

SLN**Doniambo - Centrale C*************REPORT****48-AY1210/N.06f/0003*************Justification du choix de la centrale charbon par SLN**

0	19/06/2013	Première émission	P. AUDOUIN	P. AUDOUIN	P. AUDOUIN
Rev.	Date	Issued for	Prepared by	Checked by	Approved by

*This document is proprietary of Jacobs France
No part of this document may be reproduced or transmitted without the prior written approval of Jacobs France.*

TABLE OF CONTENTS

	Pages
1. OBJET DU DOCUMENT	4
2. RECAPITULATIF DES BESOINS DE SLN	4
3. LES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	4
4. DESCRIPTION SUCCINCTE DES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	6
4.1. Centrales conventionnelles à chaudière	6
4.1.1. Centrale à charbon pulvérisé	7
4.1.2. Centrale à lit fluidisé	7
4.1.3. Centrale fioul	7
4.1.4. Centrale gaz	7
4.1.5. Centrale de cogénération	7
4.2. Centrales à turbine à combustion	8
4.3. Centrales Nucléaires	9
4.4. Centrales hydroélectriques	10
4.5. Centrales éoliennes	11
4.6. Centrales solaires	11
4.6.1. Centrales solaires photovoltaïques	11
4.6.2. centrales solaires thermodynamiques à concentration	12
4.7. Centrales marémotrices ou hydroliennes	14
4.8. Centrales géothermiques	15
5. CONTRAINTES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES, ET ADEQUATION AVEC LE PROJET CENTRALE C DE SLN	16
5.1. Centrales conventionnelles à chaudière	16
5.1.1. Centrales de cogénération	16
5.1.2. Centrale conventionnelle au gaz	17
5.2. Centrales à turbine à combustion	17
5.3. Centrales Nucléaires	17
5.4. Centrales hydroélectriques	17
5.5. Centrales éoliennes	18

5.6.	Centrale solaire	20
5.6.1.	Centrale solaire photovoltaïque	20
5.6.2.	Centrale solaire à concentration	20
5.7.	Centrales marémotrices, hydroliennes ou marée-thermiques	21
5.8.	Centrales géothermiques	22
6.	MATRICE DE COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES	23
7.	CONCLUSIONS	26

1. OBJET DU DOCUMENT

La DIMENC a fait part à SLN d'une demande de justification du type de centrale retenue comme étant la seule solution technico-économique viable pour le projet de remplacement de l'actuelle centrale B par une centrale à charbon pulvérisé, dénommé Centrale C.

L'objet de ce document est de faire une synthèse des différents types de centrales électriques et de leurs contraintes d'installation vis-à-vis des besoins de SLN, dans le contexte technico-économique de la Nouvelle Calédonie, de façon à justifier le choix de technologie retenu par SLN pour son projet.

2. RECAPITULATIF DES BESOINS DE SLN

L'alimentation électrique de la SLN doit avoir les caractéristiques suivantes :

- La puissance fournie doit être de l'ordre de 180 MW, avec des "unités" qui ne doivent pas dépasser 100 MW pour ne pas risquer de déstabiliser le réseau électrique calédonien,
- L'électricité doit être disponible 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24 pour répondre aux besoins d'énergie de l'usine SLN de Doniambo, qui fonctionne en continu. Le schéma d'exploitation retenu est la production « en base », soit 8 000 h/an, ce qui représente une production annuelle d'énergie de 1 440 GWh.
- L'électricité doit être fournie de façon fiable, ce qui nécessite que la technologie utilisée soit éprouvée et le moins possible sujette à des éléments extérieurs hors du contrôle de l'opérateur. Il n'est pas possible d'arrêter l'alimentation électrique des fours de l'usine SLN de plus de 24 heures sans risquer de les endommager irrémédiablement. Une des particularités du projet de la centrale C est d'une part d'être raccordé à un réseau électrique ilien, de relativement faible capacité par rapport à la centrale C et d'autre part la nécessité d'absorber des variations de charge importantes et irrégulières liées à la consommation des fours de la SLN (phénomène de « down swing »)
- Le coût de l'énergie produite doit rester compatible avec les modèles financiers de SLN, et ne pas significativement impacter le coût de la production de nickel de l'usine,
- L'implantation de la centrale doit pouvoir se faire sur le site de Doniambo

3. LES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Hormis dans le cas des centrales photovoltaïques, la génération d'électricité est assurée par un alternateur entraîné par une turbine ou par un moteur.

2 familles principales de centrales de production d'électricité sont définies par le type de combustible et son origine :

- Les centrales thermiques

- Les centrales utilisant une forme d'énergie renouvelable

Au sein de ces 2 familles, plusieurs types de centrales ont été développés depuis la fin du XIXème siècle :

Centrales thermiques (85% de la production mondiale d'électricité en 2011):

- Centrales conventionnelles à chaudière
 - Alimentées au charbon, de type charbon pulvérisé ou à lit fluidisé
 - Alimentées au fuel (léger, ou lourd réchauffé)
 - Alimentées au gaz naturel, ou en gaz issus de process (pétrochimie ou sidérurgie)
 - Alimentées en ordures ménagères
- Centrales à turbine à combustion (souvent improprement dénommées turbines à gaz)
 - A cycle simple
 - A cycle combiné
- Centrales Nucléaires
 - A Uranium naturel Graphite gaz
 - Gaz à eau lourde
 - A eau bouillante
 - A eau pressurisée
 - A neutrons rapides

Centrales utilisant une forme d'énergie renouvelable :

- Centrales hydroélectriques
- Centrales éoliennes
- Centrales solaires
 - Centrales solaires photovoltaïques
 - Centrales solaires thermodynamiques à concentration
- Centrales marémotrices, hydroliennes ou marée-thermiques
- Centrales géothermiques

4. DESCRIPTION SUCCINCTE DES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

4.1. Centrales conventionnelles à chaudière

Ce type de centrale de production électrique est constitué d'une chaudière et d'une turbine à vapeur entraînant un alternateur. Son fonctionnement est basé sur le principe thermodynamique du cycle de Rankine, utilisant très majoritairement de l'eau comme fluide.

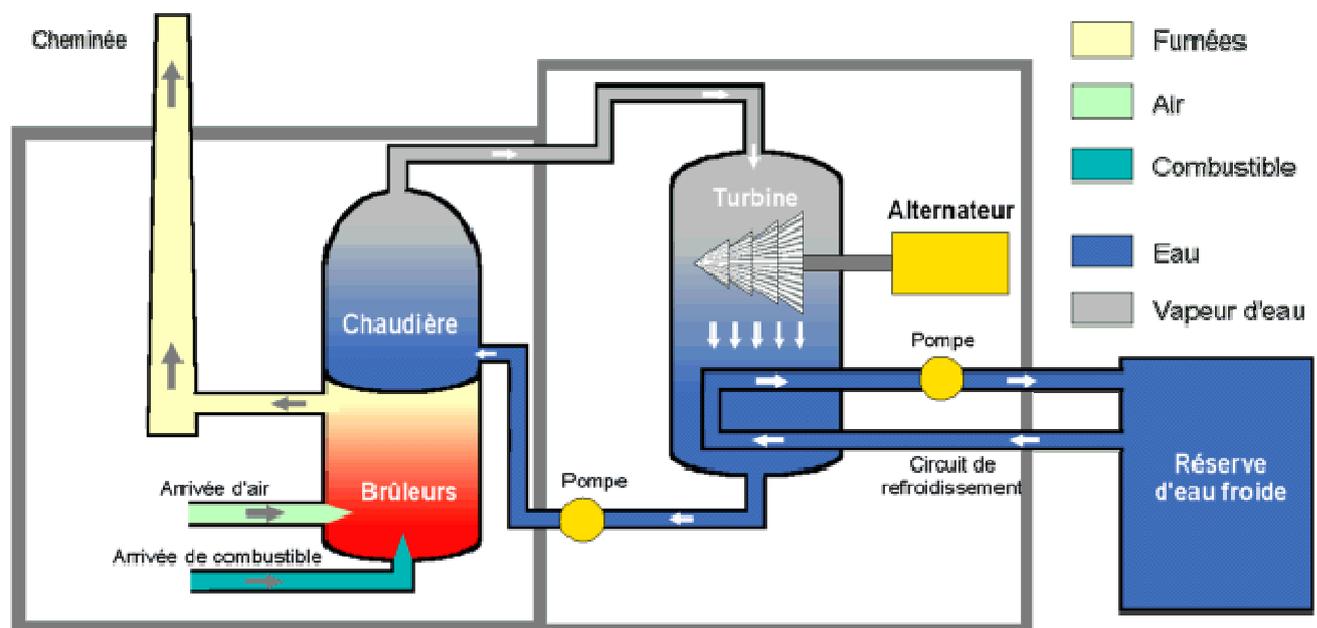
L'énergie est fournie par la combustion d'un combustible (charbon, pétrole, gaz naturel, gaz issus de hauts-fourneaux, biomasse, ordures ménagères). Cette combustion a lieu dans une chaudière. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur) et la vaporiser à haute pression et à haute température. On dispose alors de vapeur d'eau sous pression.

Cette vapeur sous pression entraîne une turbine à vapeur, qui elle-même entraîne un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale, mise sur le réseau électrique à haute tension.

A la sortie de la turbine, la vapeur est refroidie pour se re-condenser sous forme d'eau dans le condenseur, puis renvoyée dans la chaudière à haute pression, au travers des pompes alimentaires.

Le refroidissement de la vapeur issue de la turbine dans le condenseur peut être réalisé au moyen d'eau, ou d'air. Le refroidissement par eau est privilégié pour des raisons de rendement thermique, et est réalisé par refroidissement direct (pompage d'eau de mer ou de rivière) ou à l'aide de tours de réfrigération. Dans le cas où le site d'installation ne dispose pas de réserves en eau suffisante, il est possible d'installer un aérocondenseur, qui refroidit directement la vapeur sortant de la turbine au moyen d'un important brassage d'air.

Une centrale thermique à flamme fournit une puissance électrique de l'ordre de quelques mégawatts jusqu'à 1000 mégawatts pour les plus puissantes.



4.1.1. Centrale à charbon pulvérisé

Le charbon reste le combustible fossile le plus utilisé dans le monde. Il est surtout employé pour produire de l'électricité, dont il fournit 40% des besoins mondiaux.

La plupart des centrales à charbon installées dans le monde sont de type à « charbon pulvérisé ». Dans ce procédé, le charbon est broyé en poussière fine qui va servir de combustible. Une fois mélangée à l'air, cette poussière est injectée puis brûlée dans une chaudière à plus de 1 400°C

Les centrales de grande taille (>600 MW) les plus récentes possèdent un cycle vapeur supercritique (température de vapeur HP>600°C), qui permet d'obtenir un rendement qui dépasse 45 %, mais cette technologie n'est pas directement applicable pour les centrales de petite taille, pour des raisons de coût.

Les centrales au charbon les plus récentes intègrent des systèmes qui permettent de filtrer les fumées issues de la combustion en capturant les composants polluants. Les poussières et cendres, par exemple, sont récupérées et peuvent être recyclées pour la production de ciment. De même, les oxydes de soufre sont récupérés et peuvent être recyclés dans la production de plâtre. Avec ces dispositifs, la performance environnementale des centrales à charbon est fortement améliorée.

4.1.2. Centrale à lit fluidisé

La technologie du lit fluidisé, mise en œuvre depuis les années 80 peut également être utilisée : le charbon est simplement concassé et mélangé à un produit inerte, ce qui conduit à former un « lit » maintenu en sustentation par injection verticale d'air. Les particules de charbon brûlent en suspension et les poussières partiellement brûlées sont récupérées pour être ensuite réinjectées dans la chaudière. Cette technique permet donc d'obtenir une combustion totale à une température allant de 850 à 900°C, (au lieu de 1400° C dans une chaudière classique). Ce procédé a de nombreux avantages, tels qu'un haut rendement et la possibilité de brûler des charbons de mauvaise qualité. Cette technique est moins polluante : la température inférieure à 900°C garantit une faible teneur des fumées en oxydes d'azotes, et des additifs de désulfuration peuvent être ajoutés au lit fluidisé.

De même que pour les cycles vapeur supercritiques, La complexité de ce type de technologie fait qu'elle est réservée aux chaudières de grande taille. Elle est très rare pour des unités inférieures à 300 MW.

4.1.3. Centrale fioul

Le principe d'une centrale fioul, identique à l'actuelle centrale B de SLN est identique à celui d'une centrale à charbon pulvérisé. Cependant, le combustible sous forme liquide est directement injecté dans des brûleurs adaptés.

4.1.4. Centrale gaz

Le principe d'une centrale à chaudière gaz est identique à celui du schéma de principe ci-dessus. Le combustible, sous forme gazeuse est directement injecté dans des brûleurs adaptés.

4.1.5. Centrale de cogénération

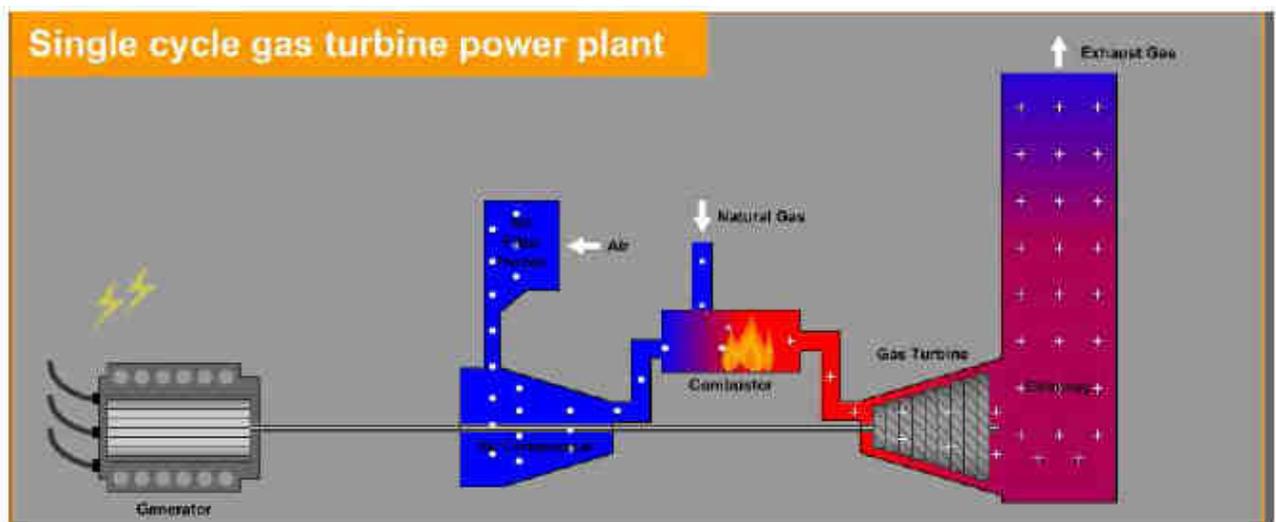
La cogénération (ou « co-génération ») est un principe de production simultanée de deux énergies différentes dans le même processus. Le cas le plus fréquent est la production d'électricité et de chaleur. Ce type de centrale dispose d'un excellent rendement énergétique global (de 80 à 90%), puisqu'elle valorise la chaleur, qui est une énergie rejetée généralement dans l'environnement.

Cependant, par définition, ce type de centrale n'a d'utilité que si un besoin simultané de chaleur et d'électricité sont nécessaire, dans un même site d'installation.

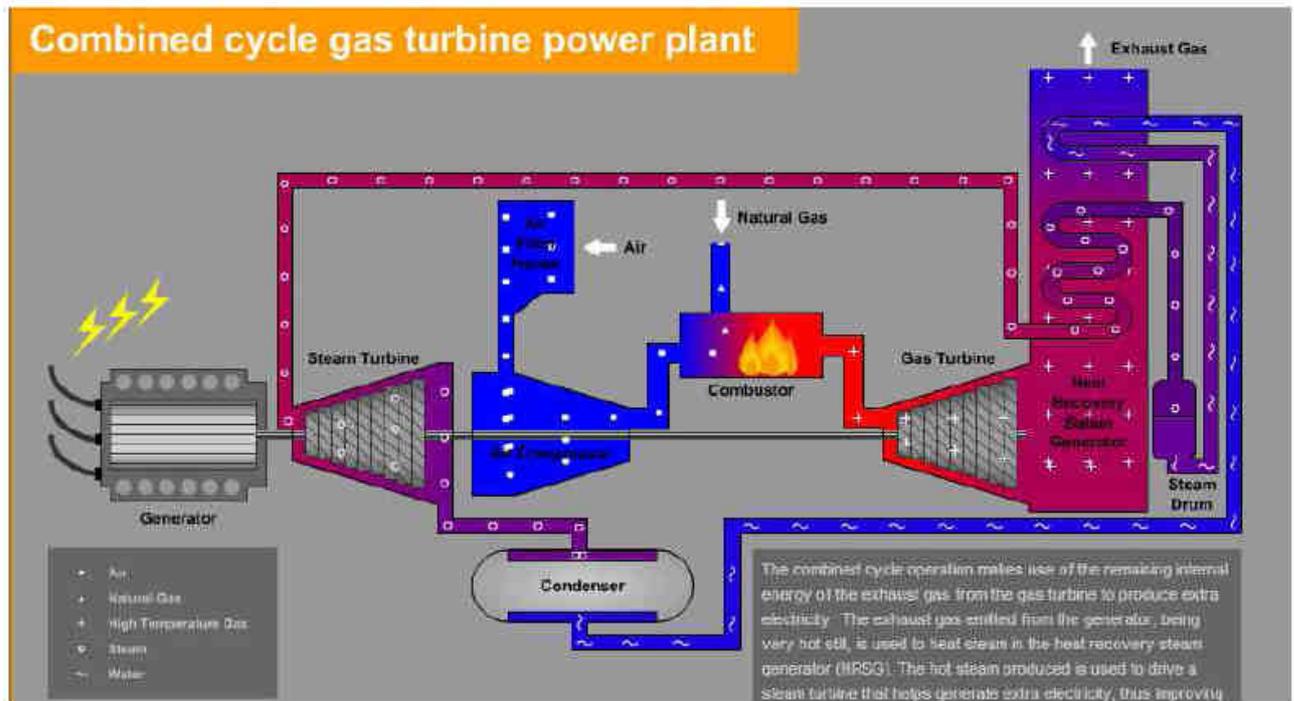
4.2. Centrales à turbine à combustion

Les centrales à turbines à combustion comprennent :

- Les centrales à cycle simple constituées d'une turbine à combustion fonctionnant au gaz ou au fioul liquide entraînant un alternateur. Elles sont surtout utilisées comme centrales de pointe, pour assurer un complément de production en cas de forte demande ponctuelle (heures de pointes), comme les unités installées à Ducos par Enercal.



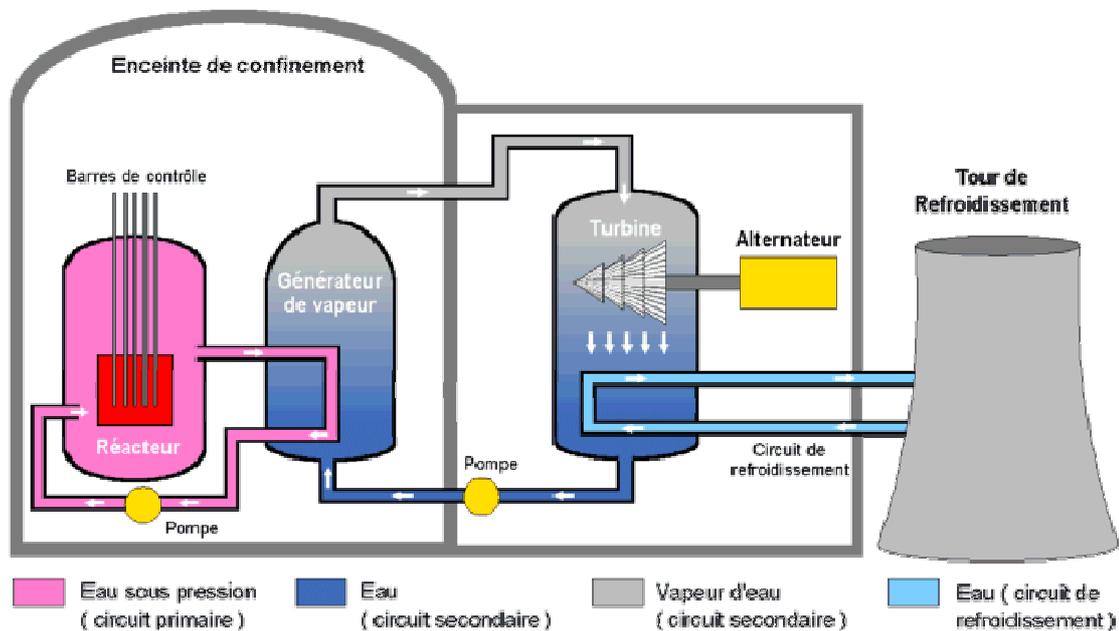
- Les centrales à cycle combiné, sont de plus en plus répandues grâce à leur rendement énergétique plus élevé. Dans ces centrales, une chaudière de récupération permet d'exploiter la chaleur sensible contenue dans les fumées à l'échappement de la turbine à combustion fonctionnant au gaz ou au fioul liquide, pour produire de la vapeur alimentant une turbine à vapeur qui peut soit entraîner un second alternateur sur une deuxième ligne d'arbre (on parle alors de cycle combiné à lignes d'arbres séparées ou multi-shaft en anglais), soit être installée sur la même ligne d'arbre que la turbine à combustion (on parle alors de cycle combiné à une seule ligne d'arbre ou single shaft en anglais). Cette dernière configuration disponible chez plusieurs constructeurs mondiaux a dépassé en 2012 la barrière du rendement de 60 %.



4.3. Centrales Nucléaires

Une centrale nucléaire est une centrale thermique qui utilise l'énergie fournie par un réacteur nucléaire, issue de la fission de noyaux d'Uranium. Hormis cette source d'énergie, le fonctionnement du système de conversion d'énergie est identique à celui des centrales à chaudières conventionnelles décrit au § 4.14.1 ci-dessus.

Un réacteur nucléaire fournit une puissance électrique de l'ordre de 200 à 1600 mégawatts. Les réacteurs en service en France ont des puissances de 900 MW, 1300 MW et 1450 MW ; l'EPR en construction à Flamanville, le plus puissant au monde, aura une puissance de 1650 MW.

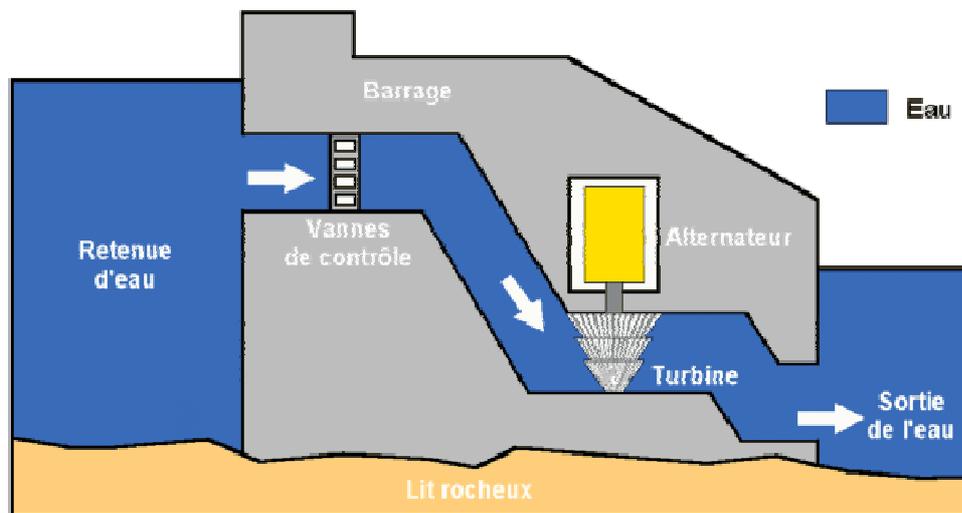


4.4. Centrales hydroélectriques

Une centrale hydraulique utilise l'énergie fournie par une masse d'eau en mouvement pour entraîner une turbine hydraulique. Un barrage construit sur la rivière retient une grande quantité d'eau.. Pour produire de l'électricité, les vannes du barrage sont ouvertes, de l'eau s'y engouffre dans une conduite interne au barrage. A la sortie de cette conduite, l'eau entraîne une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. L'eau est ensuite libérée au pied du barrage et reprend le cours normal de la rivière. 2 types d'installations sont rencontrés:

- Barrages au fil de l'eau, avec une faible hauteur d'eau
- Barrages lac, avec la création d'un lac artificiel en amont du barrage, qui disposent d'une plus importante hauteur d'eau, donc potentiellement une plus grande capacité énergétique, et d'une capacité de stockage de l'énergie.

Les centrales hydrauliques ont une puissance qui peut aller de quelques kilowatts pour une centrale individuelle à plusieurs gigawatts pour un barrage d'importance (16 GW pour le barrage des 3 gorges en Chine).



4.5. Centrales éoliennes

Reprenant le principe de fonctionnement des moulins à vent, les éoliennes constituent actuellement un mode de production d'énergie électrique en plein développement. Plusieurs types d'éoliennes existent (à arbre horizontal ou vertical). La tendance actuelle est à la construction d'éoliennes de taille de plus en plus importante, regroupées en un même site, de façon à former une centrale de production, ou ferme éolienne.

Le rotor de l'éolienne est relié à un alternateur par le biais d'un multiplicateur de vitesse.

Ce type d'installation peut être envisagé sur terre (onshore) ou en mer (offshore). Les centrales offshore permettent l'installation de machines plus puissantes (jusqu'à 6 MW), bénéficiant d'une meilleure exposition aux vents marins plus réguliers, mais au prix d'une plus grande complexité technique et d'une maintenance plus onéreuse.

Si les éoliennes constituent évidemment un moyen de production d'électricité très "écologique" puisque non polluant et renouvelable, il reste que ces installations sont très imposantes, bruyantes et très coûteuses à la construction (fermes offshore). De par la nature du vent, la disponibilité de ce type de centrale ne dépasse pas 25%, dans les régions les plus ventées.

4.6. Centrales solaires

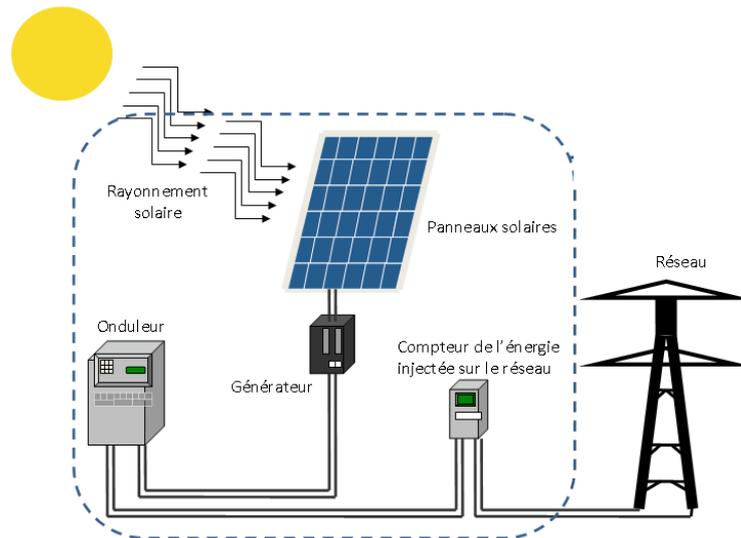
Les centrales solaires se composent de 2 familles :

- Les centrales solaires photovoltaïques
- Les centrales solaires thermodynamiques à concentration

4.6.1. Centrales solaires photovoltaïques

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable produite à partir du rayonnement solaire. La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie. Elle fonctionne sur le principe de l'effet photoélectrique. Plusieurs cellules sont reliées entre

elles sur un module solaire photovoltaïque, plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. Les modules solaires photovoltaïques (PV) transforment directement le rayonnement solaire en courant électrique continu, reliés entre eux et raccordés au réseau électrique au travers d'onduleurs.



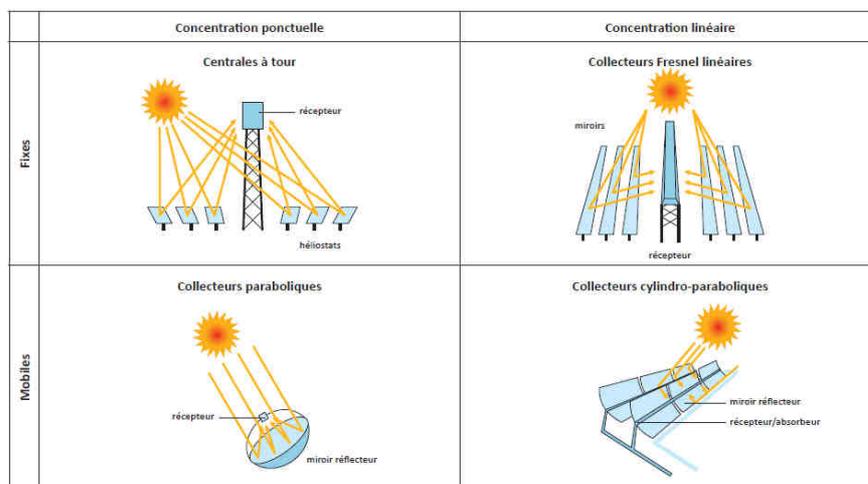
La performance énergétique de ce type d'installation est directement liée à la valeur du rayonnement solaire, qui varie au cours de la journée et de l'année.

4.6.2. centrales solaires thermodynamiques à concentration

Une centrale solaire thermodynamique à concentration est une installation qui concentre les rayons du soleil à l'aide de miroirs afin de chauffer à température élevée un fluide caloporteur qui permet de produire de l'électricité à partir du principe thermodynamique du cycle de Rankine.

On distingue des centrales de plusieurs types:

- à tour : Constituée d'un champ de capteurs solaires spéciaux appelés héliostats qui concentrent les rayons du soleil. Les miroirs sont concentrés sur des tubes où un liquide caloporteur est porté à haute température. Ce liquide caloporteur est utilisé dans un cycle de Rankine à eau, pour produire de la vapeur qui entraîne un turbo-alternateur classique,
- à miroir cylindro-parabolique : Constituée d'un champ de capteurs solaires cylindro-paraboliques, au milieu desquels circulent des tubes où un liquide caloporteur est porté à haute température. Ce liquide caloporteur est utilisé dans un cycle de Rankine à eau, pour produire de la vapeur qui entraîne un turbo-alternateur classique,
- à miroirs de Fresnel : qui utilise des miroirs plans (ou quasi-plans) qui peuvent chacun pivoter autour d'un axe horizontal de façon à suivre la course du soleil et ainsi rediriger et concentrer de manière optimale les rayons solaires vers un tube absorbeur. Dans ce tube, un liquide caloporteur est porté à haute température. Ce liquide caloporteur est utilisé dans un cycle de Rankine à eau, pour produire de la vapeur qui entraîne un turbo-alternateur classique,



source : AIE

Il existe plusieurs types de fluides ou liquides, le choix de ce fluide permet de déterminer la température maximale admise et oriente le choix des matériaux utilisés lors de la construction:

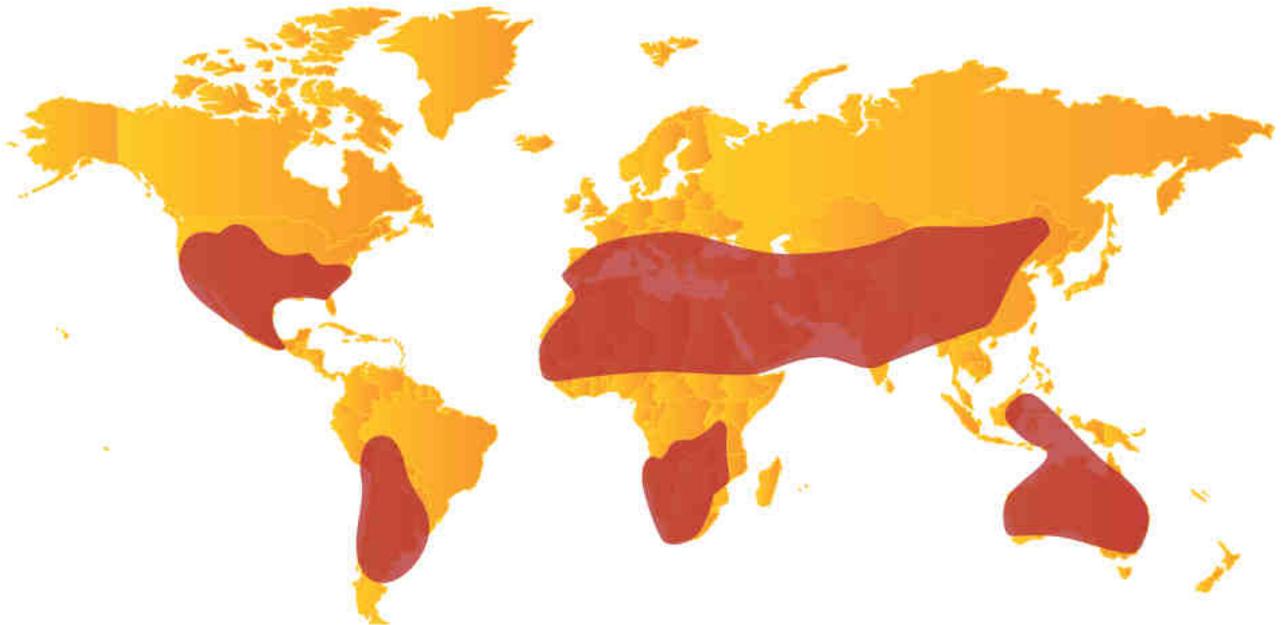
- Les huiles: couramment utilisées dans les centrales cylindro-paraboliques, la température maximale est limitée à 400°C,
- Les sels fondus: à base de nitrates de sodium et de potassium il sont très denses et offrent donc une bonne capacité de stockage, température maximale 650°C,
- Les gaz tels l'hydrogène ou l'hélium sont associés aux collecteurs paraboliques,
- Les fluides organiques tels butane ou propane

La plupart des projets construits dans le monde utilisent de l'huile, ou des sels fondus, spécialement pour leur capacité de stockage momentanée de l'énergie.

Les zones les plus favorables se situent au niveau de l'équateur et des 2 tropiques. A la fin de l'année 2010 la capacité mondiale installée était de 1 300 MW. Les Etats-Unis et l'Espagne produisent la quasi-totalité de la puissance thermodynamique et possèdent aussi la quasi-totalité des centrales thermodynamiques installées ou en cours de construction. L'Espagne représente 66% des centrales thermodynamiques en construction ce qui équivaut à 900MW, des projets de construction sont prévus aux Etats-Unis, Egypte, Maroc et Algérie pour une capacité totale de 457MW. **Ce qui reste très modeste comparativement aux besoins de SLN à Doniambo.**

Zones les plus favorables à l'utilisation de l'énergie solaire à concentration

source : Stine et Geyer, 2001



4.7. Centrales marémotrices ou hydroliennes

Centrales marémotrices :

Plusieurs variantes des centrales hydrauliques existent. Certaines fonctionnent en exploitant l'énergie fournie par les marées ou par les vagues. Ces turbines utilisent alternativement la force des marées et celle du courant du fleuve en pouvant produire de l'électricité dans les deux sens du débit d'eau.

Le nombre de centrales de ce type reste toutefois très limité et dépend très fortement des conditions de marées. La centrale la plus connue est celle de la Rance, d'une puissance de 240 MW.

Hydroliennes :

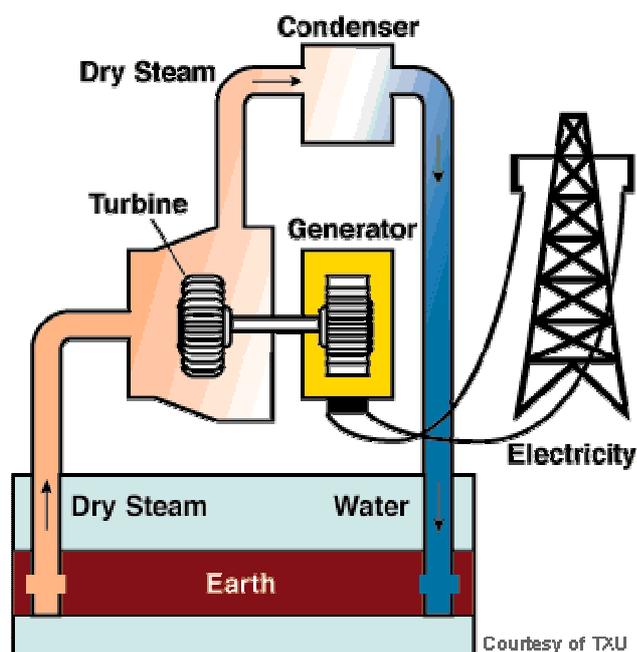
Une hydrolienne est une turbine hydraulique (sous-marine ou à flots) qui utilise l'énergie cinétique des courants marins ou fluviaux, comme une éolienne utilise l'énergie cinétique du vent. La turbine de l'hydrolienne permet la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique, qui peut alors être convertie en énergie électrique par un alternateur. L'hydrolienne bénéficie des énormes efforts techniques qui ont déjà été faits dans le développement de l'éolien, mais a moins fait l'objet de recherches jusque très récemment.



Ce type de centrale n'est pas encore en service à l'échelle industrielle, à l'échelle des besoins énergétiques de SLN.

4.8. Centrales géothermiques

l'eau de pluie ou de mer s'infiltré dans les fractures de la croûte terrestre pour constituer un réservoir dans le sous-sol, appelé nappe aquifère, à haute température, de 150 à 350 °C. Grâce à un forage dans le sous-sol, l'eau chaude est pompée jusqu'à la surface. Pendant sa remontée, elle perd de sa pression et se transforme en vapeur. Cette vapeur entraîne une turbine qui à son tour entraîne un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la vapeur à la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif.



Les centrales géothermiques captent l'eau des nappes situées dans les régions volcaniques, entre 1 500 et 3 000 mètres de profondeur. Dans de très rares occasions, l'eau est présente dans le sous-sol sous forme de vapeur. Dans 95 % des cas, l'eau du gisement est disponible sous forme liquide. La baisse de pression subie par le fluide dans le tubage lors de sa remontée vers la surface provoque la vaporisation d'une certaine proportion du fluide initial. En surface, on isole l'eau liquide de la vapeur sèche au moyen d'un séparateur. La vapeur sèche est envoyée sur la turbine tandis que l'eau liquide peut être vaporisée à nouveau par une baisse de pression plus poussée.

5. CONTRAINTES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DES DIFFERENTS TYPES DE CENTRALES, ET ADEQUATION AVEC LE PROJET CENTRALE C DE SLN

5.1. Centrales conventionnelles à chaudière

L'énergie thermique générée dans les centrales conventionnelles à chaudière permet de produire de l'électricité de façon très fiable, très rapide et continue.

Les centrales conventionnelles existent dans une large gamme, de quelques MW à plus de 1 000 MW.

Cependant, ce type de centrale brûle des combustibles fossiles, par nature non renouvelables, et émetteurs de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique. Cependant, compte tenu du très grand nombre d'installations de ce type dans le monde et de l'expérience acquise depuis plus de cent ans, des systèmes de traitement des fumées permettent de réduire de façon très importante les poussières, les oxydes d'azote et les oxydes de soufre. Ces technologies sont bien maîtrisées, et existent depuis de nombreuses années à échelle industrielle.

La densité de puissance des centrales conventionnelles à chaudière est la plus élevée, ce qui permet d'envisager une implantation aisée sur la presqu'île de Doniambo.

Le facteur de charge de ce type de centrales est le plus élevé, et dépasse les 80%, ce qui les rend autonome et permet de produire l'énergie électrique requise avec une grande fiabilité, adaptée aux besoins d'un industriel.

L'approvisionnement en combustible, et notamment en charbon depuis l'Australie est relativement sûr et fiable.

En conséquence, ce type de technologie est adapté aux besoins de SLN décrits au § 2 ci-dessus.

La centrale fioul présente des coûts de combustible très importants comparés au charbon, qui de plus offre peu de visibilité à long terme, le prix du fioul liquide étant directement lié à celui du marché du pétrole, très volatil. Ce type de combustible apparaît donc moins adapté que le charbon.

5.1.1. Centrales de cogénération

Les technologies de cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité) permettant d'atteindre des rendements énergétiques globaux très supérieurs aux technologies de production séparée de chaleur et d'électricité, elles s'inscrivent comme une des solutions à mettre en œuvre en priorité, à la fois d'un point de vue économique et d'un point de vue environnemental. Cependant, la concomitance de besoins d'électricité et de chaleur est l'élément primordial nécessaire à la mise en œuvre de cette technologie. De par son climat et sa faible activité en industrie lourde, en dehors de l'usine SLN de Doniambo, il n'existe pas de potentiel

utilisateur de la chaleur produite dans les environs de Nouméa. **En conséquence, ce type de centrale électrique ne répond pas au besoin de SLN pour son projet de centrale C.**

5.1.2. Centrale conventionnelle au gaz

Ce type de centrale, similaire dans sa technologie à celle de la centrale fioul décrite ci-dessus offre de meilleures performances environnementales, notamment en terme d'émissions de poussières et d'oxydes de soufre, mais **la non disponibilité de gaz naturel en Nouvelle Calédonie ne permet pas d'envisager cette technologie pour répondre aux besoins de SLN.**

5.2. Centrales à turbine à combustion

Produire uniquement de l'électricité avec une turbine à combustion n'est intéressant économiquement pour un fonctionnement en « base » que s'il est possible de brûler du gaz naturel, dans un cycle combiné, qui améliore le rendement de l'installation (cf. § 4.2). La non disponibilité de gaz naturel sur le territoire de la Nouvelle Calédonie ne permet donc pas d'envisager ce type de centrale, hors mise en œuvre très coûteuse et impactante pour l'environnement d'un terminal méthanier à proximité de Doniambo. De plus, le gaz naturel voit actuellement son marché très impacté par les besoins croissants du Japon suite à la décision d'arrêt de ses centrales nucléaires, et à la mise sur le marché des gaz de schiste produits aux USA. Cette volatilité ne permet pas de fiabiliser le coût de production à moyen ou long terme.

De plus, le cycle combiné s'adapte mal à de fréquentes variations de charge à cause de la durée de réaction du cycle thermique (chaudière de récupération et turbine à vapeur), ce qui est le cas du réseau électrique de SLN à Doniambo, à cause d'une caractéristique intrinsèque des fours de la SLN (phénomène de downswing).

Ce type de centrale n'est donc envisagé qu'en cycle simple, pour assurer une production de secours, notamment grâce à ses capacités de démarrage très rapide.

5.3. Centrales Nucléaires

Les centrales nucléaires ne sont qu'un élément de l'ensemble d'une filière, comprenant l'extraction de minerai d'uranium, son traitement, son enrichissement et son retraitement.

Pour des raisons évidentes de coût d'investissement, d'opérateur industriel et privé, d'absence de filière, de taille de réacteur et de non adaptation à une fluctuation de sa puissance, **cette option n'est absolument pas envisageable par SLN pour son projet de centrale C.**

5.4. Centrales hydroélectriques

La première contrainte technique est la disponibilité d'un potentiel hydraulique. Réalisée par la DIMENC en 2006 a permis de définir le potentiel hydraulique de la Nouvelle Calédonie, qui a conclu que malgré un potentiel restant à exploiter en Province Sud, le potentiel existant ne représentait qu'une faible part (env. 17%) de l'énergie nécessaire à SLN.

Ce type de centrale n'a donc pas été retenu par SLN dans le cadre de son projet de centrale C.

5.5. Centrales éoliennes

L'énergie primaire d'origine éolienne est gratuite (le vent), renouvelable, sans production de déchets et en principe sans danger notable pour l'homme et l'environnement.

Le coût de fabrication est comparable à celui de générateurs hydrauliques de puissance équivalente. Ces avantages certains sont aussi ceux de l'énergie hydraulique.

Les avantages de cette technologie, Par ordre d'importance décroissante sont :

- Disponibilité et facteur de charge
 - Faible : le vent n'est exploitable que 20 % du temps en moyenne. Les sources nombreuses situent ce chiffre entre 18% et 23% en France, 18.3 aux USA, 20,6 à 23 % au Danemark et 20% en Allemagne. En prenant une valeur optimiste de 25%, une éolienne produit donc son énergie nominale pendant 2200 heures par an (sur 8760 h).
 - L'éolienne est conçue pour produire sa puissance maximale pour une vitesse de vent de 50 km/h environ. Par vent faible, moins de 15 km/h et de plus de 90 km/h elle est stoppée.
 - Très intermittent: Le vent souffle pendant des durées et à des intensités très variables.
 - imprévisible: Le vent souffle n'importe quand: heure, jour, saison ; les prévisions météo de vent sont approximatives même à court terme.

Ces inconvénients, surtout cumulés, réduisent fortement l'intérêt de l'énergie électrique d'origine éolienne. Ceci explique que son exploitation, sous forme d'énergie mécanique depuis longtemps, n'ait été envisagée que récemment pour produire de l'électricité.

La disponibilité aléatoire de cette énergie est peu compatible avec la disponibilité permanente requise par SLN. Compte tenu du facteur de charge de cette technologie, estimé à 25% pour la Nouvelle Calédonie.

Une contrainte supplémentaire du projet de SLN par rapport aux projets métropolitains est la limitation de la taille des machines qui pourraient être installées dans une zone soumise aux cyclones. Cette contrainte impose d'installer plus de machines de petite puissance, disposant unitairement d'un rendement inférieur aux machines actuelles de 2 à 5 MW. **En considérant des machines repliables de l'ordre de 250 KW unitaires, le besoin de SLN porterait sur une ferme de 720 éoliennes**, qu'il serait impossible d'installer sur la presqu'île de Doniambo, qui ne ferait que compléter une installation assurant la production électrique durant 75% du temps.

- Impact sur le réseau électrique de la Nouvelle Calédonie : L'intermittence de la production électrique, notamment au regard de la forte puissance du projet de SLN comparée à la capacité du réseau de la Nouvelle Calédonie induirait de fortes perturbations électromagnétiques sur le réseau et compliquerait son exploitation, induisant une disponibilité réduite, dont souffriraient l'ensemble des consommateurs.
- Stockage

Le faible facteur de charge d'une centrale éolienne pourrait être compensé par un dispositif de stockage de l'énergie. Plusieurs possibilités sont envisagées à ce jour, sans être vraiment mis en œuvre à l'échelle industrielle, notamment à l'échelle du projet de SLN :

- Stockage indirect de l'énergie mécanique : L'énergie mécanique de l'éolienne peut actionner un compresseur. L'air comprimé produit se stocke, se transporte à courte distance pour ensuite, soit entraîner des machines. Un stockage d'énergie analogue consiste à utiliser l'éolienne pour pomper de l'eau dans un réservoir supérieur, pour ensuite la récupérer avec une turbine hydraulique. Cette dernière possibilité pourrait être envisagée, mais nécessiterait la construction d'un barrage, ainsi que d'un lac de retenue, dont la problématique est identique à celle de l'énergie hydraulique (cf. § 5.4),
- Stockage indirect de l'énergie électrique : L'énergie électrique n'étant pas stockable, on peut cependant la transformer en énergie électrochimique dans des accumulateurs, pour la retransformer ensuite en électricité. Ce stockage coûteux, n'est envisageable que pour des puissances faibles non compatibles avec l'échelle du projet de SLN. On propose aussi de la stocker sous forme d'hydrogène, obtenu par électrolyse, utilisée ensuite, avec un faible rendement, dans des piles à combustible ou des moteurs thermiques. Cette solution n'existe pas dans le monde à l'échelle du projet de SLN.

Cependant, si une solution de stockage était envisagée, il faudrait, pour compenser le facteur de charge de 25%, qu'une puissance installée de 720 MW soit réalisée, **ce qui porterait le nombre d'éoliennes à 2 880**, ce qui n'est pas faisable sur la presqu'île de Doniambo, et aurait un impact environnemental majeur pour la Nouvelle Calédonie.

- Rentabilité

Il est difficile de connaître le coût réel (hors subventions) du kWh éolien. La fourchette 0,06 à 0,07 € en serait l'ordre de grandeur. C'est un coût de production, au point de raccordement avec le réseau. Il est à comparer avec le coût "moyen" de production du kWh thermique (en Métropole) soit 0,032 € pour le nucléaire - 0,04€ pour le charbon - 0,05 ou plus pour le fioul.

Cependant, compte tenu de la nécessité de considérer l'éolien comme une énergie de substitution ne fonctionnant qu'environ 2200 heures par an, le coût de l'énergie éolienne ne devrait être comparé qu'au seul coût du combustible qu'elle remplace partiellement, soit 0 si c'est de l'hydraulique, environ 0,005 € si c'est du nucléaire, 0,014€ si c'est du charbon, plus si c'est du fuel. Avec les chiffres précédents, ce surcoût de rachat se monte à 14,6 fois le prix réel pour le nucléaire, à 5 fois pour le charbon.

- Environnement

Les éoliennes génèrent de la pollution sonore, basse fréquence, gênante des habitations trop proches, mais on critique surtout leur aspect inesthétique, s'intégrant mal dans le paysage. Il faut reconnaître qu'une éolienne de 1 MW est aussi "polluante" visuellement qu'un pylône haute-tension transitant 1000 MW.

Compte tenu du nombre très important d'éoliennes mentionnées ci-dessus, l'aspect esthétique serait un véritable handicap, sachant qu'il est impossible de les dissimuler, il faut qu'elles soient au contraire sur des sommets ou des couloirs ventés. Ce problème est accentué par la nature trop diffuse de l'énergie éolienne.

En conclusion, l'énergie électrique d'origine éolienne subit un très lourd handicap à cause d'une disponibilité trop réduite et aléatoire de 20 à 25% environ, qui **ne peut être considéré par SLN comme une installation de production d'énergie de base.**

5.6. Centrale solaire

5.6.1. Centrale solaire photovoltaïque

La première objection au photo-voltaïque tient en sa faible « densité de production ». En effet, au maximum, on peut espérer un rendement de 3 à 3,5 MWh par hectare, contre plusieurs centaines pour une centrale thermique. Deuxièmement, elle ne fonctionne globalement que la moitié du temps, à cause de la nuit. Enfin, les cellules photo-voltaïques sont très polluantes à produire et à recycler par la suite.

La production d'une centrale photovoltaïque est cyclique et varie en fonction de l'intensité solaire et donc de l'heure du jour et de la saison. Au cours d'une journée, même sans nuage, la production électrique du panneau varie en permanence en fonction de la position du soleil et n'est à son maximum que pendant un bref passage au plein midi. Le « nombre d'heures d'équivalent plein soleil » La nuit, la production électrique tombe à 0, **et aucun dispositif de stockage d'énergie à l'échelle des besoins de SLN n'existe à l'heure actuelle. Cette solution ne permettrait donc pas de répondre au besoin énergétique de SLN**

La plus grande centrale solaires photovoltaïque au monde actuellement en service (depuis 2012) est celle du parc solaire d'« Agua Caliente » en Arizona (États-Unis) avec 247 MW installés, couvrant une surface de 960 hectares. En France, la plus grande centrale solaire photovoltaïque au moment de sa mise en service en 2012 est celle de Toul-Rosières, située près de Nancy. Construite par EDF Énergies Nouvelles, elle comprend 120 ha de panneaux (pour une emprise au sol de 367 ha) et affiche une puissance-crête de 115 MW.

En considérant une densité de puissance identique à celle d'« Agua Caliente » en Arizona, une centrale de 180 MWc couvrirait une surface de 700 ha, non compatibles avec la superficie de la presqu'île de Doniambo (environ 200 ha).

5.6.2. Centrale solaire à concentration

La contrainte principale de ce type de centrale est liée au rayonnement solaire, qui doit être maximal, au long de l'année et de la journée. Une variation importante au cours de saisons, ou une forte nébulosité au long de la journée impacteront directement le facteur de charge de ce type d'installation.

La centrale d'Andasol, installée en Espagne, est la plus puissante centrale solaire thermodynamique d'Europe. Elle peut constituer un bon modèle de comparaison avec ce que pourrait être l'installation à construire à Doniambo en termes de puissance électrique. Elle est située près de Guadix en Andalousie (Espagne). Construite sur un site privilégié à 1 100 mètres d'altitude, elle bénéficie d'un climat semi-aride qui se traduit par une insolation directe de 2 200 kWh/m²/an (soit, en moyenne, 250 W/m²). La centrale comporte 3 tranches de 50 MWe dont la première a démarré en novembre 2008. Chaque tranche génère une puissance-crête de 50 MWe (150 MW au total, soit une capacité installée légèrement inférieure aux besoins de SLN). La production de chaque tranche est de 175 à 180 GW.h d'énergie électrique par an.

Ces valeurs conduisent à un facteur de charge de $180\,000 / 50 = 3600$ h de fonctionnement équivalent temps plein, soit un facteur de charge de 41.1%, pour un rayonnement solaire de 2 200 kWh/m²/an. Compte tenu du rayonnement solaire moyen de 1 935 kWh/m²/an à Nouméa, un facteur de charge de seulement 36.15% serait à envisager.

Les 625 collecteurs solaires de chaque tranche de la centrale d'Andasol occupent plus de 510 000 m² de surface, la centrale occupant au total 195 hectares (ce qui fait une densité de puissance moyenne prévue pour la centrale de 10 W/m²). La chaleur est transférée vers un fluide caloporteur constitué d'un mélange de sels fondus composé de 60 % de nitrate de sodium et de 40 % de nitrate de potassium atteignant une température de 400 °C. Andasol est équipé d'une unité de stockage thermique qui absorbe une partie de la chaleur produite durant la journée afin de la restituer la nuit ou durant les périodes nuageuses, doublant ainsi pratiquement le nombre d'heures opérationnelles dans le cours d'une année. Le réservoir thermique plein représente une réserve de 1 010 MWh de chaleur, soit une réserve suffisante pour actionner la turbine

durant 7,5 heures à pleine charge lorsqu'il pleut ou après le coucher du soleil. Les capacités thermiques consistent en 2 réservoirs de 36 mètres de diamètre sur 14 m de haut, stockant 28 500 tonnes de sels, ce qui n'est pas insignifiant vis-à-vis du danger potentiel pour l'environnement.

Un circuit secondaire est utilisé pour le transfert la chaleur vers un générateur de vapeur haute pression. La vapeur produite est dirigée vers un groupe turbine + alternateur. La centrale, comme toute installation thermique, nécessite des moyens importants de refroidissement. Du fait de son implantation dans une région chaude d'Espagne, 870 000 m³ d'eau sont donc évaporés dans des réfrigérants atmosphériques. Cela représente 5 litres d'eau par kWh, soit deux fois environ la consommation spécifique d'une centrale thermique de puissance équivalente.

A nouméa, le rayonnement global moyen, tenant compte des effets saisonniers et de la nébulosité est de 1 908 J/cm² (source Météo France), soit 1 935 kWh/m²/an, relativement proche de celui d'Andasol, qui permet d'établir les comparaisons suivantes entre les paramètres de dimensionnement, pour l'énergie totale produite requise par SLN à Doniambo (cf. § 2 ci-dessus):

Paramètres dimensionnants	Andasol	Doniambo
Rayonnement solaire	2 200 kWh/m ² /an	1 935 kWh/m ² /an
Capacité électrique	3 x 50 MW	454 MW
Facteur de charge	41,1%	36,15%
Production annuelle	540 GWh	1 440 GWh
Superficie au sol	153 ha	463 ha

En résumé, le choix d'une centrale solaire à concentration correspondrait à construire une centrale électrique représentant 95% de la capacité mondiale installée à fin 2010, ce qui n'est pas réaliste, surtout par un industriel privé. De plus, la surface occupée au sol de 463 ha (soit la superficie de 637 terrains de football) ne permettrait pas son installation sur la presqu'île de Doniambo puisqu'elle représente plus de 2 fois la surface de la presqu'île (environ 200 ha).

Cette technologie ne répond donc pas aux besoins énergétiques de SLN.

5.7. Centrales marémotrices, hydroliennes ou marée-thermiques

Centrales marémotrices :

L'endroit où la centrale est construite doit avoir un marnage (différence entre marée haute et marée basse) important, environ 10 à 15 m avec un minimum de 5 m pour que cela soit économiquement viable. Il doit y avoir une baie pouvant contenir beaucoup d'eau à marée haute, l'installation ne doit pas modifier la résonance des marées mais la réguler (oscillation régulière des niveaux d'eau de la vitesse et de la direction des courants marins). **Ces données, notamment le marnage ne sont pas compatibles avec la géographie de la Nouvelle Calédonie, ce qui rend ce type de centrale inconsistante avec le projet de SLN.**

Hydroliennes :

Les hydroliennes sont beaucoup plus petites que les éoliennes pour une même puissance, grâce à la différence de masse volumique entre l'eau et l'air (env. 800 fois supérieure). Les courants marins sont plus prévisibles que les vents, on peut donc estimer avec plus de précision la production d'électricité espérée.

L'hydrolienne utilise une énergie renouvelable (le courant marin) et elle ne pollue pas, en termes de déchets issus de combustion tels que CO2 ou de déchets radioactifs.

Pour éviter le développement des algues et organismes sur l'hydrolienne, il faut utiliser un antifouling, comme sur les coques de navires. Il s'agit de produits toxiques pour la faune et la flore marine. Mais surtout cet antifouling doit être refait régulièrement. Réaliser l'opération sous l'eau est à peu près inenvisageable, à la fois pour des raisons techniques vu la difficulté de l'opération, mais aussi parce que le risque pour l'environnement est tel que réaliser ce type d'opération est déjà illégal pour un bateau à l'extérieur d'une aire de carénage spécialement aménagée. Une opération de maintenance à intervalle régulier pour démonter ou extraire l'hydrolienne de l'eau et refaire son carénage est donc indispensable.

Dans les eaux turbides, du fait de la présence de sable en suspension, l'érosion des pales d'hélice ou des pièces mobiles par le sable est très forte. Ainsi l'entretien doit être très fréquent. Pour cette raison, certaines hydroliennes ont une structure émergeant de l'eau, qui peut être gênante pour la navigation. Des systèmes à ballast pourraient permettre de faire monter ou descendre les unités de production. Le coût d'investissement, et d'exploitation de ce genre de centrale est donc très élevé.

Les hydroliennes créent des zones de turbulences, qui modifient la sédimentation et le courant, avec de possibles effets sur la flore et faune juste en aval de leur positionnement. Ces aspects sont analysés par les études d'impacts.

Des poissons ou mammifères marins pourraient heurter les hélices. L'impact sur la faune de centrales hydroliennes de grande taille n'est pas connu à ce jour.

Les sites favorables à l'installation des hydroliennes sont des sites choisis et possédant des courants fort à très forts donc, où les conditions au développement de la faune et la flore sont peu favorable, ce qui n'est pas le cas de la Nouvelle Calédonie et de son lagon, à l'exception de la passe de la Havannah, dont le potentiel n'est pas connu et confirmé à ce jour.

Enfin, cette technologie n'existe à l'heure actuelle que sous forme d'expérimentation et n'est pas prête à la construction d'une centrale de la capacité requise par SLN (180 MW), exploitée par un industriel. **Cette technologie ne peut donc être retenue par SLN pour son projet de centrale C.**

5.8. Centrales géothermiques

La Nouvelle Calédonie n'est pas identifiée comme une région volcanique, et il n'existe pas de nappes aquifères disposant des conditions de température requises. **Ce type de centrale n'est donc pas envisageable par SLN pour son projet de centrale C.**

6. MATRICE DE COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES

Le tableau suivant fait un résumé des paramètres et contraintes techniques liés à chacune des technologies de centrales électriques décrites ci-dessus, qui permet de sélectionner celles qui répondent aux besoins de SLN, exprimés au § 2 ci-dessus:

Paramètres techniques	Types de centrales électriques													
	charbon pulvérisé	Charbon à lit fluidisé	fioul	gaz	TAC cycle simple	TAC cycle combiné	Cogénération	Nucléaire	Hydro-électrique	Eolienne	Solaire PV	Solaire thermique	Marémotrice	Géothermique
Facteur de charge	>80%	>80%	>80%	>80%	>80%	>80%	>80%	>80%	>90%	25%	9%	25%	>80%	>80%
										Disq ⁽¹⁾	Disq(1)	Disq(1)		
Adaptation à la puissance requise par SLN (180 MW / 1 440 GWh/an)	Oui	Non Disq(1)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non Disq(1)	Non Disq(1)	Oui	Non	Non	Non	Oui
Impact environnemental	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort	Faible	Fort (visuel, bruit)	Fort (visuel+ recyclage)	Fort (visuel)	Faible Inconnu pour hydroliennes	Faible
Sécurité approvisionnement combustible	Oui	Oui	Oui	Non Disq(1)	Oui si fioul	Non Disq(1)	Oui	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Marché appro. combustible à moyen et long terme	Sûr	Sûr	Incertain	Incertain	Sûr si fioul	Incertain	Incertain	Sûr	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

¹ Disq = Paramètre technique disqualifiant pour la technologie considérée

Paramètres techniques	Types de centrales électriques													
	charbon pulvérisé	Charbon à lit fluidisé	fioul	gaz	TAC cycle simple	TAC cycle combiné	Cogénération	Nucléaire	Hydro-électrique	Eolienne	Solaire PV	Solaire thermique	Marémotrice	Géothermique
Besoin extérieur en chaleur (potentiel de cogénération)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Non Disq ²	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Adaptation à de fréquentes variations de charge (down swings)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Présence d'une filière nucléaire	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Non Disq(1)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Potentiel hydraulique en Nouvelle Calédonie	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Non Disq(1)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Superficie requise compatible avec installation à Doniambo	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non Disq(1)	Non Disq(1)	Non Disq(1)	Non Disq(1)	Non Disq(1)	Non Disq(1)	Non Disq(1)
Impact significatif sur le réseau électrique de la Nouvelle Calédonie	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui Disq(1)	Oui Disq(1)	Non	Non	Non

² Disq. = paramètre technique disqualifiant pour la technologie considérée

7. CONCLUSIONS

L'analyse de la matrice ci-dessus montre que les seules technologies aptes à remplir les attentes de SLN sont la centrale à charbon pulvérisé, la centrale fioul, et la turbine à combustion en cycle simple.

Pour des raisons environnementales et économiques (volatilité du prix à moyen et long terme), la centrale à charbon est à privilégier.

Enfin, la technologie turbine à combustion en cycle simple est à privilégier pour l'unité de secours (40 MW).