

ENERGIES RENOUVELABLES ET EXPLOITATION MINIERES EN AFRIQUE : QUELLES CONTRIBUTIONS POUR UNE TRANSITION ENERGETIQUE REUSSIE ?

Papier pour la conférence académique internationale tenue par kambou Celestin Ce 20/02/2021

1. INTRODUCTION

Selon J.Menéndez & al.(2019), la demande mondiale d'énergie devrait augmenter de plus d'un quart d'ici 2040 et la part de la production à partir d'énergies renouvelables passera à environ 40% .

Cet objectif devrait être atteint en promouvant le développement accéléré de sources d'énergie renouvelables propres et à faible émission de carbone et en améliorant l'efficacité énergétique, comme indiqué dans la récente directive (UE) 2018/2002 sur l'efficacité énergétique.

L'Afrique est en phase avec cette tendance. Le rapport de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) sur l'évaluation des perspectives pour la production d'énergies renouvelables dans les pays continentaux de la CEDEAO en 2018 a conclu que la capacité énergétique provenant d'énergies renouvelables pourrait potentiellement atteindre près de 65 % de pic de charge d'ici à 2030 en Afrique de l'Ouest !

Le rôle du secteur minier est important dans l'économie mondiale actuelle.

Selon Boris Martor, de la société Bird&Bird, la capacité de production électrique en Afrique est de 80 GW dont 40GW en Afrique du Sud et on attribue 23 GW aux projets miniers, principalement réparti en Afrique Subsaharienne. On compte donc à peu près 50% de la production électrique en Afrique Subsaharienne, générée par le secteur minier.

Par ailleurs, le cout lié à la production électrique dans le cadre d'un projet minier correspond entre 10 à 35% du cout du projet.

Ainsi, le poids de l'industrie minière dans le paysage énergétique Africain est très important et les besoins sont croissants puisque l'exploitation minière croit.

En outre, le secteur minier a toujours été aux prises avec son image d'industrie « sale ».

Les mines peuvent être dangereuses pour ceux qui y travaillent et endommager

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

l'environnement environnant, notamment en raison des émissions de gaz à effet de serre.

D'après les analyses de J.Menédez & al.(2019), Il faudra un changement monumental dans la perception du public pour que cette image soit modifiée.

Et pourtant, l'exploitation minière est la clé de la croissance des énergies renouvelables.

En effet, la technologie verte ne dépend-elle pas de certains métaux et minéraux ?

La disponibilité et le coût onéreux des énergies renouvelables ne font-ils pas d'elles un choix abordable pour les miniers qui l'utilisent pour broyer, creuser, traiter les

minéraux, alimenter les voitures et approvisionner les communautés voisines en chauffage et en climatisation ?

Enfin, face à l'intermittence des sources d'énergies renouvelables, les mines en fin de vie ne s'avèrent-elles pas être une solution pour la mise en œuvre d'usines de production d'énergie à faible impact environnemental à travers le stockage d'énergie hydroélectrique par pompage souterrain (UPHES), le stockage d'énergie à air comprimé (CAES) et les applications géothermiques ?

L'objectif de cet article est donc de montrer la contribution du secteur minier à la transition énergétique avec l'intégration accrue des énergies renouvelables dans le mix énergétique en Afrique.

2. MATERIELS ET METHODES

Ce travail est basé sur l'examen d'articles scientifiques, de recherches sur Internet et de rapports dans la littérature sur le sujet (les mots clés incluent : énergies renouvelables et mines en Afrique, exploitation minière, diverses sources d'énergie (solaire, éolienne, etc.)).

Il s'agit pour nous de rechercher dans un premier temps la contribution du secteur minier dans la consommation énergétique dans le monde et en Afrique, dans un second temps, nous avons recherché l'évolution de l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique, puis enfin les contributions de l'exploitation minière pour une plus grande intégration des énergies renouvelables en Afrique.

3. RESULTATS

3.1. Énergies renouvelables et métaux et minéraux

Selon l'IRENA, la technologie verte dépend fortement de certains métaux et minéraux.

En effet, l'énergie solaire devrait atteindre 8 519 GW de capacité dans le monde d'ici 2050, une énergie qui repose sur la fourniture d'aluminium, de cuivre et de certains éléments des terres rares (dont l'indium et le cadmium) pour produire des panneaux photovoltaïques.

De même, les éoliennes sont en acier et leur fabrication dépend donc de la production de fer, mais aussi certains éléments de terres rares comme le néodyme

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

sont nécessaires pour les aimants utilisés à l'intérieur des turbogénérateurs.

Plus

généralement, le cuivre est essentiel à toutes les infrastructures de production d'électricité, ainsi qu'à la technologie des véhicules électriques (VE).

3.2. Coût onéreux des EnR une aubaine pour les miniers en Afrique

Selon le rapport de l'IRENA (2019), au cours des dix dernières années, l'amélioration des technologies, les économies d'échelle, la compétitivité des chaînes d'approvisionnement et l'expérience croissante des développeurs ont entraîné une forte baisse du coût de l'électricité provenant de sources renouvelables. D'après les données recueillies par l'IRENA sur quelque 17 000 projets en 2019, depuis 2010, le coût de l'énergie a baissé de 82% pour le solaire photovoltaïque, de 47% pour l'énergie solaire à concentration (CSP), de 39% pour l'éolien terrestre et de 29% pour l'éolien offshore (figure 1).

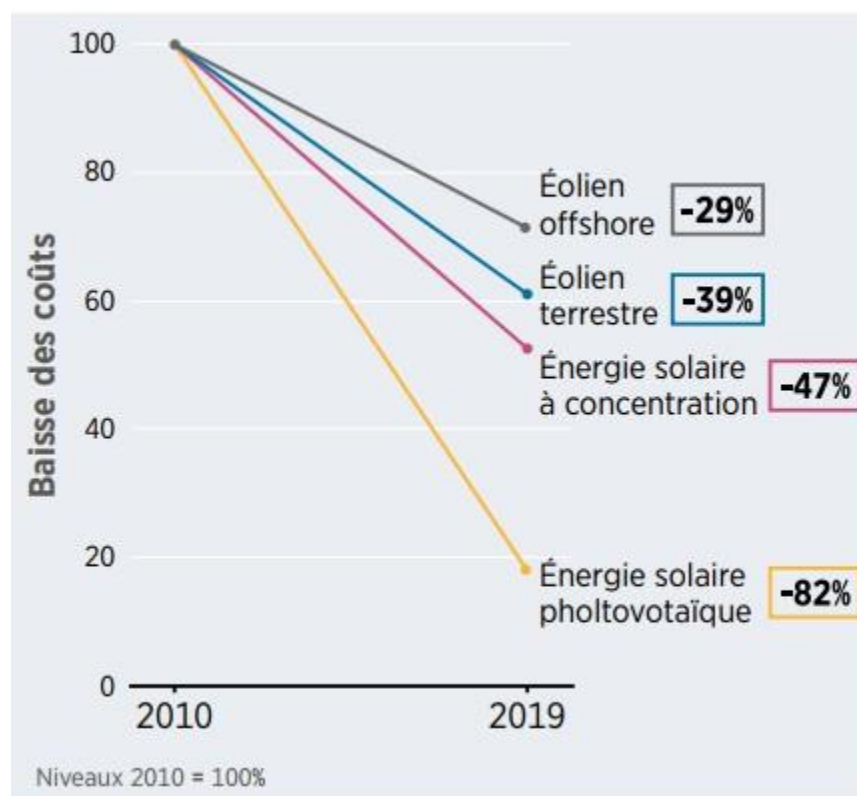


Figure 1: baisse des coûts des technologies de production d'énergies renouvelables

Le prix d'un panneau solaire a été quant à lui divisé par 8 entre 1990 et 2014!

3.3. Les mines en fin de vie : une alternative à l'intermittence des EnR

Selon J.Menéndez & al.(2019), l'hydroélectricité peut être produite et stockée en utilisant le principe de stockage d'énergie hydroélectrique par pompage souterrain (Underground Pumped Hydroelectric Energy Storage : UPHES) des mines souterraines en fin de vie, de sorte que le stockage par pompage soit établi entre un réservoir situé en surface ou dans les niveaux supérieurs de la mine et un réservoir inférieur dans les parties plus profondes de la mine par l'utilisation du puits de mine équipé de turbines. Les principaux composants peuvent être situés sous terre (les deux réservoirs, la caverne contenant le générateur d'énergie hydroélectrique, les lignes d'alimentation électrique et les lignes de retour reliées au réseau), mais un système hybride, dont le réservoir supérieur est en surface, est à un niveau supérieur. En plus des UPHES, les systèmes de stockage d'énergie à air comprimé (CAES) permettent de stocker une grande quantité d'énergie sous terre, de sorte que la production d'électricité peut être séparée de la consommation.

Il ressort également de leur étude que les mines fermées et inondées fournissent des réservoirs souterrains d'eau de mine qui peuvent être utilisés comme source d'énergie géothermique. L'exploitation minière induisant des fractures dans la masse rocheuse, l'infiltration des eaux pluviales de la zone de recharge est permise, donc un pompage intense a dû être maintenu lorsque la mine était active. Ce pompage est généralement arrêté lorsque la mine est fermée, ce qui entraîne l'inondation progressive des vides de la mine ou ce qu'on appelle le rebond des eaux souterraines. Au cours de l'inondation de la mine, l'élévation du niveau d'eau dépend directement du débit de recharge et indirectement du volume de vide. Étant donné que les rejets incontrôlés d'eau de la mine à la surface (à travers la fente la plus basse de la mine ou tout matériau perméable relié hydrauliquement à la mine inondée) ne sont pas souhaitables, le pompage est généralement repris et ajusté de manière à ce que le débit soit égal à la recharge pour maintenir un niveau d'inondation permanent. Ce réservoir souterrain créé peut être régulé et peut avoir plusieurs utilisations : production d'énergie géothermique et hydraulique, alimentation en eau industrielle ou potable, soutien du débit écologique des rivières, etc.

Dans leur étude, J.Menéndez & al.(2019) proposent une architecture (Figure 2)

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

combinée de systèmes de stockage d'énergie souterrains (UPHES et CAES) et
à

utilisation géothermique dans une mine de charbon souterraine abandonnée comme modèle.

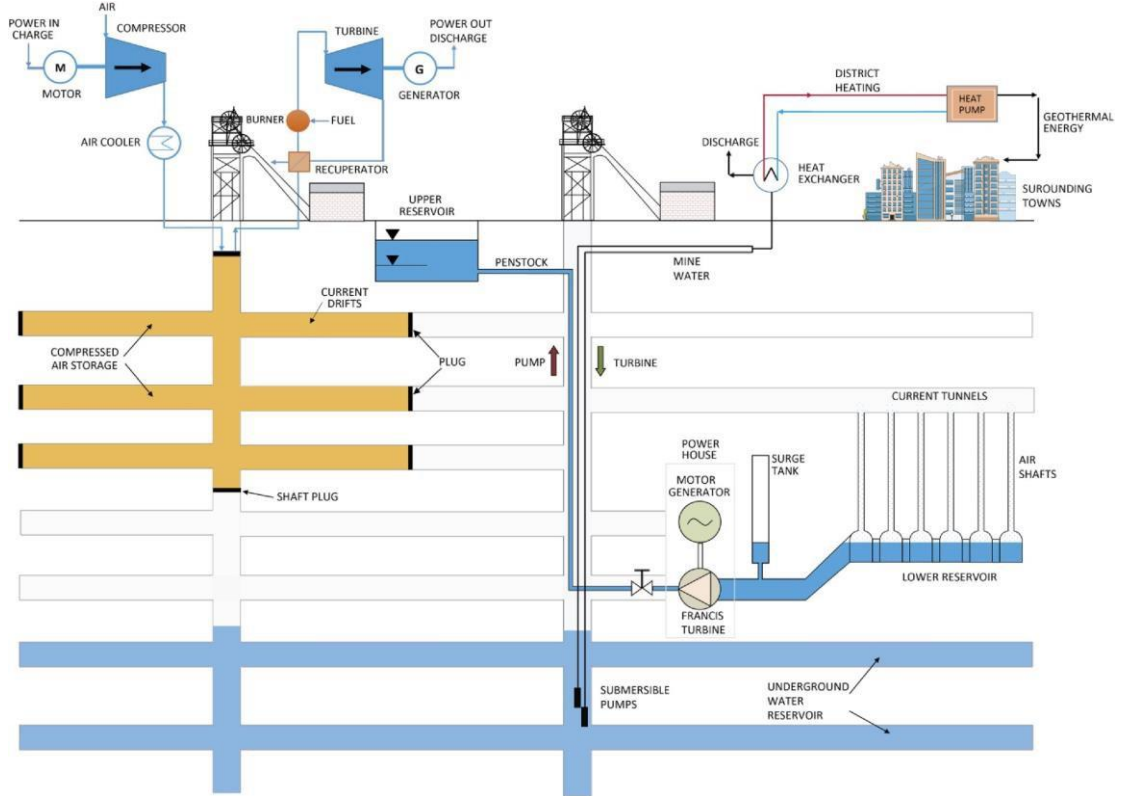


Figure 2: Conception combinée de systèmes de stockage d'énergie souterrains (UPHES et CAES) et utilisation géothermique dans une mine de charbon souterraine abandonnée

4. DISCUSSIONS

Les technologies développées pour la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables nécessitent une quantité accrue et plus diversifiée de matières minérales, à quantité d'énergie produite constante par rapport aux technologies traditionnelles (hydraulique, fossile et nucléaire).

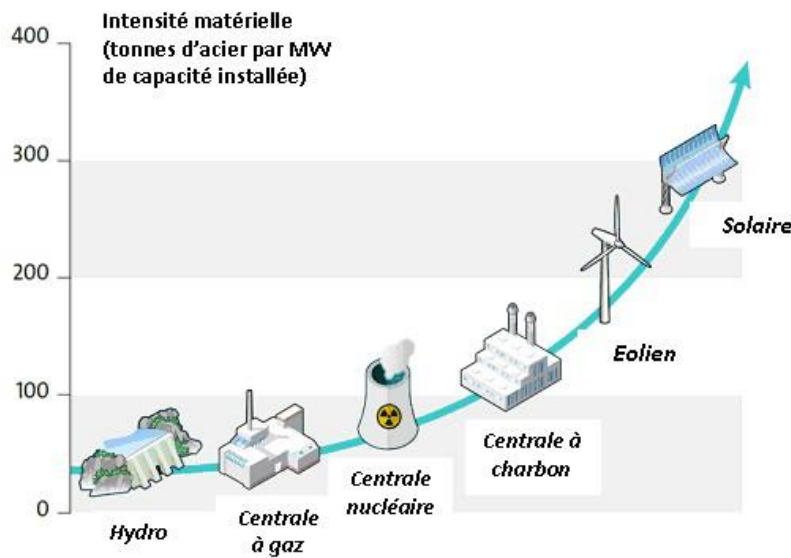


Figure 3: Intensité matérielle de différentes technologies de production électrique (en tonnes d'acier par MW de capacité installée), Rio Tinto Seminar 2011, Sydney et

Géosciences n°15

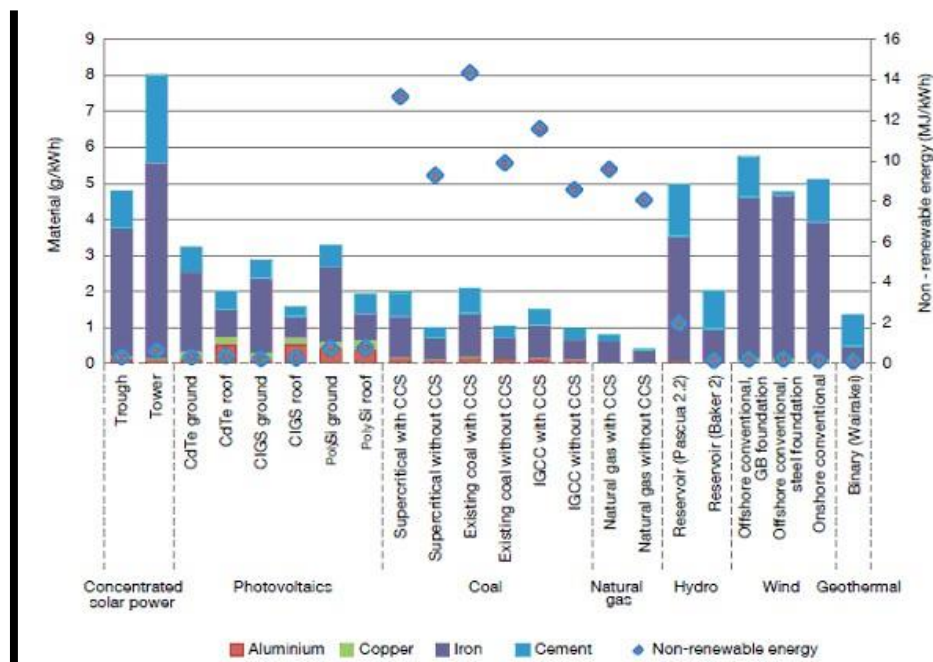


Figure 4: Matériaux (aluminium, cuivre, fer et ciment) et énergie non renouvelable requis par unité d'énergie produite – UNEP, 2016

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

Le rapport de l’IRENA sur la technologie verte et les métaux et minéraux est donc en droite ligne avec les données du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP) et des leaders du secteur minier.

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

L'adoption progressive des énergies renouvelables par l'industrie minière est d'abord une question de rentabilité commerciale. En effet, les chaînes de valeur du secteur sont très énergivores. Pour illustration, la facture électrique représente entre 30 et 40 % des coûts d'exploitation totaux de la plupart des mines. Un coût qui peut encore alourdir les situations particulières telles que les déficits énergétiques des fournisseurs d'électricité du continent. Lorsque cette éventualité survient, elle augmente significativement le coût de l'électricité en obligeant les mines à s'alimenter avec des générateurs électriques dont la production est encore plus chère.

La baisse vertigineuse du coût de l'électricité provenant de sources renouvelables mentionné dans le rapport de l'IRENA (2019) est en droite ligne avec la loi de Swanson qui observe que le prix d'une cellule photovoltaïque tend à chuter de 20 % lorsque la capacité de production mondiale double.

La rentabilité de l'ajout d'énergies renouvelables au mix énergétique est une évidence pour les mines africaines : la production solaire est largement disponible et a le potentiel d'améliorer la fiabilité des systèmes électriques et de réduire les risques associés au transport de diesel sur des milliers de kilomètres, tout en réduisant les coûts.

Mais les projets d'énergies renouvelables pour les mines sur le continent restent rares, surtout par rapport à d'autres régions. Parmi les initiatives, on peut citer la centrale solaire de 30 MW de B2Gold à la mine de Fekola au Mali, la centrale hybride solaire de 15 MW d'Iamgold à la mine d'Essakane au Burkina Faso ou la centrale solaire de 20 MW de Resolute Mining à la mine de Syama au Mali.

Selon Martin Schlecht, directeur d'exploitation de la société Suntrace, la mise en œuvre de la première centrale hybride solaire de 1 MW en 2012 dans une mine en Afrique du Sud a donné l'impression de briser la résistance des miniers à mettre en œuvre des énergies renouvelables. Il a fallu quelques années pour que les prochains projets soient approuvés.

En effet, conservateurs dans leur réflexion, les miniers ne voulaient pas risquer de perdre du temps de production avec une énergie intermittente comme le solaire PV ; la fiabilité de l'alimentation électrique étant bien plus importante que le coût pour eux.

L'utilisation des mines en fin de vie pour les systèmes UPHEs et CAES est techniquement faisable et particulièrement utile dans le contexte d'une transition vers

les énergies renouvelables avec une économie compétitive, et c'est également le cas pour l'utilisation géothermique des eaux minières.

Les systèmes UPHES offrent des avantages supplémentaires : les vides sont déjà creusés, le puits de mine est prêt à accéder aux niveaux de la mine, où d'autres tunnels peuvent être creusés si nécessaire, et la mine dispose de sa propre infrastructure de pompage souterraine (pompes, chambres de pompage connecté au réseau, aux canalisations et aux barrages qui pourraient être utilisés par une UPHES).

De plus, les systèmes proposés peuvent être combinés au stockage d'énergie renouvelable, comme l'énergie éolienne et solaire et à l'exploitation de l'énergie géothermique, en tirant parti de la température de l'eau de la mine profonde et ils peuvent également être combinés avec un système d'utilisation de l'eau de mine, pour l'approvisionnement en boisson, usage agricole ou industriel.

Cependant, toutes les mines ne conviennent pas à cette application. Les mines en fin de vie sont préférables à celles qui abritent des gisements encore exploitables. De plus, la stabilité est un facteur décisif, de sorte que les mines dans lesquelles des processus de dissolution peuvent se produire (comme les dépôts d'évaporite) ou celles où des gaz explosifs ou des substances toxiques pourraient être libérés doivent être évitées. Les mines récemment fermées sont préférables aux anciennes, car dans les premières, la morphologie de la mine est mieux connue. Même les mines qui ont été scellées peuvent être modernisées, en reprenant le pompage et en restaurant le puits, à partir duquel les cavités nécessaires sont creusées.

En outre, il est souhaitable que les mines sélectionnées soient situées dans des zones peuplées, de sorte qu'il y ait des utilisateurs finaux d'énergie proches, qui pourraient bénéficier du système. Les vides de la mine (galeries, porosité laissée après l'extraction minérale, etc.) pourraient servir de réservoir inférieur de l'UPHES, mais les caractéristiques géologico-géomécaniques des roches englobantes, ainsi que les conditions d'exploitation (ex : variations de pression) doivent être analysées en profondeur, car ils peuvent compromettre la stabilité des ouvertures souterraines. C'est notamment le cas des chantiers des niveaux supérieurs, où se trouve la plus ancienne infrastructure des mines. Ainsi, le forage d'un nouveau réseau de tunnels est l'alternative la plus techniquement réalisable pour le réservoir inférieur.

5. CONCLUSION

L'exploitation minière est à la fois une industrie à forte intensité énergétique et une source majeure de matières premières pour d'autres industries, y compris les technologies des énergies renouvelables. Les opérations minières étant très gourmandes en énergie, elles sont également très sensibles aux coûts énergétiques et à la variabilité des coûts énergétiques.

La baisse rapide des coûts des technologies éoliennes et solaires photovoltaïques offre de fortes incitations financières pour développer l'utilisation des énergies renouvelables dans l'industrie minière. De nombreuses options sont disponibles pour le secteur minier pour réduire la production de carbone et tirer parti des économies de coûts énergétiques, telles qu'une augmentation des mesures d'efficacité énergétique, une utilisation accrue de la récupération d'énergie et l'utilisation d'énergies renouvelables pour répondre aux besoins en énergie électrique, de transport et thermique. Ces options d'énergie propre ne sont pas sans défis et restent pour la plupart inutilisées dans le secteur minier en Afrique.

L'énergie renouvelable peut être intégrée aux activités d'extraction, de traitement et de raffinage de la production minérale. Ces activités comprennent, mais sans s'y limiter, le transport, le forage, le creusement, le chargement et la production d'électricité pour les sites miniers sans connexion au réseau. Malgré de nombreuses opportunités pour les énergies renouvelables, l'industrie minière a des problèmes techniques spécifiques qui devront être pris en compte lors de la planification du développement des énergies renouvelables.

L'utilisation des mines en fin de vie pour les systèmes UPHES et CAES et les applications géothermiques des eaux souterraines est techniquement faisable et particulièrement utile dans le contexte d'une transition vers les énergies renouvelables avec une économie compétitive. Cependant, en général, les coûts d'exploitation et de maintenance sont plus élevés que les systèmes conventionnels.

Ces projets sont particulièrement intéressants pour les pays qui ont un grand nombre de mines (de charbon) abandonnées, pour passer des combustibles fossiles conventionnels à haute émission à des énergies renouvelables à faibles émissions.

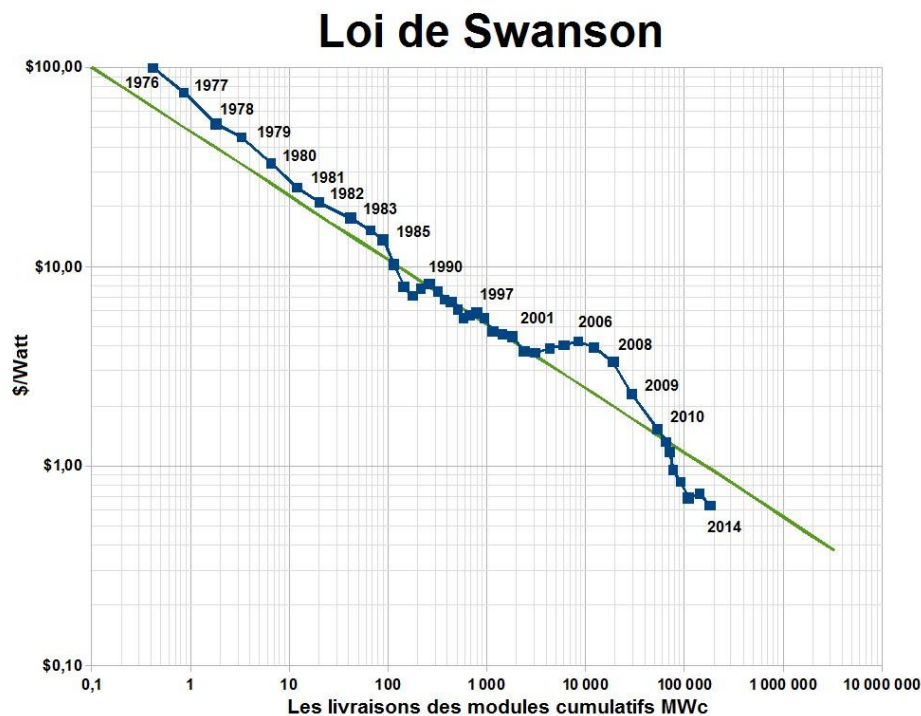
6. ANNEXES

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

6.1.La Loi de Swanson



7. BIBLIOGRAPHIE

- Ancel, B. (1998). Techniques minières et maîtrise de l'espace dans les mines d'argent médiévales. Exemples de mines de plomb argentifère des Alpes du Sud (Xe-XIVe siècles). *Actes des congrès de la Société d'Archéologie Médiévale*, 6(1), 108-110.
- Belakehal, S. (2010). Conception et commande des machines à aimants permanents dédiées aux énergies renouvelables.
- Brogini, M. (1973). *L'exploitation des hydrocarbures en Algérie de 1956 à 1971. Etude de géographie économique* (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis).
- Chabot, B. (1997). La contribution potentielle des énergies renouvelables au développement durable. *QUELLE PLACE POUR LES ENERGIES RENOUVELABLES AU SIECLE PROCHAIN?*, 21.
- Deshaies, M. (2011). Grands projets d'exploitation minière et stratégie des firmes pour se rendre environnementalement acceptables. *L'Espace politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, (15).

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

- Deshaies, M. (2016). La transition énergétique offre-t-elle de nouvelles potentialités aux bassins d'exploitation du charbon et du lignite en Allemagne?. *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, 93(93-1), 46-61.
- Durand, B. (2007). Energie et environnement. *EDP Sciences*.
- Fleurence, C. (2018). Satisfaire les besoins en énergie d'une mine d'or, la mine d'Essakane au Burkina Faso. In *Annales des Mines-Realites industrielles* (No. 4, pp. 20-24). FFE.
- HOMMES, E. D. M. A. A., & FEMMES, E. (2014). ÉNERGIES RENOUVELABLES.
- Kamundala, G., Marysse, S., & Iragi, F. (2014). Viabilité économique de l'exploitation artisanale de l'or au Sud-Kivu face à la compétition des entreprises minières internationales. *Conjonctures Congolaises*, 167-197.
- Keita, S. (2001). Étude sur les mines artisanales et les exploitations minières à petite échelle au Mali. *IIED and WBCSD Report*, (80).
- KLOSEK, C., & GRAFTIAUX, F. (1982). Quelques problemes concernant la construction d'ouvrages d'art en terrain d'exploitation miniere. *INDUSTRIE MINERALE-LES TECHNIQUES*, (7).
- Maiga, A. M. (2019). *Les conditions juridiques d'exploitation des ressources minières dans les États de l'Union économique et monétaire ouest-africaine, UEMOA* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).
- Meunier, F. (2008). *Les énergies renouvelables*. Le Cavalier bleu.
- Moussa, B. (1995). L'or des régions de Poura et de Gaoua: les vicissitudes de l'exploitation coloniale, 1925-1960. *The International journal of African historical studies*, 28(3), 563-576.
- Mutshima, C. K., Kindele, J. M., Tshimwanga, J. S., & Tshianzula, P. K. (2016). DE L'EXPLOITATION MINIERE ARTISANALEET SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL DANS LA VILLE DE KOLWEZI. *KAS African Law Study Library*, 2(3), 581-597.
- Rouleau, A., & Gasquet, D. (2017). L'industrie minière et le développement durable: une perspective internationale francophone.
- Yaleko Kongo, S. (2016). *Logistique de l'installation et de l'exploitation des énergies renouvelables en site isolé nordique* (Doctoral dissertation, Université du Québec à Rimouski).

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 09, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

Références Web

1. <https://renewablesnow.com/news/mining-renewable-energy-a-greener-way-forward-721937/>
2. <https://www.irena.org/publications/2013/Feb/LAfrique-et-les-nergies-renouvelables--la-voie-vers-la-croissance-durable>, consulté le 18/02/2021 à 12h 16
3. <https://www.irena.org/publications/2013/Feb/LAfrique-et-les-nergies-renouvelables--la-voie-vers-la-croissance-durable>

Références Additionnelles

- ✓ MELODIE MICHEL (2020). The changing dynamics of african mining and energy.
- ✓ T.Igogo, T.Lowder, J.Engel-cox et al.(2020,), Integrating Clean Energy in Mining Operations: Opportunities, Challenges, and Enabling Approaches.
- ✓ J.Menéendez, A.Ordóñez, R.Álvarez et al.,(2019). Energy from closed mines : Underground energy storage and geothermal applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. pp.498-512.
- ✓ F.Watson & Williams (2020, 24 Novembre).renewables now.