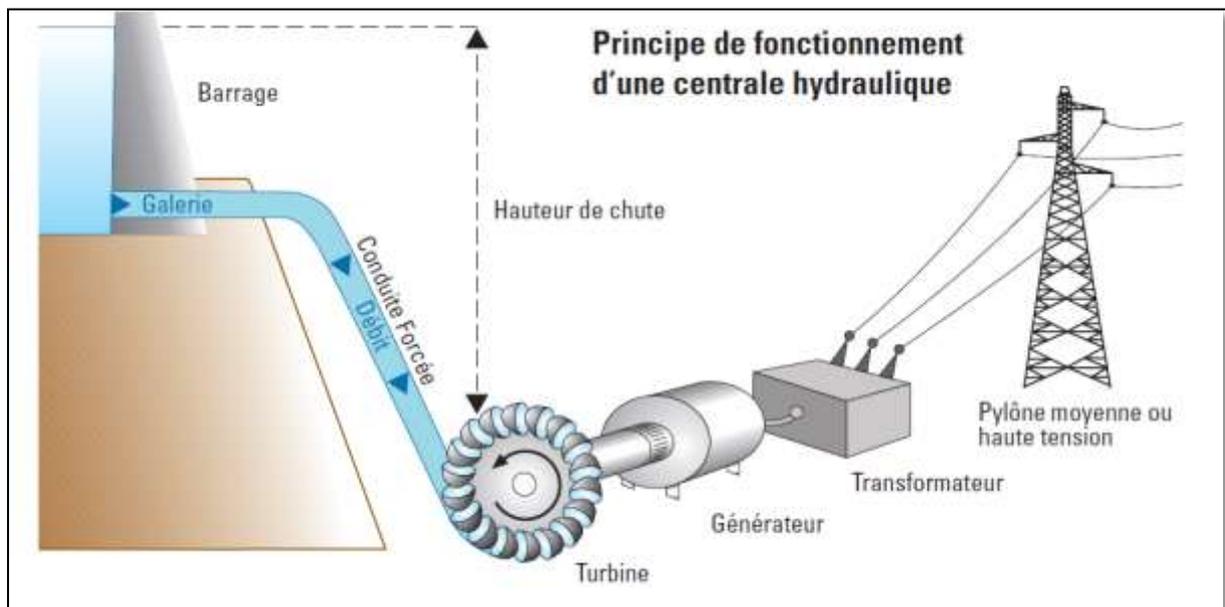
## II.7 Principe de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique

Une centrale hydraulique produit de l'électricité en utilisant la force de l'eau, l'hydroélectricité est la première énergie renouvelable dans le monde, il existe plusieurs types d'aménagement hydraulique en fonction de la hauteur de la chute (de haute chute, de moyenne chute et à la file de l'eau) et du débit de l'eau. Un barrage retient l'écoulement naturelle de l'eau, de grande quantité d'eau s'accumule et forme alors un lac de retenu. Une fois l'eau stockée, des vannes sont ouvertes au niveau du barrage pour que l'eau s'engouffre dans de longs tuyaux appelés conduite forcé, ces tuyaux à taille humaine, conduisent l'eau

vers la centrale hydraulique située en contrebas. Pour préserver le milieu aquatique, un débit minimal est maintenu dans le milieu naturel entre le barrage et la centrale.

Dans la centrale, à la sortie de la conduite, la force de l'eau fait tourner une turbine qui fait à son tour tourner un générateur. A l'intérieur du générateur, l'interaction entre le rotor et les bobines de fils de cuivre du stator produit un courant électrique, un transformateur élève ensuite la tension de ce courant à 225 ou à 400 V pour qu'il puisse être transporté plus facilement dans les lignes à très hautes tension du réseau. [Haddar Ryad, et Hail Akli, 2018]

Enfin, l'eau turbinée qui a perdu de sa puissance rejoint le lit naturel de la rivière par un canal spéciale appelé canal de fuite.



**Figure II.5 :** Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique.

### II.7.1 Fonctionnement technique

Les centrales hydrauliques sont constituées de 2 principales unités :

#### A. Une prise d'eau (dans le cas des centrales au fil de l'eau)

La prise d'eau permet de créer une chute d'eau, avec généralement un réservoir de stockage afin que la centrale continue de fonctionner, même en période de basses eaux. Un canal de dérivation creusé peut permettre de dériver latéralement l'excédent d'eau arrivant

vers un étang de barrage. Un évacuateur de crues permet de faire passer les crues de la rivière sans danger pour les ouvrages.

### **B. La centrale, appelée aussi usine**

L'usine permet d'utiliser la chute d'eau, d'actionner les turbines puis d'entraîner un alternateur. [KHOUVHANE Fatima, (2018)]

## **II.7.2 Constitution d'une centrale hydroélectrique**

### **A. Bassin**

Les retenues d'eau, haute et basse, peuvent être naturelles, soit artificielles. Les bassins sont réalisés généralement par creusement et par utilisation des matériaux de déblai pour créer une ceinture de digues fermant la cuvette. Suivant la topographie du terrain à l'origine, plat ou déjà en dépression. Les travaux de terrassement sont plus au moins importants. La cuvette ainsi réalisée est ensuite généralement étanchée par un revêtement en béton bitumineux ou en brai vinyle. [HADDAR RYAD et HAIL AKLI, 2018]

### **B. Pompe [Cédric FERLAT, 2009]**

Les pompes hydrauliques sont des générateurs de débit, elles transforment l'énergie mécanique en énergie hydraulique, vers des récepteurs. Le rendement des pompes se situe généralement entre 70 % (pour les pompes centrifuges) et 90 % (pour les pompes volumétriques). Le choix d'un type de pompe doit être fait en s'accordant avec les caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée (débit, hauteur manométrique) :

- ✓ Les pompes centrifuges sont adaptées aux débits moyens et élevés pour des hauteurs limitées,
- ✓ Les pompes volumétriques sont destinées à des faibles débits et des grandes hauteurs.

Dans le cas de pompes de surface, elles seront auto-amorçantes. Le couple au démarrage nécessite systématiquement l'usage d'un contrôleur.

Depuis que les stations de turbinages-pompages sont devenues des moyens de stockage très efficaces et économiques, de nombreux efforts ont été faits pour améliorer le côté économique et fiable de ces stations.

Actuellement, les groupes de pompes-turbinages en exploitation sont quasiment tous réalisés avec des moto-générateurs synchrones à la fréquence du réseau et par conséquent à vitesse constante. Les performances de tels groupes peuvent être massivement améliorées en recourant à des moto-générateurs à vitesse variable.

Les principales caractéristiques des systèmes de stockages avec des pompes à vitesse variable sont :

- Une régulation de la puissance active de la pompe.
- Une grande efficacité et une large gamme d'opérations en mode de turbinage, particulièrement sous chargement partiel.
- Une amélioration de la stabilité du système en injectant de la puissance active ou par compensation de la puissance réactive.

### II.7.3 Equipements d'une centrale hydroélectrique

Une centrale hydroélectrique est subdivisée en trois parties principales : les structures de génie civil, les équipements mécaniques et les équipements électriques.

#### A. Structures de génie civil

Dans une centrale hydroélectrique, les structures de génie civil s'occupent du contrôle de la circulation de l'eau. Il est important que ces ouvrages soient situés aux endroits appropriés et conçus pour des performances et une stabilité optimale. Les structures de génie civil sont essentiellement composées de : [A. H. J. HOUNNOU, 2019]

##### A.1 Ouvrages de dérivation

Ils sont composés d'un barrage, d'une prise d'eau et des ouvrages de protection à la prise d'eau servant à détourner l'eau en toute sécurité vers le canal d'amenée.

##### A.2 Canal d'amenée

Il achemine l'eau de la prise d'eau au bief d'amont. Généralement, le canal est parallèle au cours d'eau et a une dénivellation croissante par rapport au cours d'eau.

##### A.3 Bief d'amont et dessableur

Le dessableur est conçu pour faire déposer les particules de limon en suspension dans l'eau et rincer le bassin. Le bief d'amont raccorde le canal d'amenée à la conduite forcée. Il permet de filtrer l'eau qui entre dans la conduite forcée. Une fine grille est utilisée pour couvrir l'entrée de la conduite forcée afin d'empêcher l'entrée des débris qui pourraient endommager la turbine et les vannes.

### **A.4 Conduite forcée**

Elle permet d'acheminer l'eau sous pression du bief d'amont à la turbine où l'énergie potentielle de l'eau est convertie en énergie cinétique afin de faire tourner la turbine. La conduite forcée est souvent l'élément le plus coûteux du budget du projet. Elle peut représenter jusqu'à 40% du coût d'installation d'une centrale à grande hauteur de chute. Ainsi, il y a lieu d'optimiser son dimensionnement afin de minimiser son coût. Le dimensionnement de la conduite forcée dépend de plusieurs facteurs que nous présenterons dans le chapitre 2.

### **A.5 Centrale et canal de fuite**

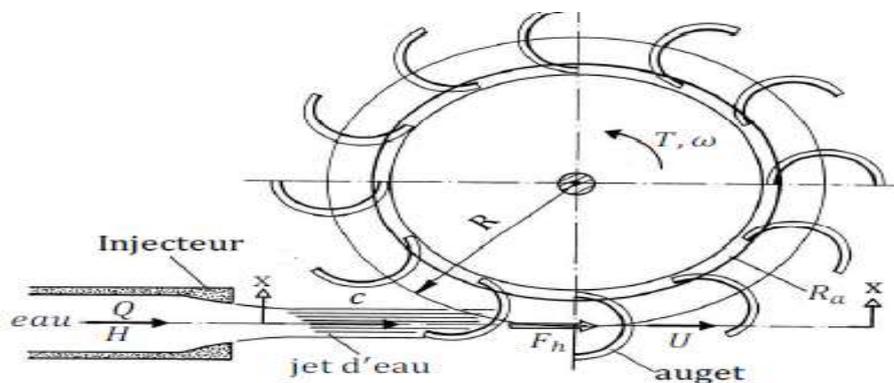
La centrale est un bâtiment qui loge la turbine, la génératrice et les appareils de régulation. Bien qu'elle puisse être une simple construction, sa fondation doit être solide. Le canal de fuite est un canal qui permet à l'eau, sortant de la turbine, de retourner au cours d'eau.

## **B. Turbine hydraulique**

Une turbine consiste à convertir l'énergie potentielle de l'eau en énergie mécanique. Il existe principalement quatre types de turbines [B.D. Marjavaara, 2006] regroupés en deux catégories : turbine à action de type Pelton et Crossflow et turbine à réaction de type Francis et Kaplan. Les principes de fonctionnement et quelques caractéristiques des turbines à action et à réaction sont présentés dans les paragraphes suivants. [A. H. J. Hounnou, 2019]

### **B.1 Turbines à action**

Un jet d'eau libre sous pression vient agir sur des augets de la turbine et la faire tourner. La force du jet, exercée sur l'auget, est transformée en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine (**Figure II-6**). La principale caractéristique d'une turbine à action est sa capacité de pouvoir convertir entièrement l'énergie à disposition de l'auget en énergie cinétique. De plus, l'eau agit sur l'auget à pression constante, généralement à pression atmosphérique. La turbine Crossflow, encore appelée turbine à flux traversant, est une turbine dont la particularité est que l'eau traverse deux fois la roue avant de retourner au cours d'eau. Elle est constituée d'un injecteur de section rectangulaire et dont le débit de l'eau est réglé à l'aide d'une aube rotative, d'une roue équipée d'aubes cylindriques, et d'un bâti qui enveloppe la roue (**Figure II-7**). Le rendement maximum de ce type de turbine est moyen et est compris entre 80 et 83% pour une machine de bonne qualité. La vitesse de rotation est souvent basse ce qui implique la nécessité d'utiliser un adaptateur de vitesse. Pour la turbine Pelton, l'injecteur de la turbine est conçu pour produire un jet de forme cylindrique et homogène avec le minimum possible de dispersion. Les augets sont conçus pour qu'un rendement maximum soit obtenu, tout en permettant à l'eau de s'échapper sur les côtés de la roue. Une turbine Pelton peut être munie de plusieurs injecteurs, jusqu'à six. L'injecteur est équipé d'un pointeau mobile qui est commandé par un servomoteur hydraulique pour régler le débit de l'eau (**Figure II-8**).



**Figure II.6** : Fonctionnement d'une turbine à action [A. H. J. Hounnou, 2019]

## B.2 Turbine Pelton

La turbine Pelton est constituée par une roue à augets qui est mise en mouvement par un jet d'eau provenant d'un injecteur. Les augets sont profilés pour obtenir un rendement maximum tout en permettant à l'eau de s'échapper sur les côtés de la roue. La vitesse nominale de la turbine varie de 500 tr/min à 1500 tr/min. [M. NASSER, 2011]

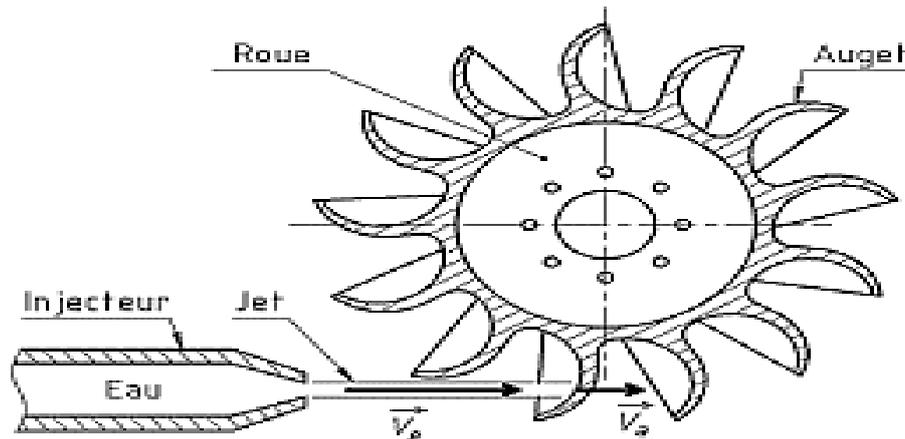


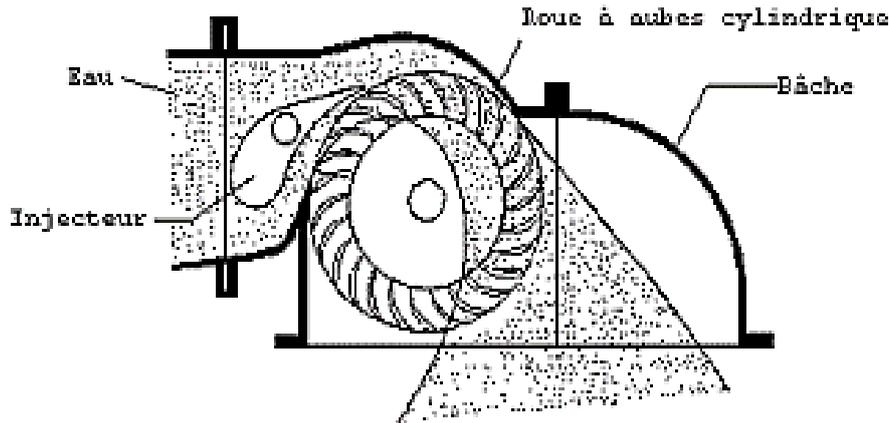
Figure II.7 : Turbine Pelton [A. H. J. Hounnou, 2019]

## B.3 Turbine Crossflow (ou Banki Mitchell)

La turbine Crossflow, appelé aussi turbine à flux traversant, est une machine à action qui a ceci de particulier que l'eau traverse deux fois la roue. De construction simple, elle est constituée de trois parties principales

- Un injecteur de section rectangulaire et dont le débit est réglé à l'aide d'une aube profilée rotative, similaire à une vanne papillon.
- Une roue en forme de tambour, dotée d'aubes cylindriques profilée.
- Un bâti enveloppant la roue et sur lequel sont fixés les paliers de la turbine.

En général sa vitesse de rotation est faible, ce qui justifie l'emploi d'un multiplicateur pour la coupler à une génératrice. [M. NASSER, 2011]



**Figure II.8:** Turbine Crossflow [A. H. J. Hounnou, 2019]

#### B.4 Turbines à réaction

Si la pression d'entrée est supérieure à la pression de sortie de la roue, la turbine est dite à réaction.

Dans la turbine à action, seule l'énergie cinétique est transformée en énergie mécanique. Dans la turbine à réaction, une partie de l'énergie cinétique et une partie de l'énergie de pression sont transformées en énergie mécanique.

L'énergie cinétique restante ainsi que l'énergie potentielle peuvent être en partie récupérées au moyen d'un aspirateur [Amara Fatma, 2018].

#### B.5 Turbine Francis

La turbine Francis est utilisée pour des faibles variations de débit (débits moyens entre 100 l/s et 6000 l/s). Elle s'adapte bien aux chutes moyennes de 10m à 100m. Elle a un bon rendement et une vitesse de rotation élevée (1000 tr/min). [M. Nasser, 2011]

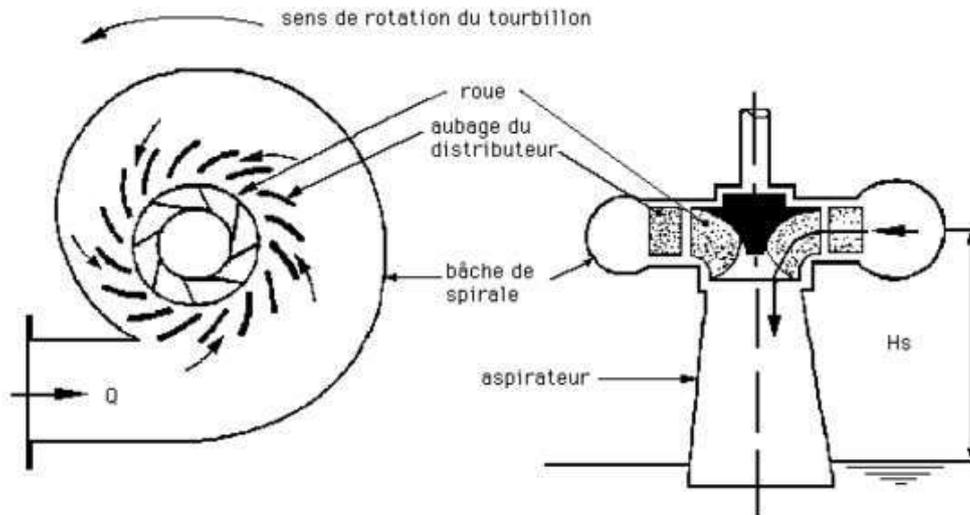


Figure II.9 : Turbine Francis [A. H. J. Hounnou, 2019]

### B.6 Turbine Kaplan

Les turbines Kaplan (ou turbines hélice) sont les turbines les mieux adaptées pour les faibles chutes (environ 2m) et des débits importants de l'ordre de 300 l/s à 15000 l/s. Elles conviennent bien pour des débits variables et leur rendement est bon (84-90% maximum) en dépit d'une vitesse de rotation faible.

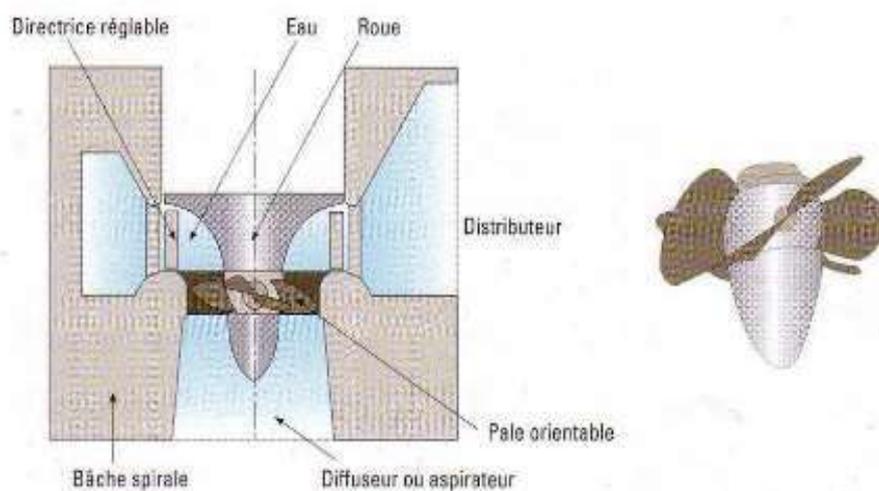


Figure II.10: Turbine Kaplan. [Haddar Ryad et Hail Akli, 2018]

La roue de la turbine Kaplan est semblable à une hélice de bateau et les pâles sont orientables pour optimiser le coefficient de rendement  $\eta_t$  de la turbine.

La turbine Kaplan offre une analogie intéressante avec les turbines éoliennes sur l'aspect du réglage de l'orientation des pâles. [M. NASSER, 2011]

## **II.8 Choix de lieu de la centrale**

Les emplacements des usines hydrauliques sont imposés par des conditions de pluviosité et de configuration des terrains et se trouvent de ce fait pour l'Algérie en petit Kabylie, où les sites sont les plus favorables. Les principaux éléments qui caractérisent une centrale hydraulique sont :

- La hauteur de chute d'eau ;
- Débit nominal.

Le débit instantané d'un cours d'eau dépend du régime des pluies, glaciaire et du volume d'eau que peut retenir le barrage, celui-ci étant fonction de la saison. Le débit instantané varie de jour en jour avec un minimum qui se situe généralement à la fin de la saison sèche si elle est marquée. La notion de débit moyen permet de mieux estimer les potentialités énergétiques d'une installation si une infrastructure d'accumulation est envisagée. Le débit d'étiage, c'est-à-dire le débit minimum de la rivière durant 24h situe la puissance minimale potentielle d'une installation. Si les observations hydrologiques (mesures du débit du cours d'eau) sont effectuées depuis des années, il est permis de connaître le débit minimum atteint en moyenne soit annuellement. [Terki Razika, et al, 2012]

## **II.9 Générateurs ou alternateurs**

Un générateur électrique est un dispositif permettant de produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique. Il est en prolongement de la turbine, sa vitesse est donc celle de la turbine (solidarité mécanique). [Khouvhane Fatima, (2018)]

Le choix du générateur et du système de régulation dépend en premier lieu du mode de fonctionnement de la centrale : en parallèle avec le réseau de distribution électrique ou en régime isolé.

### II.10 Les transformateurs

Les transformateurs sont des appareils extrêmement divers, par leurs fonctions, mais aussi par leur taille et leur coût.

Les deux grandes catégories sont les transformateurs de puissance et les transformateurs de mesure. Les transformateurs de puissance sont indispensables quand la centrale doit débiter sur un réseau de tension 20 kV ou plus. Ils permettent d'élever la tension du générateur à 20 kV ou plus. [Cédric FERLAT, 2009]

### II.11 Avantages des centrales hydroélectriques

- ✓ **Avantages** [B. D. Marjavaara, 2006] La production de l'électricité avec l'énergie hydraulique n'est pas en elle-même polluante. La seule pollution se produit au cours de la construction de ces énormes centrales.
- ✓ **Fiable** : L'hydroélectricité est effectivement une énergie très fiable. Il y a très peu de perturbations en termes de puissance électrique qui soient dues à ce type de centrales. Les pays qui disposent de grandes ressources hydrauliques utilisent cette énergie comme source fournissant la charge de base. [Bouhenni Imane et Mehdi Fadhila, 2019]
- ✓ **Sûre** : Par comparaison à d'autres formes d'énergie, telles que les combustibles fossiles ou l'énergie nucléaire, l'hydroélectricité est beaucoup plus sûre. Il n'y a pas de carburant qui entre en jeu. [Bouhennis Imane et Mehdi Fadhila, 2019]

### II.12 Inconvénients des centrale hydroélectriques

- ✓ La construction de ces centrales hydrauliques est souvent très couteuse

- ✓ En cas de sécheresse, toute la centrale hydraulique sera dysfonctionnelle et donc aucune électricité ne sera produite [**Bouhenni Imane et Mehdi Fadhila, 2019**]

### II.13 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué comment fonctionne une centrale hydroélectrique avec les différentes turbines. Ainsi, nous avons entamé les principes de l'utilisation des barrages pour produire de l'électricité.

**Chapitre III :**

**Étude des impacts des barrages**

**hydroélectrique**

## **Chapitre III : Étude des impacts des barrages hydroélectrique**

### **III.1 Introduction**

L'impact environnemental des barrages, sous ses multiples formes, est un sujet abondamment discuté pendant plusieurs siècles. L'étude d'impact sur l'environnement est une procédure imposée par la législation algérienne pour une réalisation d'ouvrage d'utilité publique, qui par l'importance de sa dimension et au niveau de perturbation du milieu naturel récepteur de l'ouvrage, peut porter atteinte à l'environnement par des incidences négatives sur la santé publique, l'agriculture, les espaces naturels, la faune, la flore, la conservation des sites monuments et à commodité du voisinage (Art 2, du décret exécutif n° 90-78 relatif aux études d'impact sur l'environnement, Algérie). Ce type d'étude vise à faire connaître et à évaluer les incidences directes et indirectes de l'exécution d'un ouvrage sur l'équilibre écologiques ainsi sur la qualité de vie de la population.

Dans ce troisième chapitre, nous allons identifier et expliquer les impacts positifs et négatifs qu'impliquera la mise en eau des ouvrages sur l'environnement pour permettre aux spécialistes de proposer des aménagements nécessaires afin d'atténuer les effets négatifs.

### **III.2 Historique**

Les premiers barrages sont nés avec les premières civilisations de l'antiquité, en particulier dans la vallée du Nil, Mésopotamie, en Chine et en Asie du sud [AMARA Fatma 2018]. Ce sont certainement les traces de ces anciennes civilisations que les archéologues retrouvent facilement.

Le XX<sup>ème</sup> siècle a été marqué pour un taux très élevé de construction de barrages sur la planète, la plupart concentrés dans les pays les plus industrialisés. Selon le rythme de la croissance démographique et du développement économique, on a assisté à un accroissement de la construction des barrages dans le monde. A la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, le total de retenues a

atteint les 45 000, distribuées sur plus de 140 pays. Actuellement, près de la moitié des grands fleuves du monde comptent au moins un grand barrage. L'apogée de la construction de ces ouvrages remonte aux années 1970 et 1960, époque à laquelle ils étaient considérés comme un symbole de développement économique, de progrès technologique et de modernisation [AMARA Fatma 2018]. C'est à cette époque que la plus partie des barrages a été construite dans les pays d'Amérique du Nord, d'Asie et d'Europe, tandis que les pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Océanie présentaient un taux linéaire de croissance. [AMARA Fatma, 2018]

Après les pays du nord de la Méditerranée, ceux d'Afrique du Nord et du Proche-Orient se sont lancés dans une politique de construction de petits barrages. Les objectifs de ces aménagements sont essentiellement la gestion et la conservation des eaux et des sols avec la protection des infrastructures en aval, en particulier en Afrique du Nord, celles des grands barrages contre une sédimentation trop rapide. [AMARA Fatma 2018]

Le développement des petits barrages a suivi des chemins et des objectifs différents. Le premier trait commun est une volonté politique de développer ce type d'aménagement dans les années à venir. [AMARA Fatma 2018]

L'évolution des capacités de stockage des petits barrages a été étudiée à travers un modèle d'estimation et de simulation des transports solides. Ces études ont permis de mieux Comprendre les phénomènes d'envasement en relation avec l'érosion des sols sur les bassins-versants. [Alberge et Als, 2004]

La réalisation de nouveaux barrages et retenues collinaires à travers le territoire de l'Algérie est retenue dans le cadre du programme du secteur de l'hydraulique au titre de la période quinquennale 2014-2010. Pour ce faire, des études sont prévues afin de déterminer la faisabilité de plus d'une quarantaine de petits barrages et retenues collinaires dans l'objectif

évident de combler le déficit enregistré en ce qui concerne l'irrigation agricole et l'alimentation en eau potable des populations. [AMARA Fatma, 2018]

Le manque d'expérience dans telles études a engendré un investissement colossal dans les travaux de conception. Pour remédier à cette situation, les bureaux d'études algériens ont développé leur propre méthodologie d'étude. Contrairement aux grands barrages, les petits barrages et retenues collinaires ont été considérés différemment vu leurs particularités. La consistance des études a été sensiblement modifiée avec comme résultat des délais de réalisation qui sont passés de 12 à 6 mois se répercutant aussi sur le coût global, qui est passé de 2 500 000 à 1 200 000 DA, sans pour autant affecter la qualité et la fiabilité de l'étude. Cette réduction a été obtenue grâce à la normalisation de certaines études et à la rationalisation des tâches, comme l'étude hydrologique, les reconnaissances géologiques et géotechniques (sondages, fouilles, essais en laboratoire), le dimensionnement hydraulique des ouvrages, le calcul de génie civil des ouvrages en béton armé et les pièces dessinées [Benlaoukli et Touaïbia, 2004].

### **III.3 Classification des barrages [j.o.dz du 20 Rajab 1441 correspondant au 15 mars 2020.]**

Un barrage est un ouvrage d'art construit à travers un cours d'eau, dans le but de créer des réservoirs (retenues) qui permettent d'accumuler l'eau durant les périodes pluvieuses pour pouvoir en distribuer ensuite durant les périodes sèches. La classification des barrages est basée, en général, sur les normes de projection, les spécificités techniques de construction et en particulier les risques attendus à l'aval de l'ouvrage après sa rupture. Comme elle peut se faire également selon plusieurs critères parmi lesquels on peut citer : les matériaux de la fondation, les matériaux de construction ou la façon de s'opposer à la poussée de l'eau. Le critère le plus important de la classification de ces ouvrages hydrauliques reste la hauteur (H, hauteur prise à partir de la fondation) : [Serifeg et Lessaad 2020]

- Grands barrages :  $H > 50$  m ;
- Moyens barrages :  $15 \text{ m} < H < 50$  m ;
- Petits barrages :  $H < 15$  m.

En Algérie, sont considérés comme grands barrages : [Serifeg et Lessaad 2020]

- Tous les barrages dont la hauteur  $H \geq 15$  mètres (hauteur prise à partir des fondations).
- Tous les barrages dont la hauteur  $10 \leq H \leq 15$  mètres et qui satisfont à l'une des conditions suivantes :
- Capacité supérieure ou égale à 1 million de mètres cubes ;
- Longueur en crête supérieure à 500 mètres ;
- Débit maximum de l'évacuateur de crue égal ou supérieur à 2000 m<sup>3</sup>/s ;
- Barrage d'une conception inhabituelle ou barrage dont les fondations présentent des caractéristiques exceptionnelles.

Tous les barrages qui ne répondent pas à ces critères seront considérés comme petits barrages ou retenues collinaires.

### III.4 Utilité des barrages

Les barrages jouent deux rôles principaux :

- ✓ Stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoins vitaux et économiques des Populations (eau potable, irrigation, fourniture d'énergie, navigation).
- ✓ Protection contre des effets destructeurs de l'eau (maîtrise des crues, rétention de sédiments, protection contre les avalanches).
- ✓ D'autres fonctions assurées par les barrages sont présentées dans le tableau III.1.

Tableau III.1. Les principaux rôles des barrages. Source [Anton et Als, 2011]

Eau élément vital	Eau élément destructeur
<ul style="list-style-type: none"> <li>- stockage de l'eau</li> <li>- production d'énergie électrique</li> <li>- Approvisionnement en eau potable et industrielle, protection incendie</li> <li>- Irrigation</li> <li>- Pêche, pisciculture (élément, économique essentiel dans certains pays)</li> <li>- Soutient d'étiage (garantie d'un débit minimal)</li> <li>- Navigation fluviale (garantie d'un tirant d'eau minimal)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ouvrages de protection</li> <li>- Bassin de rétention contre les crues (inondation, érosion)</li> <li>- Digue de protection contre les crues</li> <li>- Bassin de rétention de rétention de sédiments Charriés</li> <li>- Ouvrage de protection contre les Avalanches</li> <li>- Régulation des lacs</li> <li>- Rétention des glaces en pays Nordiques</li> </ul>

Certains de ces objectifs peuvent être complémentaires sur un même ouvrage. D'autres sont, a priori, opposés : il est, par exemple, impossible d'avoir en même temps une retenue pleine pour fournir une réserve d'eau potable mais aussi une retenue vide pour limiter au maximum l'impact des crues. Notamment, les barrages excréteurs de crue sont des ouvrages conçus spécialement à cette fin avec des dispositions particulières de conception et d'exploitation. [Delliou, 2003].

### III.5 Impacts des barrages

#### III.5.1 Types d'impacts

Depuis longtemps, la construction de barrages fait de plus en plus systématiquement l'objet d'études d'impact, pour prévoir les conséquences environnementales et sociale des projets, et de mettre en place le cas échéant, des mesures pour limiter, atténuer et compenser les impacts négatifs. Dans les pays industrialisés, ces études d'impact s'inscrivent dans le

processus réglementaire d'approbation mis en place par les autorités et s'accompagnent souvent d'un processus d'examen et de consultation publique. La préparation d'une étude d'impact complète et d'un suivi en matière d'environnement est une condition nécessaire au financement des projets de barrages étudiés par la Banque mondiale [Billal et Bouroga, 2019]. Dans le cas des barrages les impacts peuvent être regroupés en trois grandes catégories.

- Les impacts sur le milieu physique
- Les impacts sur le milieu naturel
- Les impacts sur les communautés humaines

### III.5.2 L'étude d'impacts

L'étude d'impact environnemental de l'utilisation des barrages pour fonctionner les centrales hydroélectriques doit être en relation avec l'importance des travaux d'aménagements et d'ouvrages projetés et avec leurs incidences prévisibles sur l'environnement (Art 5) de la loi 90-78 février 1990, Algérie. Il comprend les phases suivantes [Billal et Bouroga, 2019] :

- ✓ Une description technique de l'ouvrage retenue collinaire.
- ✓ Une présentation sommaire du cadre réglementaire et institutionnel.
- ✓ Une analyse et diagnostic de la situation actuelle du site et son environnement portant essentiellement sur les espaces agricoles, forestier, hydrauliques et le milieu humain affecté par les travaux.
- ✓ Une identification et analyse des impacts sur les différentes composantes de l'environnement naturel (faune, flore, paysage, sol, eau, équilibre biologique et commodité du voisinage, bruit, pollution etc.), ainsi que sur l'hygiène et la santé publique.

- ✓ Une détermination et évaluation des mesures d'atténuation afin de supprimer sinon réduire et compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement.

### A. Description technique

Elle consiste en la présentation et la description de l'aménagement proposé, il s'agit donc de la réalisation d'ouvrage hydraulique de grande importance dans un milieu susceptible de recevoir ce type d'aménagement. [Billal et Bouroga, 2019]

### B. Cadre institutionnel

Pendant cette phase, une présentation et description de l'établissement législatif et réglementaire régissant la protection de l'environnement et des ressources naturelles est obligatoire pour constituer un support juridique l'étude. [Billal et Bouroga, 2019]

### C. Diagnostique et analyse

Pour caractériser la situation actuelle des zones d'accueil des ouvrages, la phase d'analyse doit porter essentiellement sur les aspects cités ci-dessous : [Billal et Bouroga, 2019]

- Le climat, dans le but de déterminer à partir des stations les plus proches du site de barrage, l'action des différents facteurs climatiques sur l'environnement.
- La géologie et l'hydrogéologie pour permettre de déterminer la nature du substrat, la lithologie, la structure et la présence des nappes aquifères dans les zones d'influence du projet.
- L'hydrologie pour étudier le régime hydrologique actuel en vue de prévoir les modifications futures dues à la mise en place des ouvrages.
- La morpho-dynamique qui permet, grâce à l'établissement des cartes de pente et géomorphologique, de déterminer et décrire l'allure générale du relief.
- L'étude d'impact doit être conduite à une appréciation fiable de la portée du phénomène de l'érosion et de la vulnérabilité des sites étudiés. Elle devra dégager les techniques de lutte antiérosive les plus adaptées aux conditions géomorphologiques

des B.V afin d'atteindre un taux d'envasement annuel admissible. [Billal et Bouroga, 2019]

- L'étude de faune qui permet de dresser une liste des espèces animales habitant le site et ses alentours par conséquent, voir s'il existe des espèces à protéger. [Billal et Bouroga, 2019]
- L'étude de la flore qui devra montrer l'état actuel de la végétation, sa nature, sa répartition spatiale et son évolution, elle renseigne les porteurs de projet sur les espèces à protéger si elles existent.
- L'étude socio-économique sous ses différents aspects (la population, l'habitat, l'emploi et les activités, la santé publique).

### D. Identification des impacts

Il s'agit de décrire le processus de mise en place de l'aménagement et d'identifier les étapes qui produisent les impacts significatifs. On considère généralement une phase de construction et une phase d'exploitation.

#### D.1 Phase de préparation

Les aires d'aménagement des ouvrages et des installations auxiliaires sont évaluées et situées géographiquement dans l'environnement d'accueil afin de relever les anomalies ou les contraintes avec l'occupation du sol (ressources naturelles, infrastructures diverses), circonscrire les couloirs nécessaires des flux de matières (itinéraires zone d'emprunt), interruption et déplacement des voies d'accès, déplacement et la mise en mouvement des terres. Cette analyse permettra d'identifier aussi finement que possible les nuisances potentielles : bruit, pollution d'aire, conséquences sur la flore et la faune, atteinte à la population et à ses activités.

### D.2 Phase d'exploitation

Les retenues constituent un milieu récepteur susceptible de connaître à long terme des incidences environnementales qu'il aura lieu de signaler tels que : envasement et risques d'eutrophisation des eaux. Les impacts sont définis à partir des informations sur la caractérisation actuelle de l'environnement et des informations relatives au projet. L'interprétation, Quant à elle, tient compte des caractéristiques suivantes : [Billal et Bouroga, 2019]

- Nature de l'impact : négatif, positif
- Ordre : direct, indirect
- Durée : permanent, temporaire
- Importances : très significatif, significatif, peu significatif

### D.3 Mesure d'atténuation

Sur la base des éléments fournis par l'analyse de l'état initiale et des impacts identifiés, il est nécessaire de procéder à la détermination de la nature et de l'ampleur des compensations à proposer.

## III.6 Identification des impacts sur l'environnement

### III.6.1 Impact de l'ouvrage sur le paysage

Les impacts du projet sur le paysage concernent essentiellement tous les changements pouvant atteindre les différents sites lors de la phase de construction et d'exploitation des ouvrages à réaliser. [Billal et Bouroga, 2019]

#### A. Phase de construction

Les principaux impacts visuels, consterneront essentiellement les lieux où s'effectuent les différents travaux d'excavation (zones d'emprunts) et de construction de la digue et ce, par l'aspect inachevé des travaux, transmettant ainsi une désorganisation du paysage qui paraîtra

sans aucune harmonie avec les autres composantes du milieu. Cet **impact** est **négatif, direct** et **temporaire**. [Billal et Bouroga, 2019]

### **B. Phase d'exploitation**

Une fois les plans d'eau remplis, cet espace devient plus attractif surtout après la régénération de la végétation des berges. Cet **impact** est **positif, direct** et **permanent**.

## **III.6.2 Impact de l'ouvrage sur la flore**

La réalisation de différents ouvrages et le remplissage du plan d'eau causera la destruction et l'inondation de la seule végétation rupicole longeant les lits des oueds.

### **A. Phase de construction**

Généralement, l'installation des chantiers, des bases de vie des travailleurs et l'ouverture de nouveaux accès engendrent une destruction de la végétation des sites de retenues collinaires. Les espèces floristiques recensées, lors de la phase précédente, sont très répandues dans le pourtour méditerranéen et ne figurent pas parmi le patrimoine floristique à protéger (loi n° 83.3 relatives à la protection de l'environnement) [Billal et Bouroga, 2019]. Pour l'ensemble des bassins versants, il s'agit d'une végétation rupicoles longeant les lits des oueds, et parfois, d'une végétation dans un état de dégradation due à l'importance de l'action anthropozoïque. [Billal et Bouroga, 2019]

### **B. Phase d'exploitation**

Le remplissage des plans d'eau induira à la prolifération de plantes aquatiques telles que *Numphaea lotus* et *nicrantha*. Des problèmes pouvant surgir sur la qualité de l'eau (modification de la composition chimique) et sur la santé publique (création de foyers pour les insectes vecteurs maladies). C'est un impact **négatif, indirect et permanent**. D'autre part, les plans d'eau pourront favoriser la création des prairies qui représentent une appréciable ressource en pâture. Cet impact est considéré comme **positif, indirect et permanent**. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.3 Impact de l'ouvrage sur la faune

#### A. Phase de construction

Il y a une grande probabilité que ces espèces fréquentent les sites actuellement. Aussi, avec toutes les perturbations liées aux travaux de l'édification de la digue (bruit, pollution de l'air), ces animaux vont être amenés à quitter le site pour une migration aux alentours, dans l'espoir de trouver un biotope analogue. Cet **impact** sera **négatif, direct, mais temporaire**

#### B. Phase d'exploitation

Dans l'air d'aménagement les impacts sur la faune seraient globalement positifs avec l'arrivée de l'avifaune en migration du nord au sud ou du sud au nord pour profiter de cette halte. Cette présence saisonnière favoriserait l'attrait des zones. Cet **impact** sera **positif, direct, et permanent**. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.4 Impact de l'ouvrage sur la qualité de l'air

La nature des travaux de construction des retenues collinaires prévoit des impacts sur la qualité de l'air.

#### A. Phase de construction

Au cours des travaux de construction, l'émission de quantité de poussière vers l'atmosphère se fait par le biais de l'augmentation de la circulation des personnes, des camions et engins (bulldozer, niveleuse,) dans les aires proches de l'aménagement ; cet impact est considéré **négatif** ; peu **significatif et temporaire** et circonscrit aux sites de travaux, des chantiers et aires d'emprunt. [Billal et Bouroga, 2019]

#### B. Phase d'exploitation

Pendant cette phase, on ne prévoit aucun impact sur la quantité de l'air. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.5 Impact de l'ouvrage sur les niveaux de bruit

#### A. Phase de construction

Les émissions sonores résultent de la circulation des personnes, véhicules et engins lourds. Néanmoins, cet **impact** est considéré **ponctuel, discontinu et d'intensité modérée**.

### B. Phase d'exploitation

Pendant cette phase, aucun impact n'est identifié puisque le projet prévoit seulement une conduite d'exploitation et de prise d'eau obturée par une vanne alimentant ainsi les aires agricoles situées aval des ouvrages. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.6 Impact en matière d'érosion

L'impact se traduit par le transport progressif de très grande quantité de sédiments arrachés aux versants par le ruissellement concentré. Les sédiments charriés et transportés par les eaux de ruissellement seront piégés par les eaux immobiles des futurs ouvrages. A long terme cela pose de graves problèmes pour le maintien et la préservation du potentiel hydrique mobilisé à un prix de revient élevé. Les ouvrages de retenues collinaires, en empêchant les matières fertilisantes d'arriver aux zones d'épandage accumulent celles-ci à leurs niveaux en provoquant leurs envasements. Donc l'impact sur l'érosion ne peut être que **négatif, direct, permanant et très significatif**. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.7 Impact sur le milieu humain

#### A. Impacts démographiques

Il est à signaler que les sites prévus pour recevoir l'implantation des ouvrages sont inhabités, donc il n'y aura pas lieu de prévoir un déplacement de la population.

#### B. Impacts sur les infrastructures et les équipements

Aucun impact n'est à prévoir en la matière étant donné que les travaux sont prévus sur des sites entièrement vides d'infrastructures. Cependant, en matière d'assainissement la majorité des foyers ne sont pas raccordée et utilisent plutôt les fosses septiques. [Billal et Bouroga, 2019]

#### C. Impact économique

Les aires du projet connaîtront une opportunité d'emploi grâce à la mise en œuvre des travaux (construction des ouvrages de retenues et les actions préconisées dans le cadre de l'aménagement des bassins versants) nécessitant une main d'œuvre locale considérable. L'impact en la matière sera **positif et très significatif**. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.8 Impact sur l'agriculture

#### A. Zone de la cuvette

Suite aux entretiens réalisés sur les sites de construction qui se situent en générale à côté des terres occupées par des arbres et des céréales. D'après les articles que nous avons lus, une totale adhésion des agriculteurs a été observée, quant à la réalisation de la retenue collinaire. Les exploitants y compris le propriétaire sont prêts à céder (même par acte notarié) une partie de leur terre cultivée en extensif et très peu rentables, pour pouvoir bénéficier d'une ressource en eau à proximité qui leur permettront de mettre en valeur le reste de leur terre. Le remplissage de la cuvette se traduirait par la perte de plusieurs ha de ces terres. Dans ce cadre, les pertes dues à l'inondation des terres de la cuvette, seront largement compensées par la mise en valeur en irriguée des terres en amont de la cuvette.

#### B. Zone avale

- L'impact de la retenue collinaire au niveau de la zone avale se traduit par un appauvrissement des terres, suite à l'arrêt de transport des éléments nutritifs du sol. Cet **impact est négatif et peu significatif. [Billal et Bouroga, 2019]**
- La création d'une aire d'irrigation en amont et en aval de la retenue peut engendrer un problème de pollution de la nappe, dans le cas d'une utilisation abusive des éléments chimiques (engrais). Cet **impact** peut être **négatif et peu significatif. [Billal et Bouroga, 2019]**
- La construction de la retenue permettra la mobilisation de la ressource en eau pour l'irrigation est le cheptel. Cet **impact** est **positif et significatif**
- La mise en place de la retenue collinaire permettra la création d'une aire d'irrigation, et conduira à l'intensification et l'augmentation du potentiel agricole de la région. Les gains de ces productions sont nettement plus élevés par rapport aux gains de la production céréalière ce qui entraîneraient une amélioration conséquente des revenus des riverains.

L'intensification du potentiel agricole induira une grande mobilisation de la ressource humaine (création d'emploi).

Enfin, nous pouvons conclure que l'impact de la retenue collinaire ne peut être que **positif et très significatif**, il est à souligner que l'envergure de cet impact est **permanente**.

### III.6.9 Impact sur la santé publique

Le milieu aqueux offre dans la nature les conditions d'existence et de propagation d'agents pathogènes et de vecteurs de maladies qui peuvent évoluer en véritables épidémies. Dans plusieurs communes où il existe déjà d'autres ouvrages de retenues collinaires, les spécialistes n'observent aucune épidémie liée à une transmission hydrique. Cependant, il est nécessaire de prendre certaines mesures de préventions telles que la sensibilisation de la population au respect des mesures de protection concernant les maladies à transmission hydrique. [Billal et Bouroga, 2019]

### III.6.10 Impact hydraulique

A titre d'exemple nous avons pris le cas de L'oued EL MALEH étudié par la référence [Billal et Bouroga, 2019]. Cet oued draine les eaux d'un bassin versant de 15 Km<sup>2</sup> pour cela leurs études de faisabilité du site concerné a estimé le volume d'apport solide de 457 t/Km<sup>2</sup>/an, au niveau de bassin versant du site, ce qui indique un degré de dégradation des sols qui nécessitera des aménagements correctifs. Les impacts hydrauliques qui peuvent se produire pendant la phase de construction et durant le remplissage sont :

- ❖ La perturbation du régime d'écoulement de l'oued surtout en période de crue (en période d'étiage, l'oued est généralement en sec),
- ❖ La cuvette se transforme en une zone d'accumulation des sédiments arrachés en amont. Elle devient une zone d'enrichissement de l'eau en apport solide,

- ❖ La mise en place de la digue produit une alimentation supplémentaire de la nappe phréatique au niveau de la cuvette par l'infiltration directe d'une partie des eaux stockées (les pertes par infiltration sont estimées à 18 451,4 m<sup>3</sup> par an),
- ❖ A l'amont de la cuvette, en cas d'utilisation abusive de fertilisants et produits phytosanitaires, l'infiltration des eaux contribuera à une dégradation progressive de la qualité physico-chimique de l'eau de la retenue.

### **III.6.11 Impact sur la faune aquatique [Stéphane LERAY, 2019]**

Le milieu est le support de la vie aquatique, il doit être protégé d'abord en tant que milieu, pour protéger les espèces vivantes présentes.

#### **A. Les obstacles à l'écoulement**

Chaque obstacle à l'écoulement est une modification du milieu (sédimentation en amont, érosion en aval du lit et des berges, modification de la qualité de l'eau, ...) et une entrave à la vie animale (blocage des migrations, appauvrissement génétique, perte des frayères...).

En Suisse, on dénombre 100.000 petits barrages naturels ou artificiels de plus de 50 cm (un obstacle tous les 600 m en moyenne), souvent de petits systèmes pour installer une prise d'eau ou dévier l'eau vers un étang, mais aussi des barrages pour l'hydroélectricité ou pour lutter contre les inondations. Beaucoup de ces petits obstacles artificiels ne sont plus utilisés.

#### **B. Le Tronçon Court-Circuité (TCC)**

Lorsqu'une installation prélève de l'eau en rivière et la rejette plus loin en aval, elle crée un Tronçon Court-Circuité (TCC) dans lequel le milieu s'appauvrit. Ce tronçon fait maintenant l'objet de règles précises de protection, notamment par le débit réservé.

#### **C. Les frayères**

Ces zones à fond de sable ou de graviers servent à la reproduction et/ou au dépôt des œufs de multiples groupes d'espèces (poissons, grenouilles, crustacés, ...), parfois liées à des zones et des périodes de crues. La loi LEMA a renforcé la protection de ces zones, identifiées dans

un inventaire départemental. La destruction d'une frayère pour un nouvel ouvrage fluvial nécessite des mesures de compensation.

#### **D. Influence de la qualité de l'eau sur les espèces végétales**

Les plantes s'adaptent à la composition de l'eau. L'eau de rivière contient très peu d'azote et de phosphore, limitant l'existence et la croissance des plantes aquatiques. Des apports externes en phosphore et azote (par les pollutions urbaines et agricoles) favorisent la prolifération des végétaux qui déséquilibrent le milieu (consommation excessive d'oxygène au détriment des poissons).

#### **E. Espèces de milieux aquatiques**

Les invertébrés (insectes et larves, vers, mollusques, crustacés) des cours d'eau sont des bons indicateurs de la qualité écologique du milieu [**Comité Scientifique de Petit-Saut, (2014)**] parce qu'ils réagissent aux perturbations de manière connue et parce qu'une partie d'entre eux est à la base de la chaîne alimentaire.

En France métropolitaine, 184 espèces de poissons, crustacés et amphibiens, représentant 1/3 des espèces animales aquatiques, sont vulnérables ou en danger. 4 espèces ont disparu récemment et, pour 25% des espèces, il y a trop peu de données pour savoir comment elles évoluent. Aucune espèce animale aquatique ne se porte bien et 41% des espèces sont l'objet de 'préoccupations mineures' [**Commissariat Général Développement Durable, Février (2016)**]

Toutes ces espèces animales sont victimes de la perte ou de la fragmentation de leur habitat, de la concurrence d'espèces invasives, de la pollution, ...

### **III.6.12 Impact sur les écosystèmes**

Pour ce qui est des conséquences en aval des perturbations des rivières, comme pour les petites centrales hydroélectriques, les grands barrages entraînent des modifications dans les régimes hydrauliques, thermiques, sédimentologique et des glaces. Les impacts toutefois

nettement plus considérables étant donné la différence d'échelle de ces deux types de projets. En outre, dans les grands cours d'eau, les effets physiques et écologiques de la régulation du débit peuvent se faire sentir à plusieurs centaines de kilomètres en aval. L'échelle temporelle est également démesurée puisque, par exemple les changements dans le régime de sédimentation s'ensuivent d'une période de rajustements pouvant parfois durer des siècles avant l'atteinte d'un nouvel équilibre.

Deux grands changements des paramètres hydrauliques sont observables après la construction d'un réservoir : le passage d'un milieu lentisque en amont du barrage et les variations de débit diurnes et saisonnières en aval. Certains cours d'eau peuvent même voir leur débit diminuer de façon permanente tout au long de l'année parce qu'une partie est délivrée afin d'alimenter une centrale hydroélectrique dans un autre réseau, comme c'est le cas par exemple pour la centrale Beauharnois où plus de 80% du débit a été détourné du lit naturel du fleuve Saint-Laurent. [Rosenberg, D.M et al. (1997)]

### **III.7 Mesures d'atténuations des impacts**

#### **III.7.1 Mesure pour la flore et la faune**

Tous les sites étudiés auparavant sont dépourvus de toute végétation, la seule flore présente se résume en une végétation ripicole le long des oueds. Au niveau des cuvettes (surface inondée), ils ont observé que toute cette végétation va disparaître lors de l'extraction des matériaux ; donc, il est bien évident que dans ce cas, les mesures de compensation ne seront pas indispensables. A cet effet, une prairie entretenue pourrait être installées aux abords directs du plan d'eau. Ce milieu doit rester ouvert et donc un fauchage est souhaitable, si les espèces végétales prennent trop d'ampleur (colonisation par les arbustes et les roseaux). Ce type d'aménagement associé au plan d'eau favorisera la réinstallation progressive de la faune. L'entretien se résumera à un élagage annuel ou bi-annuel selon le développement et le fauchage des prairies.

Concernant la faune, au cours des phases de construction et d'exploitation, ils n'ont pas trouvé de réelles mesures correctives des impacts car les espèces recensées ne sont ni rare, ni en voie de disparition et encore moins localisée dans le site.

### III.7.2 Mesure pour les effets de l'érosion

Les risques d'envasements des ouvrages peuvent être évités ou atténués par la mise en place d'un programme d'aménagement des bassins versants, lié à la protection des ouvrages. Pour cela, la mise en œuvre de mesures adéquates de protection des berges, de reboisement, de la plantation fruitière, correction torrentielle est indispensable [Billal et Bouroga, 2019]. Les techniques de lutte contre l'érosion sont appelées à être généralisées en vue, notamment de contrer les effets du ruissellement des eaux [Billal et Bouroga, 2019]. Il faut veiller, également à ce que les aménagements de protection afférents soient strictement et vigoureusement entretenus, car leur négligence ou abandon aura un effet inverse, c'est à dire une accélération de l'érosion. Le programme à mettre en place par [Billal et Bouroga, 2019] portera sur les travaux suivants :

- **Travaux de reboisement** : à base d'arbustes fourragères tels que les Acacias, A triplex, Caroubier
- **Travaux de correction torrentielle** qui s'appliquent exclusivement au ravinement des sols en pente, au niveau du BV.
- **Travaux de fixation de berge** sur près de 30 ha, qui permettront d'occuper l'espace menacé de part et d'autre du lit d'oued par une végétation pérenne qui peut être de type forestier ou autre. [Billal et Bouroga, 2019]
- **Travaux de plantations fruitières** préconisées sur des terres nues cultivées en pente forte et où ils observent une érosion moyenne. [Billal et Bouroga, 2019]

- **Reboisements** font appel à une main d'œuvre considérable qui peut être recrutée parmi la population locale, étant donné que le travail à réaliser n'est pas exigeant en main d'œuvre qualifiée.

### III.7.3 Mesure pour les effets sur l'activité agricole

Pour atténuer les éventuels impacts de pollution des nappes, dues à une utilisation abusive de fertilisants et produits phytosanitaires lors de la mise en œuvre de l'aire de l'irrigation, il serait nécessaire d'assurer aux agriculteurs un encadrement technique (vulgarisation) sur l'utilisation rationnelle de l'irrigation et des produits de fertilisation et de traitement. [Billal et Bouroga, 2019]

## III.8 Impact environnemental des centrales hydroélectriques

Dans chaque installation de production électrique et chaque ouvrage de construction, les centrales hydrauliques ont aussi un impact sur l'environnement pouvant être autant positif que négatif et jouant un rôle plus ou moins important selon l'emplacement et le type d'installation.

### III.8.1 Impacts positifs

- ✓ Faible émission en gaz à effet de serre nocif pour le climat
- ✓ Bilan écologique global le plus favorable sur la longueur du cycle de vie
- ✓ Contribution à la protection contre les crues par la régulation des écoulements
- ✓ Création de nouveaux biotopes tels que des lacs et des zones d'eau plate
- ✓ Augmentation de l'attractivité touristique (lacs, barrages imposants)

### III.8.2 Impacts négatifs

- ✓ Atteinte à la continuité et fragmentation des espaces naturels
- ✓ Influence sur le charriage et bilan sédimentaire dans les cours d'eau
- ✓ Volume d'eau et dynamique insuffisants dans les secteurs de débit résiduel
- ✓ Modifications des profondeurs d'eau et des vitesses de l'écoulement

- ✓ Modifications artificielles et à court terme des écoulements (éclusées)
- ✓ Atteinte au paysage par les ouvrages de construction.

### III.9 Conclusion

Dans ce chapitre et pour essayer de trouver les solutions appropriées pour atténuer les conséquences négatives, nous avons prédire les conséquences qu'aura le projet de construction des barrages hdroélectrique sur l'environnement. Ces impacts affectent les différentes composantes de l'environnement au cours de la réalisation des retenues que durant leur exploitation.

**Chapitre IV :**

**Impacts des installations**

**hydroélectriques**

## **Chapitre IV : Impacts des installations hydroélectriques**

### **IV.1 Introduction**

Cette partie de notre manuscrit est une collection de différents résultats de recherches sur les impacts des installations hydroélectriques qui sont expliqués dans ce dernier chapitre en se basant sur les travaux de recherches antérieurs comme pour les impacts des barrages en général (hydroélectriques ou non, petits et grands) qui sont présentés dans le chapitre précédent.

Les impacts positifs sont évidents depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en ce qui concerne la production de l'électricité abondante renouvelable à un faible coût d'exploitation. La houille blanche a lancé l'essor économique et social de territoires et apporte une énergie précieuse. Mais les impacts négatifs sont, eux-aussi, évidents, sur le cours d'eau, sur le milieu naturel et parfois sur les riverains.

Au XX<sup>e</sup> siècle, ils ont surtout considéré les avantages des équipements hydrauliques (l'électricité était la priorité, surtout après la Deuxième Guerre Mondiale) et caché ou sous-estimé les inconvénients. Mais les choses changent : les équipements qui respectaient peu l'environnement se voient obliger de modifier leur exploitation, et les nouvelles installations doivent minimiser leurs impacts.

### **IV.2 Evaluation des impacts**

#### **IV.2.1 Impacts par rapport à tous les usages**

Les usages d'un barrage sont multiples, tels que le contrôle des crues, le soutien des étiages, le maintien d'un niveau d'eau propice à la navigation, stockage de l'eau pour l'irrigation, ... il est possible de lire parfois des reproches faits à un barrage hydroélectrique alors que l'hydroélectricité n'est pas en cause, mais c'est plutôt l'irrigation ou la mauvaise gestion de l'eau par exemple.

### IV.2.2 Temps et moyens nécessaires pour une analyse sérieuse

Les études hydrologiques ou environnementales prennent du temps, elles nécessitent plusieurs années de mesures et d'analyse. Il faut évaluer l'intérêt d'un barrage sur une grande échelle de temps : certains barrages peuvent être socialement bénéfiques pendant des années, apportant un important développement économique, avant qu'apparaissent des problèmes graves qui ruinent les bénéfices.

En regardant les chiffres d'exploitation d'un barrage pendant la première année, ils peuvent être excellents. Certains barrages accumulent très vite les sédiments qui les rendent beaucoup moins efficaces. Donc, les chiffres de production d'une année peuvent être très différents de la moyenne, en raison de la variabilité des débits.

Ainsi, il faut des moyens pour réaliser une bonne étude d'impact. Des études ont montré l'exemple du Rhône en France qui a été subit une augmentation de température de 2°C depuis 30 ans [Stéphane LERAY, 2019]. D'autres études ont montré que les 4 installations nucléaires disséminées le long du fleuve seraient responsables du tiers de cette élévation de température, et que l'échauffement restant serait dû au réchauffement climatique [Stéphane LERAY, 2019]. Ils ont placé pour effectuer des mesures récentes, des caméras thermiques aériennes qui ont montré aussi une influence importante des 19 aménagements hydroélectriques, sur les 180 km de tronçons court-circuités (faible débit, faible profondeur) dans lesquels la température s'élève. Cette influence a sans doute été sous-estimée dans la première étude, par manque de moyens techniques et financiers. [Stéphane LERAY, 2019]

Enfin, nous pouvons estimer que l'évaluation sérieuse des impacts d'un barrage nécessite une équipe multidisciplinaire (écologue, spécialiste des sciences sociales, économiste, énergéticien, ...).

### IV.3 Etude comparative entre plusieurs projets

L'étude comparative entre des projets, nécessite une comparaison globale avec leurs performances et leurs fonctions, sur une longue période. Les impacts d'un petit barrage semblent ridicules par rapport aux grands barrages mais certaines études montrent que les petits barrages ont autant d'impact par kW que les grands [Stéphane LERAY, 2019].

Les différences de coût entre projets hydroélectriques sont importantes ; le coût et la rentabilité ne sont pas les seuls éléments de décision pour construire un tel équipement. [Stéphane LERAY, 2019]

Nous pouvons trouver donc, deux barrages proches d'un même fleuve peuvent avoir des impacts différents. Dans l'étude [Stéphane LERAY, 2019] sur le Niger, le barrage de Fomi remplit globalement bien son contrat et présente plus d'avantages que d'inconvénients, tandis que le barrage de Taoussa apparaît beaucoup plus problématique : déplacement de 25.000 personnes, forte évaporation qui va faire perdre l'équivalent d'un volume d'eau stocké -soit 2750 km<sup>3</sup>/an-, le débit aval va être profondément modifié au détriment des populations du Niger et du Nigeria et des installations hydrauliques en place, des problèmes de salinisation des terres irriguées sont prévus... [Orsenna Erik, 2008].

## IV.4 Impacts sur l'eau

### IV.4.1 Stagnation de l'eau

La figure IV.1 montre la transformation de la qualité de l'eau dans une rivière polluée lorsque l'eau devient stagnante. Ils sont aussi valables pour la retenue d'un barrage lorsque le débit d'entrée diminue et que l'évaporation augmente.

En prenant l'exemple du barrage de Petit-Saut étudié par [Stéphane LERAY, 2019] qui ont montré dans leur étude que le « temps de résidence » de l'eau dans la retenue est estimé à 5 mois en moyenne. Ce temps, trop long, explique une grande partie des problèmes de qualité de l'eau de la retenue.

Un autre exemple de l'eau de la retenue du barrage de Balbinia (Brésil) qui a devenu fétide, insalubre, envahie d'herbes et de moustiques. [Stéphane LERAY, 2019]. Avec la faible profondeur de l'eau (5 m), des centaines d'îles végétales se créent et s'agrandissent sans cesse [Pearce Fred, 2006]. Lorsque la rivière est ralentie par le barrage, les éléments en suspension dans l'eau se déposent et s'accumulent, tandis que la température s'élève et que l'eau s'évapore plus vite.

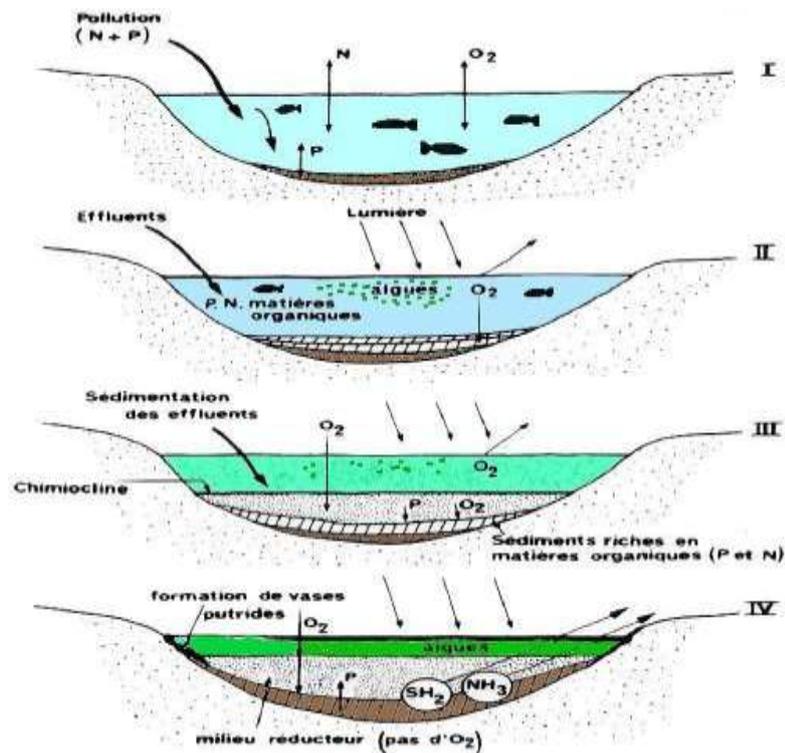


Figure IV.1 : Evolution de la qualité des eaux stagnantes et polluées. [Pearce Fred, 2006]

#### IV.4.2 Augmentation de la température

Dans les tronçons court-circuités des centrales hydroélectriques du Rhône, la température de l'eau augmente sous l'effet du soleil, à cause du faible débit et de la faible profondeur [Parisot Claude-Julien, 2013]. L'eau contient des gaz dissous dont la solubilité diminue avec l'augmentation de la température. L'élévation de la température de l'eau augmente donc la quantité de GES dans l'atmosphère et diminue la quantité d'oxygène dans l'eau. [Parisot Claude-Julien, 2013]

### IV.4.3 Evaporation

Le stockage de l'eau dans un réservoir provoque une perte d'eau par évaporation qui dépend de la profondeur, de la température, du taux d'humidité, du vent, du temps de résidence... Suivant [Dias Coelho et al, 2015], la méthode de Penman (1948) est couramment utilisée pour évaluer l'évaporation de l'eau d'un réservoir et de la végétation. Elle permet de calculer un taux mensuel d'évaporation en millimètres par mois pour une surface de référence d'un réservoir.

Dans l'article [Stéphane LERAY, 2019], ils ont donné l'exemple du lac Nasser créé dans les années 60 par le barrage d'Assouan qui perd 15 km<sup>3</sup>/an d'eau par évaporation pour un débit moyen du Nil de 50 km<sup>3</sup>/an [Pearce Fred, 2006]. Le barrage hydroélectrique d'Akosombo (Ghana, 1965, sur la Volta, créé pour alimenter en électricité une usine d'aluminium, dont la retenue s'étend sur la surface record de 8.500 km<sup>2</sup>) perd 15 km<sup>3</sup>/an à cause de l'évaporation, soit la moitié du débit total moyen du fleuve. [Dias Coelho et al, 2015]

Des chercheurs brésiliens ont évalué l'empreinte en eau ('Water Footprint', ou WF) d'usines hydroélectriques en faisant le rapport entre la quantité d'eau perdue (par évaporation) et la quantité d'énergie produite, évalué en m<sup>3</sup>/GJ ou m<sup>3</sup>/MWh. [Dias Coelho et al, 2015]

L'empreinte WF dépend de l'installation (capacité, rendement, volume stocké, ...) et des conditions climatiques (taux d'évaporation, rayonnement solaire, humidité, ...). Sur une sélection de grandes installations hydroélectriques dans différents pays, les auteurs constatent que l'empreinte WF peut varier énormément, de 0,01 à 846 m<sup>3</sup>/GJ [Dias Coelho et al, 2015]. Ces valeurs et le calcul de l'empreinte en eau sont sujets à discussion : il existe au moins 3 autres définitions du WF (en comparant les pertes par évaporation avant et après le barrage, ...) avec leurs domaines de validité et d'utilisation. Cet indicateur WF est par ailleurs saisonnier [Dias Coelho et al, 2015].

L'étude [Stéphane LERAY, 2019] compare aussi deux ouvrages hydroélectriques sur le même cours d'eau, l'un avec un grand réservoir de stockage, profond, et l'autre au fil de l'eau. L'usine avec le réservoir perd plus d'eau par évaporation que l'autre usine en valeur absolue, mais si on rapporte la perte d'eau à l'énergie produite, l'usine avec le réservoir a moins de pertes [Dias Coelho et al, 2015].

L'évaporation de l'eau douce peut être limitée en la stockant dans un réservoir couvert et en la déplaçant dans des conduites fermées. Les panneaux solaires flottants parfois disposés sur des retenues d'eau doivent probablement aussi diminuer les pertes par évaporation. [Dias Coelho et al, 2015]

### IV.4.4 Infiltration, échanges avec les nappes

Les rivières naturelles échangent souvent de l'eau avec les nappes phréatiques. Un barrage augmente l'infiltration d'eau dans le sol mais d'autres aménagements peuvent bloquer ces échanges, limiter la recharge des nappes et empêcher ces nappes de jouer leur rôle naturel de soutien d'étiage. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.4.5 Salinité de l'eau

Selon [Stéphane LERAY, 2019], l'eau du Colorado contient 50 ppm de sel à sa source, et se concentre pour atteindre 700 ppm au barrage Hoover. Avec la baisse du débit et l'augmentation de l'évaporation (à cause des aménagements et des prélèvements), les sels minéraux dissous n'atteignent plus la mer mais s'accumulent dans le lit, dans les canaux d'irrigation et dans les champs irrigués, rendant certains champs impropres à la culture.

Certains barrages placés près de l'embouchure des fleuves bloquent les remontées d'eau salée et constituent des réserves d'eau douce pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation. C'est le cas du barrage d'Arzal, sur la Vilaine, qui alimente plusieurs grandes villes du Sud Bretagne en eau potable mais provoque un envasement de tout l'estuaire. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.4.6 Concentration des polluants

Même lorsque l'eau est de qualité satisfaisante, avec peu de polluants, le barrage concentre ces substances dans sa retenue et il est possible de créer une sérieuse pollution locale en quelques années. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.4.6 Crues

De nombreux barrages sont conçus pour limiter les crues en aval, notamment dans les villes. Mais certains barrages aggravent parfois les inondations en amont et les lâchers d'eau en aval en période de crue peuvent être dramatiques pour la population.

### IV.4.7 Étiages

De nombreux barrages servent de soutien d'étiage : ils stockent de grandes quantités d'eau en périodes de pluie et relâchent cette eau en période d'étiage, pour augmenter le débit et permettre notamment la navigation en toute saison (ex : lacs-réservoirs de la Seine). [Stéphane LERAY, 2019]

## IV.5 Impacts sur l'air

### IV.5.1 Production de GES

EDF indique que l'hydroélectricité produit 0g de CO<sub>2</sub>/kWh hors analyse du cycle de vie, mais n'apporte pas d'informations sur les GES sur tout le cycle de vie. Suite à une compréhension précise de l'étude BIPE [Bureau d'étude/Conseil BIPE, 2013] nous avons constaté qu'ils ont évalué la production à 5g de GES/kWh sur l'ensemble du cycle de vie (sans précision sur les hypothèses prises).

Comme ils ont montré dans l'étude [Stéphane LERAY, 2019], l'exploitation hydroélectrique EDF de Petit-Saut émet d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> et de méthane (GES vingt fois plus puissant que le CO<sub>2</sub>). Ils ont expliqué que lorsque des territoires boisés sont inondés par la création de la retenue, la décomposition végétale dans une eau faiblement

oxygénée entraîne, pendant des dizaines d'années, la formation de grande quantité de méthane.

Le barrage de Petit-Saut est cité par ce qu'il a ainsi produit six fois plus de GES qu'une centrale au fioul de même puissance en 20 ans. La production de méthane est telle qu'une filière industrielle pourrait se monter pour capter ce gaz.

### IV.6 Impacts sur les sédiments

Dans une rivière naturelle, le sable et le gravier s'écoulent lentement jusqu'à la mer, roulés sur le fond de la rivière et déplacés lors des crues.

#### IV.6.1 En amont du barrage

Un barrage ralentit l'écoulement et provoque le dépôt de matières en suspension dans l'eau et l'accumulation de sédiments. L'étude [Gaudard Ludovic et al, 2013] a apporté qu'en moyenne, 0,73% du volume du réservoir serait perdu chaque année par chaque barrage européen. D'autres chiffres donnés par [Pearce Fred, 2006] indiquent 1% en moyenne mondiale. La solution est réalisée aux barrages qui sont maintenant tenus d'assurer la circulation des sédiments par l'intermédiaire de vannes dédiées ouvertes notamment en période de crue.

L'étude [Pearce Fred, 2006] a cité la retenue du barrage hydroélectrique de Sanmen Xia (Chine) qui s'est remplie presque complètement de sédiments après 2 années d'exploitation, générant des crues dramatiques en amont puis en aval du barrage. Le réservoir du barrage de Tarbella sur l'Indus aura perdu  $\frac{3}{4}$  de son volume d'eau en 2025 [Pearce Fred, 2006].

Pour faire baisser la sédimentation dans le « fleuve suspendu », les Chinois plantent des arbres dans le bassin versant pour limiter l'érosion, accélèrent la circulation de l'eau et procèdent à des lâchers d'eau puissants.

### IV.6.2 En aval du barrage

En aval, les sédiments et le sable continuent d'être entraînés vers la mer mais ne sont pas remplacés par de nouveaux sédiments, provoquant une érosion du lit et des berges. Les impacts sont parfois visibles jusqu'à l'embouchure : les bancs de sable non rechargés disparaissent et l'érosion côtière s'accélère. [Stéphane LERAY, 2019]

## IV.7 Impacts sur les sols

### IV.7.1 Erosion

Le marnage dans la retenue pour les STEP peut atteindre plusieurs dizaines de mètres crée une érosion des rives. En aval, les lâchers d'eau et le manque de sédiments provoquent aussi une importante érosion des rives. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.7.2 La pollution

La pollution de l'eau s'accumule dans le réservoir et devient une pollution des sols et des sédiments. Certains barrages devenus inutiles pourraient disperser une pollution importante en cas d'arasement, il faut alors draguer les sédiments pollués avant de démolir l'ouvrage.

### IV.7.3 Perte de surface agricoles ou forestières

De nombreux experts confirment que la ressource en terres agricoles de qualité pourrait être le principal facteur limitant pour les générations à venir, devant le manque d'eau, à cause de l'augmentation de la population. Or certains grands barrages noient des centaines de km<sup>2</sup> de terre, dont des terres agricoles. [Stéphane LERAY, 2019]

Un indicateur évalue l'efficacité d'une installation hydroélectrique par rapport à la surface de terres noyées. Le barrage d'Assouan a une capacité de 5 kW/ha englouti, c'est une bonne valeur par rapport à la plupart des grands barrages. Une des pires installations est au Surinam : sa capacité atteint seulement de 0,2 kW/ha noyé. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.7.4 Dégradation des terres irriguées

La grande différence entre l'eau de pluie et l'eau de rivière, c'est évidemment la quantité de sels dissous. L'eau de surface utilisée pour irriguer apporte des sels, même en faible quantité, qui vont s'accumuler dans la terre à chaque arrosage jusqu'à la rendre inculte. En Australie, la concentration en sel de certaines rivières oblige à construire des installations de déminéralisation avant d'utiliser cette eau pour irriguer. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.7.5 Les séismes

Dans certains cas, les changements de niveau d'eau d'un grand barrage peuvent provoquer un séisme [Stéphane LERAY, 2019].

## IV.8 Impacts sur la vie aquatique

Un barrage joue un rôle favorable à la vie aquatique lorsqu'il soutient l'étiage en aval.

### IV.8.1 Les végétaux

Le barrage concentre les nutriments dans la retenue et, en peu de temps, des développements végétaux importants peuvent avoir lieu. [Calmont André, 2004] estime que deux ans après la mise en service du barrage de Brokopondo (Surinam), la retenue est au  $\frac{3}{4}$  couverte de jacinthes d'eau qui compliquent l'exploitation.

### IV.8.2 Les poissons

Des études détaillées [Stéphane LERAY, 2019] sur certains barrages montrent que la quantité de poissons et le nombre d'espèces baissent souvent, à l'amont et à l'aval des grands barrages (ils ont pris comme exemple, le barrage de Petit-Saut). Les frayères disparaissent, la continuité longitudinale est interrompue (créant un appauvrissement génétique des individus, cassant le cycle des espèces migratrices), les petites crues saisonnières disparaissent (gênant la reproduction), les lâchers d'eau créent des variations brutales et importantes des conditions de vie, la qualité de l'eau de la retenue se dégrade (l'oxygène diminue) et les espèces d'eau vive disparaissent...

Les exemples d'espèces qui ne fréquentent plus les cours d'eau aménagés sont nombreux : le lançon et la plie ne fréquentent plus l'estuaire de la Rance depuis l'installation de l'usine marémotrice en 1967, le dauphin disparaît du Yangtsé, le saumon a disparu de la rivière Columbia (USA) à la mise en service du barrage de Grand Coulee (1942), ... [Stéphane LERAY, 2019]. De nombreux petits barrages peuvent couper la continuité écologique d'un cours d'eau aussi sûrement qu'un grand barrage (effet cumulatif).

### IV.8.3 Etude de la mortalité des saumons et anguilles à cause des turbines

Dans [Briand C. et al, 2015], ils ont pris comme exemple l'étude qui a été réalisée en 2015 sur la mortalité des saumons et anguilles dans les turbines du bassin Loire-Bretagne (évaluation du nombre de migrateurs, évaluation du nombre et du type de turbines par rapport à la vitesse de rotation et au diamètre...-). Le nombre de jeunes saumons migrateurs (smolts) passerait de 620.000 à 130.000 en raison des barrages.

La mortalité moyenne d'un smolt dans une turbine Kaplan est estimée à 17% et 20% dans une turbine Francis. La mortalité d'une anguille serait de 46% dans une turbine Kaplan et de 89% dans une turbine Francis. [Briand C. et al, 2015]

La mortalité survient à cause des changements de pression, des turbulences et des chocs avec la roue ou les directrices ; elle dépend de la vitesse de rotation de la turbine, du diamètre de la roue, de la taille de l'individu, de la hauteur de chute, du débit d'équipement... Les chiffres donnés ci-dessus ne tiennent compte que de la mortalité directe et non des individus blessés qui ne pourront continuer leur migration. [Briand C. et al, 2015]

Pour la Loire, la mortalité des saumons est évaluée à 27% et celle des anguilles à 3%. Pour la Bretagne, 10 ouvrages sont responsables de 85% de la mortalité des poissons.

La mortalité des poissons est améliorée par des grilles qui empêchent les poissons d'être entraînés dans les turbines ou par des turbines à vitesse lente (VLH, vis hydro). [Briand C. et al, 2015]

#### **IV.8.4 Etude de franchissable d'un barrage**

L'étude [Delmouly et al. 2007] qui a été réalisée en 2007 a suivi les déplacements d'une vingtaine de saumons par radiopistage à leur arrivée au barrage hydroélectrique de Golfech, premier grand barrage dans la remontée de la Garonne. La moitié des saumons a réussi à passer l'obstacle après 12 jours de blocage en moyenne. L'étude a permis de montrer que l'ascenseur à poissons de Golfech était peu efficace, avec une faible attractivité, et que les saumons étaient plus attirés par le débit sortant des turbines et du canal de fuite. [Delmouly et al. 2007]

Les exploitants des barrages doivent maintenant permettre le franchissement de l'obstacle aux poissons en montaison et en dévalisons, sans blessures ni stress ni fatigue excessive.

#### **IV.9 Impacts sur les zones humides**

Lors de la construction d'un barrage ou d'une prise d'eau, les zones humides aval ne sont plus alimentées par les petites crues régulières, elles s'assèchent et la (riche) biodiversité associée à ce milieu disparaît. D'anciens étangs créés par la Durance ont disparu lorsqu'une partie du débit a été dévié pour alimenter le canal de la Durance. [Stéphane LERAY, 2019]

Des bras naturels du Rhône ont été comblés alors qu'ils jouent un rôle important pour la biodiversité et l'amortissement de l'impact des crues. [Stéphane LERAY, 2019]

#### **IV.10 Impacts sur les hommes**

##### **IV.10.1 Autonomie énergétique**

Un grand avantage d'un barrage hydroélectrique, c'est l'autonomie en électricité gagnée par le pays ou la région. Pour de nombreux pays en développement, c'est la seule source de production électrique.

### IV.10.2 Déplacements de population

L'un des plus grands barrages du monde, celui des Trois Gorges en Chine, a nécessité le déplacement de plus d'un million de personnes [Pearce Fred, 2006]. Les projets hydroélectriques de la Banque Mondiale depuis 1944 ont nécessité le déplacement de 10 millions de personnes [Pearce Fred, 2006].

### IV.10.3 Développement

Dans de nombreux pays, un fort développement économique se crée à l'implantation de barrages hydroélectriques, mais le développement est parfois fugace, les problèmes environnementaux s'enchainent et les revenus du travail (irrigation, pêche) diminuent [Pearce Fred, 2006].

Les barrages créent une richesse qui profite rarement à tout le monde : un certain nombre de grands barrages ont donné lieu à des détournements de fonds, l'exploitation profite financièrement à quelques entreprises et quelques individus au détriment de la population locale, certains barrages exportent l'électricité au lieu d'offrir un développement économique aux populations riveraines... Pour de nombreux déplacés, la création d'un barrage créé plutôt de la précarisation : perte d'emplois, perte de nourriture (poissons du fleuve) et exil vers les villes avec des conditions de vie et de travail qui se dégradent. [Pearce Fred, 2006]

L'étude [Pearce Fred, 2006] que nous avons pris comme une importante référence dans ce chapitre a expliqué qu'à la mise en service du barrage d'Eléphant Butte (1915, Rio Grande, USA), l'eau de la retenue a été massivement pompée pour l'irrigation, avec division par 6 du débit aval. Lorsque l'eau en surface s'est révélée insuffisante, des prélèvements massifs ont été faits dans les nappes (là aussi de manière non soutenable), puis les champs irrigués sont devenus impropres à la culture, le désert a progressé et des villes entières ont été abandonnées.

Le lac Tchad est à un niveau très bas depuis environ 20 ans, à la suite d'une mauvaise évaluation des impacts d'une exploitation hydroélectrique et d'une irrigation non soutenable. Le niveau de ce lac avait l'habitude de varier régulièrement (jusqu'à 25.000 km<sup>2</sup> en 1962) mais depuis les années 2000, son niveau reste bas (530 km<sup>2</sup> en 2004) [Pearce Fred, 2006]. Le débit d'approvisionnement du lac a baissé de moitié, l'eau s'évapore, la quantité de poissons a baissé, la production locale de riz a baissé, le nombre de têtes de bétail a diminué, ... Les conflits pour l'eau se règlent dans le sang et la population riveraine du lac a vu son revenu moyen par habitant passer de 127 \$ à 20 \$ [Pearce Fred, 2006].

### IV.10.4 Coût des barrages

Les grands barrages représentent un risque financier important, avec des aléas, à tel point que peu d'entreprises prennent ce risque et que la plupart des grands barrages sont des projets publics. Certains barrages ont été ruineux en raison de prévisions de production surestimées, de coûts sous-estimés, d'envasement du barrage qui réduit son fonctionnement, ... [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.10.5 Sécurité des habitants

Certains barrages ont aggravé des crues en amont et/ou en aval. La rupture d'un grand barrage est un risque réel, il existe un certain nombre de cas dramatiques de rupture de barrage suite à des crues, à des séismes ou des problèmes techniques (manœuvres de vannes inopérantes par exemple, ...). Des accidents en cascade interviennent parfois, où la rupture d'un barrage amont entraîne la rupture d'un barrage aval. En 1975 dans la province du Henan en Chine, lors d'un typhon avec des pluies torrentielles, le barrage de Banqio (120 m de haut, prévu pour résister à une crue millénaire) a explosé suite à la rupture d'un barrage amont. Une vague de 6 m de haut a balayé des dizaines de kilomètres carrés et provoqué la mort de 80 à 200.000 personnes.

Lors de l'invasion japonaise, les chinois ont ouvert des digues et détruit un barrage pour noyer les soldats ennemis, entraînant la mort collatérale de 900.000 chinois. En termes d'hydraulique, cette action a complètement modifié le cours d'eau et l'embouchure s'est déplacé de 700 km [Pearce Fred, 2006].

Selon l'avenir hydro, aux Etats-Unis, les anciens barrages non surveillés et mal entretenus auraient provoqué plus de 500 noyades depuis 1950, principalement à cause du courant. [Pearce Fred, 2006]

### IV.10.7 Maladies

De grands barrages, notamment africains, ont entraîné une recrudescence de maladies hydriques comme le paludisme et la bilharziose (lac Nasser, retenues au Sénégal, ...). [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.10.8 Les nuisances

Il y a un siècle, dans les usines utilisant l'énergie mécanique hydraulique, il était courant que les ouvriers travaillent à côté de la turbine, dans le même atelier, malgré le bruit et les vibrations. Ces nuisances imposent maintenant des dispositifs anti-bruit et anti-vibrations et les turbines sont dès que possible installées dans des bâtiments dédiés. De grands barrages tropicaux répandent aussi de mauvaises odeurs de putréfaction. [Stéphane LERAY, 2019]

### IV.10.9 Différents conflits internationaux

De nombreux conflits apparaissent sur les cours d'eau transfrontaliers, lorsqu'un pays crée un grand barrage hydroélectrique et impacte les pays en aval. Par Exemple le cas de la Turquie étudié par [Stéphane LERAY, 2019]

Qui dispose des ressources de 2 grands fleuves régionaux, le Tigre et l'Euphrate. Ces 2 fleuves passent ensuite en Syrie et traversent l'Irak pour se jeter dans le Golfe Persique en formant un delta avec de vastes zones humides. Pour soutenir son développement

économique, la Turquie équipe ces fleuves avec de grands ouvrages hydroélectriques comme celui d'Ilisu sur le Tigre, mis en eau à partir de 2017 [Stéphane LERAY, 2019].

Les études déjà fait dans ce sens, ont montré que ce barrage risquait de faire baisser le débit du Tigre de 25% du côté irakien et d'assécher une partie du delta. A la suite de critiques émises par la Banque Mondiale en 2008, les financeurs internationaux publics et privés (comme la Société Générale) se sont tous retirés du projet et la Turquie a dû assurer 100% du financement, soit 1 Md€ [Stéphane LERAY, 2019]. Le projet n'a plus de comptes à rendre aux financeurs mondiaux et les règles habituellement en vigueur (étude d'impacts sur les hommes et l'environnement, avec mesures pour limiter ces impacts) n'ont pas été respectées [Stéphane LERAY, 2019].

[Ouest-France, 11/09/2018] ont montré qu'en Septembre 2018, de graves émeutes contre le gouvernement irakien et contre l'Iran voisin (qui a détourné une rivière pour ses propres besoins) ont éclaté dans la région du Delta, faisant au moins 12 morts. La population locale fait face à de nombreux problèmes (pollution, manque d'eau potable de qualité, manque d'électricité, sous-développement des infrastructures de transport, corruptions ...) mais la sécheresse et la baisse du débit des 2 grands fleuves (-60% par rapport à 2012 selon l'ONU) ont déclenché ces mouvements sociaux [Ouest-France, 11/09/2018].

### IV.11 Conclusion

Dans ce chapitre notre étude consiste à faire une recherche compréhensive sur les impacts des installations hydroélectrique que nous devons les connaitre afin de réduire certains problèmes lors de l'installation.

## **Conclusion générale**

La production d'énergie hydroélectrique possède des atouts incontestables. En effet, il s'agit d'une énergie renouvelable et nationale qui ne produit pas de gaz à effet de serre, ni d'autres gaz polluants. Le travail que nous avons effectué dans le cadre du mémoire de fin d'étude a été proposé et réalisé pendant la pandémie COVID19 chose que m'a empêchée à faire un stage pratique. Donc, nous avons basé juste sur une étude théorique détaillée et précise sur l'utilisation de l'énergie renouvelable de type hydraulique et ses différents impacts.

L'objectif principal était de monter les différents types des barrages, comment effectuer leurs classifications, les principaux composants d'une centrale hydroélectrique, son principe de fonctionnement et enfin d'étudier les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'énergie hydroélectrique qui est une énergie propre et inépuisable. Nous avons commencé notre étude, par une recherche bibliographique générale pour choisir quelques sites en considération de leurs caractéristiques topographiques et hydrologiques. La deuxième partie de ce manuscrit présente les impacts calculés par plusieurs chercheurs dans le cadre de leurs études scientifiques. Leurs résultats, nous ont permis de conclure que les énergies renouvelables constituent de véritables solutions pour remplacer les combustibles fossiles. En effet, le principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique en utilisant la force de l'eau des barrages pour faire tourner les turbines permet de produire une énergie propre. Pour prédire les conséquences qu'aura le projet de construction des retenues et des centrales sur l'environnement et de trouver les solutions appropriées pour atténuer les conséquences négatives, une étude détaillée des impacts environnementaux est obligatoire. On peut donc dire que les impacts affectent les différentes composantes de l'environnement aussi bien lors de la réalisation des retenues que durant leur exploitation. Les impacts environnementaux de l'installation d'une centrale hydroélectrique sont : impacts sur le paysage, impacts sur la flore

et la faune, impacts sur la qualité de l'air, impacts sur les niveaux de bruit, impacts en matière d'érosion, impacts sur le milieu humain, impacts sur l'agriculture, impacts sur la santé publique, impact hydraulique, les impacts par rapport à tous les usages, impacts sur l'eau, impacts sur l'air, impacts sur les sédiments, impacts sur les sols, impacts sur la vie aquatique, impacts des zones humides et les impacts sur les hommes. Les études et l'enquête publique doivent permettre de provoquer la discussion entre les promoteurs du projet et la population, mais il faut que l'exercice soit démocratique, basé sur des données objectives, avec une vision globale des problèmes et des alternatives.

Les principaux impacts négatifs se traduisent par l'envasement des retenues collinaires (à travers l'accumulation des matériaux charriés et en suspension et leur sédimentation dans les cuvettes) et la perte des terres agricoles (situées dans les cuvettes), au niveau des zones à forte érosion. L'impact positif se traduit par la création d'aires d'irrigation suite à l'édification de la retenue collinaire, ce qui permet l'intensification et donc l'amélioration de la production agricole.

## Références bibliographiques

- 01- A. Ammar, (2013).** Modélisation et optimisation d'un générateur synchrone double excitation de forte puissance. Thèse, Ecole Centrale de Lille.
- 02- AMARA Fatma, (2018).** Optimisation de la largeur en crête des petits barrages et retenues collinaires. Mémoire de Master en Hydraulique, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-, Département D'aménagement et Génie Hydraulique.
- 03- ABBAD IMANE, (2019).** Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairage) sur le rendement d'une cellule solaire. Mémoire de master en Physique, Faculté des Sciences Exactes et de la Nature et la Vie, Département des Sciences de la Matière, Université Larbi Ben M'Hidi /Oum El Bouaghi.
- 04- Addad Kenza, (2017).** ETUDE DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE D'OULED MELLOUK (WILAYA D'AIN DEFLA) . Mémoire de Master en Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure D'hydraulique -ARBAOUI Abdellah, Département D'hydraulique Urbaine.
- 05- Anton.S et Pougatsch.H, (2011).** Les BARRAGES- DU PROJET A LA MISE EN SERVICE. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), école polytechnique fédérale de Lausanne, 714p.
- 06- Alcen. (2015).** Les chiffres clés de la production d'énergie primaire dans le monde. Retrieved August 11, 2017, from <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/chiffres-cles-production-d-energie>
- 07- Alberge.J et al, (2004).** Petits Barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures avalées : exemples des petits

barrages en Afrique du Nord ET au PROCHE-ORIENT. Sécheresse n°1 vol. 15, pp 78-86.]

**08- A. Mirecki, (2005).** Etude comparative des chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France.

**09- ATTOU Khadidja, (2020).** Etude d'impact environnemental du barrage Sidi M'Hamed Ben Taïba « SMBT » de la wilaya d'Ain Defla. Mémoire de master en Protection des écosystèmes, Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie Et Sciences De La Terre, Département des Sciences Biologiques, Université Djilali Bounaâma Khemis Miliana.

**10- B. Bhandari et al, (2015).** Optimization of Hybrid Renewable Energy Power system: A review. Int. J. Precis. Enginnering Manuf. Technol., vol. 2, no. 1, pp. 99–112, [Online].

**11- Billal kheloufi, Bouroga Taha, (2019).** Etude d'une retenue collinaire et son impact environnement sur Oued El MALEH (W. BOUIRA). Mémoire de Master en Hydraulique, Faculté de Technologie, Département d'Hydraulique et de Génie Civil, Université d'El-Oued.

**12- Bensaci Wafa, (2011).** Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT, mémoire de Master en Génie Electrique, Université Kasdi Merbah Ouargla.

**13- Benlaoukli.B et Touaïbia.B, (2004).** L'expérience Algérienne dans le domaine des études de retenues collinaires. Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science, vol. 17, n° 2, pp. 153-162.

**14- B. D. Marjavaara, (2006).** CFD Driven Optimization of Hydraulic Turbine Draft Tubes using Surrogate Models, Thesis, Lulea University of Technology.

- 15- Bidi Manel, (2019).** Conception d'une centrale photovoltaïque pour recharge de voitures. Master en Génie Mécanique, Faculté de Technologie, université Mohamed Boudiaf-M'sila.
- 16- Bureau d'étude/Conseil BIPE, (2013).** Evaluation de l'impact économique de la filière hydroélectrique française (emplois, bilan carbone, balance commerciale, recettes publiques), 11 Janvier 2013. Etude à la demande du SER, lien de téléchargement depuis le site de FHE.
- 17- Boulahia.A, (2009).** Etude des convertisseurs statiques destinés à la qualité de l'énergie électrique. Magister, Université Mentouri. Constantine.
- 18- Bouhenni Imane, Mehdi Fadhila, (2019).** « Dimensionnement d'un système d'une centrale solaire - Hydroélectrique pour alimenter le rectorat de l'université de Mostaganem site Kharouba. Mémoire de master en électrotechnique, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Electrique, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- 19- Bouhenni Imane, Mehdi Fadhila, (2019).** « Dimensionnement d'un système d'une centrale solaire - Hydroélectrique pour alimenter le rectorat de l'université de Mostaganem site Kharouba. Mémoire de master en électrotechnique, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Electrique, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- 20- Briand C. et al, (2015).** Mortalité cumulée des saumons et des anguilles dans les turbines du Bassin Loire-Bretagne. Lien internet.
- 21- Calmont André, (2004).** Le barrage de Petit Saut (Guyane) et son impact sur l'environnement. Revue Aménagement et Nature n°143/144 (sur site internet de l'INIST).

- 22- Camblong, H. (2003).** Minimisation de l'impact des perturbations d'origine éolienne dans la génération d'électricité par des aérogénérateurs à vitesse variable. Doctorat, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers centre de Bordeaux.
- 23- C. Ye et al, (2019).** Spatial and temporal dynamics of nutrients in riparian soils after nine years of operation of the Three Gorges Reservoir, China. *Sci. Total Environ.*, vol. 664, pp. 841– 850, 2019 [Online]. Available :<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.036>].
- 24- Cédric FERLAT, (2009).** Le stockage hydraulique gravitaire et la production hydroélectrique sur les pentes réunionnaises – Etude du stockage de l'énergie photovoltaïque.
- 25- Comité Scientifique de Petit-Saut, (2014).** L'empreinte environnementale du barrage de Petit-Saut, suivi écologique sur 20 ans, Novembre 2014. Disponible à EDF.
- 26- Commissariat Général Développement Durable, Février, (2016).** Repères, chiffres clés sur l'eau et les milieux aquatiques. Service de l'observation et des statistiques. Lien internet.
- 27- Delliou p. (2003).** Les barrages : conception et maintenance. Presses universitaires de Lyon, Vaulx-en-Velin, vol .1, PP270.
- 28- Delmouly et al. (2007).** Etude de la franchissabilité de l'aménagement hydroélectrique de Golfech/Malause par le saumon atlantique. CEMAGREF, ONEMA, ENSEEIHT, Agence de l'eau Adour-Garonne.
- 29- Dias Coelho et al, (2015).** Comparison of the water footprint of two hydropower plants in the Tocantins River Basin of Brasil. *Journal of cleaner Production* 153 (2017) 164-175.
- 30- Gaudard Ludovic et al, (2013).** Future of hydropower in Europe: interconnecting climate, markets and policies. *Environmental Science & policy* 37 (2014) 172-181.

- 31- Haddar Ryad, et Hail Akli, (2018).** Commande indirecte en couple d'une MADA dédiée à une centrale hydro-électrique. Mémoire de master en Electrotechnique, Faculté de Technologie, Département de Génie Electrique, Université de Bejaïa.
- 32- Hounnou Amédédjihundé Hyppolite J., (2019).** Dimensionnement optimal d'un système hybride hydroélectrique-photovoltaïque-stockage pour une alimentation rurale isolée. Thèse doctorat de Génie Electrique, Ecole Doctorale des Sciences De l'Ingénieur (ED-SDI), Université Bourgogne Franche-Comte et Université d'Abomey-Calavi.
- 33- Khadraoui Zakaria, (2017).** Etude d'une centrale solaire thermique. Master génie mécanique-université BADJI MOKHTAR ANNABA.
- 34- Khouvhane Fatima, (2018).** La patrimonialisation de la centrale hydroélectrique darguinah, un patrimoine industriel à sauvegarder. Mémoire de master architecture et patrimoine, institut d'architecture et d'urbanisme, Département patrimoine architectural et urbain.
- 35- König, C. (2015).** Histoire \_ du moulin à eau au moulin à vent. Retrieved August 11, 2017, from <http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geographie-tourisme-charente-1177/page/4/>
- 36- Laurence Serra, (2011).** Barrières à l'implantation de projets d'énergie renouvelable dans les communautés hors réseau des régions Nordiques canadiennes. Mémoire de Magister, Université Sherbrooke, Canada.
- 37- Massimo Teodorani, (2011).** Tesla L'éclair du génie : L'histoire et les découvertes du plus grand inventeur du XXe siècle, 1ère édit., vol. 52, no. 1.
- 38- Mekki Mounira, (2014).** Récupération des déperditions d'énergie dans les complexes industriels et leur conversion en énergie électrique exploitable. Thèse de de

Doctorat en Sciences, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département d'électrotechnique, Université BADJI MOKHTAR ANNABA.

- 39- M. Nasser**, (2011). Supervision de sources de production d'électricité hybrides éolien/hydraulique dans les réseaux d'énergie interconnectés ou isolés. », Thèse, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, France [Online]. Available: [http://l2ep.univ-lille1.fr/fileupload/file/theses/These\\_Mehdi\\_Nasser.pdf](http://l2ep.univ-lille1.fr/fileupload/file/theses/These_Mehdi_Nasser.pdf)
- 40- M. Patrick LE DELLIOU**, (2008). Chef du Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages, MEEDDAT
- 41- N. Apergis et J. E. Payne**, (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries, » *Energy Policy*, vol. 38, n° % 11, p. 656–660.
- 42- N. Bowden et J. Payne**, (2010). Sectoral analysis of the causal relationship between renewable and non-renewable energy consumption and real output in the US. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, vol. 5, n° % 14, pp. 400-408.
- 43- Orsenna Erik**, (2008). L'avenir de l'eau, petit précis de mondialisation II. Fayard.
- 44- Philippart, J.C. et Sony, D.** (2002). Vers une production d'hydroélectricité plus respectueuse du milieu aquatique et de sa faune, *Tribune de l'eau*, 619-620, 155-165.
- 45- Pearce Fred**, (2006). Quand meurent les grands fleuves, enquête sur la crise mondiale de l'eau. Calmann-Lévy.
- 46- Parisot Claude-Julien**, (2013). Reportage « Le Rhône, la renaissance d'un fleuve », produit par ARTE France.
- 47- R. E. Sims, H.-H. Rogner et K. Gregory**, (2003). Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation, » *Energy Policy*, vol. 31, n° % 113, p. 1315–1326.
- 48- Rosenberg, D.M, et al.** (1997). Large-scale impacts of hydroelectric development. Environ.

<http://article.pubs.nrc.cnrc.gc.ca/ppv/RPViewDoc?handler=HandleInitialGet&journal=&volume=5&calyLang=eng&acticleFile=a97-001.pdf>

- 49- S. Bilgen, (2014).** Structure and environmental impact of global energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 38, p. 890–902.
- 50- Serifeg Fella, Lessaad Khawla, (2020).** Etude du Bilan hydrologique du barrage Ain Zada – Bordj Bou Arreridj. Mémoire de master, Département des Sciences Agronomiques, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.,
- 51- Silini.M.,** Turbines à vapeur, Algerian petroleum institute.
- 52- Stempfel Camille, (2015).** Histoire de la centrale hydroélectrique,” *site internet*, 2015. [Online]. Available:  
<http://kaplanoupelton.e-monsite.com/blog/l-histoire-de-lacentrale-hydroelectrique.html>.
- Stéphane LERAY, (2019).** Contexte et enjeux de l’hydroélectricité Diagnostic énergétique d’une ancienne installation hydroélectrique de basse chute (Pont Rolland, Côtes d’Armor) par simulation numérique, mémoire d’ingénieur CNAM.
- 53- Terki Razika et al, (2012).** Etude et Simulation d’une Micro-Centrale Hydroélectrique Connectée au Réseau. Mémoire de Master en Electrotechnique, Faculté de Génie Electrique et d'Informatique, Département d’Electrotechnique, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU.
- 54- T. A. Edison and C. T. PORTER, (2003).** Description of the Edison steam dynamo. J. Franklin Inst., vol. CXIV, no. 2, pp. 153–157, [Online]. Available:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016003282902174>
- 55- T. Sanjuan and R. Béreau, (1998).** Le barrage des Trois Gorges Entre pouvoir d’État, gigantisme technique et incidences régionales. Rapport, Paris, [Online]. Available  
:  
[http://www.geochina.fr/telechargements/barrage\\_des\\_trois\\_gorges\\_article\\_geoch](http://www.geochina.fr/telechargements/barrage_des_trois_gorges_article_geoch)

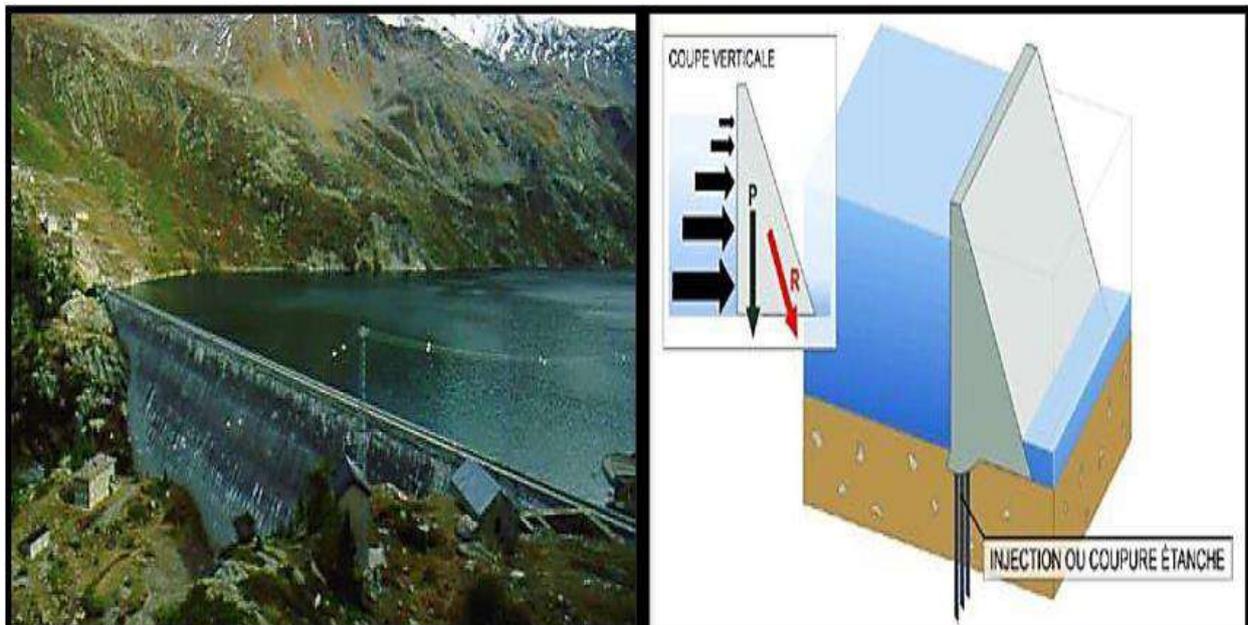
- 56- Traore Massitan, (2017).** Gestion du système photovoltaïque d'une alimentation prive connecte au réseau. Mémoire de master en sciences et technologies, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'électrotechnique, université BADJI MOKHTAR- ANNABA.
- 57- Zouak Belgacem, (2012).** Etude de l'évolution des caractéristiques des matériaux thermodynamiques des anciennes et nouvelles générations et applications photovoltaïque-thermoélectricité. Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou.
- 58- <https://images.app.goo.gl/QLMYMz7ryDffUek76>**
- 59- <https://images.app.goo.gl/mQD72pEAAVPcf5qz8>**
- 60- <https://images.app.goo.gl/H5ZnBrNXAQMzuzU66>**
- 61- <https://images.app.goo.gl/4QJkCZkTVwQ8ugN57>**

## 1- Le barrage de Sainte Croix : un exemple de grande retenue en zone de montage

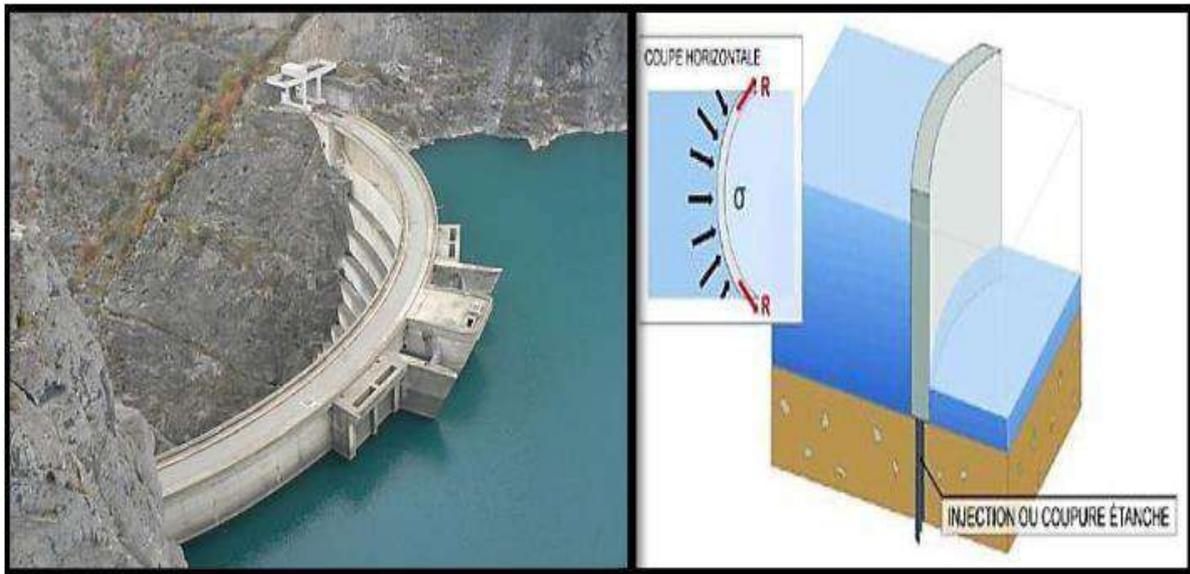


Source: EDF

## 2- Barrage poids [ATTOU Khadidja, (2020)]



### 3- Barrage-voûte [ATTOU Khadidja, (2020)]



### 4- Barrage à contreforts [ATTOU Khadidja, (2020)]

