

ETUDE DE POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES

CENTRE PENITENTIAIRE DE SAINT LAURENT-DU-MARONI – GUYANE



Maitre d'Ouvrage :

Agence Publique pour l'Immobilier de la
Justice

Adresse du site :

Carrefour Margot, 97320, Saint Laurent-du-
Maroni

Juin 2019



REFERENTIEL DU DOCUMENT

EMETTEUR

ARMOEN

39, rue de la Villeneuve,

56100 LORIENT

SARL au capital de 12 000€

SIRET n° 532 717 444 00055

Contact : Stéphane BOISSELEAU, Directeur

Tél. : 07 60 91 03 34

E-mail : stephane.boisseleau@armoen.fr

TRANSENERGIE

2 allée de Lodz,

69007 LYON

SARL au capital de 226 004€

SIRET n° 384 515 136 00024

Contact : Colin DUMAINE, Chargé d'affaire

Tél. : 04 72 86 04 04

E-mail : colin.dumaine@transenergie.eu

Document

N/Réf.	Ind.	Date	Rédacteur	Action
TRE.IN.ET016	A	18/01/2019	DUMAINE Colin	Rédaction
			RENAULT Julie	Rédaction

SOMMAIRE

1. Synthèse	6
Disponibilité et intérêt des énergies renouvelables	6
Consommations potentielles d'électricité et de chaleur	7
Solaire Photovoltaïque	8
Solaire thermique	8
2. Préambule	9
3. Panorama des ressources énergétiques mobilisables	9
3.1. Electricité	9
3.2. Solaire	10
3.2.1. Photovoltaïque	11
3.2.2. Solaire thermique	12
3.3. Eolien	13
3.4. Bois	16
3.5. Géothermie	17
3.6. Aérothermie	19
3.7. Crique Margot	22
3.8. Synthèse sur la disponibilité des EnR	24
4. Etude des besoins	26
4.1. Synthèse des Résultats	26
4.2. Démarche	28
4.3. Synthèse des documents obtenus	29
4.4. Analyse des données et hypothèses	30
4.4.1. Besoins en eau	30
4.4.1.1. Besoins du centre pénitentiaire.....	30
4.4.1.2. Besoins du TGI	31
4.4.2. Besoins en ECS	32
4.4.2.1. Besoins du centre pénitentiaire.....	32
4.4.2.2. Besoins du TGI	33
4.4.3. Besoins en Electricité	34
4.4.3.1. Besoins électriques du centre pénitentiaire.....	34
4.4.3.2. Besoins électriques du TGI.....	38
4.4.4. Courbes de charge	39
4.4.4.1. Profil horaire de la consommation électrique du centre pénitentiaire.....	39
4.4.4.2. Profil horaire de la consommation électrique du TGI.....	40
4.4.4.3. Profil horaire de la consommation électrique globale.....	41
5. Points d'attention	42

5.1. Remarques relatives à l'électricité	42
5.2. Remarques liées à la gestion de l'eau	42
5.2.1. Alimentation en eau potable	42
5.2.2. Eaux pluviales.....	42
5.2.3. Eaux usées.....	43
5.3. Remarques variées	43
5.3.1. Insectes	43
5.3.1. Ateliers.....	43
5.3.2. Ombrages.....	43
6. Etude d'opportunité solaire photovoltaïque et thermique	44
6.1. Caractéristiques solaires	44
6.1.1. Contraintes techniques du site.....	44
6.1.2. Gisement solaire.....	45
6.1.3. Masque	45
6.2. Solaire photovoltaïque	47
6.2.1. Evaluation des besoins	47
6.2.2. Notions d'autoconsommation.....	47
6.2.3. Stockage.....	49
6.2.4. Raccordement au réseau :.....	49
6.2.5. Scénarii de dimensionnement.....	50
6.2.6. Analyse énergétique	50
6.2.6.1. Hypothèses de simulation :.....	50
Résultats.....	52
Synthèse.....	56
6.2.7. Mise en œuvre	57
6.2.8. Analyse économique.....	57
6.2.9. Conclusion.....	59
6.3. Solaire thermique	60
6.3.1. Evaluation des besoins	60
6.3.2. Principe de fonctionnement.....	61
6.3.3. Dimensionnement	61
6.3.3.1. Eau froide	61
6.3.3.2. Bouclage	62
6.3.3.3. Simulation	63
6.3.4. Mise en œuvre	64
6.3.5. Analyse économique.....	64
6.4. Conclusion	64
7. Liste des annexes	66
7.1. Dimensionnement réseau type – Maison d'Arrêt 600 places	66
7.2. Solaire thermique CDO	66
7.3. Solaire Thermique CDE	66
7.4. Audit TGI Béziers	66
7.5. Facture Electrique Remire Montjoly	66
7.6. Facture Electrique Centre Ducos	66



7.7. Facture Electrique France Métropolitaine	66
7.8. Relevés de consommation Baie Mahault.....	66
7.9. Tarif vert EDF Guyane.....	66
7.10. Tarif vert EDF Martinique	66
7.11. Simulation PVSyst du productible photovoltaïque	66
7.12. Simulation SOLO 2018 du solaire thermique	66

1. SYNTHÈSE

DISPONIBILITE ET INTERET DES ENERGIES RENOUVELABLES

Ressource	Vecteur	Avantage	Inconvénient	Potentiel
Photovoltaïque	Electricité	<ul style="list-style-type: none"> Gisement important Réseau en système de secours Contexte favorable à l'autoconsommation 	<ul style="list-style-type: none"> Intermittence 	Fort
Eolien	Electricité		<ul style="list-style-type: none"> Inexploitable 	Inexploitable
Hydroélectricité	Electricité		<ul style="list-style-type: none"> Manque de débit et de hauteur de chute 	Inexploitable
Biomasse	Electricité	<ul style="list-style-type: none"> Ressource importante 	<ul style="list-style-type: none"> Inadapté aux faibles puissances Difficulté de mise en œuvre Coûts importants 	Modéré
Solaire thermique	ECS	<ul style="list-style-type: none"> Gisement important 	<ul style="list-style-type: none"> Intermittence de la demande 	Fort
Géothermie	ECS	<ul style="list-style-type: none"> Surface exploitable importante 	<ul style="list-style-type: none"> Intermittence de la demande Risques dû à l'instabilité des terrains Utilisation d'électricité supplémentaire (PAC) 	Faible

Aérothermie	Climatisation	<ul style="list-style-type: none"> • Gisement important 		Fort
Refroidissement passif	Climatisation	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de la Crique Margot 	<ul style="list-style-type: none"> • Température de la Crique Margot trop importante et débit trop faible • Rejets chauds 	Modéré

CONSOMMATIONS POTENTIELLES D'ÉLECTRICITÉ ET DE CHALEUR

Bilan des besoins estimatifs en eau et en électricité		
	Centre Pénitentiaire	Tribunal de Grande Instance
Besoins Journaliers		
Consommation électrique	8 900 kWh	1 200 kWh
Besoin en eau	175 m ³	21 m ³
Besoin en ECS(40°C)	75 m ³	0,22 m ³
Besoins mensuels		
Consommation électrique	270 000 kWh	36 000 kWh
Besoin en eau	5 250 m ³	446 m ³
Besoin en ECS(40°C)	2 250 m ³	5 m ³

SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Puissance installée (kWc)	750	900	1200 + 1500 kWh batterie
Surface de modules (m²)	4 962	5 955	7 940
Production photovoltaïque annuelle (MWh)	1 127	1 344	1 783
Taux d'autoconsommation	96 %	90 %	92 %
Taux d'autoproduction	29 %	32 %	44%
Investissements	1 300 000	1 500 000	3 000 000
Temps de retour sur investissement	24 ans	26 ans	Pas rentable

SOLAIRE THERMIQUE

Nombre de modules	160
Surface de modules (m²)	435
Volume de stockage (m³)	30
Energie solaire annuelle valorisée (MWh)	364
Taux de couverture solaire	82 %
Taux d'économie d'énergie	67 %
Investissements (€TTC)	550 000
Temps de retour sur investissement	15 ans

2. PREAMBULE

Le présent document vise à étudier le potentiel global en énergies renouvelables (EnR) ainsi que les consommations en eau et en électricité du futur centre pénitentiaire de la commune de Saint Laurent-du-Maroni. La volonté de l'APIJ, Maître d'Ouvrage du projet est, en effet, de rendre ce site autonome sur l'ensemble de ses besoins, en utilisant les ressources locales d'énergies renouvelables. Afin d'étudier cette possibilité, le panorama de l'ensemble des ressources EnR accessibles est présenté. Après une sélection des modes de production, en vue de répondre à chaque besoin de manière spécifique, deux études d'opportunités spécifiques ont été réalisées sur la base de l'étude des besoins du centre pénitentiaire.

3. PANORAMA DES RESSOURCES ENERGETIQUES MOBILISABLES

3.1. ELECTRICITE

Le site se trouve à proximité d'un transformateur électrique et peut être alimenté en électricité par le réseau. Il s'agirait d'une ressource de secours ou de soutien, pour appuyer la solution renouvelable, plus vertueuse. En effet, le tiers de la production d'électricité de Guyane est assurée par des ressources fossiles.



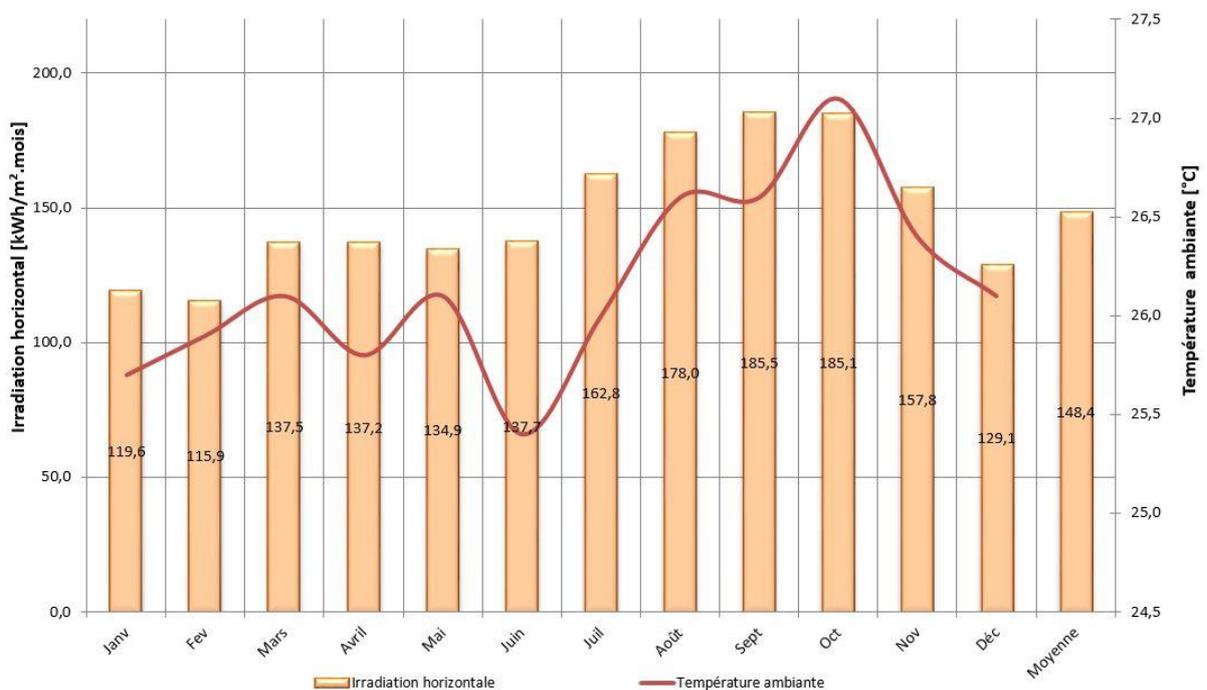
3.2. SOLAIRE

- **Caractéristiques du gisement du site**

La base de données utilisée pour évaluer le gisement solaire du site est METEONORM®. La station météorologique la plus proche comprise dans cette base de données est celle de Cayenne. A cet emplacement, également représentatif du gisement solaire de Saint Laurent-du-Maroni, la moyenne annuelle de l'irradiation sur le plan horizontal est de **1 781 kWh/m²/an**.

La température ambiante est également un paramètre important puisqu'elle est liée au refroidissement des modules, et donc à leur productivité. Par exemple, un module en silicium polycristallin perd environ 0,45% de sa puissance nominale quand sa température augmente d'un degré. La température ambiante étant directement liée au phénomène de refroidissement des modules, elle influe légèrement sur leur production. A Cayenne, la température moyenne annuelle est de **26,2 °C**. Elle est homogène sur l'année.

Les valeurs de ces paramètres pour la ville de Cayenne sont présentées sur la figure suivante.



Nota : Pour information, le tableau suivant référence la moyenne annuelle de l'irradiation solaire sur le plan horizontal pour différentes villes :

Localisation	Irradiation dans le plan horizontal (kWh/m ² /an)
Cayenne	1 781
Paris	1 059
Lyon	1 208
Montpellier	1 450

- **Synthèse**

Le site du centre pénitentiaire de Saint Laurent-du-Maroni dispose d'un fort ensoleillement tout au long de l'année, qui peut être valorisé sous la forme d'**électricité** ou de **chaleur**.

3.2.1. Photovoltaïque

- **Principe de fonctionnement et utilisations**

La valorisation de l'énergie solaire sous forme d'électricité se fait par conversion du rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules photovoltaïques assemblées sur des panneaux, eux-mêmes installés sur des bâtiments, sur des ombrières ou posés au sol. L'électricité produite peut être consommée sur place, stockée (dans des batteries par exemple) ou réinjectée dans le réseau de distribution électrique.





- **Intérêts de la filière**

La production d'électricité à partir de l'énergie du soleil par l'intermédiaire de modules photovoltaïques présente des j

- La production d'électricité est réalisée avec des frais de maintenance faibles et une exploitation aisée (les modules sont autonettoyés avec la pluie) ;
- Lorsque la production est consommée sur place, les pertes d'acheminement d'énergie dans les câbles sont très faibles (contrairement au mode de production centralisé comme par exemple les centrales thermiques.)
- La filière photovoltaïque s'est organisée pour mettre en place des dispositifs de recyclage des équipements, notamment par l'intermédiaire de l'association PV Cycle depuis 2007.

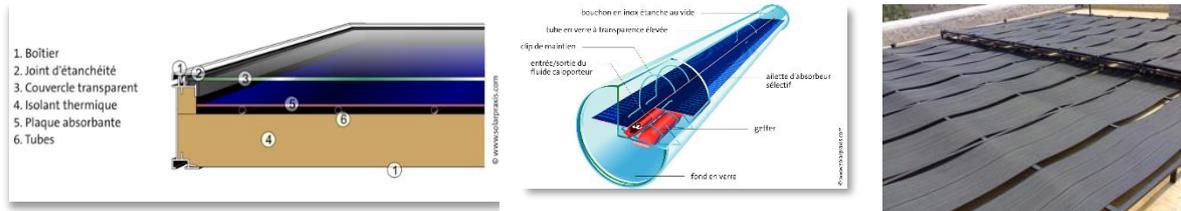
3.2.2. Solaire thermique

- **Principe de fonctionnement et utilisations**

L'énergie solaire peut être récupérée sous forme de chaleur par des panneaux solaires thermiques, dans lequel un fluide caloporteur circule et s'échauffe en absorbant le rayonnement solaire. Le système est traditionnellement associé à un ou plusieurs ballons pour stocker les calories solaires.

Concernant la Guyane, seule la production d'eau chaude sanitaire (ECS) est à envisager, puisque les besoins en chauffage sont nuls.

Il existe trois types de capteurs (Source SOCOL) :



- **Intérêts de la filière**

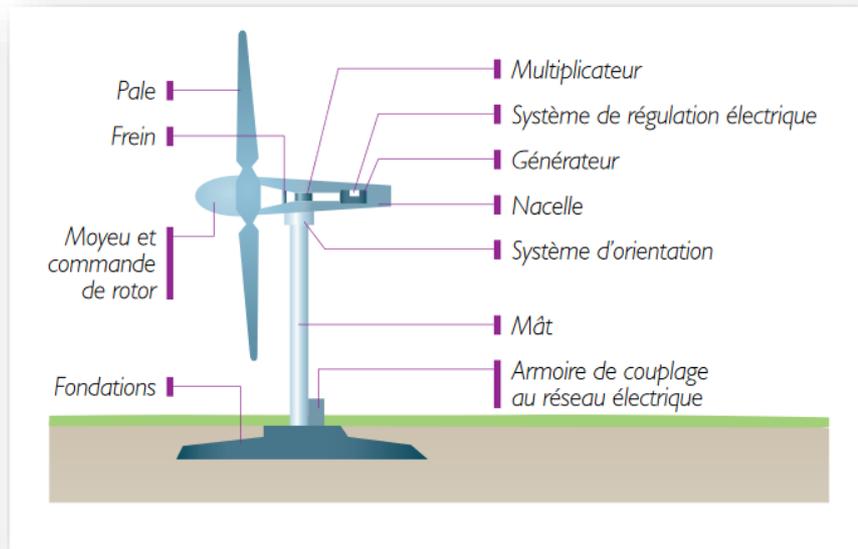
De la même manière que pour le solaire photovoltaïque, la production d'énergie par l'intermédiaire de modules solaires thermiques présente des avantages importants :

- La ressource d'énergie utilisée est renouvelable et gratuite, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre ;
- Le processus de production d'énergie n'a que peu d'impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, ni bruit) ;
- L'énergie produite est consommée in situ, diminuant ainsi les pertes ;
- Les modules solaires thermiques captent l'ensoleillement direct et diffus et sont donc moins sensibles aux contraintes d'exposition et d'orientation que le solaire PV.

3.3. EOLIEN

- **Principe de fonctionnement et utilisations**

Une éolienne est une machine tournante permettant de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie cinétique de rotation, exploitable pour produire de l'électricité. Les pales fixées sur le moyeu entraînent une génératrice électrique installée dans la nacelle, le courant produit est ensuite transporté par câble pour être injecté dans le réseau ou consommé sur place.



L'éolien terrestre à axe horizontal se décline en trois gammes de puissance :

- Le "petit éolien", pour les machines de puissance inférieure à 36 kW et d'une hauteur de mât comprise entre 10 et 35 m.
- Le "moyen éolien", pour les machines de puissance entre 36 kW et 350 kW et d'une hauteur de mât comprise entre 35 et 60 m.
- Le "grand éolien", pour les machines de puissance supérieure à 350 kW et d'une hauteur de mât comprise entre 50 et 100 m. La plupart des éoliennes installées aujourd'hui en France font entre 2 et 3 MW.

- **Intérêt de la filière**

L'impact paysager de l'éolien est indéniable, cependant, il y a des avantages à utiliser cette énergie en production d'électricité :

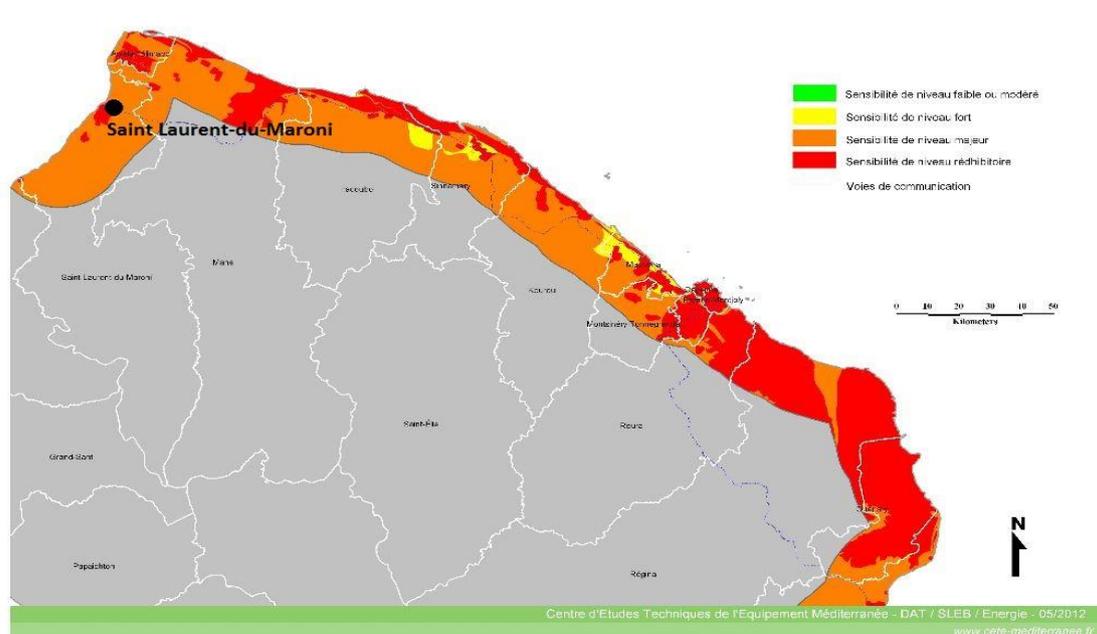
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable qui ne nécessite aucun carburant, ne crée pas de gaz à effet de serre, ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs ;
- Lorsque de grands parcs d'éoliennes sont installés sur des terres agricoles, seulement 2 % du sol environ est requis pour les éoliennes. La surface restante est disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations ;
- Le prix de revient d'une éolienne a fortement diminué depuis 2011 suite aux économies d'échelle qui ont été réalisées sur leur fabrication ;
- Un parc éolien prend peu de temps à construire, et son démantèlement garantit la remise en état du site original.

- **Caractéristiques du gisement du site**

D'après le Schéma Régional Eolien de la Guyane Française¹, Saint Laurent-du-Maroni est situé dans une zone où la vitesse moyenne de vent est inférieure à 3,5 m/s à 30 mètres de haut. Cette vitesse de vent est la vitesse minimum pour faire tourner une éolienne. Elle ne suffit toutefois pas à produire suffisamment d'électricité pour amortir l'investissement économique de l'installation. On considère en effet que la vitesse moyenne acceptable pour assurer la rentabilité d'un projet éolien est de 6 m/s.

De plus, les alentours de Saint Laurent de Maroni font face à diverses contraintes liées à des enjeux d'usages existants, aux enjeux de biodiversité et aux enjeux patrimoniaux et paysagers.

L'ensemble de ces contraintes font de Saint Laurent du Maroni et de ses environs une zone à sensibilité de niveau rédhibitoire.



- **Synthèse**

Le site du centre pénitentiaire de Saint Laurent-du-Maroni ne dispose pas d'un gisement de vent suffisant et fait face à de trop nombreuses contraintes pour envisager une production d'électricité à partir d'éoliennes.

¹ http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Schema_Regional_Eolien_guyane_VF_26062012.pdf

3.4. Bois

- **Principe de fonctionnement et utilisations**

En Guyane, les besoins en chauffage sont nuls. L'utilisation de bois doit donc être étudiée pour la production d'électricité ou d'eau chaude sanitaire.

Le bois est considéré comme une énergie renouvelable, et non une énergie fossile si la forêt et le bois sont exploités de manière durable. En effet, le CO₂ qui est libéré durant la combustion correspond à la quantité de CO₂ prélevée par le végétal à l'atmosphère durant sa vie. Ce processus de capture est opéré par la photosynthèse. Sur un cycle complet de vie, le bilan de la combustion du bois est donc nul.

La combustion du bois peut être utilisée pour produire de l'électricité. Le principe est de produire de la vapeur qui va entraîner des turbines et générer du courant. Néanmoins la production d'électricité seule à partir de biomasse solide présente un rendement faible. Aussi, la cogénération est principalement utilisée pour produire de l'électricité en plus de la chaleur, c'est-à-dire que la chaleur dégagée par le moteur ou la turbine lors de la combustion pour la production d'électricité est récupérée. Ceci permet alors d'atteindre de meilleurs rendements énergétiques.

- **Intérêts de la filière**

La production de chaleur par combustion du bois présente un certain nombre d'avantages importants :

- La ressource d'énergie utilisée est renouvelable, aucune pénurie n'est à craindre tant que l'exploitation forestière est réalisée de manière durable. C'est pourquoi les prix sont moins sujets à des fluctuations.
- Le bois énergie a un bilan neutre vis-à-vis des gaz à effet de serre : on dit qu'il a un bilan carbone nul. En effet, la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) absorbée durant la croissance de l'arbre est environ la même que celle qui est rejetée lors de la combustion du bois ; de plus, le bois mort laissé sur place en forêt rejette lui aussi du CO₂, même s'il n'est pas brûlé.

- **Caractéristiques du gisement du site**

Les trois principales origines du bois valorisé pour la production d'électricité sont les suivantes :

- Le bois issu d'exploitation forestière ;
- Les sous-produits des entreprises de transformation du bois (ils représentent environ la moitié d'un arbre coupé et restent encore à valoriser pour une partie relativement importante) ;

- Le bois récupéré, provenant des déchetteries ou des entreprises de récupération (élagage, emballage, palette, ...) s'il n'est pas souillé (traitement, peinture, ...).

La ressource est présente en grande quantité sur le territoire de la Guyane, recouvert en grande partie par de la forêt. Cependant, le gisement est très peu exploité. A ce jour, seule une centrale de production d'électricité de 1,7 MW est opérationnelle en Guyane et d'autres sont en projet. Sur la commune de Saint Laurent-du-Maroni, 65 000 tonnes de bois issus de la défriche agricole constituent un gisement important, exploitable localement.

Une contrainte majeure repose dans le fait qu'il est inenvisageable de construire une centrale de production d'électricité au bois, sans réaliser de cogénération en récupérant la chaleur. Or, sur le site pénitentiaire, les besoins en chaleur et en électricité ne sont pas du même ordre de grandeur (MWh contre GWh). Par conséquent, le site ne semble pas en capacité d'absorber la quantité de chaleur dégagée par une centrale électrique biomasse. De plus, c'est une solution qui a un coût important et qui est d'avantage adaptée à des projets de grande envergure.

- **Synthèse**

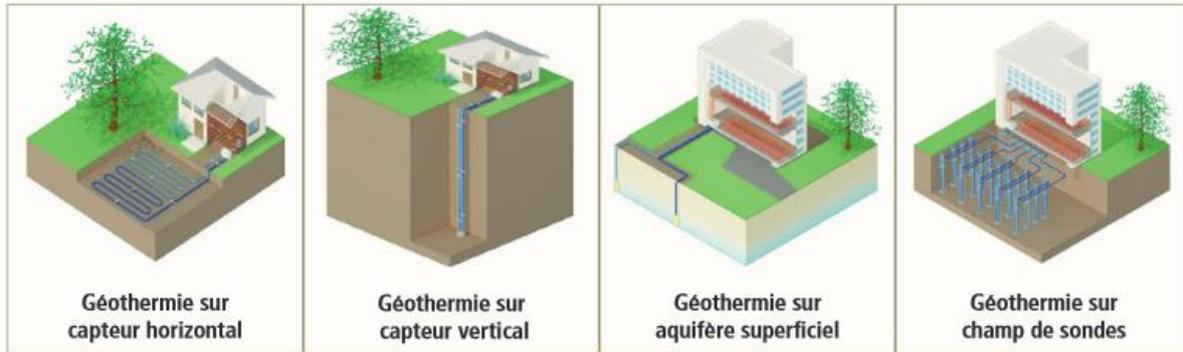
L'utilisation de la biomasse pour produire à la fois de l'électricité et de la chaleur est faisable. Toutefois, il ne s'agit pas de la solution qui semble la pertinente en raison des déséquilibres entre les besoins en électricité et en chaleur.

3.5. GEOTHERMIE

- **Principe de fonctionnement et utilisations**

La géothermie (du grec « gè » qui signifie terre et « thermos » qui signifie chaud) est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1 000°C à 4 300°C.

La Guyane se trouve sur un terrain argileux, plat et sans activité volcanique, qui constitue un territoire peu adapté à la géothermie. Seule la géothermie à très basse énergie est envisageable. C'est une énergie qui est exploitable selon un large éventail de technologies :



Source : ADEME/BRGM

- Géothermie sur capteur horizontal : il s'agit d'enterrer sous une surface une grande longueur de tuyau dans les premiers mètres du sol. Ce type d'exploitation nécessite une grande surface et n'est pas recommandé en priorité.
- Sonde géothermique sur capteur vertical ou champ de sondes : il s'agit de faire circuler dans une installation fermée (tube en U ou tube coaxial), un mélange eau-glycol qui va capter la chaleur du sol au travers d'un forage d'une quinzaine de centimètres de diamètre sur une centaine de mètre de profondeur (généralement moins de 200 m). Cette application nécessite une emprise au sol bien plus faible que la précédente, et est adaptée au neuf et à l'existant sans remaniement de terrain. Lorsque les besoins sont élevés, plusieurs sondes peuvent être implantées afin de créer un « champ de sondes ».
- Géothermie sur aquifère superficiel ou PAC sur nappe : dans ce cas, le forage cherche à capter les calories de la nappe d'eau souterraine. Généralement située à une centaine de mètre, la température avoisine 12 à 15°C. Cette application est constituée de deux forages : production et rejet – ou réinjection - distants d'au moins une quinzaine de mètres afin de limiter les interférences entre eux.

La géothermie très basse énergie est utilisée majoritairement pour le chauffage des bâtiments, soit de façon centralisée par le biais de réseaux de chaleur, soit de façon plus individuelle par le biais de pompes à chaleur couplées à des capteurs enterrés. Tous les systèmes géothermiques (échangeurs horizontaux, verticaux, sur nappe...) peuvent :

- Chauffer un bâtiment avec une pompe à chaleur géothermique classique ;
- Rafraîchir un bâtiment avec une pompe à chaleur géothermique réversible ;
- Produire l'eau chaude sanitaire avec une pompe à chaleur géothermique haute température ou un chauffe-eau thermodynamique géothermique
- Produire à la fois de l'eau chaude sanitaire et rafraîchir un bâtiment avec un système double-service.

- **Intérêts de la filière**

La production de chaleur ou d'électricité par le biais de capteurs géothermiques présente un certain nombre d'avantages importants :

- La géothermie produit peu de rejet, c'est une énergie propre qui ne participe pas à la dégradation du climat et ne nécessite ni transport, ni stockage de substances polluantes ou dangereuses ;
- La géothermie ne dépend pas des conditions météorologiques donc son potentiel ne fluctue pas, contrairement aux énergies renouvelables : c'est une énergie fiable et constante.

- **Caractéristiques du gisement du site**

La Guyane est peu adaptée à la géothermie, à cause d'un sol argileux, plat et sans activité volcanique. Seule de la géothermie très basse énergie pour produire de l'eau chaude sanitaire ou climatiser à l'aide de pompes à chaleur géothermiques est envisageable. Toutefois, ces besoins seront instables. La production d'ECS en Guyane est faiblement énergivore au vu de la température ambiante élevée. La géothermie n'est pas adaptée car elle comporterait des risques à cause de l'instabilité du terrain. De plus, la géothermie basse énergie nécessite l'utilisation de pompes à chaleurs consommatrices d'électricité pour chauffer l'ECS aux températures souhaitées.

- **Synthèse**

La géothermie n'est pas une solution adaptée à la Guyane. La production d'ECS serait possible mais complexe et énergivore en électricité à cause de l'instabilité du terrain et de l'utilisation des pompes à chaleur. La climatisation à l'aide de pompes à chaleur géothermiques est possible.

3.6. AÉROTHERMIE

Dans le cas de la Guyane, l'aérothermie est étudiée comme technique de climatisation, bien qu'elle puisse également être employée pour le chauffage.

- **Principe de fonctionnement et utilisations**

Le principe de la climatisation par aérothermie est d'extraire des calories de l'air intérieur, pour les rejeter à l'extérieur. Le taux d'humidité ainsi que la quantité de poussière dans l'air peuvent également être contrôlés lors de cette opération.

Un climatiseur est une pompe à chaleur PAC réversible, un appareil fonctionnant sur un cycle thermodynamique. Un liquide caloporteur est successivement mis sous pression, évaporé en absorbant la chaleur intérieure, puis il est redescendu en pression, avant de retourner à l'état liquide tout en restituant de la chaleur à l'extérieur. Tout au long de l'opération, le liquide se trouve dans un circuit frigorifique et n'est pas mis en contact direct avec l'environnement extérieur.

Un climatiseur aérothermique est composé de deux éléments principaux :

- L'évaporateur : Il se situe à l'intérieur d'un bâtiment et absorbe les calories intérieures par l'intermédiaire d'un échangeur Air/Liquide calorifique.
- Le condenseur : Il se situe à l'extérieur et rejette les calories intérieures vers l'extérieur à l'aide d'un échangeur. Celui-ci peut délivrer la chaleur dans de l'eau ou bien de l'air.

Au sein du climatiseur, des

Les technologies sont de deux sortes :

- Les monoblocs : l'unité comprend un évaporateur et un condenseur dans un même ensemble, qui s'installe à moitié à l'intérieur et à moitié à l'extérieur. Il convient pour de faibles besoins.
- Les Split : Le condenseur, situé à l'extérieur, est relié à plusieurs évaporateurs dans les différentes pièces des bâtiments.



- **Intérêts de la filière**

La production de froid par aérothermie présente un certain nombre d'avantages :

- L'aérothermie a un faible impact carbone, du moment que l'électricité utilisée pour faire fonctionner le climatiseur est décarbonée.
- L'aérothermie n'est pas une technologie intermittente et permet de réguler le confort thermique de manière stable.

Note : La « propreté » environnementale des climatiseurs est à nuancer. Il s'agit d'une technologie qui peut avoir un impact carbone très faible, mais pour autant, les fluides calorifiques employés dans les circuits de réfrigération sont des substances appauvrissant la couche d'ozone et avec un effet de serre très largement supérieur au CO₂. Il est fréquent qu'une partie de ces fluides soient rejetés dans l'atmosphère lors de l'installation du climatiseur ou de fuites.

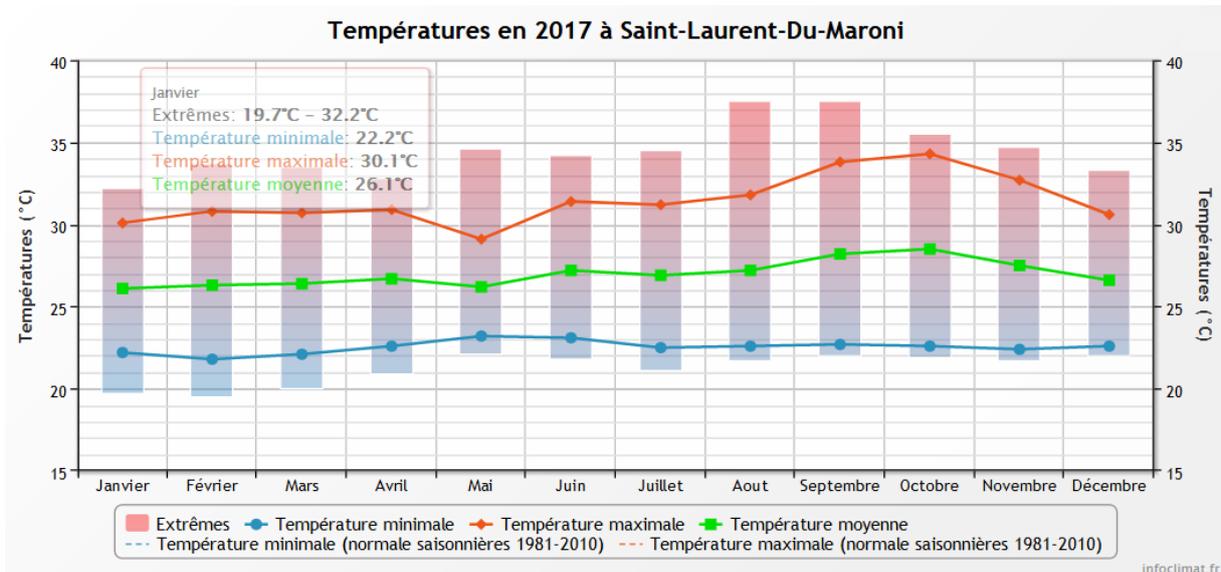
Le développement incontrôlé des systèmes de climatisation dans le monde est une source importante de surconsommations énergétique et de dégagement de gaz à fort potentiel à effets de serre.

La conception du projet devra être orientée vers une limitation maximale du recours à la climatisation active.

- **Caractéristiques du gisement du site**

Saint Laurent-du-Maroni a un climat tropical. Sa température moyenne annuelle est de 26,1°C mais fluctue peu. De plus, l'humidité relative, constamment autour de 90% provoque un sentiment d'inconfort et de lourdeur de l'atmosphère. C'est donc un territoire où la climatisation est nécessaire.

L'aérothermie est particulièrement intéressante sur ce territoire puisque les températures ne sont jamais extrêmes. Les climatiseurs air/air semblent plus intéressants que les air/eau qui nécessiteraient une connexion avec la Crique Margot ou des sources géothermales. De plus, si de l'électricité « propre » est disponible, c'est une solution simple et respectueuse de l'environnement.



- **Synthèse**

L'aérothermie est une solution pertinente pour climatiser le site de Saint Laurent-du-Maroni. C'est une solution stable, simple et décarbonée tant que l'électricité utilisée l'est également.

3.7. CRIQUE MARGOT

L'utilisation de la Crique Margot, le cours d'eau circulant sur le territoire du site du centre pénitentiaire est une possibilité. Un cours d'eau peut avoir différentes utilisations :

- **Hydroélectricité**

L'énergie hydroélectrique est produite par transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique puis électrique. Sur des cours d'eau, des centrales au fil de l'eau peuvent parfois être installées. Non équipées de retenues d'eau, ces centrales assurent une production en continu tout au long de l'année.

D'après les reportages photos et visites sur site, la Crique Margot ne dispose pas d'un débit et d'une hauteur d'eau suffisante pour ce type de technologie.

- **Refroidissement passif**

Il s'agit d'utiliser l'eau pour refroidir l'air qui pénètre les bâtiments. Pour cela, des échangeurs de chaleur peuvent transférer les calories présentes dans l'air à l'eau. Toutefois, la crique Margot a une température variant de 25°C à 31°C sur une année. Cette gamme de température est similaire à celle de la température de l'air extérieur. Par conséquent, un transfert de chaleur efficace est impossible et cette solution ne peut être envisagée.

- **Géothermie très basse énergie**

La Crique Margot peut être une source tempérée pour l'utilisation de géothermie très basse énergie. Dans ce cas-là, sa chaleur est captée puis augmentée à l'aide de pompes à chaleur fonctionnant à électricité.

Plusieurs inconvénients apparaissent dans ce scénario. Le principal inconvénient à ce scénario est que débit de la Crique est très faible, voir stagnant. Ceci peut rendre impossible son exploitation. De plus, l'installation serait fortement consommatrice d'électricité à cause des pompes à chaleur. Enfin, l'installation ne peut pas être utilisée pour de la climatisation car elle nécessiterait de rejeter de l'eau à des températures trop chaudes pour le cours d'eau.

- **Synthèse**

La Crique Margot ne peut pas être utilisée pour produire de l'électricité ou pour climatiser. Son débit est trop faible et sa température trop importante pour cela.

3.8. SYNTHÈSE SUR LA DISPONIBILITÉ DES ENR

Ressource	Vecteur	Avantage	Inconvénient	Potentiel
Photovoltaïque	Electricité	<ul style="list-style-type: none"> Gisement important Réseau en système de secours Contexte favorable à l'autoconsommation 	<ul style="list-style-type: none"> Intermittence 	Fort
Eolien	Electricité		<ul style="list-style-type: none"> Inexploitable 	Inexploitable
Hydroélectricité	Electricité		<ul style="list-style-type: none"> Manque de débit et de hauteur de chute 	Inexploitable
Biomasse	Electricité	<ul style="list-style-type: none"> Ressource importante 	<ul style="list-style-type: none"> Inadapté aux faibles puissances Difficulté de mise en œuvre Coûts importants 	Modéré
Solaire thermique	ECS	<ul style="list-style-type: none"> Gisement important 	<ul style="list-style-type: none"> Intermittence de la demande 	Fort
Géothermie	ECS	<ul style="list-style-type: none"> Surface exploitable importante 	<ul style="list-style-type: none"> Intermittence de la demande Risques dû à l'instabilité des terrains Utilisation d'électricité supplémentaire (PAC) 	Faible



Aérothermie	Climatisation	<ul style="list-style-type: none">• Gisement important		Fort
Refroidissement passif	Climatisation	<ul style="list-style-type: none">• Utilisation de la Crique Margot	<ul style="list-style-type: none">• Température de la Crique Margot trop importante et débit trop faible• Rejets chauds	Modéré

4. ETUDE DES BESOINS

4.1. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Les données d'entrée de Saint Laurent du Maroni, les ratios de consommation retenus pour le calcul des besoins ainsi que les besoins finaux pour le centre pénitentiaire et le tribunal de grande instance sont regroupés dans les tableaux suivants. La démarche utilisée ainsi que les calculs réalisés pour obtenir ces résultats sont détaillés dans les parties suivantes.

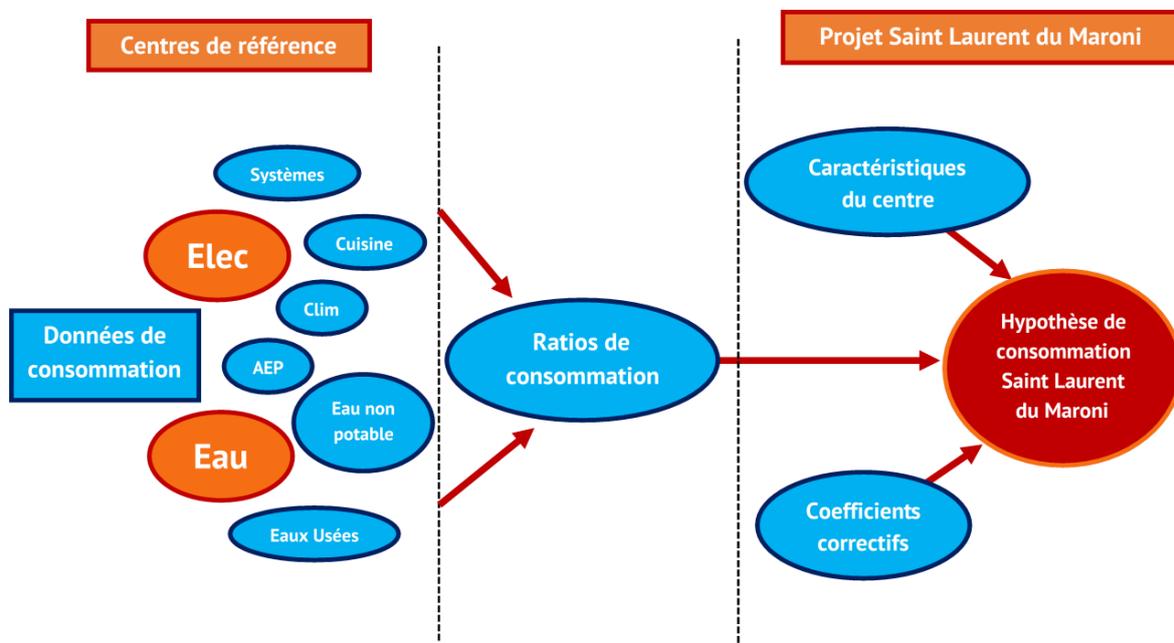
Bilan des besoins		
	Centre Pénitentiaire	Tribunal de Grande Instance
Besoins Journaliers		
Consommation électrique	8 900 kWh	1 200 kWh
Besoin en eau	175 m ³	21 m ³
Besoin en ECS(40°C)	75 m ³	0,22 m ³
Besoins mensuels		
Consommation électrique	270 000 kWh	36 000 kWh
Besoin en eau	5 250 m ³	446 m ³
Besoin en ECS(40°C)	2 250 m ³	5 m ³

Hypothèses de calcul			
Données dimensionnantes		Ratios retenus	
Centre pénitentiaire			
Capacité (nombre de détenus)	500	Leau/det/jour	350
Surface utile/détenu	50 m ²	LECS(40°C)/det/jour	150
Surface du centre	25 000 m ²	kWh/det/jour	18
Surface de l'enceinte	87 500 m ²	kWh/m ² /an	130
Tribunal de Grande Instance			
Surface de Plancher	6 500 m ²	LECS(40°C)/m ² /sem	0,3
Surface utile	3 600 m ²	kWh/m ² /an	120

4.2. DEMARCHE

Cette étude des besoins intervient avant la phase de conception des bâtiments et du choix des systèmes. Lors du démarrage de l'étude, les surfaces des bâtiments ainsi que la capacité prévisionnelle du centre étaient inconnues. Afin d'estimer les besoins à cette étape du projet, il a donc été choisi de croiser les informations des consommations par poste de différents centres pénitentiaires de référence en France métropolitaine et dans les territoires d'outre-mer afin d'en déduire des ratios de consommation. Ces ratios permettent ensuite d'estimer la consommation du futur centre de Saint Laurent du Maroni, une fois les données dimensionnantes connues (surface des bâtiments, nombre de détenus).

Cette démarche peut être illustrée par le schéma ci-dessous



Après être entrés en contact avec les différents directeurs techniques des centres sélectionnés pour réaliser cette étude, nous avons pu constater qu'il n'existait pas de suivi détaillé des consommations. Celles-ci n'ont donc pas pu être étudiées par poste mais ont été estimées dans leur globalité. Seuls les besoins en ECS ont pu être estimés séparément.

4.3. SYNTHÈSE DES DOCUMENTS OBTENUS

Localisation	Centre	Contact	Informations reçues
Cayenne	Remire-Montjoly	Tomoya Tonnellier	Données dimensionnantes du centre (superficie et nombre de détenus) Facture d'eau avec bilan de consommation depuis Octobre 2016 Factures d'électricité sur une année avec détail des consommations en heures pleines, creuses ou pointe Rapport d'étude de faisabilité pour une autoconsommation photovoltaïque
Martinique	Centre Ducos	Jean-Michel Alonzeau	Rapport d'étude pour une installation solaire thermique Factures d'électricité sur une année avec détail des consommations en heures pleines, creuses ou pointe
Réunion	Saint Denis	Jean-Edouard Atchapa	X
Guadeloupe	Baie Mahault	Philippe Lada	Données dimensionnantes partielles (Nombre de détenus et surface de l'enceinte) Tableau récapitulatif des consommations en eau et en électricité sur une année
Tahiti	Papeari	Pierre-Maurice Morganti	Consommations moyennes sans factures Dimensionnement de la STEP pour le traitement des eaux usées Rapport de simulations pour une installation solaire thermique pour les centres de détention
France métropolitaine	Le Havres Le Mans	Florence Ricbon	Consommations de gaz, d'eau et d'électricité moyennes en 2017 et 2018 Données dimensionnantes (Nombre de détenus et surface des centres)
	Vezin Nantes QMA		Consommations de gaz, d'eau et d'électricité moyennes en 2017 et 2018
Saint Laurent du Maroni		Alexandre Colin	Nombre de détenus Données de surfaces pour le TGI Sketchup et plan de masse du projet

4.4. ANALYSE DES DONNEES ET HYPOTHESES

4.4.1. Besoins en eau

4.4.1.1. Besoins du centre pénitentiaire

L'APIJ préconise (Annexe 7.1) de prévoir environ 150m³ d'eau par jour pour une maison d'arrêt de 600 places, soient environ 250L d'eau par détenu et par jour. Les consommations réelles observées dans les différents centres pénitentiaires étudiés sont légèrement supérieures (voir tableau ci-dessous).

Centre pénitentiaire	Nombre de détenus	Conso journalière	Conso/détenu/jour
Vezein	872	209 m ³	239 L
Le Havre	626	249 m ³	398 L
Le Mans	490	129 m ³	262 L
Nantes MA	694	161 m ³	232 L
Papeari	330	100 m ³	303 L
<i>Remire-Montjoly</i>	<i>614</i>	<i>511 m³</i>	<i>832 L</i>
Baie-Mahault	720	381 m ³	529 L
Consommation journalière moyenne par détenu			327 L

Remarque : Les consommations du centre pénitentiaire de Remire Montjoly n'ont pas été prises en compte pour la consommation moyenne car la valeur est biaisée par des problèmes de fuite d'eau.

De manière générale, les centres pénitentiaires possèdent des besoins en eau supérieurs à 250L par jour et par détenu. Les centres pénitentiaires d'outre-mer ont des besoins en eau légèrement supérieurs à ceux de France métropolitaine.

Une consommation d'eau de **350L par détenu et par jour** est donc retenue pour le centre pénitentiaire de Saint Laurent du Maroni.

4.4.1.2. Besoins du TGI

Hypothèses	
Surface Utile	3 600 m ²
Effectif personnel administratif*	160 personnes
Conso eau/personne/jour	50 L
Accueil Public*	420 personnes
Conso eau/visiteur/jour	30 L
Les besoins en eau du tribunal concernent uniquement l'utilisation des vestiaires et des sanitaires	
Consommations en eau	
Consommation L/jour	20600 L
Consommation m ³ /jour	21 m ³
Consommation m ³ /mois	446 m ³

**La capacité d'accueil visiteurs et le personnel administratif ont été calculés sur la base des données du tribunal de Béziers et du rapport de surface entre les deux bâtiments.*

4.4.2. Besoins en ECS

4.4.2.1. Besoins du centre pénitentiaire

L'estimation des besoins en ECS est basée sur une simulation de production d'ECS par des panneaux solaires thermiques réalisée pour le centre de détention de Papeari (Les documents sont fournis Annexe 7.2 et 7.3). Les deux études portent sur les deux centres de détention (CDO et CDE sur le plan de masse ci-dessous) et sont résumées dans le tableau qui suit.

Consommation d'ECS - Centre pénitentiaire PAPEARI		
	Centre de détention hommes EST (CDE)	Centre de détention hommes OUEST (CDO)
Capacité (nombre de détenus)	200	190
Température de l'eau froide	15°C	15°C
Température l'eau chaude	60°C	60°C
Conso annuelle d'ECS(60°C)	254 MWh	258 MWh
Conso journalière d'ECS(60°C)	13,32 m ³	13,54 m ³
Consommation eau/détenu/jour	300 L	300 L
Consommation ECS(60°C)/détenu/jour	67 L*	71 L*
ECS(60°C) cuisine/détenu/jour	6 L**	6 L**
Consommation ECS(60°C)/détenu/jour	73 L	77 L
Part d'ECS(60°C) dans la consommation d'eau	24%	26%

**Cette consommation ne prend pas en compte la consommation d'ECS pour la cuisine qui est située dans un autre bâtiment.*

***valeurs calculées sur la base des besoins en ECS de la cuisine de la maison d'arrêt du centre Ducos (Martinique) et des besoins en ECS par repas pour une grande cuisine en liaison froide (2 à 3L/repas d'ECS à 60°C, source : Energie+)*

Les besoins en ECS à 60°C représentent environ ¼ des besoins en eau, soient entre 70 et 80L d'eau à 60°C par détenu et par jour. Cela représente environ **150L/jour par détenu d'ECS à 40°C** (pour une eau froide à 20°C)

4.4.2.2. Besoins du TGI

Pour estimer les besoins en ECS, un calcul basé sur la méthode de calcul Th-BCE (méthode de calcul réglementaire de la RT2012) a été comparé à une simulation thermique dynamique réalisée sur le tribunal de grande instance de Béziers (Annexe 7.4). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Besoins en ECS du TGI			
Sur la base Th-b-c-e		Sur la base de la STD du TGI de Béziers	
Consommation hebdomadaire		Consommation	3,1 kWh _{EP} /m ² /an
ECS à 40°C	0,24 L/m ²	Consommation annuelle	4 326 kWh _{EP} /an
Consommation quotidienne		ECS à 40°C	124 031 L/an
ECS à 40°C	173 L	ECS à 40°C	340 L/jour

La méthode de calcul Th-BCE suppose une consommation hebdomadaire de 0,24L d'ECS à 40°C par m² de surface utile pour un tribunal en France métropolitaine. Etant donné la nature des besoins en ECS d'un tribunal, cette valeur ne devrait pas changer significativement pour un tribunal en Guyane.

Cette méthode permet de définir un besoin approximatif mais ne prend pas en compte les différentes pertes de chaleur. La STD en revanche calcule une énergie prenant en compte les équipements et les déperditions.

Le besoin en ECS du tribunal de grande instance est donc compris entre **200 et 300L d'ECS à 40°C par jour**, ou environ **1kWh/m²/an** qui peut être négligée d'une part derrière la consommation en ECS du centre pénitentiaire et d'autre part derrière la consommation électrique globale du TGI dont l'estimation est détaillée dans la partie suivante.

Remarque : En Guyane, comme l'eau potable est bien moins froide au point de livraison qu'en métropole, la quantité de chaleur nécessaire à la production d'un L d'ECS à 40°C y est largement inférieure.

4.4.3. Besoins en Electricité

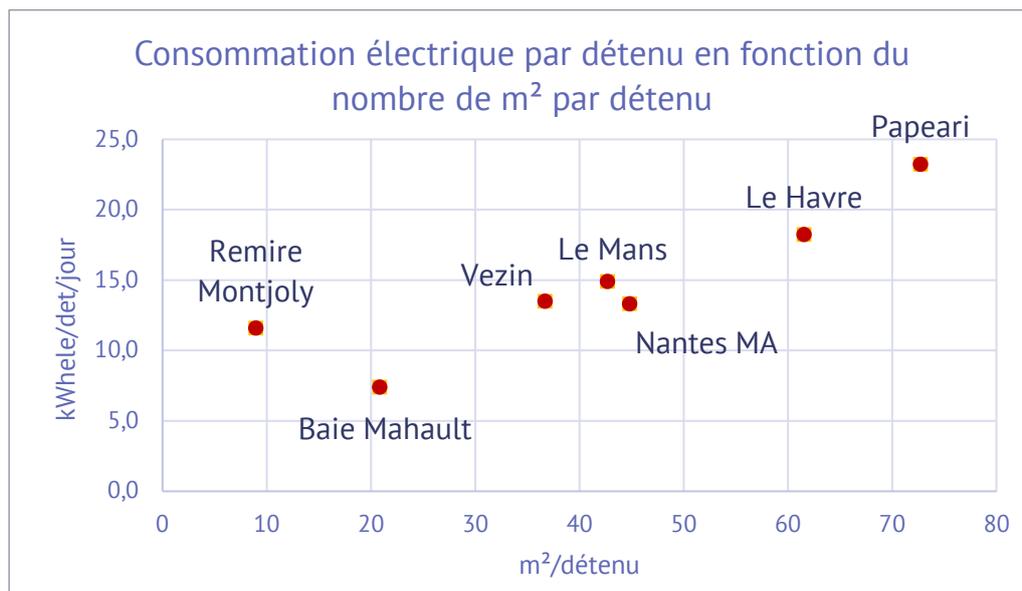
4.4.3.1. Besoins électriques du centre pénitentiaire

Les besoins en électricité des différents centres, calculés à partir de l'analyse des factures, (Annexes 7.5 à 7.8) ont été réunis dans le tableau ci-dessous

Localisation	Remire Montjoly	Papeari	Baie Mahault	Vezin	Le Havre	Nantes MA	Le Mans
	Guyane	Tahiti	Guadeloupe	France métro	France métro	France métro	France métro
Capacité (nb détenus)	614	330	720	873	627	694	490
Densité (m ² /det)	9	73	21	37	62	45	43
Surface centre	5 500	24 000	15 000	32 045	38 591	31 112	20 922
kWhelec/mois	19 385	230 000	169 436	358 592	347 729	281 221	222 096
kWhelec/det/jour	11,6	23,2	7,8	13,5	18,2	13,3	14,9
kWhelec/m ² /an	42	115	136	134	108	108	127

Sur la base d'informations obtenues auprès des responsables techniques des différents centres pénitentiaires sélectionnés, les consommations électriques ont été rapportées au nombre de détenus et au nombre de m² afin d'en déduire des ratios de consommation.

Les consommations électriques sont liées à la surface des centres et à leur capacité. La consommation journalière par détenu augmente avec la surface disponible par détenu (voir graphique ci-dessous)



Les consommations électriques rapportées au m² sont toutes cohérentes exceptée la consommation du centre de Remire-Montjoly. Une explication possible est la surconsommation électrique pour la climatisation des bureaux. Les programmeurs ne fonctionnant plus, les bureaux sont climatisés en continu et les températures de consigne gérées manuellement. Nous manquons cependant d'informations pour en déterminer les causes avec certitude. Un Audit énergétique permettrait de connaître les postes responsables de la consommation électrique anormalement élevée du centre.

Pour les centres récents (ceux de France métropolitaine et Papeari), les consommations par unité de surface hors France métropolitaine (Papeari) ne sont pas significativement plus élevées que celles de France métropolitaine.

Les villes de Saint Laurent du Maroni et de Papeari possèdent des moyennes et des amplitudes de températures très similaires (voir tableaux ci-dessous).

TABLEAU CLIMATIQUE SAINT-LAURENT-DU-MARONI

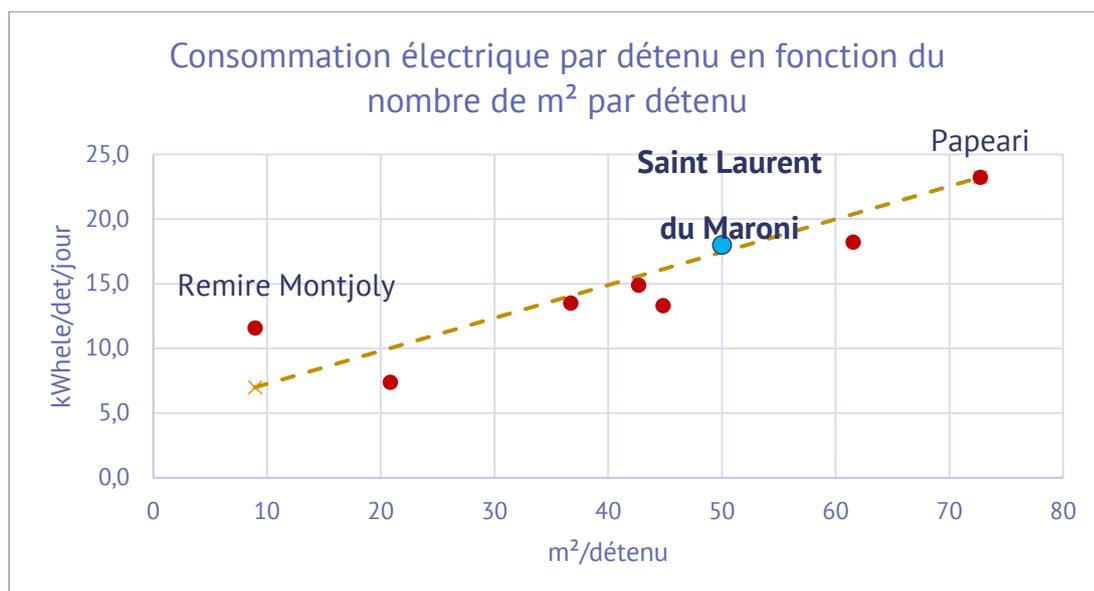
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	25.6	25.7	26.1	26.4	26.4	26.4	26.7	27.1	27.6	27.4	27	26.1
Température minimale moyenne (°C)	22.2	22.1	22.4	22.8	22.9	22.6	22.3	22.3	22.4	22.4	22.4	22.4
Température maximale (°C)	29.1	29.3	29.8	30.1	30	30.3	31.1	32	32.8	32.5	31.7	29.9

TABLEAU CLIMATIQUE PAPEARI

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	26.8	26.9	27.2	26.9	26.1	24.9	24.5	24.3	24.6	25.3	25.9	26.4
Température minimale moyenne (°C)	23.7	23.8	23.9	23.7	22.9	21.6	21.3	21.1	21.4	22.1	22.8	23.4
Température maximale (°C)	30	30.1	30.5	30.2	29.3	28.3	27.7	27.6	27.9	28.6	29.1	29.5

Source : <https://fr.climate-data.org>

La consommation retenue pour l'estimation des besoins du centre pénitentiaire de Saint Laurent du Maroni, basée sur les données collectées, est d'environ **18kWh par détenu et par jour** soient environ **130kWh par m² et par an** (voir graphique ci-dessous)





Les centres récents possèdent une surface environ égale à 50m² par détenu, c'est ce ratio qui a été retenu pour estimer la surface utile des bâtiments du centre pénitentiaire de Saint Laurent du Maroni. Cette différence de surface utile par détenu explique l'écart entre la consommation retenue pour Saint Laurent du Maroni et celle de Papeari.

4.4.3.2. Besoins électriques du TGI

Les consommations électriques du TGI ont été estimées sur la base des consommations des TGI de Béziers et de Nantes.

La consommation électrique par m² du TGI de Saint Laurent du Maroni a été estimée sur la base de la consommation électrique dédiée à la climatisation du Tribunal de grande instance de Béziers en Aout (Annexe 7.4) ainsi que sur la consommation du TGI de Nantes (bâtiment éclairé, ventilé, chauffé mais très peu climatisé).

Consommation électrique TGI	
Surface de plancher	6 500 m ²
Surface utile	3 600 m ²
Conso Climatisation TGI Béziers Août*	7 kWhEP/m ²
Besoin Climatisation annuel TGI Béziers**	4,3 kWh/m ²
Conso électrique TGI Nantes	75,0 kWh/m ²
Consommation électrique Saint Laurent du Maroni (kWh/m²/an)	120
Consommation électrique annuelle (kWh/an)	432 000

*Donnée issue de la RT2012 réalisée lors de l'Audit du tribunal de Béziers

**Donnée issue de la simulation thermique dynamique réalisée lors de l'audit du tribunal de Béziers

4.4.4. Courbes de charge

4.4.4.1. Profil horaire de la consommation électrique du centre pénitentiaire

Pour les factures dont les détails permettaient de différencier les horaires d'utilisation, le tableau bilan ci-dessous a été réalisé.

Pointe	Heures pleines	Heures creuses	Moyenne	Unité
Centre Ducos (Martinique)				
43 015	124 748	63 643		kWh/mois
333	354	264	320	kWh/h
18,6%	53,9%	27,5%		%de la consommation
Remire-Montjoly				
41 643	110 371	61 225		kWh/mois
323	313	254	295	kWh/h
19,5%	51,8%	28,7%		%de la consommation

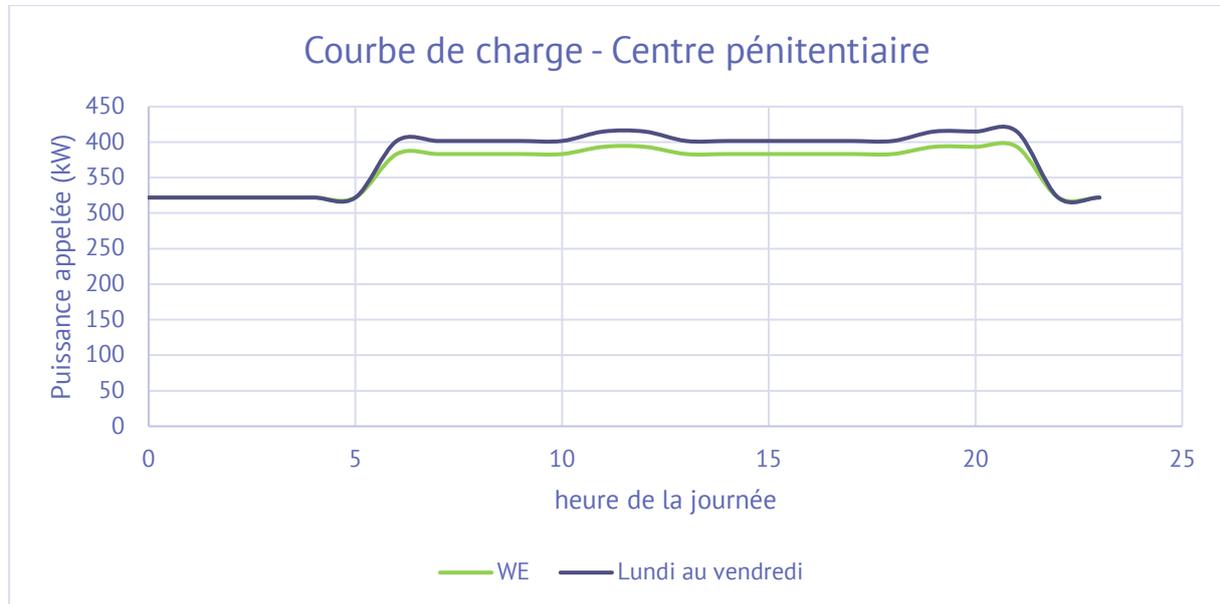
Talon électrique

Le calcul de la puissance moyenne selon le type d'heure d'utilisation de l'électricité est basé sur le scénario horaire suivant (voir fiches EDF tarif vert, Annexes 7.9 et 7.10)

Pointe	129 Heures/mois
Heures creuses	240,8 Heures/mois
Heures pleines	352,6 Heures/mois

Remarque : Les horaires des pointes, des heure creuse et des heures pleines varient entre la Guyane et la Martinique mais le nombre d'heures mensuel par catégorie ne change pas.

Sur la base de cette répartition et de la consommation moyenne estimée du centre (8 900kWh/jour), on estime la courbe de charge suivante :



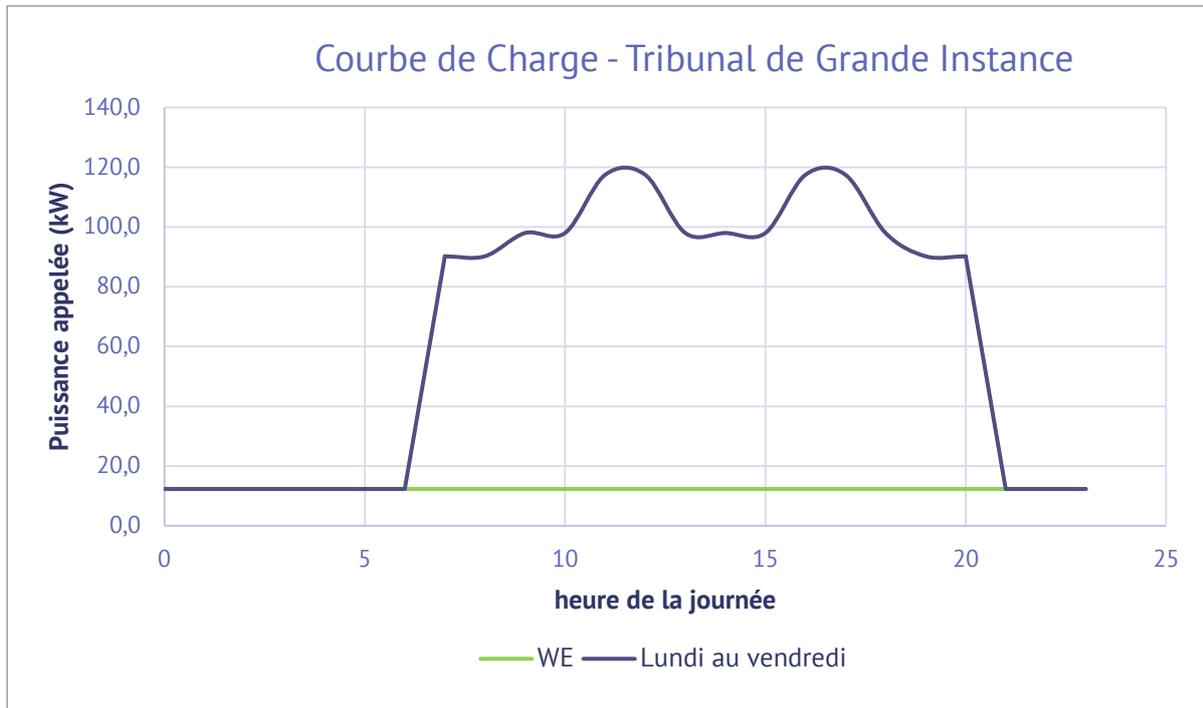
Remarques :

Un coefficient de consommation a été ajouté pour différencier les jours ouvrés du week-end où l'utilisation de la climatisation devrait être plus limitée.

Cette courbe est une estimation de la puissance utile lissée, elle ne décrit pas les pics ponctuels de consommation qui peuvent avoir lieu au cours d'une journée.

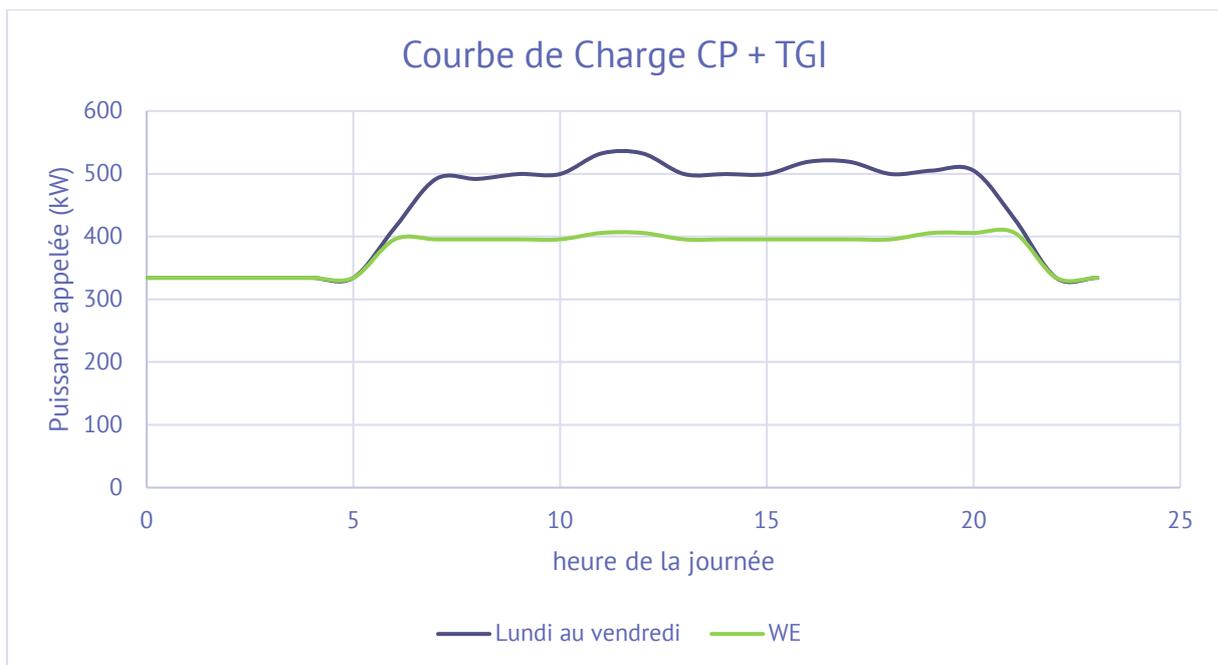
4.4.4.2. Profil horaire de la consommation électrique du TGI

Données & Hypothèses	
Surface utile	3 600 m ²
Consommation électrique (kWh/m ² /an)	120
Horaires d'ouverture	7h-21h
Horaires d'ouverture public	8h30-18h30
Nombre de semaine d'ouverture par an	52
Nombre de jours ouvrés par an	260
Consommation électrique annuelle (kWh/an)	432 000
% de la consommation hors talon	75%



4.4.4.3. Profil horaire de la consommation électrique globale

Pour le tribunal de grande instance et le centre pénitentiaire réunis, la courbe de charge possède l'allure suivante :



5. POINTS D'ATTENTION

Les remarques suivantes sont des points d'attention et de vigilance qui nous ont été communiqués par les différents directeurs techniques lors des échanges téléphoniques.

5.1. REMARQUES RELATIVES A L'ELECTRICITE

En Guyane, les problèmes électriques sont très fréquents (réseau peu fiable et vols de câbles), il est donc important de dimensionner un groupe électrogène capable de se substituer au réseau de manière régulière et en prévision de coupures éventuellement longues.

De nombreux onduleurs sont à prévoir pour réguler les surtensions et les irrégularités du réseau. A Remire, cela pose des problèmes notamment au niveau des climatiseurs qui ne sont pas ondulés et donc sujets à des pannes fréquentes. C'est une des raisons pour lesquelles la plupart sont en pilotage manuel et fonctionnent 24h/24 ce qui engendre un surcoût important au niveau de la consommation électrique.

Onduler les climatiseurs peut très rapidement se justifier d'un point de vue économique et écologique.

5.2. REMARQUES LIEES A LA GESTION DE L'EAU

5.2.1. Alimentation en eau potable

Pour des raisons sanitaires (lutte contre la légionelle), l'eau du centre de Papeari est refroidie dans des échangeurs à plaque.

En effet, les canalisations sont enterrées peu profondément et les températures de l'eau non refroidie sont proches des températures ambiantes, et favorables au développement bactérien. Une solution serait d'enterrer profondément le réseau d'eau afin qu'il conserve une température moyenne la plus basse possible.

5.2.2. Eaux pluviales

La récupération de l'eau de pluie pour certains usages de l'eau est envisageable, elle est pratiquée à Papeari. Elle doit néanmoins être pensée avant la construction car elle nécessite la mise en place de deux réseaux d'eau distincts. A Papeari, un bac de récupération d'eau de pluie enterré de 50m³ permet d'alimenter une partie des chasses d'eau.

5.2.3. Eaux usées

La quantité de matière organique rejetée dans les eaux usées par détenu est largement supérieure à celle d'une personne moyenne. (Les détenus sont susceptibles de jeter de la nourriture dans les toilettes). Cela provoque d'abord des problèmes au niveau des pompes de relevage. Il est donc judicieux d'utiliser, si cela est possible, la pente naturelle du terrain pour ménager les pompes. Ensuite, cela impose de surdimensionner la capacité de la STEP. A Papeari la Station dimensionnée pour 600 équivalents habitants est insuffisante pour les 330 détenus actuels.

A cause des risques sur le fonctionnement induit par ces difficultés de dimensionnement, il est préférable de placer la station de traitement de l'eau le plus loin possible du centre pénitentiaire pour limiter les nuisances olfactives.

5.3. REMARQUES VARIEES

5.3.1. Insectes

La présence de la crique Margot à proximité risque de provoquer une forte concentration de moustiques. Des pièges utilisant du CO₂ devront probablement être mis en place pour le confort des détenus.

La crique Margot risque d'attirer l'espèce de papillons responsable de la papillonite qui peut provoquer de très fortes réactions cutanées.

5.3.1. Ateliers

Lors de la conception des ateliers, il est important de réfléchir à leurs usages. Un exemple : il sera utile de se demander si les détenus seront amenés à construire de grands objets au moment de penser les espaces et notamment les accès.

Dans le centre pénitentiaire de Papeari, lors de la construction d'une pirogue, les dimensions de la pirogue ont dû être réduites car les portes étaient perpendiculaires à la longueur de la pièce.

Ne pas négliger les siphons de sol en quantité suffisante dans les ateliers (1 ou 2 siphons pour 60m² d'atelier)

5.3.2. Ombrages

Des ombrières sont à prévoir sur les parkings.

Les débords de toitures doivent être dimensionnés de sorte à fournir une protection solaire efficace et protéger de la pluie afin que l'eau ne rentre pas dans les cellules.

6. ETUDE D'OPPORTUNITE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ET THERMIQUE

À la suite de l'analyse des besoins du site, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique ont été sélectionnés pour répondre aux besoins en ECS et en électricité. Les parties suivantes présentent deux études d'opportunités pour chacun des modes de production.

6.1. CARACTERISTIQUES SOLAIRES

6.1.1. Contraintes techniques du site

- **Réglementation pénitentiaire**

Le centre pénitentiaire ayant des contraintes de sécurité, aucun module photovoltaïque ou thermique ne sera posé dans l'enceinte de la maison d'arrêt, hormis sur les bâtiments administratifs. L'étude se limitera donc à ces derniers, aux bâtiments hors enceinte (Tribunal de Grande Instance (TGI), locaux du personnel et bâtiment d'accueil des familles), aux parkings et aux espaces fonciers non construits.

- **Zone inondable**

Une partie du site d'étude est situé en zone inondable. Les surfaces restantes étant importantes, cette zone sera exclue de l'étude.

- **Structure du bâtiment**

Si l'installation de panneaux en toiture est choisie, une étude de structure devra être réalisée afin de garantir la tenue de la charpente et de la structure sous-jacente. Celle-ci conclura quant à la capacité de la structure à supporter le surpoids induit par la pose des panneaux solaires photovoltaïques et thermiques en toiture.

Dans le cadre de ce projet, l'étude structure sera intégrée aux différentes études nécessaires à la construction des bâtiments neufs.

- **Etude géotechnique**

Si une solution en ombrières est retenue, une étude géotechnique devra être réalisée. Celle-ci inclura des sondages du sol sur toute la surface concernée par le projet et devra conclure quant à la solution de fixation la mieux adaptée.

- **Etude d'impact**

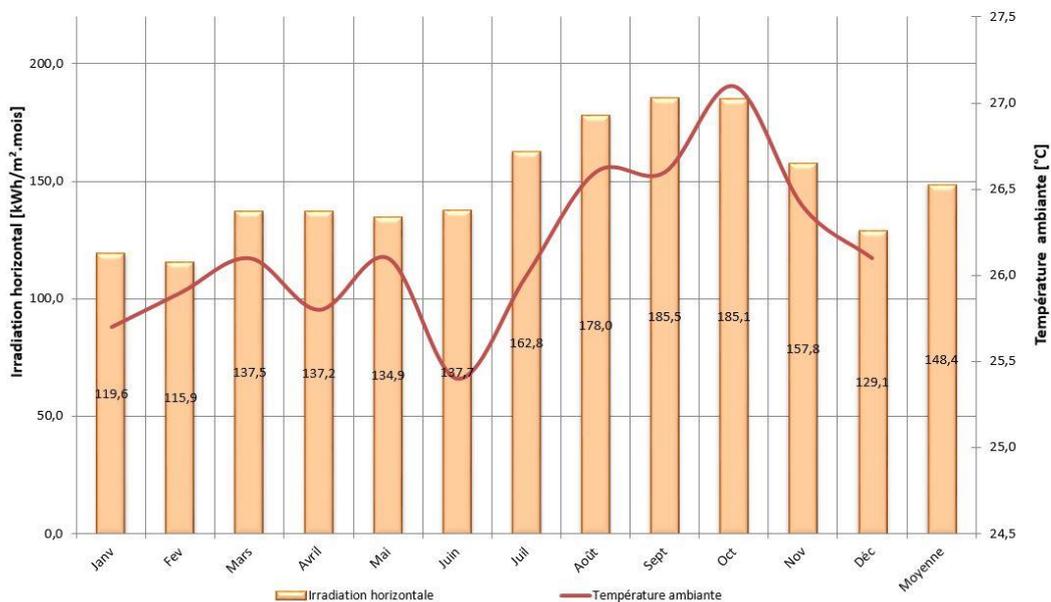
Les centrales au sol d'une puissance supérieure à 250 kWc sont soumises à étude d'impact, enquête publique et permis de construire.

6.1.2. Gisement solaire

La base de données METEONORM® est utilisée pour évaluer le gisement solaire du site . La station météorologique la plus proche comprise dans cette base de données est celle de Cayenne. A cet emplacement, également représentatif du gisement solaire de Saint Laurent-du-Maroni, la moyenne annuelle de l'irradiation sur le plan horizontal est de **1 781 kWh/m²/an**.

La température ambiante est également un paramètre important puisqu'elle est liée au refroidissement des modules, et donc à leur productivité. Par exemple, un module en silicium polycristallin perd environ 0,45% de sa puissance nominale quand sa température augmente d'un degré. La température ambiante étant directement liée au phénomène de refroidissement des modules, elle influe légèrement sur leur production. A Cayenne, la température moyenne annuelle est de **26,2 °C**. Elle est homogène sur l'année.

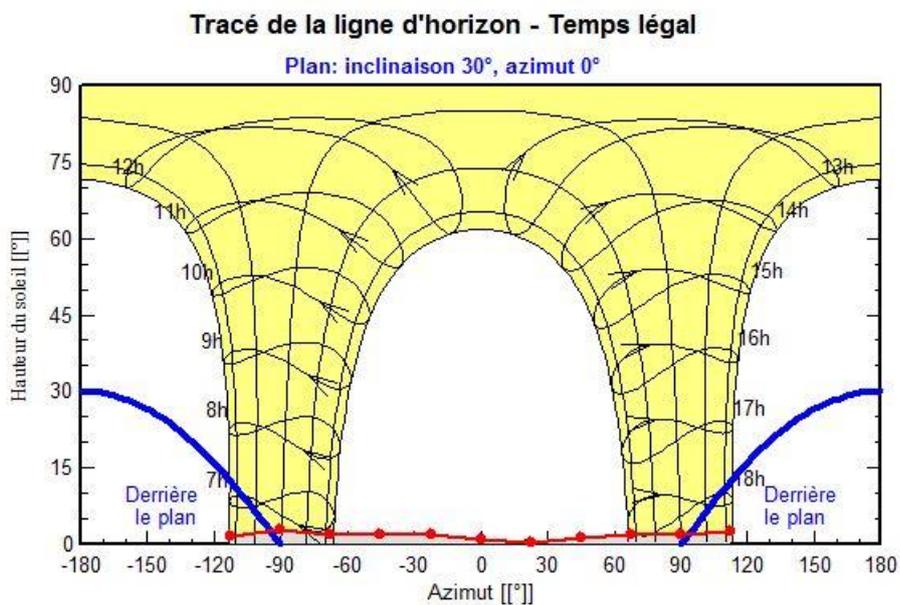
Les valeurs de ces paramètres pour la ville de Cayenne sont présentées sur la figure suivante.



6.1.3. Masque

Le graphique solaire suivant présente la course du soleil en jaune, ainsi que les ombrages dus à l'horizon en gris. D'après celui-ci, les ombrages lointains dus à l'horizon ne sont pas conséquents et peuvent être négligés. En revanche, le site est recouvert sur 1/3 de sa surface par de la forêt dense et haute. Elle constitue un **masque proche important** dont il faudrait minimiser l'impact, en s'en éloignant, ou en dégagant des zones. Il est néanmoins à noter que le site se trouvant proche

de l'équateur, le soleil est haut dans le ciel la majorité de la journée, limitant l'impact des sources d'ombrage. Par la suite, on considérera que les ombrages proches dus à la végétation sont négligeables.

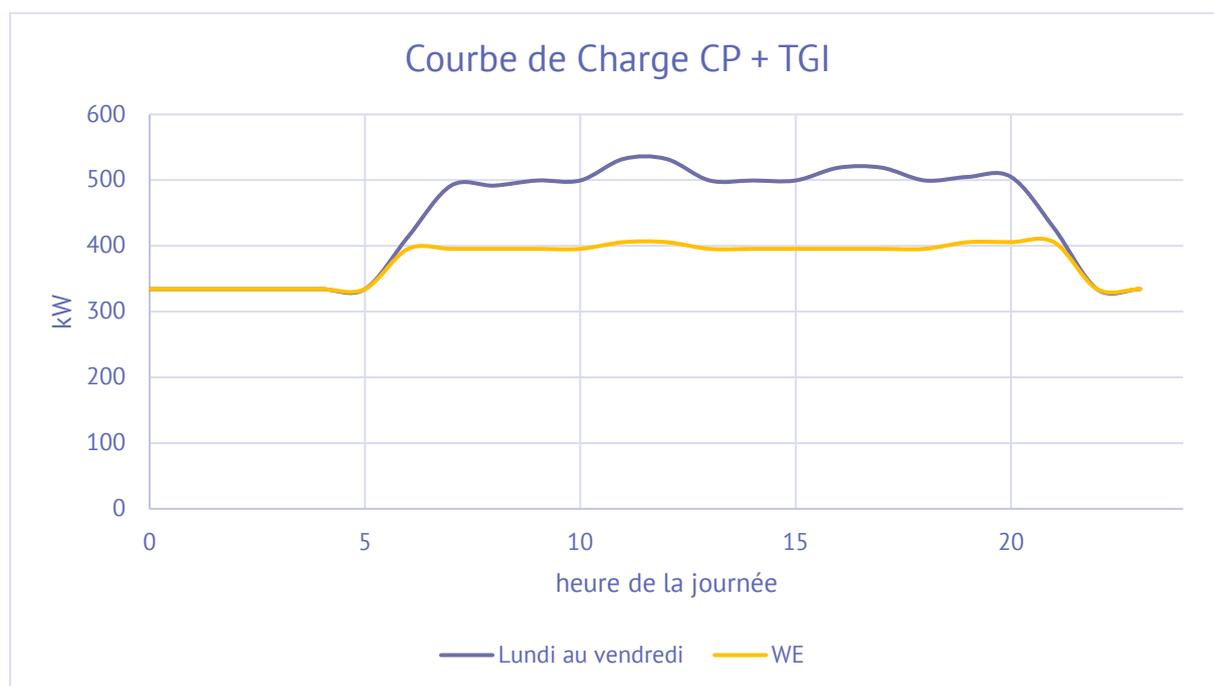


Le site de l'APIJ dispose d'un fort ensoleillement et constitue un emplacement très favorable pour installer un générateur photovoltaïque. Il a également la particularité d'avoir un gisement relativement constant et important, quel que le soit le mois de l'année : > 115 kWh/m²/ms. Cette caractéristique est avantageuse pour produire de l'électricité en autoconsommation. La seule contrainte identifiée concerne la forêt alentour, qui constitue une source d'ombrage proche qu'il faut éviter.

6.2. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

6.2.1. Evaluation des besoins

La production d'électricité photovoltaïque se fait de manière centralisée à l'échelle du site. Par conséquent, les besoins du Centre Pénitentiaire (CP) et du Tribunal de Grande Instance (TGI) ne sont pas différenciés pour le dimensionnement. L'évaluation de leurs besoins en électricité a été conduite précédemment. Pour rappel, voici la courbe de charge du complexe :



Trois périodes de consommations distinctes se démarquent de cette courbe de charge. La nuit, les besoins sont constants avec un appel de puissance à 334 kW en continu. En journées ouvrées, les appels de puissances sont de l'ordre de 500 kW. Les weekends et jours fériés, les appels en journée sont de 400 kW. Ces tendances sont constantes sur l'année, grâce à un climat peu changeant.

L'intégralité des besoins représente 3,7 GWh environ de consommation annuelle.

6.2.2. Notions d'autoconsommation

L'APIJ souhaite étudier l'autoconsommation photovoltaïque pour produire localement l'électricité que le centre pénitentiaire de Saint Laurent du Maroni consommera. Le site disposant de nombreuses possibilités d'implantations (toitures, ombrières, sol), la surface disponible n'est pas le facteur limitant du dimensionnement. Par conséquent, le dimensionnement sera établi selon la volonté d'optimisation du **taux d'autoconsommation**, du **taux d'autoproduction** et du **budget dédié**.

Avant d'établir différents scénarios de générateurs photovoltaïques, il est nécessaire de comprendre ces deux notions :

- **Taux d'autoconsommation** : rapport entre la part de l'électricité produite et consommée sur place et la **production** totale. En d'autres termes, un taux d'autoconsommation de 100% signifie que toute l'électricité qui est produite est consommée sur place, au risque que le photovoltaïque ne puisse pas couvrir l'intégralité des besoins électriques.
- **Taux d'autoproduction** : rapport entre la part de l'électricité produite et consommée sur place et la **consommation** totale. En d'autres termes, un taux d'autoproduction de 100% signifie que tous les besoins électriques du site sont assurés par le photovoltaïque, au risque de produire plus que nécessaire lors des périodes de plus faible consommation.

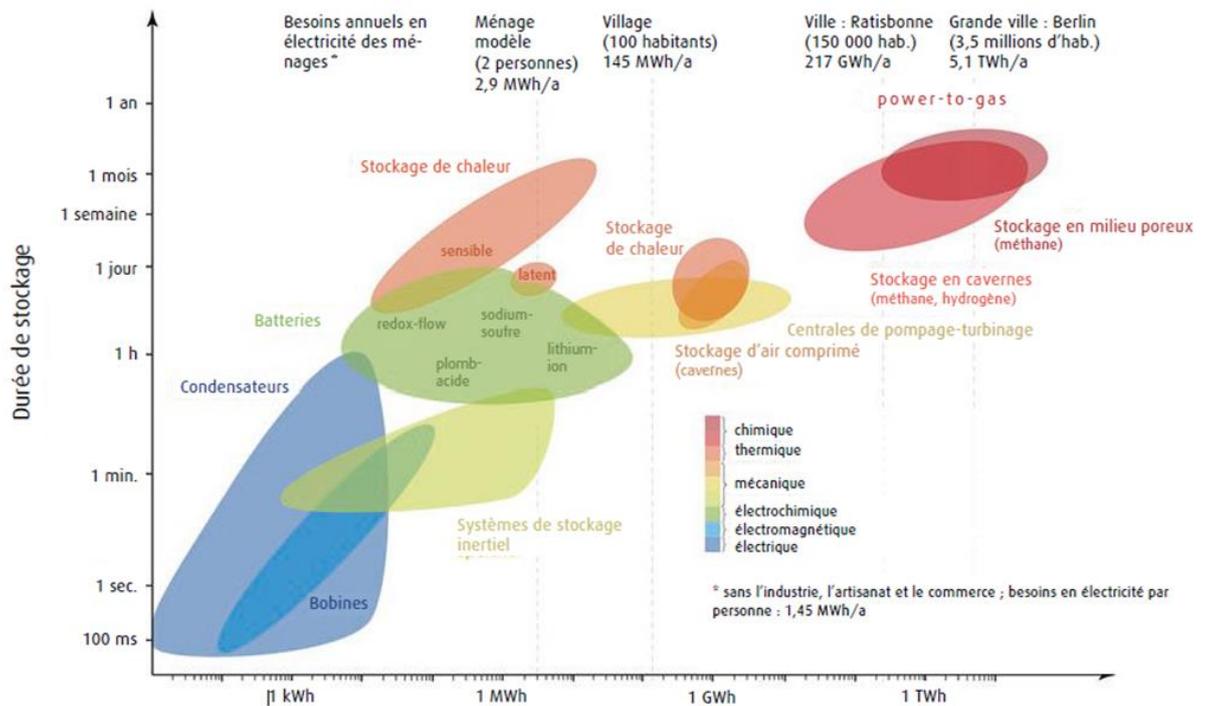
Du fait des variations de consommations électriques et de production photovoltaïque au cours des journées, des taux de 100% sont rarement atteints. En revanche, il est possible de favoriser un taux, au détriment de l'autre. Dans chacun des cas, le site étant raccordé, de l'électricité sera soutirée au réseau lorsque la production sera insuffisante. Si un surplus est produit, plusieurs solutions sont envisageables :

- Injection dans le réseau : Cette solution a l'avantage de valoriser énergétiquement et financièrement l'électricité produite. En revanche, elle nécessite de remporter un appel d'offre de la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) qui fixera le tarif d'achat. Cette étape ne peut être assurée.
 - ➔ Un appel d'offre portant sur l'autoconsommation de centrales de 100 kWc à 1000 kWc situées en zone non interconnecté est actuellement ouvert. En revanche, aucune délibération n'est déjà parue sur un appel d'offre équivalent. Par conséquent, il est **difficile d'estimer le prix de rachat de l'électricité. De plus, cet appel d'offre clôture le 12/06/2020.**
- Revendre directement le surplus à un agrégateur indépendant.
 - ➔ Les prix se négocient de grè à grè si un agrégateur est intéressé.
- Système de bridage : Cette solution permet de limiter la production photovoltaïque lorsqu'il n'y a pas assez de demande. Néanmoins, cet usage devrait être réservé à de faibles quantités de surplus car il s'agit d'un non-sens écologique.

Le site de Saint Laurent du Maroni dispose d'une consommation électrique importante la nuit, avec une puissance appelée continue de 334 kW alors que la production photovoltaïque est nulle. Par conséquent, un scénario utilisant un système de stockage par batterie sera également étudié.

6.2.3. Stockage

Le marché du stockage d'électricité est en pleine expansion et il existe de nombreuses technologies, avec chacune leurs spécificités. La figure ci-dessous résume les différentes possibilités selon les capacités et les durées de stockages voulues.



Ce sont les batteries au Lithium-Ion, qui sont les plus adaptées à l'autoconsommation photovoltaïque. Elles permettent de stocker des quantités d'énergie de l'ordre du MWh pendant plusieurs heures. Les rendements de ces batteries sont d'en moyenne 90% et elles possèdent une durée de vie d'environ 10 ans.

6.2.4. Raccordement au réseau :

Le site du centre pénitentiaire est situé à moins de 2 km du poste source de Saint Laurent du Maroni. D'après le site CapaRéseau, le Schéma Régional de Raccordement des Energies Renouvelables qui définit les capacités d'injection dans le réseau, est en cours d'élaboration. **Aucune capacité n'est pour le moment réservée.**

6.2.5. Scénarii de dimensionnement

Voici les taux d'autoconsommation et d'autoproduction pour différentes puissances de générateur ainsi que la surface de modules correspondante. Attention, cette surface est un ordre de grandeur calculé à partir de modules d'une puissance de 300 Wc. Elle évolue selon cette caractéristique de module. De plus, il faut prévoir de plus grandes surfaces de toitures du fait des distances réglementaires avec les éléments présents en toiture (évacuation des eaux, ventilation, acrotères, etc.)

Puissance (kWc)	500	750	900	1000	1200	1500
Taux d'autoconsommation	100%	96%	90%	85%	77%	67%
Taux d'autoproduction	20%	29%	32%	35%	37%	40%
Surface de modules (m ²)	3319	4962	5955	6600	7940	9925

La surface n'est pas un facteur limitant du dimensionnement. Pour l'ordre d'idée, près de 20 000 m² de parkings sont prévus, au-dessus desquels des ombrières photovoltaïques pourraient être installées. En revanche, en raison de l'impossibilité de valoriser correctement le surplus d'électricité, il est inenvisageable économiquement et techniquement d'installer un générateur au taux d'autoconsommation inférieur à 90%. Par conséquent, pour la suite de l'étude, seuls deux scénarios seront étudiés, pour des puissances de **750 kWc** et **900 kWc**.

L'alternative pour obtenir des résultats plus intéressants est d'utiliser un système de stockage. Par expérience, ces systèmes sont aujourd'hui très chers. Aussi, c'est la batterie qui est le facteur limitant du montage. Afin d'obtenir un ordre de grandeur, une **batterie de 1500 kWh** a été choisie. De manière à ne pas faire chuter le taux d'autoproduction, il ne faut pas surdimensionner le générateur. Aussi, **1200 kWc** sera choisi.

Synthèse des scénarii	
Scénario 1	Générateur de 750 kWc
Scénario 2	Générateur de 900 kWc
Scénario 3	1200 kWc – Stockage 1500 kWh

6.2.6. Analyse énergétique

6.2.6.1. Hypothèses de simulation :

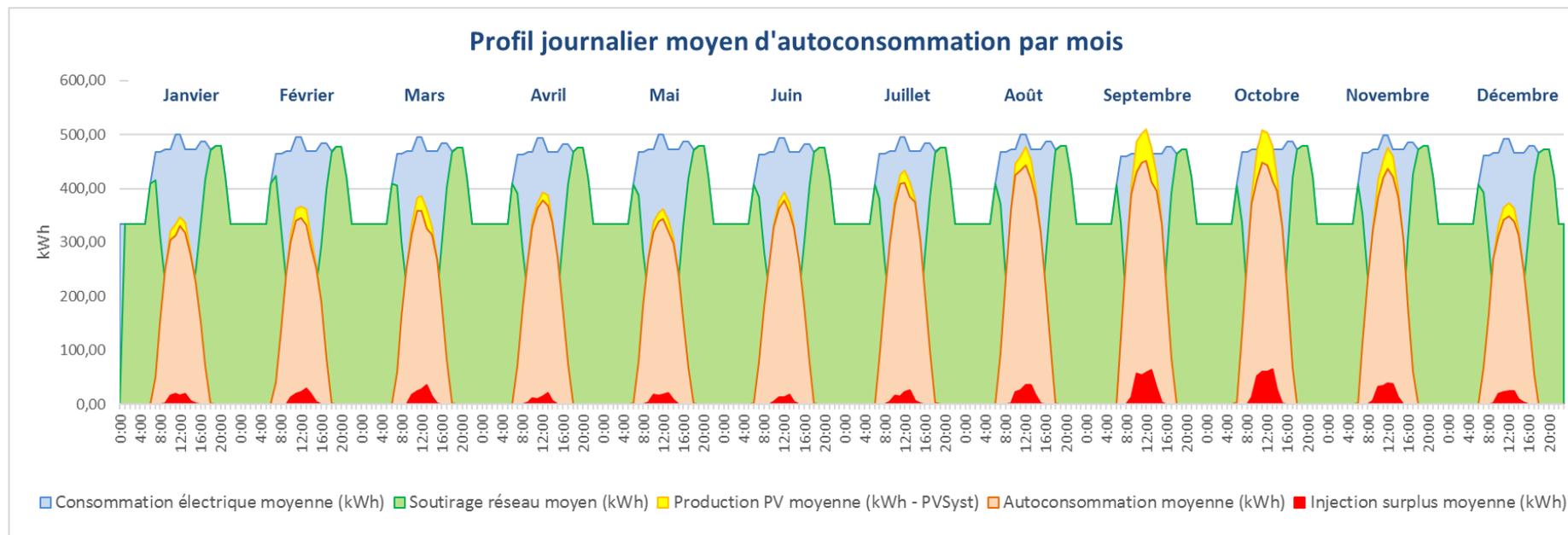
La courbe de charge photovoltaïque de chacun des scénarii a été simulée à partir du logiciel PVSyst (rapports PVSyst complets en annexes). Différentes hypothèses sont réalisées pour obtenir ces résultats :

- Utilisation de modules photovoltaïques Voltec Solar VSPS 300 kWc utilisant la technologie silicium polycristallin (fiche technique en annexe).
- Onduleurs SMA Sunny Tripower 60-10 de 60 kVA (fiche technique en annexe)

- Batterie Lithium-Ion avec rendement de 90%.
- Orientation : **Sud**. La Guyane se situe à proximité de l'équateur. Par conséquent, le soleil se situe haut dans le ciel et il n'y a pas d'orientation privilégiée pour la pose des modules, du moment que l'inclinaison est faible.
- Inclinaison : **5°**. Une inclinaison de 5° est choisie pour favoriser le ruissellement de l'eau et limiter l'encrassement.

Résultats

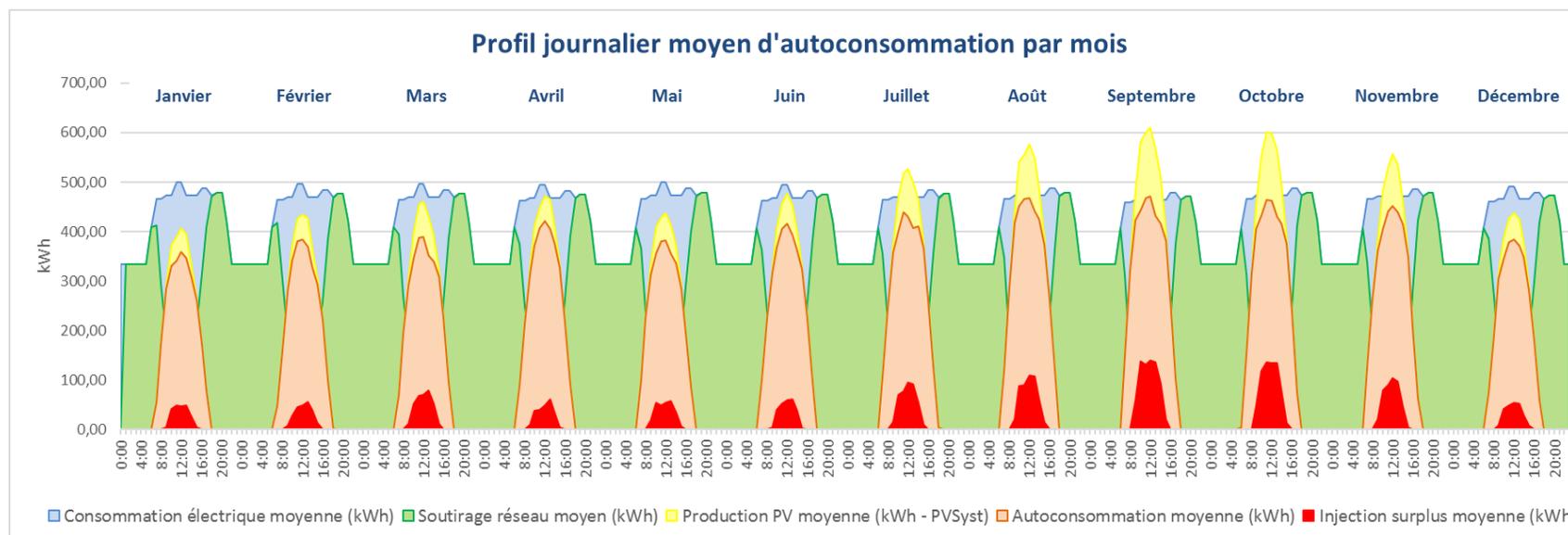
Scénario 1 : 750 kW



Bilan annuel Scénario 1	
Puissance installée (kWc)	750
Surface de modules (m ²)	4962
Consommation électrique (MWh)	3672
Productible photovoltaïque (kWh/kWc/an)	1498

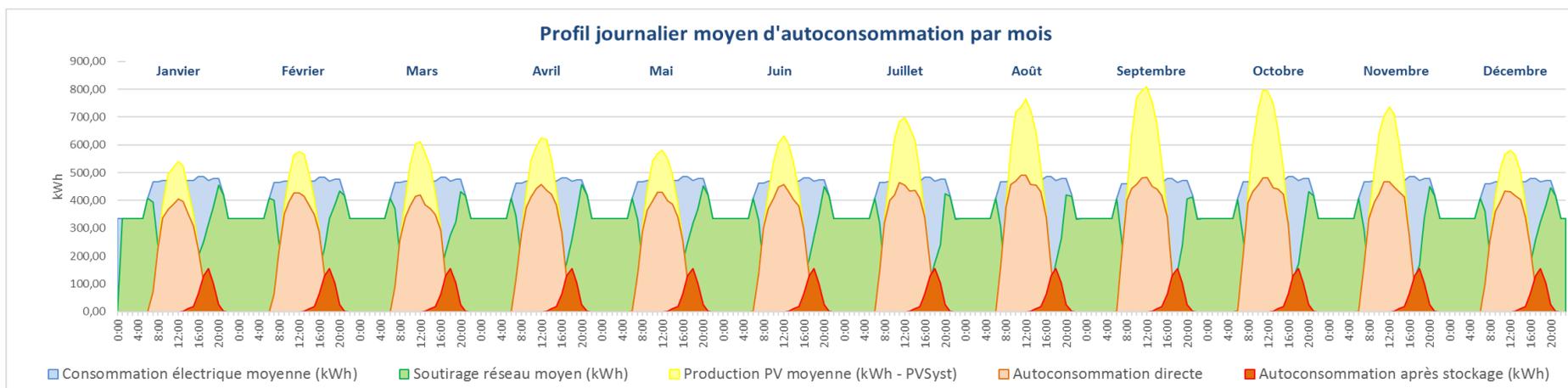
Production photovoltaïque (MWh)	1127
Electricité autoconsommée (MWh)	1079
Electricité soutirée au réseau (MWh)	2632
Surplus d'électricité (MWh)	48
Taux d'autoconsommation	96%
Taux d'autoproduction	29%

Scénario 2 : 900 kW



Bilan annuel Scénario 2	
Puissance installée (kWc)	900
Surface de modules (m²)	5955
Consommation électrique (MWh)	3672
Production photovoltaïque (MWh)	1344
Productible photovoltaïque (kWh/kWc/an)	1489
Electricité autoconsommée (MWh)	1205
Electricité soutirée au réseau (MWh)	2506
Surplus d'électricité (MWh)	139
Taux d'autoconsommation	90%
Taux d'autoproduction	32%

Scénario 3 : 1200 kWc + Stockage 1500 kWh



Bilan annuel Scénario 3	
Puissance installée (kWc)	1200 + 1500 kWh batterie
Surface de modules (m²)	7940
Consommation électrique (MWh)	3672
Production photovoltaïque (MWh)	1783
Productible photovoltaïque (kWh/kWc/an)	1481
Electricité autoconsommée directement (MWh)	1375
Electricité autoconsommée après stockage (MWh)	265
Electricité soutirée au réseau (MWh)	2070
Surplus d'électricité (MWh)	408
Taux d'autoconsommation	92%
Taux d'autoproduction	44%

Synthèse

Au terme des 3 scénarios étudiés, il apparaît impossible d'obtenir une autonomie en électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques. Ceci s'explique par des consommations très importantes la nuit, lorsque les panneaux ne produisent pas d'électricité. Ces consommations représentent plus de 50% des consommations totales. De plus, installer des puissances photovoltaïques importantes dégrade le taux d'autoproduction, en produisant de l'électricité non valorisable.

L'alternative du système de stockage permet d'obtenir des résultats faiblement plus intéressants. Pour cela, il est nécessaire d'augmenter la puissance du générateur, afin de produire des surplus d'électricité et de prévoir un système de stockage journalier. Ce système permet d'obtenir 44% d'autoproduction avec un générateur de 1200 kWc et une batterie de 1500 kWh. Afin d'améliorer davantage le taux d'autoproduction, il faudrait principalement augmenter la capacité du stockage. En effet, le problème est que l'installation photovoltaïque produit sur un pic horaire. Par conséquent, la batterie est rapidement chargée, elle est saturée, puis ne peut être rechargée avant le lendemain. Pour augmenter les performances du système, il faudrait que la batterie soit capable d'absorber entièrement le pic de production photovoltaïque. Or, ceci augmenterait considérablement les coûts.

6.2.7. Mise en œuvre

Parmi les différentes possibilités d'implantation des modules photovoltaïques, c'est l'installation d'ombrières photovoltaïques au-dessus des parkings qui semble être la solution la plus intéressante. En effet, cette solution présente plusieurs avantages :

- Pas de contraintes liées à l'installation de modules au sein de l'enceinte du centre pénitentiaire.
- Pas de compétition avec le solaire thermique concernant les surfaces occupables.
- Les parkings étant situés en périphérie du centre, il y aura moins d'ombrages imposés par les bâtiments alentours.
- La surface disponible étant importante, il est possible de concentrer la production et de limiter le matériel nécessaire et les raccordements.

Voici un exemple d'ombrière photovoltaïque sur parking.



Stockage :

La batterie dimensionnée pour le scénario 3 a une capacité de 1500 kWh. Selon les fabricants, les coûts des batteries peuvent varier fortement, néanmoins, en moyenne, le coût d'investissement à prévoir est d'environ 750 000 €. Les frais d'entretiens et de maintenance sont d'environ 40 000€/an. Un tel parc de batterie occupe une surface au sol d'environ 100 m².

Il est à noter qu'une baisse de 5 à 10% des prix a été observée les dernières années concernant les batteries.

6.2.8. Analyse économique

- Les coûts d'investissements ne prennent pas en compte le transport du matériel. De plus, pour la puissance du site, le coût de raccordement est difficile à estimer. Une demande

après d'EDF SEI est donc recommandée pour appréhender ce cout de raccordement. Il n'est pas pris en compte dans le budget global.

- L'estimation des investissements est basée sur des ordres de grandeurs couramment rencontrés. En Guyane, de nombreuses spécificités peuvent impliquer d'importantes variations. Ainsi, seule une analyse économique détaillée, intégrant une étude de terrain est nécessaire pour estimer précisément les coûts.
- La TVA ne s'applique pas en Guyane.
- La rentabilité du projet est étudiée par rapport à un cout d'achat de l'électricité de 6 c€/kWh (Tarif vert Guyane - Moyenne utilisation).
- 100% de fonds propres sont considérés.
- Aucun achat de l'électricité en surplus n'est considéré.

	Scénario 1 (750 kWc)	Scénario 2 (900 kWc)	Scénario 3 (1200 kWc + 1500 kWh batterie)
Investissements (€)	1 300 000	1 500 000	3 000 000
Economie sur la facture (€/an)	64 740	72 300	98 400
Maintenance (€/an)	10 000	15 000	80 400
Temps de retour sur investissement	24 ans	26 ans	-

Les temps de retours sur investissements des deux premiers scénarios sont compris entre 20 et 30 ans, soit la durée de vie estimée d'une installation photovoltaïque. Ces résultats semblent peu attractifs et sont la conséquence des tarifs d'achats de l'électricité très avantageux pour les « gros » consommateurs. Toutefois, ces données sont à prendre avec beaucoup de précautions, à cause des nombreuses incertitudes :

- sur les montants d'investissements de ces projets
- sur l'évolution à venir des tarifs de l'électricité.

Le scénario 3 n'est pas rentable. Ceci est dû au fort investissement dans les batteries Lithium-Ion ainsi que dans la maintenance associée. De plus, les batteries ont une durée de vie de 10 ans en moyenne. Ainsi, le déficit se creuse au court du temps.

Si des subventions peuvent être allouées à ce projet, la rentabilité en serait fortement améliorée.

6.2.9. Conclusion

En définitive, il n'y a pas de contraintes particulières à l'installation d'un générateur photovoltaïque sur le centre pénitentiaire de Saint Laurent du Maroni. Au contraire, le site présente un ensoleillement important, favorable à son implantation. Toutefois, il apparaît clairement que le photovoltaïque ne permet pas d'être autonome en électricité, n'y même d'y tendre. Ceci vient du fait que les consommations de nuit sont très importantes. De plus, la rentabilité du projet n'est pas attractive car la vente de surplus n'est pas considérée dans cette étude. Une possibilité d'améliorer le temps de retour sur investissement est de participer à l'appel d'offre de la Commission de Régulation de l'Energie pour obtenir un tarif de rachat pour des installations entre 100 kWc et 1000 kWc. Toutefois, cet appel d'offre clôture le 12/06/2020 et les délais semblent courts. Trouver un agrégateur pour racheter une partie de l'électricité est également une possibilité.

En excluant une valorisation du surplus, le choix qui semble le plus judicieux et le moins incertain est de ne pas surdimensionner l'installation et de consommer l'intégralité de la production sur site. C'est le cas d'un générateur de 750 kWc. D'éventuelles subventionnements seraient également en mesure d'améliorer la rentabilité du projet.

6.3. SOLAIRE THERMIQUE

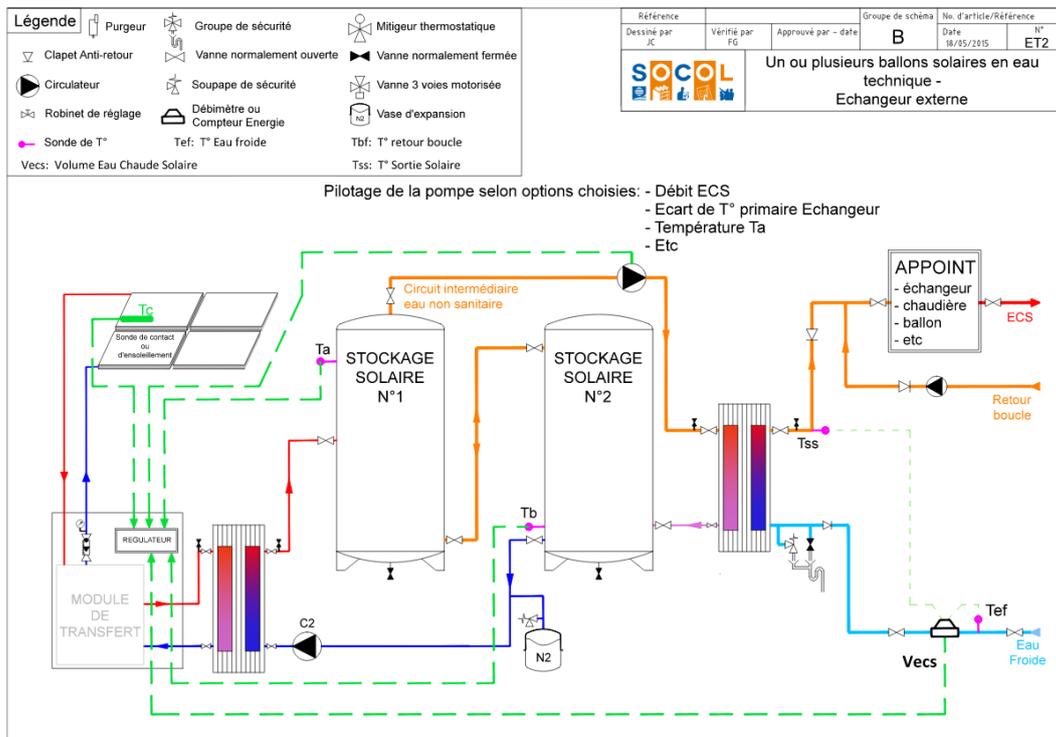
6.3.1. Evaluation des besoins

Les consommations potentielles en ECS de l'établissement de Saint Laurent du Maroni ont été déterminées précédemment. Contrairement à la production d'électricité photovoltaïque, la production d'ECS solaire se fait de manière décentralisée. Les panneaux solaires liés à des ballons de stockages sont répartis en différents endroits et situés au plus proches des besoins, afin de limiter les pertes thermiques. Ainsi, lors de l'évaluation des besoins, le site a été séparé en deux grandes zones : le centre pénitentiaire et les bâtiments annexes comprenant le Tribunal de Grande Instance. Pour rappel, voici les consommations :

	Centre pénitentiaire	Tribunal de Grande Instance
Besoins journalier d'ECS à 40°C	75 m ³	0,22 m ³
Besoins mensuels d'ECS à 40°C	2 250 m ³	5 m ³
Besoins annuels d'ECS à 40°C	27 375 m ³	56 m ³

A ce jour, les données de consommations en ECS du TGI sont négligeables au vu des consommations du centre pénitentiaire. L'organisation du complexe hors centre pénitentiaire n'est pas encore assez bien connue (éventuels appartements de gardiens, vestiaires du personnel, etc.). Par conséquent, ces besoins peuvent fortement changer. Il n'est pas pertinent d'étudier le dimensionnement solaire thermique pour des besoins aussi faibles, susceptibles de varier de manière importante.

6.3.2. Principe de fonctionnement



Les capteurs solaires reçoivent l'énergie solaire qui est directement transformée en énergie thermique. Cette énergie est ensuite véhiculée par un fluide caloporteur (type eau glycolée) dans le circuit hydraulique primaire de l'installation, vers l'échangeur de chaleur externe. L'eau chauffée est ensuite stockée dans les ballons solaires puis réchauffe l'eau sanitaire à l'aide d'un nouvel échangeur. Un système d'appoint (échangeur à plaques avec ballon tampon raccordé au circuit chaudière d'appoint) est connecté en série en aval de l'installation solaire pour élever la température de l'eau sanitaire à la consigne souhaitée si nécessaire.

6.3.3. Dimensionnement

6.3.3.1. Eau froide

Pour se prémunir contre les légionnelles (bactéries proliférant dans les eaux stagnantes entre 30 et 50°C), l'eau est chauffée à 60°C dans le ballon d'ECS puis mélangée à une source d'eau froide avant d'être utilisée. Par conséquent, la quantité d'eau à 60°C nécessaire pour assurer les besoins en ECS à 40°C dépend de la température de l'eau froide utilisée. Pour déterminer cette température, on utilise généralement le modèle ESM2, qui calcule la température d'eau froide moyenne mensuelle en moyennant la température extérieure mensuelle par la température extérieure annuelle moyenne.

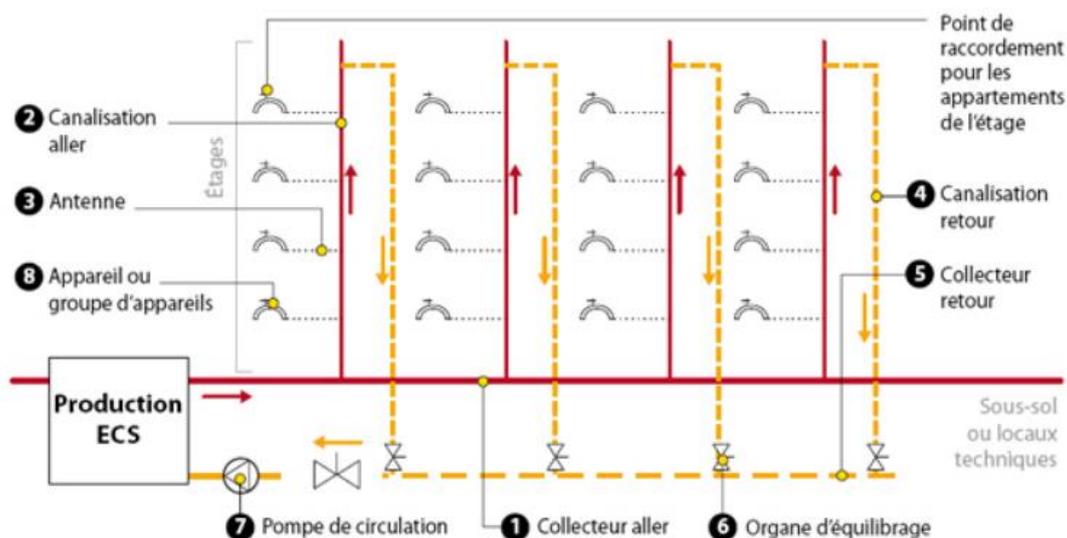
$$T_{EF\text{mois}} = \frac{T_{ext\text{mois}} + T_{ext\text{année}}}{2}$$

En phase de faisabilité avancée, il sera nécessaire de connaître avec précision l'approvisionnement en eau froide du site, car c'est un paramètre sensible pour le dimensionnement de l'eau chaude sanitaire.

6.3.3.2. Bouclage

Dans une installation d'eau chaude sanitaire, un bouclage est mis en place pour des raisons d'hygiène et de confort. Il s'agit de faire circuler l'eau en permanence dans les canalisations en circuit fermé, tant que l'utilisateur n'utilise pas directement l'eau chaude. L'eau est ainsi maintenue à température élevée en tout point du réseau. Cela permet d'empêcher la prolifération de légionnelles et d'obtenir instantanément de l'eau chaude en tout point.

Schéma de principe d'une installation d'ECS avec boucles et collecteurs



Le système de bouclage a toutefois l'inconvénient d'induire d'importantes pertes thermiques au système (la réglementation impose que le bouclage soit maintenu au-dessus de 50°C en tout point de la boucle). Ces pertes sont proportionnelles à la longueur du réseau et à son isolation. Elles ne peuvent pas être connues en détail avant d'avoir établi précisément les caractéristiques du réseau ECS de l'ensemble du site. En phase d'avant-projet détaillé, **il est essentiel de minimiser la longueur du réseau et de faire une isolation de bonne qualité.** Par exemple, l'adoption d'épaisseurs de calorifuge répondant aux exigences de la classe 6 de la norme NF EN 12828 au lieu d'une classe 2 permet une division par deux des pertes de boucle.

Après la comptabilisation des pertes thermiques de bouclage, le taux de couverture solaire peut être dégradé. Pour représenter l'apport solaire par rapport aux besoins totaux en énergie du système ECS, on parle de **taux d'économie d'énergie.**

6.3.3.3. Simulation

Le dimensionnement de l'installation est réalisé à partir du logiciel SOLO 2018. Les hypothèses suivantes sont effectuées :

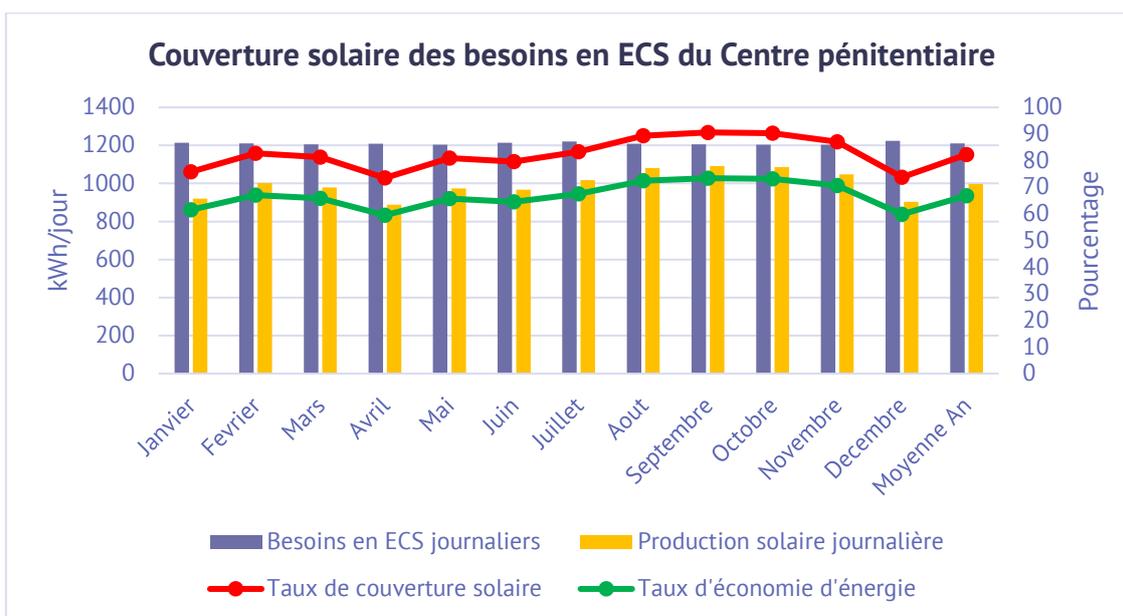
- Utilisation de modules solaires thermiques HELIOFRANCE – Copernic H272 (fiche technique en annexe)
- Orientation : Sud. La Guyane se situe à proximité de l'équateur. Par conséquent, le soleil se situe haut dans le ciel et il n'y a pas d'orientation privilégiée pour la pose des modules, du moment que l'inclinaison est faible.
- Inclinaison : 5°. Une inclinaison de 5° est choisie pour favoriser le ruissellement de l'eau et limiter l'encrassement.
- Température d'eau froide issue de la méthode ESM2 décrite précédemment.
- Type d'installation : circulation forcée du fluide caloporteur à l'aide de pompes + échangeur extérieur au ballon.
- Bouclage court et bien isolé

Centre pénitentiaire :

Le dimensionnement pour obtenir un optimum est obtenu avec les paramètres suivants :

Nombre de modules	160
Surface des modules	435 m²
Volume de stockage	30 m³

Voici les résultats obtenus (le détail se trouve en Annexe) :



Ce dimensionnement permet d'obtenir un **taux de couverture solaire annuel de 82%**. Suites aux pertes de réseau, on obtient finalement un **taux d'économie d'énergie annuel de 67%**, avec des pics à 73% selon les mois. Le système solaire permet de produire **363,7 MWh d'énergie par an**.

6.3.4. Mise en œuvre

Il est préconisé de séparer les lieux de productions comprenant les panneaux solaires et les ballons de stockage et de les répartir au plus près des besoins. Ainsi les panneaux solaires doivent être installés en toiture des bâtiments, dans la mesure où la réglementation du centre le permet. Les panneaux solaires doivent éviter les ombrages de la végétation alentour, des bâtiments voisins et des éléments de toiture. Les panneaux solaires thermiques ne rentreront pas en compétition avec les modules photovoltaïques.

6.3.5. Analyse économique

- Cette analyse économique se base sur les ordres de grandeurs classiques observés sur des installations de ce type. Les investissements prennent en compte l'augmentation des coûts généralement observée en Guyane par rapport à la métropole. Toutefois, seule une étude de faisabilité détaillée pourra apporter des garanties sur le cout d'investissement réel. Les coûts d'acheminement du matériel ne sont pas considérés ainsi que d'éventuelles subventions.
- La TVA ne s'applique pas en Guyane.
- Un taux de fonds propres de 100% a été considéré.
- L'économie a été calculée par rapport à une solution au fuel (118€/MWh_{PCS})

Investissement	550 000 €
Economie énergétique	364 MWh/an
Economie sur la facture d'énergie	43 000 €/an
Maintenance et coûts de fonctionnements	5 000 €/an
Temps de retour sur investissement brut	15 ans

6.4. CONCLUSION

En définitive, il semble pertinent d'installer un système de production d'ECS solaire pour le centre pénitentiaire de Saint Laurent du Maroni. Cette étude s'est concentrée sur les besoins dans l'enceinte pénitentiaire, qui sont majoritaires. Il est possible d'atteindre un **taux de couverture solaire annuel de 82%** et un **taux d'économie sur l'énergie total de 67%** à l'aide de **435 m² de panneaux solaires et 30 m³ de stockage**. De plus, l'installation est **rentable en 15 ans**, grâce aux économies faites sur l'énergie fossile (fioul utilisé comme référence).

Les résultats sont positifs et témoignent d'un contexte favorable à l'implantation de solaire thermique sur le site. Ils sont obtenus grâce à un fort ensoleillement et à des besoins faibles du fait des températures élevées toute l'année.

Lors des étapes suivantes de la réalisation du projet, il faudra être particulièrement attentif à quelques points. Il faut déterminer précisément la **source d'eau froide du site et sa température** afin de dimensionner correctement l'installation. Le réseau hydraulique intégrant le bouclage devra être **le plus court possible et bien isolé**, pour limiter les pertes thermiques de réseau, potentiellement très importantes. Pour cela, il est pertinent de diviser les systèmes de productions et de les placer à proximité des lieux de consommations.

7. LISTE DES ANNEXES

7.1. DIMENSIONNEMENT RESEAU TYPE – MAISON D'ARRET 600 PLACES

7.2. SOLAIRE THERMIQUE CDO

7.3. SOLAIRE THERMIQUE CDE

7.4. AUDIT TGI BEZIERS

7.5. FACTURE ELECTRIQUE REMIRE MONTJOLY

7.6. FACTURE ELECTRIQUE CENTRE DUCOS

7.7. FACTURE ELECTRIQUE FRANCE METROPOLITAINE

7.8. RELEVES DE CONSOMMATION BAIE MAHAULT

7.9. TARIF VERT EDF GUYANE

7.10. TARIF VERT EDF MARTINIQUE

7.11. SIMULATION PVSYST DU PRODUCTIBLE PHOTOVOLTAÏQUE

7.12. SIMULATION SOLO 2018 DU SOLAIRE THERMIQUE

