

L'Université Méditerranéenne comme Catalyseur de la Rénovation Eco Durable

Audit énergétique : Collecte de données & Recommandations

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis - ENIT

Elaboré par

BEM – Best Engineering & Maintenance

Tunis, Tunisie
Août, 2020

Executive Summary

Energy Audit Report - National Engineering School of Tunis - ENIT Tunisia

An energy audit was performed at the National Engineering School of Tunis (ENIT), describing the current level of the energy situation at ENIT (energy consumption, losses, building envelops...)

Following analyzing the energy situation at ENIT, several recommendations and opportunities for improving energy efficiency and renewable energy applications have been identified. This report illustrates the results of the audit and the recommended measures to achieve energy savings within the university. The recommendations drawn from the energy audit are not the only means by which energy efficiency and renewable energy will be improved in the framework of the project. Other renovation measures will be defined based on surveys on relevant building “passive” renovation solutions and emerging technologies for “active” building renovation in the Mediterranean context.

Following is a summary table including the improvements proposed.

Improvement	Building	Technology	Description
Photovoltaic power plant	Rooftop of the Industrial Engineering Department	Standard PV modules	Total capacity : 80 kW Grid-connected system
Monitoring and Control systems	- Tour Roussel: four classrooms - Central heating room	3S system : Smart Switch Systems	The 3S system allows: - Real-time visualization of energy consumption - Detection of problems - Protection of electrical installations - Remote control of electrical installations - Collect of the history of energy consumption - Data analysis



Med-EcoSuRe

Centralized Technical Management	Industrial Engineering Department: - Building under construction - Solar Energy laboratory - Garden - parking - Solar house (office) - Workshop classroom Administration: - Offices - Meetings room	GTC : Centralized Technical Management	The technical management system allows the management of the buildings including monitoring and logging of parameters (Heating, cooling, lighting...)
Lighting	- Administration - Industrial Engineering Department: Building under construction	LED lighting	LED technology is characterized by : - Longer lifespan than conventional lamps (currently used at ENIT) - Energy Efficient - Instant maximum lighting - Compact lamps - Very low voltage operation - No warm-up time - Shock resistant - Environmentally Safe
Thermal insulation	Administration	Ventilated facades	The system allows the building to be thermally insulated. a physical separation is created between the outside of the façade and the interior wall of the building. This separation creates an open cavity allowing the exchange of the air contained between the wall and the outer cladding.

Table des matières

I.	Audit énergétique à l'ENIT: collecte des données.....	6
II.	Optimisation énergétique des bâtiments pilotes de l'ENIT	7
III.	Installation photovoltaïque.....	9
IV.	Système de monitoring et de commande à distance.....	14
V.	Gestion Technique Centralisée : GTC	16
VI.	Eclairage LED.....	17
VII.	Isolation thermique.....	18
	Annexe 1: Inventaire des bâtiments pilotes de l'ENIT	20
	Annexe 2: Simulation de l'installation PV avec une inclinaison de 15°.....	24
	Annexe 3: Simulation de l'installation PV avec une inclinaison de 20°.....	29

Table des figures

Figure 1: Localisation de l'ENIT (Latitude: 36°49'50.24"N; Longitude 10°8'50.17"E)	6
Figure 2 : Bâtiments de l'ENIT	7
Figure 3: Vue d'ensemble d'implantation des améliorations.....	9
Figure 4: Installation PV administration	10
Figure 5: Principe de fonctionnement du réseau électrique	11
Figure 6: Courbe de production Vs courbe de consommation d'énergie	11
Figure 7: Estimation d'investissement de l'installation PV 80 KW standard.....	12
Figure 8: Hypothèses de production de l'installation PV 80 KW standard.....	13
Figure 9: Retour sur investissement de l'installation PV 80 KW standard	13
Figure 10: Retour sur les hypothèses	14
Figure 11: Le système Smart Switch Systems (3S)	14
Figure 12: Composants des armoires électriques	15
Figure 13: Interface de la plateforme	16
Figure 14: Retour surinvestissement	17
Figure 15: Modélisation façade ventilée	18
Figure 16: Composition de la façade ventilée	19



I. Audit énergétique à l'ENIT: collecte des données

L'École nationale d'Ingénieurs de Tunis - ENIT est une école d'ingénieurs tunisienne, la plus ancienne du pays après l'institut national agronomique de Tunisie. Dépendant de l'université de Tunis - El Manar, elle se situe au sein du campus d'El Manar à Tunis (Figure.1).

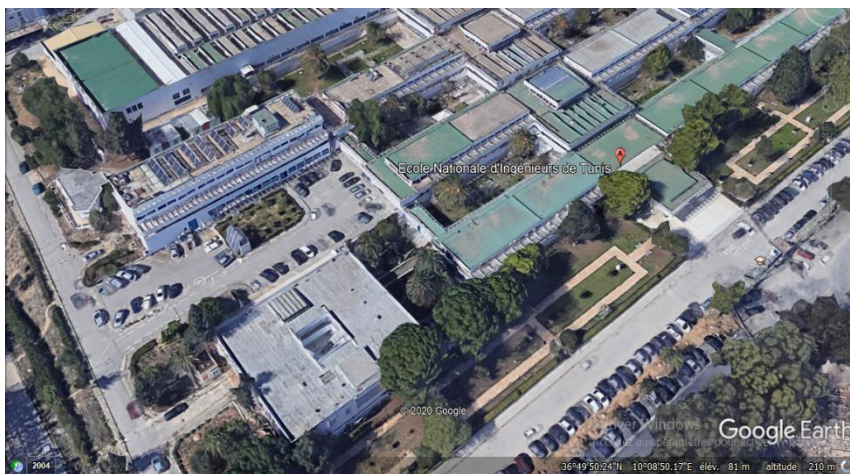


Figure 1: Localisation de l'ENIT (Latitude: 36°49'50.24"N; Longitude 10°08'50.17"E)

Un audit énergétique qui vise à étudier l'ensemble des postes consommateurs d'énergie et à orienter les usagers vers des actions permettant une réduction de leurs consommations a été effectué à l'ENIT.

Les inventaires réalisés sur deux bâtiments à l'ENIT (en **Annexe 1**) concernent :

- L'administration : tous les bureaux
- La tour Roussel : les salles 781, 782, 792 et 793

Ces inventaires incluent par salle :

- Les prises
- Les tubes Néon
- L'éclairage extérieur
- Les lampes normales
- Les climatiseurs
- Les autres équipements (réfrigérateurs, imprimantes, etc.)
- Les jours de travail
- Les heures de fonctionnement
- Les disjoncteurs

II. Optimisation énergétique des bâtiments pilotes de l'ENIT

Le projet d'optimisation énergétique au sein de l'ENIT a pour objet l'identification des projets pilotes d'économie d'Énergie qui vont être mis en place ainsi que la conception/étude d'un système de monitoring et mesure afin d'évaluer l'impact de ces mesures.

Le graphique ci-dessous (Figure.2) illustre les modélisations 3D ainsi que l'ensemble des départements/bâtiments pilotes (objet d'optimisation énergétique) de l'ENIT.

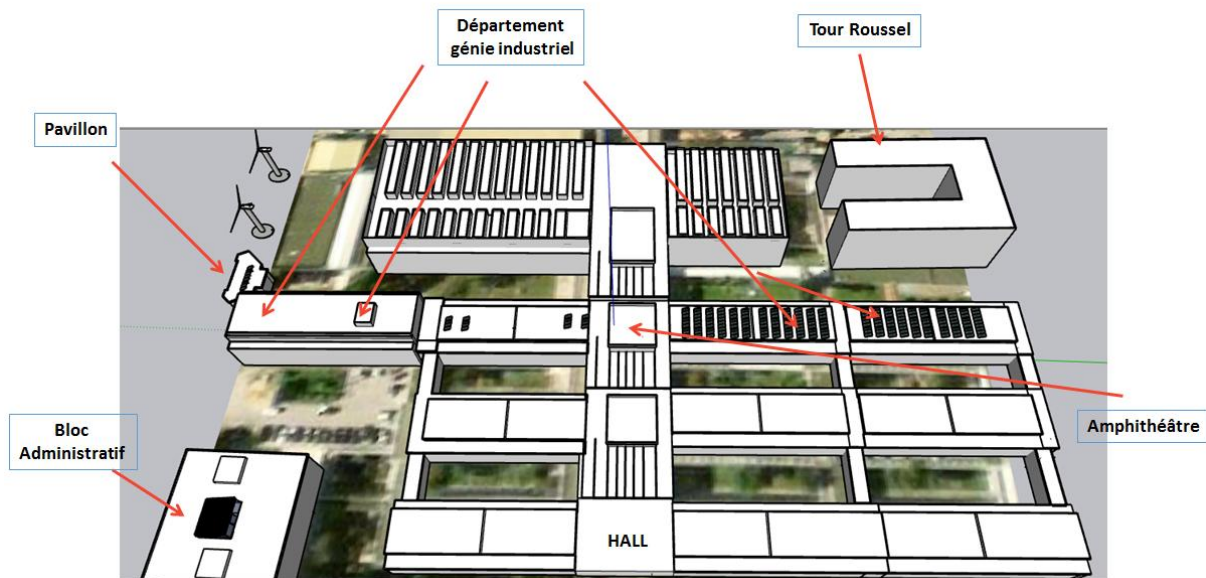


Figure 2 : Bâtiments de l'ENIT

1. Améliorations proposées

Les améliorations proposées sont les suivantes :

- Installation photovoltaïque d'une puissance totale de 100 kWc répartis de la manière suivante :
 - 80 KWc de modules PV standards
 - 20 KWc dans une solution de micro-réseaux
- Installation d'un système de monitoring à distance (3G & WIFI) pour l'ensemble des locaux cités dans ce rapport ;
-



Med-EcoSuRe

- Installation d'un système GTC (Gestion Technique Centralisée) qui va permettre de gérer les micros-réseaux photovoltaïque ainsi que de regrouper la visualisation et la commande de l'ensemble des locaux qui vont être reliés à ce système;
- Etude d'un système d'isolation qui va permettre de diminuer la consommation électrique dans l'ancienne administration;
- Etude de rentabilité de l'éclairage LED dans l'ensemble des locaux qui vont être cités dans ce rapport.

Les locaux qui vont être traités dans ce rapport sont :

- Administration :
 - Bureau Secrétaire général
 - Bureau assistante SG
 - Salle de conseil
 - Bureau d'ordre
 - Bureau concours National
 - Bureau directeur et son assistante
 - Directeur des stages
 - Bureau secrétaire directeur des stages
- Tour :
 - Salle 781
 - Salle 782
 - Salle 792
 - Salle 793
- Département génie industriel :
 - Nouveaux bureaux
 - Laboratoire Energie solaire
 - Jardin
 - Pavillon
 - Laboratoire 304
- 1 Amphithéâtre

III. Installation photovoltaïque

Cette partie présente l'étude de l'installation photovoltaïque qui aura une puissance totale de 100 KWc et qui va être réparti comme suit :

- Une installation classique de puissance 80 KWc (198 panneaux)
- 3 installations de puissance unitaire 3KWc (8 panneaux pour chaque installation)
- Une installation de puissance 12 KWc (32 panneaux Glass-Glass)
- Deux éoliennes à axe horizontal de puissance unitaire 1 KWc

Le graphique ci-dessous (Figure.3) illustre les modélisations 3D ainsi que l'ensemble des bâtiments pilote objets d'optimisation énergétique.

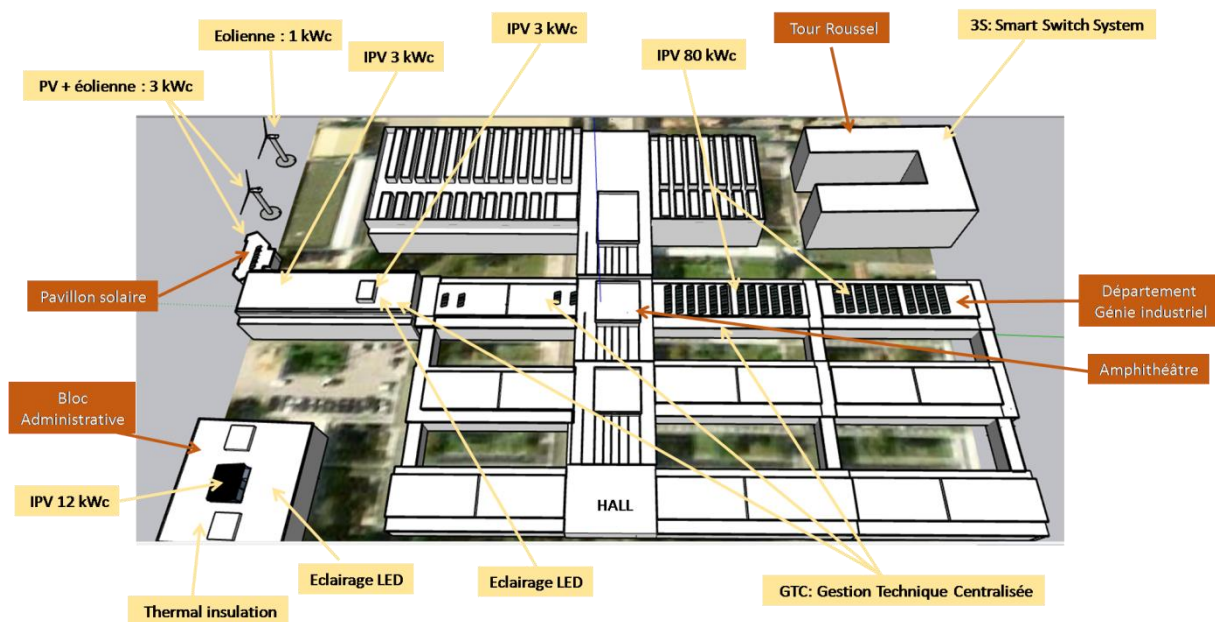


Figure 3: Vue d'ensemble d'implantation des améliorations

1. Installation de puissance 80 KWc

Cette installation sera réalisée sur les toitures du département « Génie Industriel » et elle sera composée de 198 Panneaux.



2. Installation de puissance 12,8 KWc

Cette installation sera réalisée sur la toiture de l'administration et elle sera composée de 32 panneaux avec la technologie « Glass-Glass ». L'installation aura une inclinaison spécifique de 20° Vs 30° vu qu'elle va couvrir l'actuel patio de l'administration qui s'étale sur 64 m² comme le montre la (Figure.4).

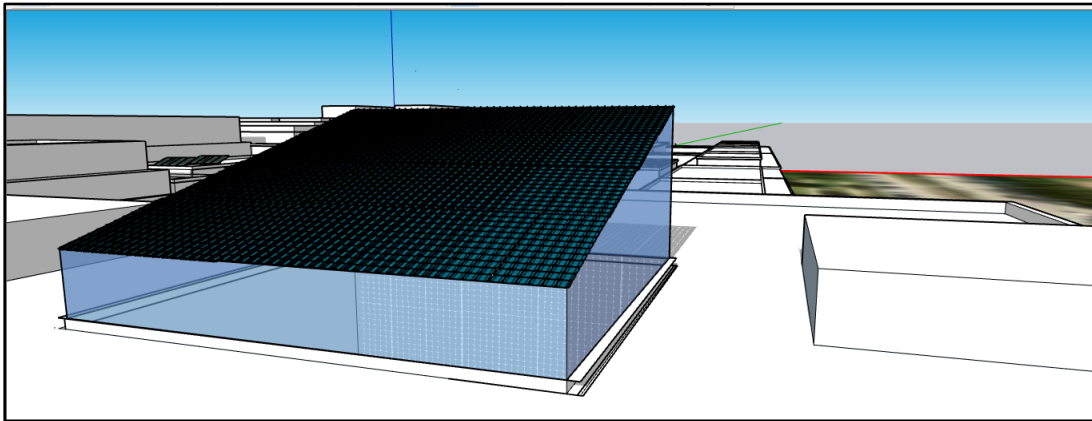


Figure 4: Installation PV administration

Afin d'évaluer l'impact de l'inclinaison sur le rendement de l'installation, trois simulations ont été réalisées avec 3 inclinaisons différentes : 15°, 20° et 30°. Il a été conclu que la différence n'est pas significative (Cf. **Annexe 2, 3 et 4** pour les détails des simulations)

Inclinaison (°)	Energie produite (MWh/an)
15	21.24
20	21.61
30	21.95

3. Installation hybride munie de micro-réseaux intelligents

Trois installations séparées, de 3KWc chacune, seront installés sur les toitures du département « Génie Industriel » qui seront épaulés par deux éoliennes afin de fournir de l'électricité pour les blocs administratifs ainsi que l'éclairage extérieur. Ces installations seront interconnectées grâce à une plateforme de micro-réseaux intelligents.

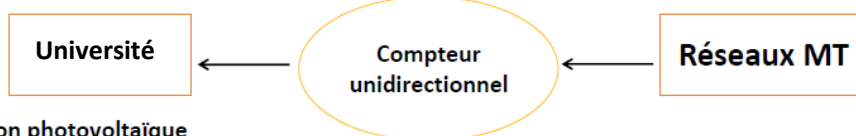


4. Principe de fonctionnement des installations photovoltaïque

Les installations photovoltaïques détaillés dans les paragraphes ci-dessus seront interconnectés grâce à la GTC (Gestion Technique Centralisée) qui sera installée à L'ENIT et grâce à ce système intelligent les seuils de fonctionnement entre les différents micro-réseaux ainsi que la consommation achetée/vendu par chaque installation seront affichés en temps réel et les paramètres de fonctionnement peuvent être modifiés via la même interface.

Le graphique ci-dessous (Figure.5) explique le mode de fonctionnement du réseau électrique avant et après l'installation des micro-réseaux alimentés par les panneaux photovoltaïque.

- Avant installation photovoltaïque



- Après installation photovoltaïque

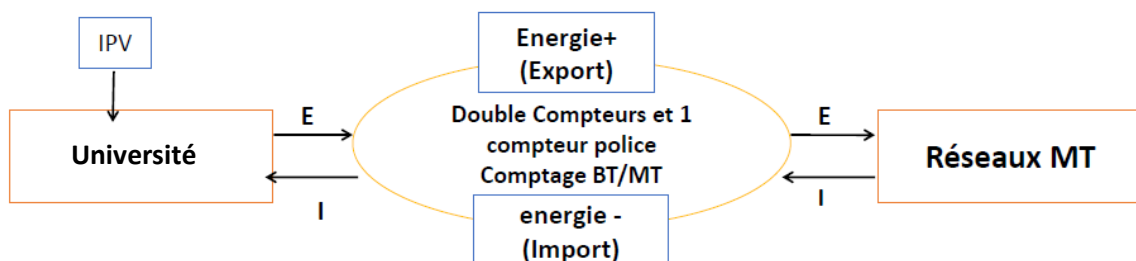


Figure 5: Principe de fonctionnement du réseau électrique

La figure ci-dessous (Figure.6) présente l'évolution de la courbe de production d'énergie par rapport à la courbe de consommation suite à la mise en place de l'installation PV de 80 KWc.

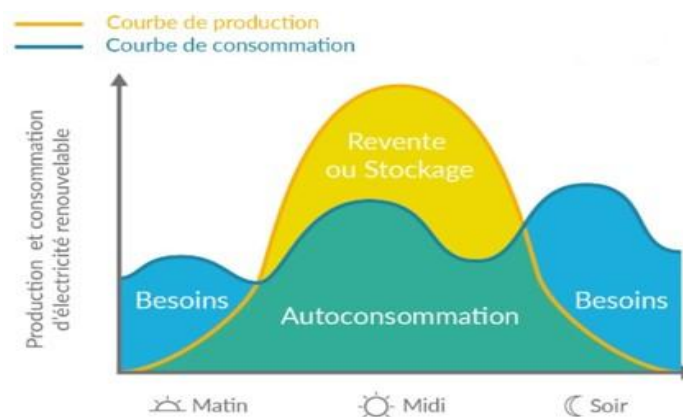


Figure 6: Courbe de production Vs courbe de consommation d'énergie



5. Estimation et choix technique

L'estimation et les choix technique du matériel utilisés dans le tableau ci-dessous (Figure.7) ont été fournis par l'installateur de photovoltaïque **Sunrise Concept** (rendement, perte, technologie, etc.)

La solution photovoltaïque de 80 KWc sera composée de :

- 254 modules solaires Mono HalfCut 405W chacun de la marque, avec tolérance uniquement positive,
- Un onduleur de puissance unitaire 87 KWc (Extensible à 130,5 KWc)
- Un système de monitoring intégré dans l'onduleur (via la plateforme KAKO)
- Trois onduleurs de puissance unitaire 3,3 KWc
- Un onduleur de puissance unitaire 12,5 KWc
- Des structures en Aluminium et visserie 100% INOX
- Des armoires de protections :
 - DC pour la partie courant continue
 - AC pour la partie courant alternatif
- Les câbles et les connecteurs nécessaires à liaison des différents organes selon les normes en vigueur
- Des coffrets de Protection
- Installation de mise à la terre

Désignation	Unité	QTE	Prix unitaire en HT	Prix total en HT	TVA	
Panneaux photovoltaïques JONSOL JSM144 405Wc	Pcs	254	500,000	127 000,000	7%	8 890,000
Onduleur KACO blueplanet 87,0 TL3 87 kw	Pcs	1	29 500,000	29 500,000	7%	2 065,000
Armoire de protection DC	Pcs	1	4 950,000	4 950,000	19%	940,500
Armoire de protection AC	Pcs	1	5 600,000	5 600,000	19%	1 064,000
Onduleur ABB 3,3 Kw	Pcs	3	2 600,000	7 800,000	7%	546,000
Onduleur ABB 12,5 Kw	Pcs	1	6 487,000	6 487,000	7%	454,090
Coffret de protection DC	Pcs	5	420,000	2 100,000	19%	399,000
Coffret de protection AC	Pcs	4	480,000	1 920,000	19%	364,800
structure Aluminium avec visserie INOX	lot	1	43 180,000	43 180,000	19%	8 204,200
Petits Matériels d'installations & cablage	lot	1	45 720,000	45 720,000	19%	8 686,800
Installation & mise en service	lot	1	20 320,000	20 320,000	19%	3 860,800
PRIX TOTAL HT (DT)						294 577,000
TOTAL TVA (DT)						35 475,190
Timbre Fiscale (DT)						0,600
Net A Payer (DT)						330 052,790
subvention ANME (DT)						58 915,400
Prix HT après Subv(DT)						235 661,600
Prix TTC de l'IPV (DT)						271 137,390

Figure 7: Estimation d'investissement de l'installation PV 80 KW standard



6. Retour sur investissement

Afin d'évaluer l'intérêt des installations photovoltaïques une simulation a été effectuée pour calculer le retour sur investissement en se basant sur les hypothèses suivantes (Figure.8) :

Puissance de la CPV (kWc)	102,87
Cout de l'installation (HTDT)	235 661,6
Consommation annuelle (kWh)	164 592,0
Production annuelle (kWh/kWc)	1650
Production annuelle du système (kWh)	169 735,5
Tarif STEG Uniforme HT (DT/kWh)	0,256
Cout de maintenance annuelle (%)	3%
Augmentation annuelle Tarif STEG (%)	10%

Figure 8: Hypothèses de production de l'installation PV 80 KW standard

Le tableau ci-dessous (Figure.9) nous donne un aperçu sur le retour sur investissement.

Ans	Rendement annuelle	Production annuelle (kWh)	Prix kWh Uniforme en HTDT	Cout de Maintenance en DT	Montant facture STEG sans PV (DT)	Montant facture STEG avec PV (DT)	Gain par ans (DT)	Gain cumulé (DT)	RSI (DT)
1	100,0%	169735,5	0,256	-	42 135,6	- 1 316,7	43 452,3	43 452,3	- 192 209,3
2	99,1%	168207,9	0,282	-	46 349,1	- 1 448,4	47 797,5	91 249,8	- 144 411,8
3	98,2%	166694,0	0,310	7 069,8	50 984,0	5 476,6	45 507,4	136 757,2	- 98 904,4
4	97,3%	165193,8	0,341	7 423,3	56 082,4	5 670,8	50 411,7	187 168,9	- 48 492,7
5	96,4%	163707,0	0,375	7 794,5	61 690,7	5 866,7	55 824,0	242 992,9	7 331,3
6	95,6%	162233,7	0,412	8 184,2	67 859,7	6 063,6	61 796,1	304 789,0	69 127,4
7	94,7%	160773,6	0,454	8 593,4	74 645,7	6 260,8	68 384,9	373 173,9	137 512,3
8	93,9%	159326,6	0,499	9 023,1	82 110,3	6 457,2	75 653,1	448 827,0	213 165,4
9	93,0%	157892,7	0,549	9 474,3	90 321,3	6 651,7	83 669,6	531 496,6	295 835,0
10	92,2%	156471,6	0,604	9 948,0	99 353,4	6 843,2	92 510,2	624 006,8	388 345,2
11	91,4%	155063,4	0,664	10 445,4	109 288,8	7 030,1	102 258,7	726 265,5	490 603,9
12	90,5%	153667,8	0,730	10 967,7	120 217,6	7 210,9	113 006,8	839 272,3	603 610,7
13	89,7%	152284,8	0,803	11 516,0	132 239,4	7 383,6	124 855,9	964 128,1	728 466,5
14	88,9%	150914,2	0,884	12 091,8	145 463,4	7 546,1	137 917,2	1 102 045,4	866 383,8
15	88,1%	149556,0	0,972	12 696,4	160 009,7	7 696,1	152 313,6	1 254 358,9	1 018 697,3
16	87,3%	148210,0	1,069	13 331,3	176 010,7	7 830,9	168 179,7	1 422 538,7	1 186 877,1
17	86,5%	146876,1	1,176	13 997,8	193 611,7	7 947,4	185 664,3	1 607 202,9	1 371 541,3
18	85,8%	145554,2	1,294	14 697,7	212 972,9	8 042,3	204 930,6	1 812 133,5	1 576 471,9
19	85,0%	144244,2	1,423	15 432,6	234 270,2	8 111,6	226 158,5	2 038 292,1	1 802 630,5
20	84,2%	142946,0	1,566	16 204,2	257 697,2	8 151,2	249 546,0	2 287 838,1	2 052 176,5
21	83,5%	141659,5	1,722	17 014,4	283 466,9	8 156,1	275 310,8	2 563 148,9	2 327 487,3
22	82,7%	140384,6	1,894	17 865,2	311 813,6	8 121,0	303 692,6	2 866 841,6	2 631 180,0
23	82,0%	139121,1	2,084	18 758,4	342 995,0	8 039,8	334 955,2	3 201 796,7	2 966 135,1
24	81,2%	137869,0	2,292	19 696,3	377 294,5	7 905,9	369 388,6	3 571 185,3	3 335 523,7
25	80,5%	136628,2	2,522	20 681,1	415 023,9	7 711,7	407 312,3	3 977 497,6	3 741 836,0
26	79,8%	135398,6	2,774	21 715,2	456 526,3	7 448,8	449 077,6	4 426 575,1	4 190 913,5
27	79,1%	134180,0	3,051	22 801,0	502 178,9	7 107,9	495 071,1	4 921 646,2	4 685 984,6
28	78,3%	132972,4	3,356	23 941,0	552 396,8	6 678,6	545 718,2	5 467 364,4	5 231 702,8
29	77,6%	131775,6	3,692	25 138,1	607 636,5	6 149,4	601 487,1	6 068 851,5	5 833 189,9
30	76,9%	130589,6	4,061	26 395,0	668 400,2	5 507,5	662 892,7	6 731 744,3	6 496 082,7

Figure 9: Retour sur investissement de l'installation PV 80 KW standard



Sur la base du calcul détaillé ci-dessous (Figure.10) le retour sur investissement est de 4 ans et le coût moyen de production de 1 KWc sur un délai moyen de 25 ans est de 0.053 TND.

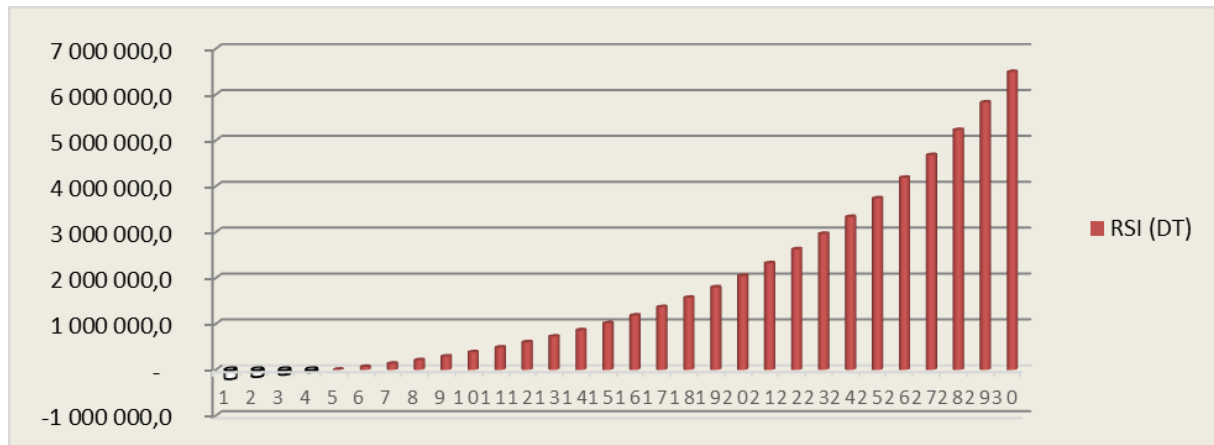


Figure 10: Retour sur les hypothèses

IV. Système de monitoring et de commande à distance

Vu l'étendu de l'école (9 hectares), le nombre de bâtiment et l'état actuel des installations électrique et afin de permettre au personnel de la maintenance de contrôler les installations, suivre la consommation et même commander à distance il a été proposé d'installer un système de monitoring et de contrôle à distance via Smart Switch Systems.

Lesystème proposé (Figure.11) va permettre aux personnes concernées la récupération des données liées à la consommation et construire un plan d'action d'économie d'énergie.

Nous proposons diverses solutions intelligentes offrant:

Une protection totale pour votre réseau

Du comptage intelligent

Analyse de données

Du contrôle à distance

Une surveillance de votre installation.



Figure 11: Le système Smart Switch Systems (3S)



L'installation du système 3S se fera dans les locaux suivants :

- Local Chaufferie
- Tour Roussel :
 - Salle 781
 - Salle 782
 - Salle 792
 - Salle 793

Le système 3S (Figure.12) va permettre de visualiser en temps réel la consommation, de détecter les problèmes, protéger les installations électriques et commander à distance les installations électriques.

Chaque local cité dans le paragraphe ci-dessus va être équipé d'un coffret électrique avec trois disjoncteurs :

- Climatisation
- Eclairage
- Prises électriques

Avant d'entamer les travaux d'installation du système 3S une mise à niveau des installations électriques sera nécessaire.

Disjoncteurs & Compteurs intelligents

Notre gamme de produits vous procure

- Une surveillance des paramètres électriques en temps réel
- Système de facturation et paiement en ligne
- Télécommande et verrouillage à distance
- Protection complète



Figure 12: Composants des armoires électriques



Le système 3S est équipé d'une plateforme multifonctions de monitoring et de commande à distance dont l'interface est représentée par la (Figure.13) ci-dessous.

Plateforme multi-fonctions

Monitoring

Temps réel

Detection des
anomalies

Historique de la
consommation



Commande à
distance

Analyse des
données

Commande
automatique et
à distance

Figure 13: Interface de la plateforme

L'estimation du coût de l'installation 3S est la suivante :

- Mise à niveau électrique partielle pour préparer les coffrets électriques pour les 4 bâtiments cités dans les paragraphes précédents : 20 KTND
- Installation des systèmes 3S dans tous les locaux (15 armoires divisionnaires)
 $15 \times 4 \text{ KTND} = 60 \text{ KTND}$

V. Gestion Technique Centralisée : GTC

Afin d'optimiser les consommations dans le nouveau bâtiment (administration) et afin de montrer l'efficacité des systèmes de supervision automatisé il a été proposé d'installer un système de GTC (Gestion Technique Centralisée).

Le système de gestion technique proposé a pour objectif d'automatiser la conduite, le monitoring et l'historisation des paramètres, des états variables physiques liés à des équipements techniques du bâtiment tels que le chauffage, la climatisation, l'éclairage ou la sécurité.

La GTC permet :

- La détection et la gestion des alarmes
- L'acquisition, la récolte et le conditionnement des données (numériques, analogiques ou TOR)
- La détection des changements d'états et des événements préconfigurés
- L'automatisation des actions, etc.
- L'action à distance par télégestion

VI. Eclairage LED

Dans la même optique de rationalisation de la consommation électrique il a été convenu de se tourner vers l'éclairage LED. Le tableau (Figure.14) illustre la simulation et l'étude d'impact du remplacement des tubes Néon (remplacement STD sans aucun changement sur l'installation actuelle) par un éclairage LED.

Le calcul a été fait en se basant sur les données techniques des produits Tube LED.

		NEON 120	NEON 60	ECLAIRAGE EXTERIEUR	LAMPE NORMALE
ANCIENNE ADMINISTRATION	TOTAL	73	24	4	57
	PUISSANCE ACTUEL W	36	18	500	100
	PUISSANCE LED W	18	9	30	11
	H FONCT (12h/Jour)	4380	4380	4380	4380
	PUISS CONS N	11510640	1892160	8760000	24966000
	PUISS CONS LED	5755320	946080	525600	2746260
	COUT ECLAI ACT	3453,192	567,648	2628	7489,8
	COUT ECLAI LED	1726,596	283,824	157,68	823,878
TOUR	SAVING	1726,596	283,824	2470,32	6665,922
	TOTAL SAVING TND	11146,662			
LABO NRJ SOLAIRE					

Figure 14: Retour surinvestissement



Le retour d'investissement sur l'éclairage LED avec les prix actuels du matériels et le coût relativement cher de l'électricité ne va pas dépasser une année, à titre indicatif le prix moyen d'un tube LED 120cm ne dépasse pas les 15 dinars actuellement sur le marché.

VII. Isolation thermique

D'une façon générale, l'ensemble des bâtiments de l'ENIT nécessite une mise à niveau et le remplacement des anciennes fenêtres en bois et même les fenêtres en Aluminium récemment installées par des fenêtres avec un double vitrage et une bonne isolation thermique (PVC ou autres) vu qu'elles représentent des ponts thermiques.

Dans le cadre de ce projet nous une étude pour surl'administration sera effectuée afin de discuter l'éventuelle installation d'une façade ventilée à base d'Alucobon.

Le graphe ci-dessous (Figure.15) illustre le principe de fonctionnement de cette technique d'isolation ainsi que les matériaux qui peuvent être utilisés pour les façades.

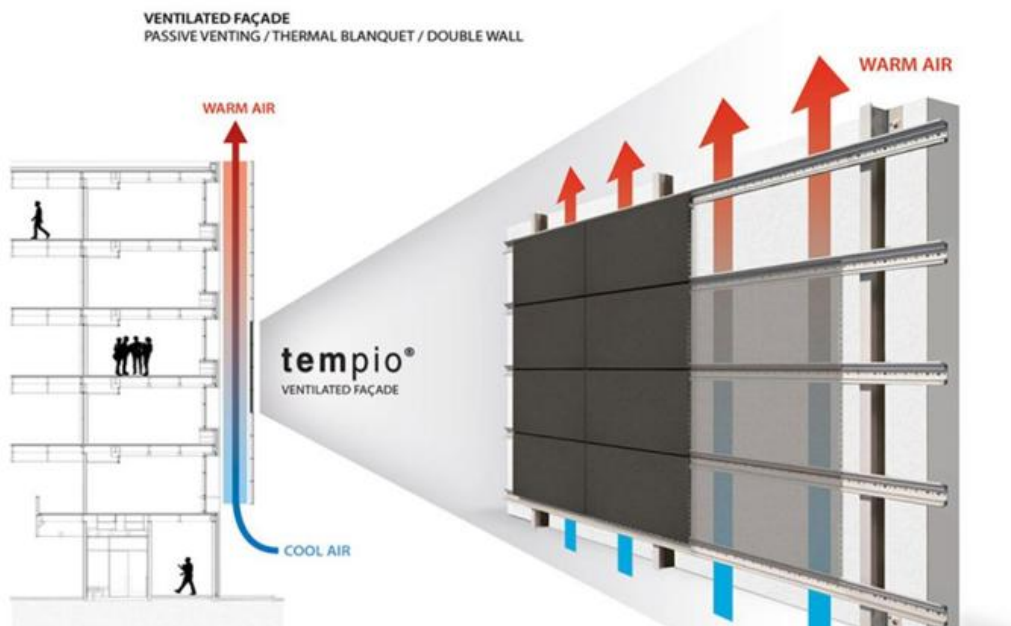


Figure 15: Modélisation façade ventilée



Entre le matériau isolant et le revêtement, il faut laisser une chambre d'air qui, grâce à «l'effet cheminée», active une ventilation naturelle efficace de telle sorte que l'isolation reste sèche et permettra un meilleur bilan énergétique.

La façade ventilée est composée de plusieurs couches comme expliqué dans le schéma ci-dessous (Figure.16).

Une façade ventilée comprend 5 parties principales

- 1 Matériau de base
- 2 Isolant
- 3 Lame d'air
- 4 Ossature
- 5 Panneaux de façades

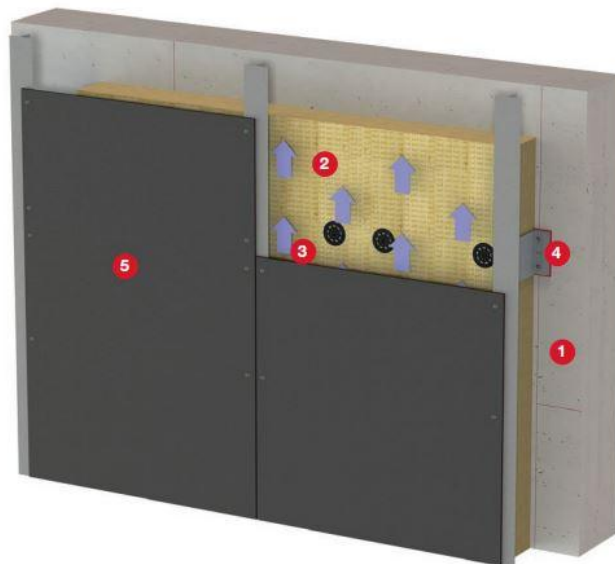


Figure 16: Composition de la façade ventilée

Annexe 1: Inventaire des bâtiments pilotes de l'ENIT

Bâtiment administratif

bureau	Prises	Néon (120)	Néon (60)	Eclairage extérieur	Lampe normale	LED Existants	clim 2000 W	clim 2800 W	clim 3500 W	Autres équipements	Jours de travail	Heures de fonctionnement / jour	Disjoncteurs
Salle de conseil					36				2		6	12	
الكاتب العام	7		8					1	1		6	12	1
salle de cafe الكاتب العام	4				1					frigo et imprimante	6	12	1
bureau d'ordre	5	2	4				1			1 imprimante	6	12	1
bureau de concours national(bureau Nadia)	6		4						1		6	12	1
secrétaire bureau directeur	7		8				2				6	12	1
bureau directeur	15				20				1		6	12	1
secrétaire Direction de stage	2	2	4						1		6	12	1
Directeur Direction de stage	4	4					1				6	12	1
Ecole Doctorale	23	8						1			6	12	1

service master	3	7						1			6	12	1
السحب	6	16						1	1	4 imprimantes	6	12	
امصلحة الدراسات	3	2						1			6	12	1
مصلحة الموظفين	5	18						1			6	12	1
الأرشيف	6	8						1			6	12	1
مصلحة الدراسات الفنية	4	6						1			6	12	1
toilette des femmes			9								6	12	1
responsable ressource humaine	2	6						1			6	12	1
couloire		5									6	12	1
مسؤولية مصلحة التدريس	2	4						1			6	12	1
قاعة الاجتماعات	3		48							3 imprimantes	6	12	1
toilette des hommes	1				2					1 séchoir	6	12	1
رئيس مصلحة التدريس	1	4						1			6	12	1
مسؤولية مصلحة الدراسات	1	4						1			6	12	1
مصلحة المالية	5	4					1				6	12	1
مصلحة المالية	4	4					1				6	12	1
مصلحة الشراء	4	8						1			6	12	1

couloire		3	4								6	12	1
مصلحة المالية	3		8				1				6	12	1
Bureau ENIT info	4	2			4				1		6	12	1
Total		73	24	0	57	0		8	7				14

Salles 781, 782, 792 et 793 de la tour Roussel

Salle	Prises	Neon (120)	Neon (60)	Eclairage exterieur	Lampe normale	LED Existants	clim 2000 W	clim 2800 W	clim 3500 W	Autres équipements	Jours de travail	Heures de fonctionnement / jour	Heures/ an	Disjoncteurs
781	3	8									6	12	26280	1
782	3	8							1		6	12	26280	1
793	3	8							1		6	12	26280	1
792	3	8									6	12	26280	1

Annexe 2: Simulation de l'installation PV avec une inclinaison de 15°



PVSYST V6.81			31/08/20	Page 1/4
Système couplé au réseau: Paramètres de simulation				
Projet : Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT.PRJ				
Site géographique	EI Manar I	Pays	Tunisia	
Situation	Latitude	36.83° N	Longitude	10.15° E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	89 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	EI Manar I	Meteonorm 7.2 (1991-2000), Sat=25% - Synthétique		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
	Date de la simulation	31/08/20 à 19h13		
Paramètres de simulation	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages		
Orientation plan capteurs	Inclinaison	15°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm
Horizon	Pas d'horizon			
Ombrages proches	Sans ombrages			
Besoins de l'utilisateur :	Charge illimitée (réseau)			
Caractéristiques du champ de capteurs				
Module PV	Si-mono	Modèle	Jonsol_JSM_144_MWT405	
Paramètres définis par l'utilisateur		Fabricant	JONSOL	
Nombre de modules PV	En série	16 modules	En parallèle	2 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules	32	Puissance unitaire	405 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	12.96 kWc	Aux cond. de fonct.	11.98 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	590 V	I mpp	20 A
Surface totale	Surface modules	65.7 m²		
Onduleur	Modèle	PVI-12.5-TL-OUTD		
Base de données PVsyst originale	Fabricant	ABB		
Caractéristiques	Tension de fonctionnement	175-850 V	Puissance unitaire	12.5 kWac
Batterie d'onduleurs	Nbre d'onduleurs	1 unités	Puissance totale	12.5 kWac
			Rapport Pnom	1.04
Facteurs de perte du champ PV				
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	477 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	-0.8 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes	0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05



PVSYST V6.81

31/08/20

Page 2/4

Système couplé au réseau: Résultats principaux

Projet : Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT.PRJ

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système

Type de système

Pas de scène 3D, pas d'ombrages

Orientation plan capteurs

inclinaison

15° azimuth 0°

Modules PV

Modèle

Jonsol_JSM_144_MWT405 Pnom 405 Wc

Champ PV

Nombre de modules

32 Pnom total 12.96 kWc

Onduleur

Modèle

PVI-12.5-TL-OUTD Pnom 12.50 kW ac

Besoins de l'utilisateur

Charge illimitée (réseau)

Principaux résultats de la simulation

Production du système

Energie produite 21.24 MWh/an

Productible 1639 kWh/kWc/an

Indice de performance (PR) 85.97 %

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 12.86 kWc

Indice de performance (PR)

Lc: Perte de collection (champ PV)

Ls: Perte système (onduleur, ...)

Yf: Energie utile produite (sortie onduleur)

0.01 kWh/kWp/jr

0.12 kWh/kWp/jr

4.49 kWh/kWp/jr

PR: Indice de performance (Yf/Yi) : 0.860

Nouvelle variante de simulation

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Janvier	72.9	35.14	10.37	94.3	90.6	1.134	1.102	0.902
Février	89.8	38.20	11.20	108.7	105.1	1.297	1.261	0.896
Mars	135.5	58.23	14.28	153.6	148.7	1.805	1.758	0.883
Avril	167.5	71.11	17.09	177.9	172.3	2.061	2.007	0.871
Mai	208.7	65.84	21.47	211.3	205.0	2.389	2.326	0.850
Juin	219.7	81.87	25.33	218.7	212.1	2.450	2.388	0.842
Juillet	238.1	68.00	28.31	239.1	232.3	2.639	2.572	0.830
Août	200.8	74.19	28.11	209.6	203.3	2.328	2.269	0.835
Septembre	150.6	55.11	23.90	166.7	161.6	1.885	1.836	0.850
Octobre	114.3	48.87	21.09	136.0	131.5	1.569	1.528	0.867
Novembre	78.9	33.09	15.77	102.2	98.3	1.201	1.167	0.881
Décembre	66.9	31.58	11.80	88.6	85.0	1.058	1.028	0.895
Année	1743.8	661.24	19.11	1906.5	1845.8	21.817	21.242	0.860

Légendes: GlobHor

DiffHor

T_Amb

GlobInc

Irradiation globale horizontale

Irradiation diffuse horizontale

Température ambiante

Global incident plan capteurs

GlobEff

EArray

E_Grid

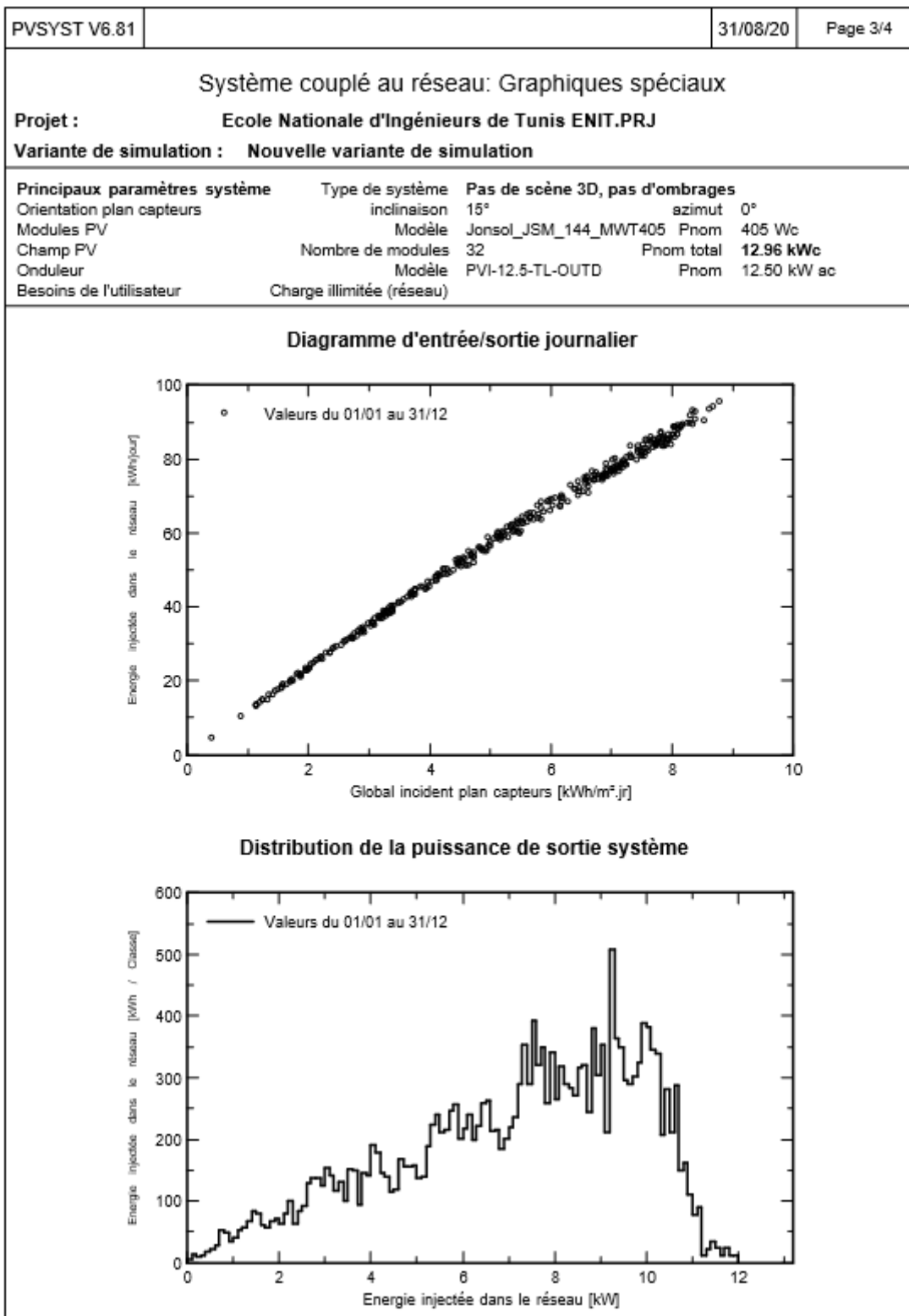
PR

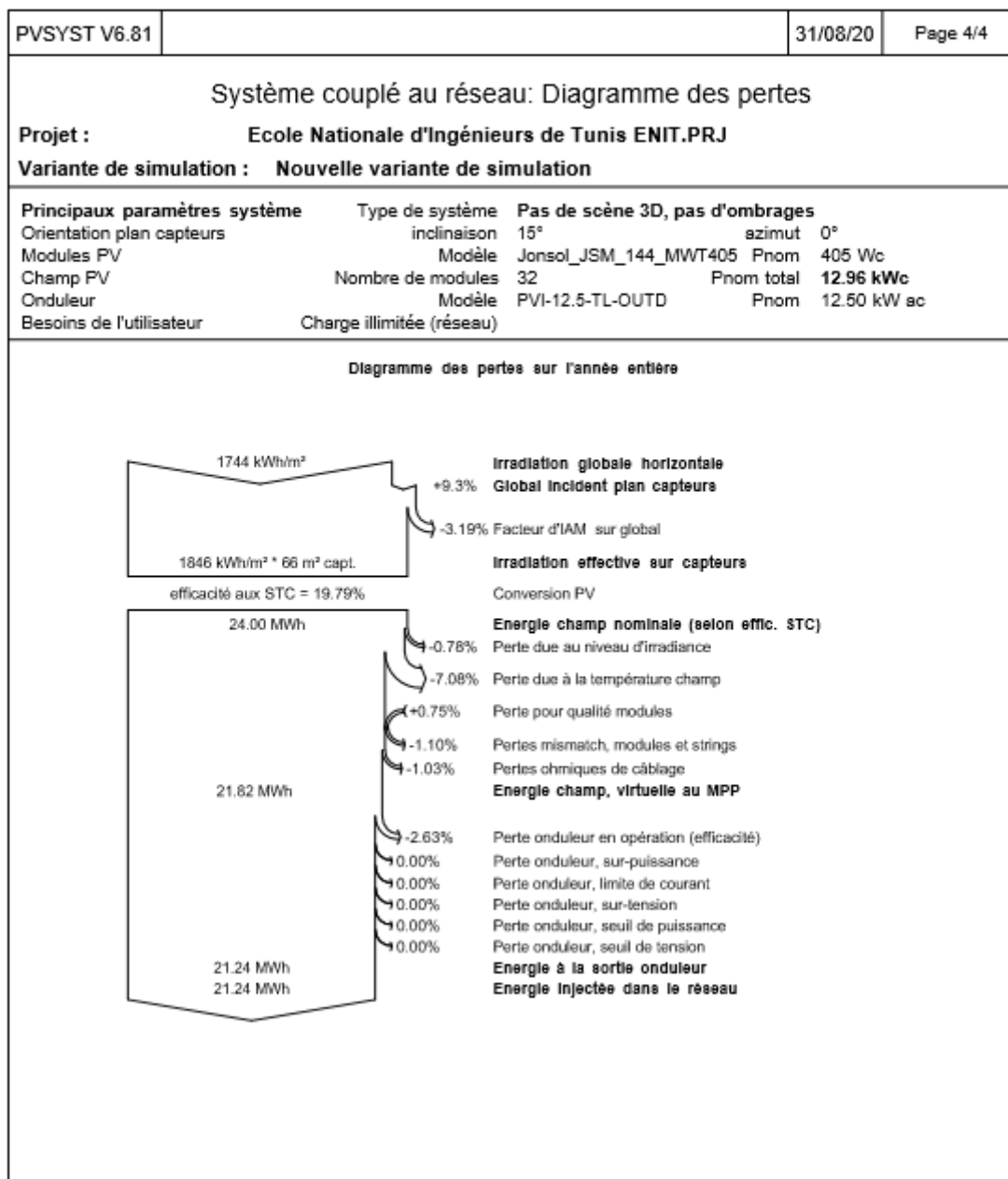
Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages

Energie effective sortie champ

Energie injectée dans le réseau

Indice de performance







Annexe 3: Simulation de l'installation PV avec une inclinaison de 20°



PVSYST V6.81		31/08/20		Page 1/4	
Système couplé au réseau: Paramètres de simulation					
Projet : Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT.PRJ					
Site géographique		El Manar I	Pays	Tunisia	
Situation		Latitude	36.83° N	Longitude	10.15° E
Temps défini comme		Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	89 m
		Albédo	0.20		
Données météo:		El Manar I	Meteonorm 7.2 (1991-2000), Sat=25% - Synthétique		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation					
		Date de la simulation	31/08/20 à 19h12		
Paramètres de simulation		Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages		
Orientation plan capteurs		Inclinaison	20°	Azimut	0°
Modèles utilisés		Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm
Horizon		Pas d'horizon			
Ombrages proches		Sans ombrages			
Besoins de l'utilisateur :		Charge illimitée (réseau)			
Caractéristiques du champ de capteurs					
Module PV		Si-mono	Modèle	Jonsol_JSM_144_MWT405	
Paramètres définis par l'utilisateur			Fabricant	JONSOL	
Nombre de modules PV			En série	16 modules	En parallèle 2 chaînes
Nombre total de modules PV			Nbre modules	32	Puissance unitaire 405 Wc
Puissance globale du champ			Nominale (STC)	12.96 kWc	Aux cond. de fonct. 11.98 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)			U mpp	590 V	I mpp 20 A
Surface totale			Surface modules	65.7 m²	
Onduleur					
Base de données PVsyst originale			Modèle	PVI-12.5-TL-OUTD	
Caractéristiques			Fabricant	ABB	
		Tension de fonctionnement	175-850 V	Puissance unitaire	12.5 kWac
Batterie d'onduleurs			Nbre d'onduleurs	1 unités	Puissance totale 12.5 kWac
				Rapport Pnom	1.04
Facteurs de perte du champ PV					
Fact. de pertes thermiques		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ	477 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte de qualité module				Frac. pertes	-0.8 %
Perte de "mismatch" modules				Frac. pertes	1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings				Frac. pertes	0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05



PVSYST V6.81

31/08/20

Page 2/4

Système couplé au réseau: Résultats principaux

Projet :Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT.PRJ

Variante de simulation :Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système

Type de système

Pas de scène 3D, pas d'ombrages

Orientation plan capteurs

inclinaison

20°

azimut

0°

Modules PV

Modèle

Jonsol_JSM_144_MWT405

Pnom

405 Wc

Champ PV

Nombre de modules

32

Pnom total

12.96 kWc

Onduleur

Modèle

PVI-12.5-TL-OUTD

Pnom

12.50 kW ac

Besoins de l'utilisateur

Charge illimitée (réseau)

Principaux résultats de la simulation

Production du système

Energie produite

21.61 MWh/an

Productible

1667 kWh/kWc/an

Indice de performance (PR)

86.03 %

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 12.96 kWc

Indice de performance (PR)

Lc: Perte de collection (champ PV)

Ls: Perte système (onduleur, ...)

Yf: Energie utile produite (sortie onduleur)

0.02 kWh/kWp/j

0.12 kWh/kWp/j

4.57 kWh/kWp/j

PR: indice de performance (Yf/Yi): 0.860

Légendes: GlobHor

Irradiation globale horizontale

GlobEff

Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages

DiffHor

Irradiation diffuse horizontale

EArray

Energie effective sortie champ

T_Amb

Température ambiante

E_Grid

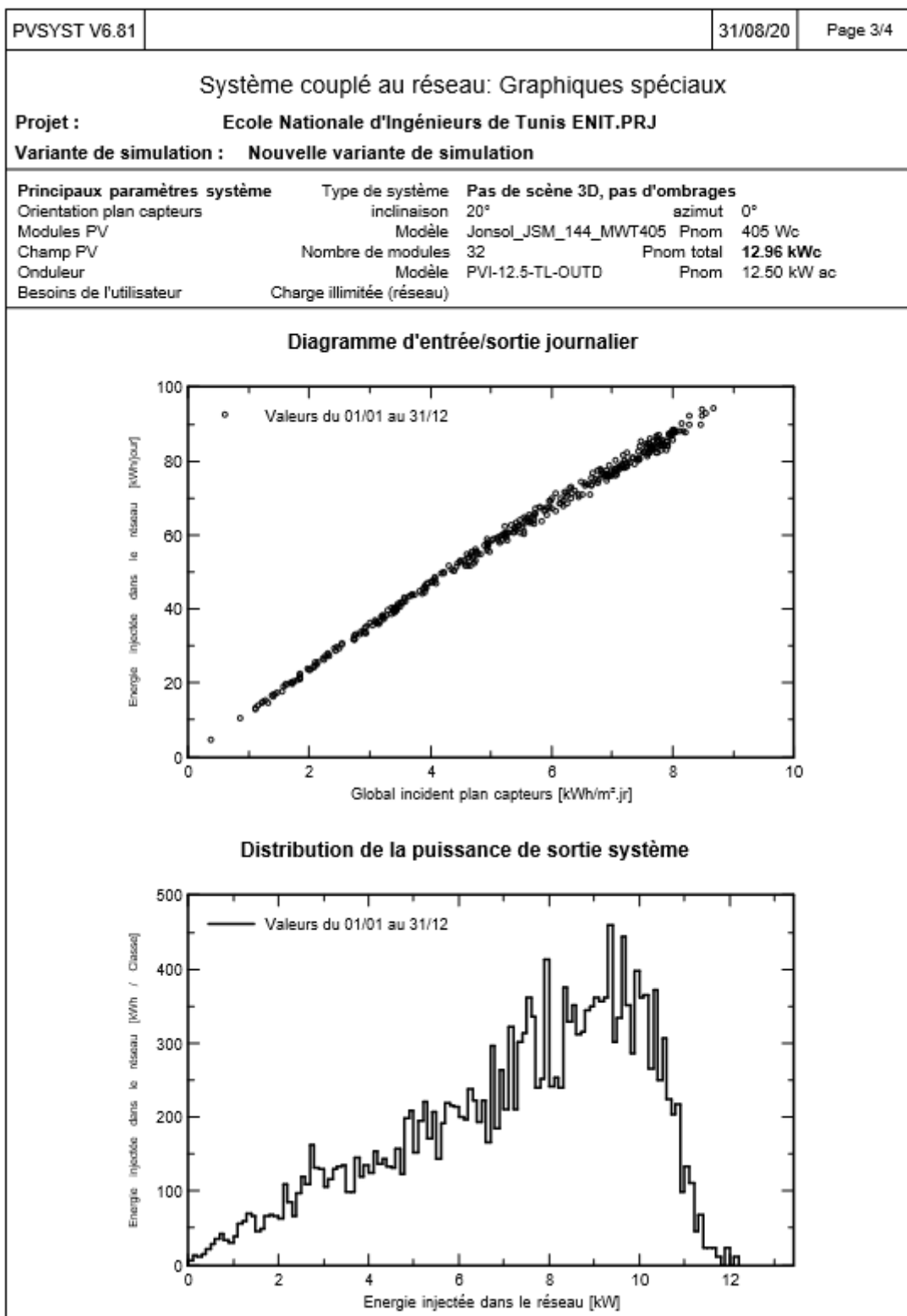
Energie injectée dans le réseau

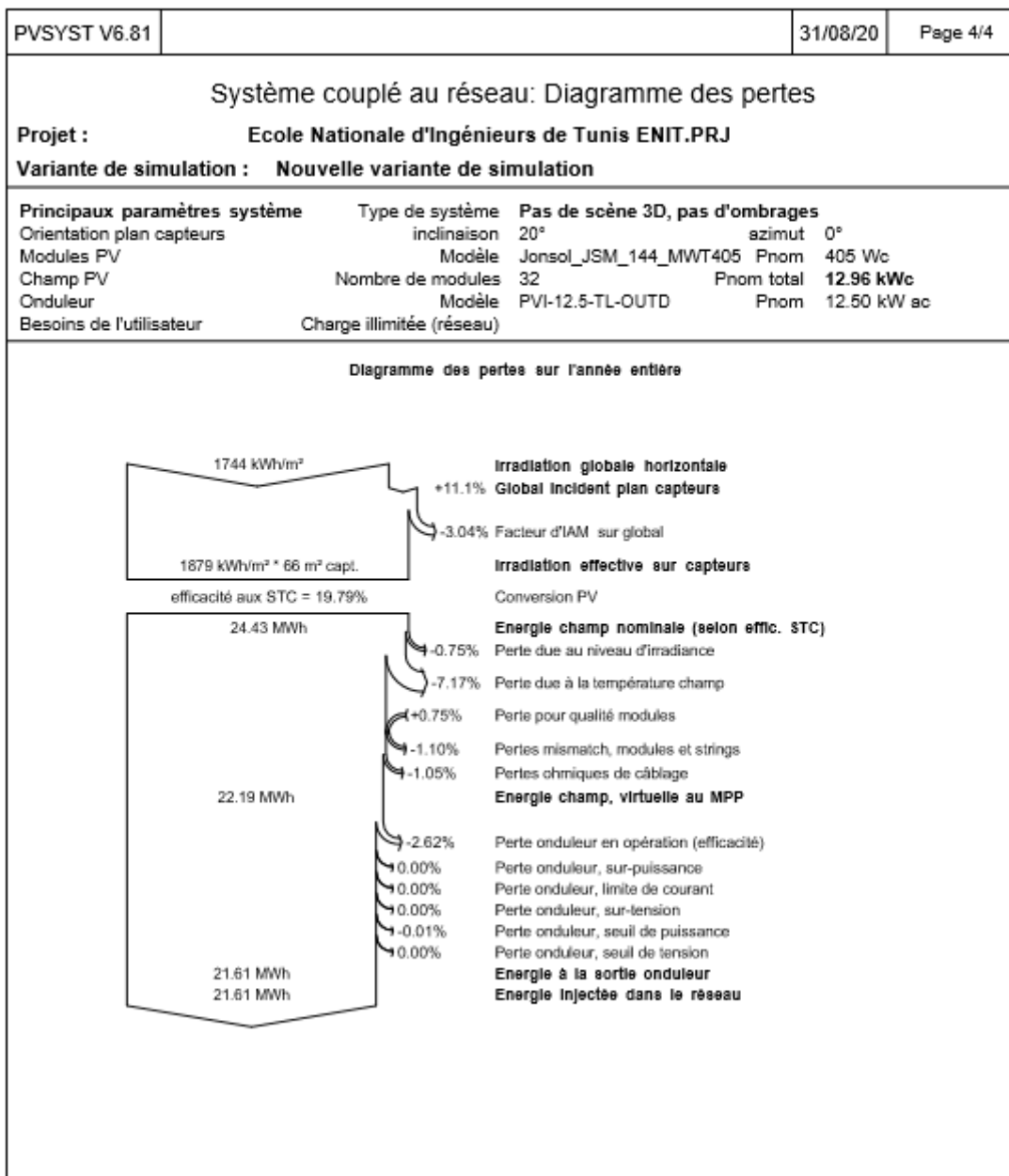
GlobInc

Global incident plan capteurs

PR

Indice de performance







Annexe 4: Simulation de l'installation PV avec une inclinaison de 30°



PVSYST V6.81		31/08/20		Page 1/4	
Système couplé au réseau: Paramètres de simulation					
Projet : Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT.PRJ					
Site géographique		El Manar I		Pays Tunisia	
Situation		Latitude 36.83° N		Longitude 10.15° E	
Temps défini comme		Temps légal		Fus. horaire TU+1	
		Albédo 0.20		Altitude 89 m	
Données météo:		El Manar I		Meteonorm 7.2 (1991-2000), Sat=25% - Synthétique	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation					
		Date de la simulation		31/08/20 à 19h11	
Paramètres de simulation		Type de système		Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs		Inclinaison		30°	
				Azimut 0°	
Modèles utilisés		Transposition		Perez	
				Diffus Perez, Meteonorm	
Horizon		Pas d'horizon			
Ombrages proches		Sans ombrages			
Besoins de l'utilisateur :		Charge illimitée (réseau)			
Caractéristiques du champ de capteurs					
Module PV		Si-mono		Modèle Jonsol_JSM_144_MWT405	
Paramètres définis par l'utilisateur		Fabricant		JONSOL	
Nombre de modules PV		En série		16 modules	
Nombre total de modules PV		Nbre modules		32	
Puissance globale du champ		Nominale (STC)		12.96 kWc	
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp		590 V	
Surface totale		Surface modules		65.7 m²	
Onduleur		Modèle		PVI-12.5-TL-OUTD	
Base de données PVsyst originale		Fabricant		ABB	
Caractéristiques		Tension de fonctionnement		175-850 V	
				Puissance unitaire 12.5 kWac	
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs		1 unités	
				Puissance totale 12.5 kWac	
				Rapport Pnom 1.04	
Facteurs de perte du champ PV					
Fact. de pertes thermiques		Uc (const)		20.0 W/m²K	
				Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s	
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ		477 mOhm	
Perte de qualité module				Frac. pertes 1.5 % aux STC	
Perte de "mismatch" modules				Frac. pertes -0.8 %	
Perte de "mismatch" strings				Frac. pertes 1.0 % au MPP	
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE		IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)	
				Param. bo 0.05	



PVSYST V6.81

31/08/20

Page 2/4

Système couplé au réseau: Résultats principaux

Projet :Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT.PRJ

Variante de simulation :Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système

Type de système

Pas de scène 3D, pas d'ombrages

Orientation plan capteurs

inclinaison

30°

azimut

0°

Modules PV

Modèle

Jonsol_JSM_144_MWT405

Pnom

405 Wc

Champ PV

Nombre de modules

32

Pnom total

12.96 kWc

Onduleur

Modèle

PVI-12.5-TL-OUTD

Pnom

12.50 kW ac

Besoins de l'utilisateur

Charge illimitée (réseau)

Principaux résultats de la simulation

Production du système

Energie produite

21.95 MWh/an

Productible

1694 kWh/kWc/an

Indice de performance (PR)

88.17 %

Productions normalisées (par kWp installé): l'irradiance nominale 12.06 kWc

Indice de performance (IP)

10

8

6

4

2

0

Jan

Fév

Mar

Avr

Mai

Jun

Juil

Aoû

Sep

Oct

Nov

Déc

■ Lc : Perte de collection (champ PV)
■ Ls : Perte système (onduleur, ...)
■ Y1 : Energie utile produite (perte onduleur)

8.62 kWh/kWp
9.12 kWh/kWp
4.64 kWh/kWp

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

Jan

Fév

Mar

Avr

Mai

Jun

Juil

Aoû

Sep

Oct

Nov

Déc

■ PR (indice de performance (TYT)) : 0.882

Nouvelle variante de simulation

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Janvier	72.9	35.14	10.37	110.7	107.7	1.337	1.301	0.907
Février	89.8	38.20	11.20	121.7	118.7	1.453	1.413	0.896
Mars	135.5	58.23	14.28	163.4	159.0	1.919	1.869	0.883
Avril	167.5	71.11	17.09	178.8	173.6	2.070	2.016	0.870
Mai	208.7	65.84	21.47	202.4	196.3	2.289	2.229	0.850
Juin	219.7	81.87	25.33	205.7	199.3	2.306	2.247	0.843
Juillet	238.1	68.00	28.31	226.6	219.7	2.498	2.434	0.829
Août	200.8	74.19	28.11	206.9	200.9	2.297	2.238	0.835
Septembre	150.6	55.11	23.90	173.6	169.0	1.960	1.909	0.848
Octobre	114.3	48.87	21.09	150.4	146.5	1.735	1.690	0.867
Novembre	78.9	33.09	15.77	119.8	116.6	1.411	1.373	0.885
Décembre	66.9	31.58	11.80	105.6	102.7	1.267	1.232	0.900
Année	1743.8	661.24	19.11	1965.6	1910.0	22.542	21.951	0.862

Légendes: GlobHor

Irradiation globale horizontale

DiffHor

Irradiation diffuse horizontale

T_Amb

Température ambiante

GlobInc

Global incident plan capteurs

GlobEff

Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages

EArray

Energie effective sortie champ

E_Grid

Energie injectée dans le réseau

PR

Indice de performance

