

Collecte et organisation des données de télémesure dans un champ Photovoltaïque isolé

Youssef Oudhini⁽¹⁾, Fahmi Ghozzi⁽²⁾, Lassaad Sbita⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Electrical-Automatic genuis department of the National Engineering School of Gabes, Tunisia*

⁽²⁾ *National School of Electronics and Telecommunications of Sfax, Tunisia*

OudhiniYoussef@gmail.com ; Fahmi.Ghozzi@enetcom.rnu.tn ; Lassaad.Sbita@enig.rnu.tn

Résumé- On se propose d'étudier et de déployer un nouveau réseau de télémesure et télésignalisation dédié à un champ de stations photovoltaïques isolés par l'exploitation des opportunités offertes par le réseau de radiodiffusion sur bande FM. Ce travail constitue donc le développement d'une idée qui met en application l'exploitation du support de radiomessagerie textuelle : RDS (Radio Data System) via les émetteurs radio FM (Frequency modulation) [1]. En effet, vu le déploiement à grande échelle du réseau de radiodiffusion sur bande FM et sa couverture formidable des territoires nationaux et tenant compte de la tendance actuelle à installer et développer des réseaux de champs de capteurs solaires photovoltaïques et CSP (Concentrated Solar Power), la sous porteuse RDS s'avère une opportunité formidable dans cet ordre d'idée pour subvenir au besoin de télé- contrôle de ces champs étendus.

Chaque station PV (Photovoltaïque) abrite des éléments de détection et de sondes (sensors) pour superviser les paramètres de fonctionnement des panneaux répartis dans le champ PV ainsi que les équipements auxiliaires de gestion et de contrôle. Nous prétendons collecter l'ensemble des informations de contrôles sous forme d'affluents de signaux numériques, de proche en proche afin de converger vers un flux total de signalisation qu'il sera opté par son transport vers le nœud le plus proche du réseau de radiodiffusion. Arrivé à destination, il sera à la base de formation du processus RDS projeté puis inséré sur la sous porteuse 57 KHz du multiplex FM conformément à la norme en vigueur [1] [2].

Mots clés- *Energie solaire, PV : photovoltaïque, FM : frequency modulation, RDS : Radio Data System, Multiplexage, PLC : Programmable Logic Controller, MODBUS, RS485 (port série), FH : Faisceaux Hertiens, PDH*

I. INTRODUCTION

Par référence à notre article [3] nous supposons que les paramètres à tenir en compte sont principalement :

- La puissance du rayonnement solaire
- La température de l'air ambiant
- La température de la cabine de contrôle (local)
- La température du (des) modules PV
- La vitesse du vent
- Le taux d'humidité
- La pluviométrie
- La tension maximale du (des) modules PV
- L'intensité maximale (I) des modules PV
- La tension instantanée des batteries (UPS) : Uninterruptable Power Supply
- L'état du groupe électrogène (ON-OFF)
- La sécurité (vidéo, barrière LASER, ...) et d'autres paramètres éventuellement.

La figure suivante, illustre le principe fondamental de convergence des données élémentaires en vue de la formation du flux total de données que nous avons baptisé TS (Transport Stream) pour dire Flux de transport. Le segment franchis par le TS est afférent au réseau des télécommunications en vigueur et précisément celui des faisceaux Hertiens numériques déployé actuellement à grande envergure et avec efficacité indiscutable. Le traitement de modulation et la « greffe » du processus de télémesure sera fait dans l'environnement de radiodiffusion : Broadcast FM.

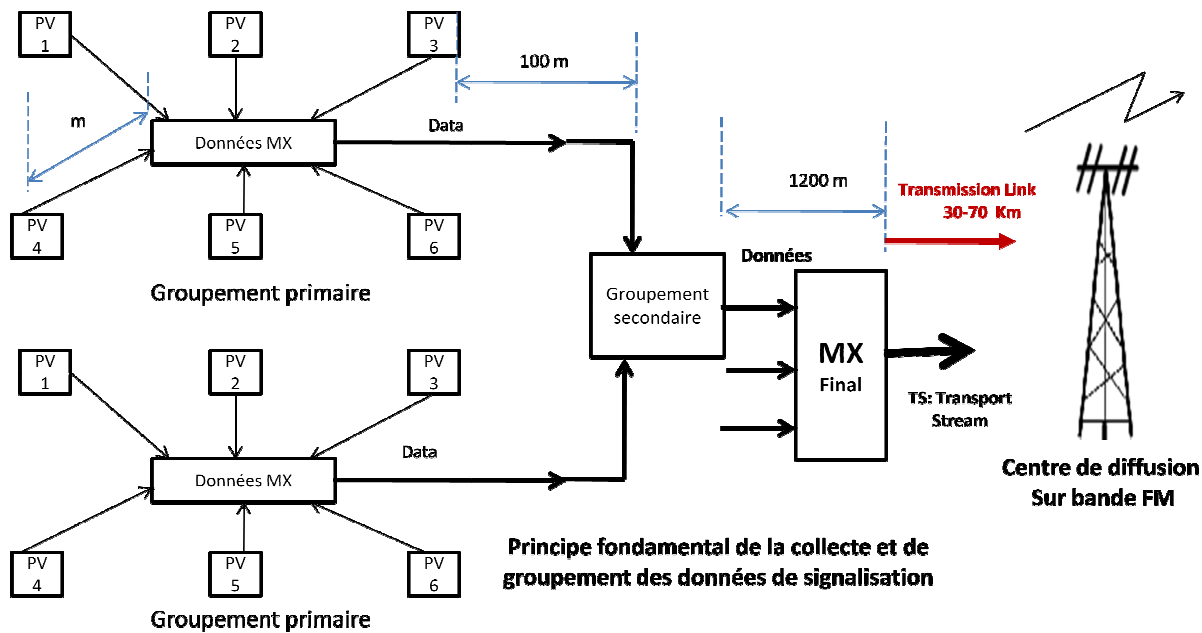


Fig. 1. Formation du flux de transport TS (Transport Stream) [3]

Il n'est guère sans intérêt de rappeler que l'application RDS a été déployée durant des années comme un outil de messagerie textuelle très apprécié et a rendu un service très important aux usagers, mais qu'elle a régressé devant la fulgurante réussite de la messagerie textuelle offerte par les canaux logiques et physiques de la norme GSM (Global System for Mobile communications). La réservation spectrale et le type de modulation de cette application (RDS), qui sont toujours en vigueur, seront donc *réquisitionnés* pour supporter notre nouvelle application afférente au processus de télémessure PV.

Les gestionnaires du réseau de production de l'énergie PV, seront ainsi en mesure de s'enquérir de l'état des leurs équipements en temps réel et avec le minimum de difficulté et de coût étant donné que toute l'infrastructure est déjà fonctionnelle et déployée.

Dans notre récent article [4], nous avons développé une synthèse des éventualités d'interférences et d'intermodulations qui risquent de se produire dans cette cohabitation de composantes de signaux de différentes sources qui constituent le multiplex Broadcast FM.

Nous abordons dans le présent article le développement de la procédure que nous proposons pour mettre en application la collecte des informations et la circulation des données de télémessure conformément aux sections suivantes :

- Collecte et groupement de données
- Spécification des liens physiques sur site
- Simulation du protocole série RS485 (MODBUS)
- Liens de transmission à grande distances du flux TS
- Calcul du bilan de liaison RF à grande distance : cas réel

II. COLLECTE ET GROUPEMENT DE DONNEES DE SIGNALISATION

Les vastes champs de panneaux PV qui peuvent être déployés à grande envergure doivent être contrôlés et surveillés. La nature des données de signalisation doit être adaptée avec l'ampleur du champ et des paramètres à prélever et tiendra compte de la destination finale des données.

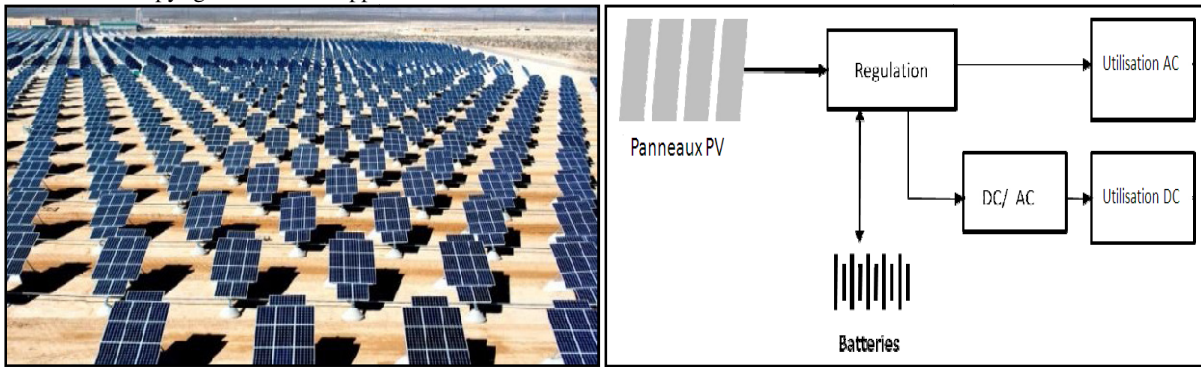


Fig. 2. Installations photovoltaïques

Nous proposons une infrastructure basée sur l'exploitation des PLC (Programmable Logic Controller) afin de collecter les informations numérisées émanant des organes de détection et de mesure des paramètres de fonctionnement du site PV. Un PLC est donc un microcontrôleur menu de

mémoire pouvant stoker les données de signalisation qui seront vidées suite à une requête de service. La figure 3 illustre l'architecture proposée qui consacre la notion de maître esclave et l'exploitation du protocole MODBUS [5].

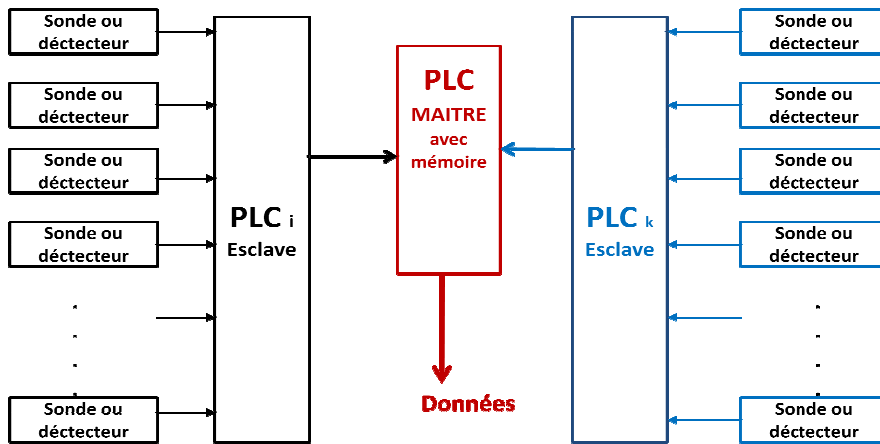


Fig. 3. Collecte des informations numériques de mesure de paramètres

Les données élémentaires émanant des organes de détection et de mesure convergent vers des PLC configurés en esclaves, qui convergent à leur tour vers un PLC maître doté d'une mémoire de données. Le dialogue entre deux ou plusieurs esclaves est inhibé et le maître vide les données vers un troisième composant plus puissant qui est le multiplexeur de données.

Le multiplexeur terminal, est l'aboutissement final de cette hiérarchie qui engendrera notre flux de transport TS qui sera confié à un lien radio par faisceaux Hertiens (ou fibres optique) vers le nœud du réseau de radiodiffusion déployé dans la région concernée.

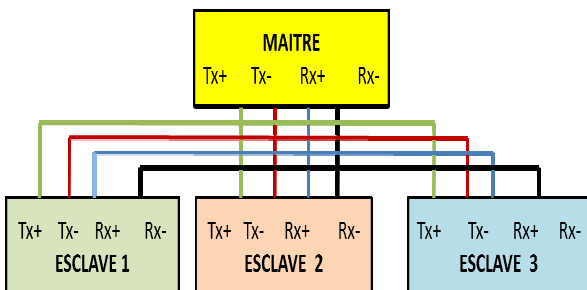


Fig. 4. Structure MAITRE/ESCLAVE du groupement secondaire

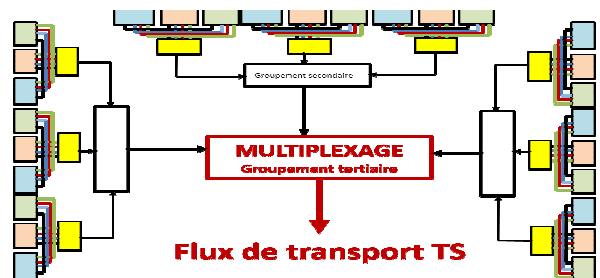


Fig. 5. Formation du flux de transport TS

A. Liens physiques sur sites

Nous avons établi préalablement une organisation des types de liaisons pour garantir un bon écoulement des données

dans les limites du site et avec les box de contrôle sectoriel ou la salle technique du site puis la voie radio de transmission par FH. Par conséquent, la liaison entre les détecteurs et les PLC esclaves est réalisée par des paires torsadées par définition même du protocole MODBUS qui engendre une transmission symétrique. La connexion entre les PLC esclaves est établie par câble coaxial ou fibres optiques et il n'existe aucune liaison entre les PLC esclaves. La figure 6 illustre une approche de cette configuration physique, de l'installation des échanges de données sur site ainsi que les liens proposés entre les extrémités de l'installation PV à superviser.

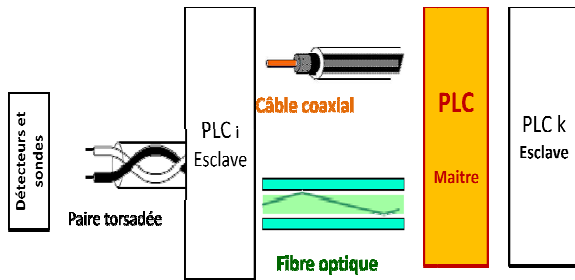


Fig. 6. Liens physiques pour la collecte de données de mesure

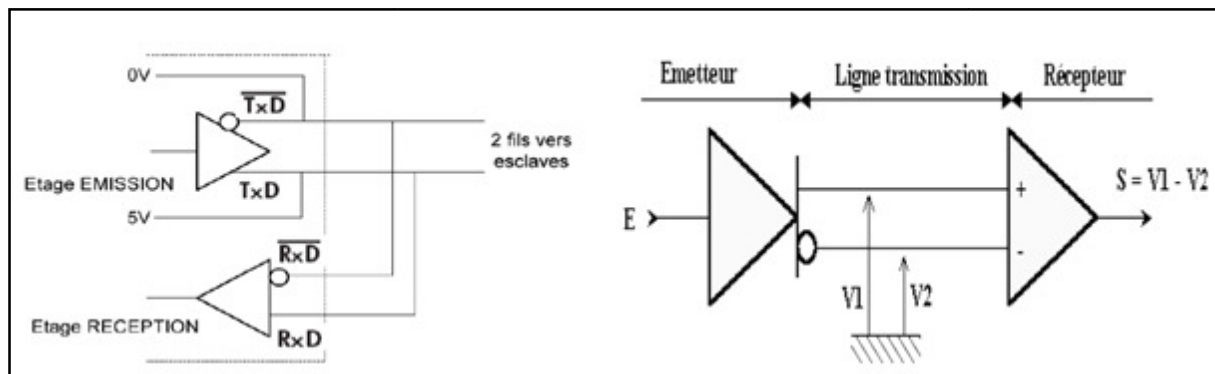


Fig. 7. Liaison RS485 (MODBUS)

La mise en évidence du principe de base de collecte de données de signalisation et de mesure qui consacre la hiérarchie maître/esclave a été appuyée et vérifiée par une simulation de fonctionnalité des PLC mis en exploitation.

2) Résultat de simulation

Nous avons câblés des PLC configurés en maître /esclaves puis à l'aide du clavier virtuel (ou du PC), écrits des trames à titre démonstratif au niveau du PLC esclave. Suite à quoi on donne l'initiative au PLC maître d'envoyer une requête de service pour vider le contenu dans la mémoire du maître. Il est évident que la « requête de service » est une opération qui sera définie avec précisions au moment du déploiement du système et matérialisée par une lecture périodique du contenu de la mémoire des maîtres. La périodicité de cette lecture sera en fonction de la nature de l'installation et des paramètres à prélever, mais

Les précisions qui concernent le calcul approché des débits de données en fonction de l'ampleur de l'installation PV envisagée, sont développées dans un autre support, toutefois nous estimons préalablement que le débit alloué au TS est de l'ordre de 2Mbits/seconde.

B. Simulation du protocole de collecte des informations

1) Liaison MODBUS - RS485 : [3] [5]

RS485 est une liaison série, de type asynchrone, différentielle qui permet un débit élevé (Jusqu'à 10 Mégabits/secondes) sur une distance importante (allant jusqu'à 1200 mètres). Elle dispose de deux pôles d'émission polarisés notés Tx(+) ET Tx(-) et de deux bornes de réceptions polarisées Rx(+) et Rx(-). Cette liaison symétrique comporte deux conducteurs actifs par sens de transfert. L'émetteur possède un amplificateur différentiel qui va transmettre les états logiques à la double ligne de transmission sous forme de deux tensions V+ et V- ou V- et V+ selon le niveau logique. Le récepteur est un montage à amplificateur opérationnel, il n'est donc concerné que par la différence de tension entre les deux fils de ligne (Figure 7).

globalement une période de quinze minutes est vraisemblablement très commode. Toutefois nous précisons au lecteur qu'une mise à jour beaucoup plus rapide n'est guère nécessaire vu que les paramètres PV du site ne changent pas aussi rapidement en fonction du temps.

La figure 8, illustre l'écriture et la lecture d'une trame d'essai transmise vers la mémoire du PLC maître suite à une « requête » émise vers le PLC esclave matérialisant le protocole MODBUS que nous proposons pour la gestion de l'échange de données.

Afin de tirer le taux de profil maximum de notre idée proposée, nous avons prévu un système d'affichage local sur LCD (ou autre) dont la pagination est rapide ce qui permet à l'exploitant de parcourir le message textuel de télémessure en mode manuel dans les différents locaux techniques sur site sans l'utilisation d'un PC.

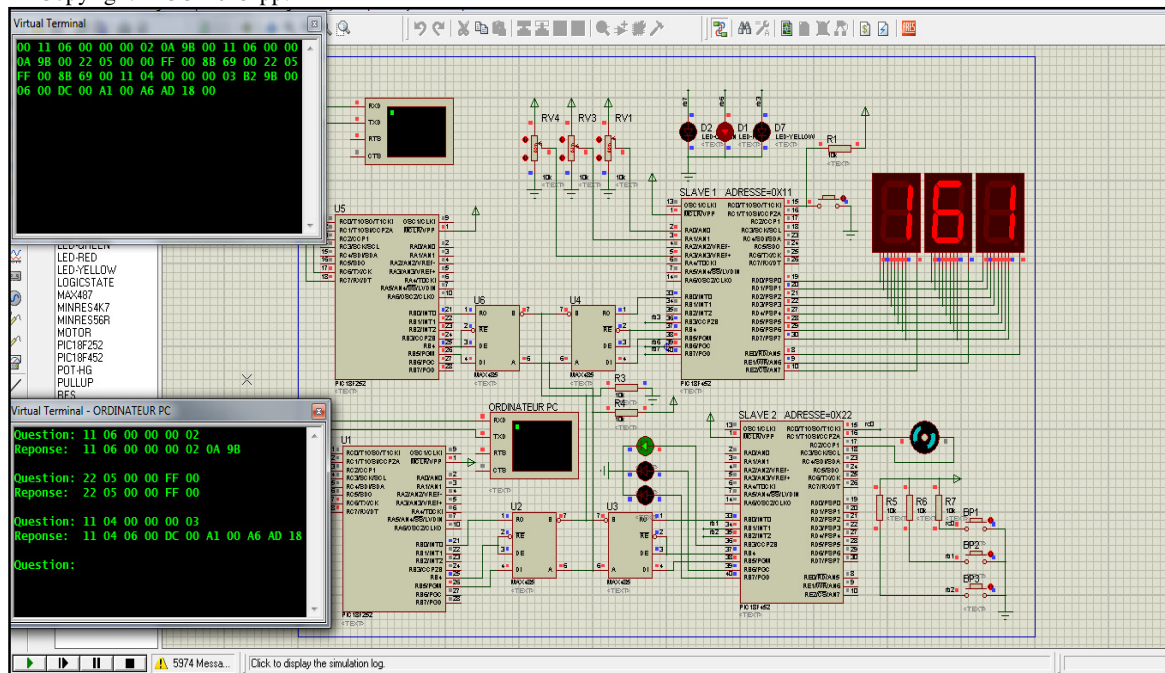


Fig. 8. Simulation du protocole MODBUS liaison Série

Pour plus de précision, la capture des deux terminaux virtuels illustrée sur la figure 9, montre l’affichage de la trame (suite de chiffres hexadécimaux) précédé de l’adresse sur huit bits de chaque esclave. Si la trame n’est pas consistante, il apparaît sur le terminal maître, des bits (zéros) de bourrage pour la compléter. Nous avons

programmé cette alternative pour s’assurer que la transmission des informations de mesure puisse s’exécuter régulièrement sans ambiguïté.

Requête = Question ADRESSE ESCLAVE

Réponse = Réponse CONTENUE MEMOIRE ESCLAVE

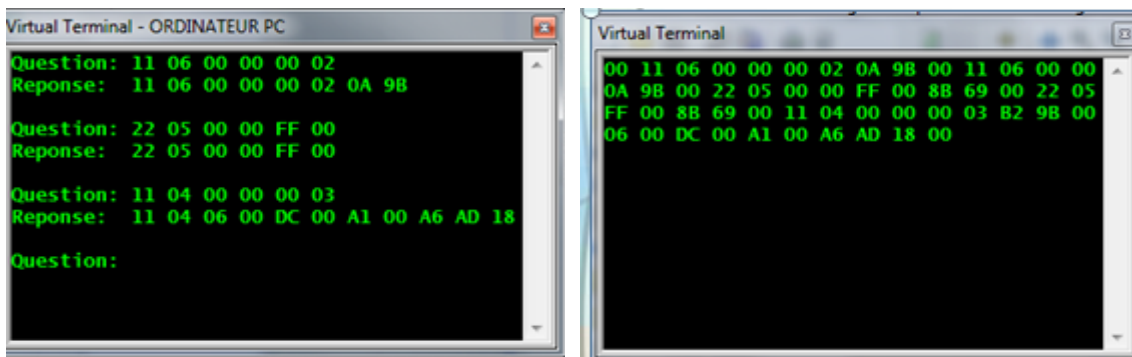


Fig. 9. Résultat de simulation protocole MODBUS

III. ETUDE DE LA SECTION TRANSPORT DU TS

Dans cette section, nous traitons l’opportunité de bénéficier du lien radio par Faisceaux Hertziens numériques dans le but de transporter le flux total de signalisation vers le nœud le plus proche du réseau de radiodiffusion en vigueur.

Les FH sont de nos jours le moyen le plus efficace pour transmettre et circuler les signaux à larges bandes engendrés par les débits élevés émanant des interfaces de

traitement numériques de l’information. Les bandes de fréquences dédiées à cette application se situent dans le spectre SHF (Super High Frequency) et couvrant 2GHz, 4GHz, 6GHz...11GHz.

La liaison FH est une transmission à vue, c'est-à-dire que la visibilité entre l’antenne d’émission et de réception est directe et les éléments rayonnants sont de forme parabolique (paraboloïdes) avec dégagement total de la première zone de Fresnel. Aussi, les puissances RF (Radio Fréquences) d’émission sont très faibles afin de

s'affranchir des problèmes de réflexion et de trajets multiples empruntés par l'onde SHF. La figure 10 illustre le principe d'une liaison de transmission par FH :

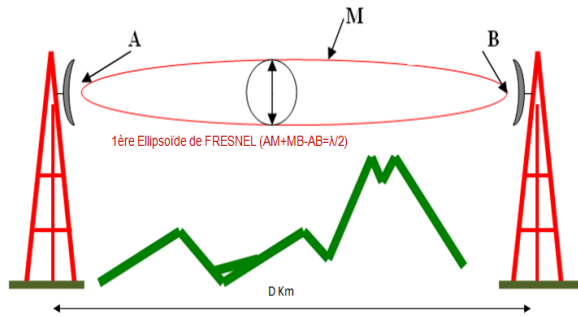


Fig. 10. Principe d'une liaison de transmission par FH : bond Hertzien ($D \leq 70$ Km)

Dans le contexte actuel, le réseau de radiodiffusion sonore et télévision est constitué de deux en un, un réseau de transmission principalement déployé en FH, et un nombre plus au moins importants de sites de diffusion. Les sites de diffusion sont accessibles grâce à l'application des faisceaux Hertziens étant données qu'ils sont situés dans des endroits isolés, et parfois horribles, et donc difficiles d'accès.

A. Insertion du flux TS dans l'équipement de la voie Radio FH

Nous rappelons que notre contribution à ce niveau est de préparer les conditions nécessaires et suffisantes pour pouvoir insérer notre flux TS de télémesure dans les équipements de transmission FH afin de garantir son transport vers le site de radiodiffusion sur bande FM.

La structure fondamentale de la trame numérique de première génération destinée à la transmission par FH numérique était une structure asynchrone : PDH pour dire Plesiochronous Digital Hierarchy. Cette trame est linéaire et l'extraction d'une composante de la transmission en cours de route nécessite de décortiquer tout le multiplex et donc disposer d'un équipement lourd et onéreux puisqu'il faut décoder toute la trame. Avec l'exploitation de la machine informatique et les applications VLSI (Very Large Scale Intégration), la trame numérique de transmission par FH est actuellement bidimensionnelle et aisément synchronisée : c'est la structure SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

Nous allons essayer d'adapter notre contribution à ces deux alternatives :

3) Cas du PDH

La figure suivante illustre sommairement la structure asynchrone de la transmission PDH où on voit que chaque étage numérique pilote l'étage suivant pour aboutir au débit nominal de transmission.

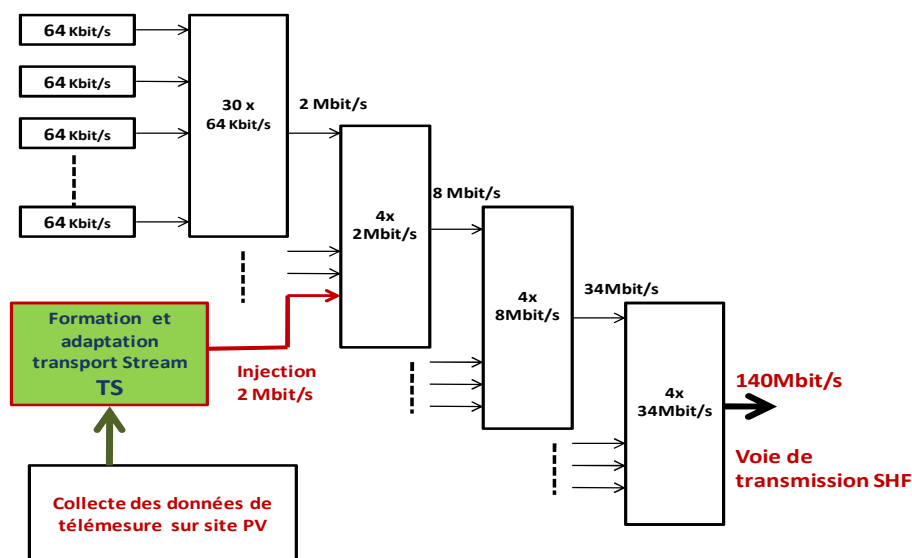


Fig. 11. Synoptique d'une transmission PDH et injection de notre TS

Ainsi, il va s'en suivre une trame numérique linéaire qui sera confiée à la voie radio de transmission par faisceaux

Hertziens dont l'architecture fondamentale est illustrée par la figure suivante :

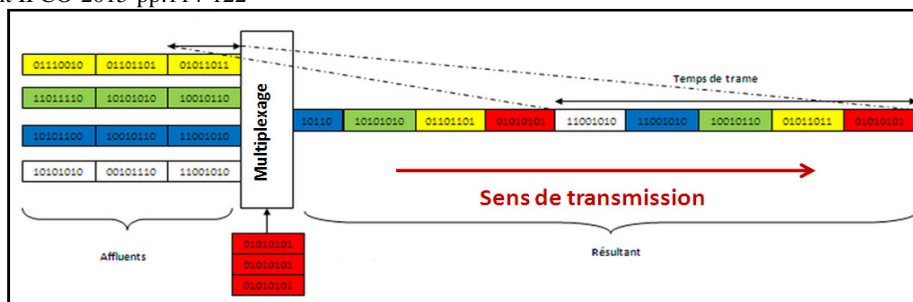


Fig. 12. Trame PDH contenant notre TS télémessure

4) Cas du SDH

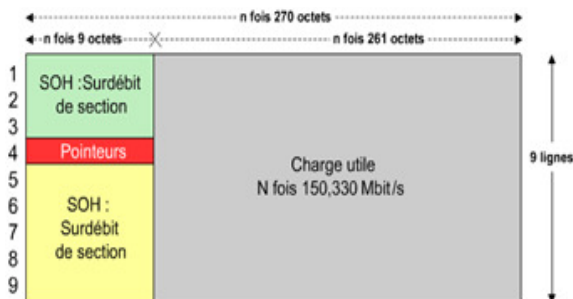
La trame SDH répond à des objectifs de flexibilité, de visibilité et facilité d'exploitation et permet par sa structure l'accès à n'importe quelle composante du multiplex sans avoir besoin de décoder toute la transmission. Le débit de la trame de base STM1 (Synchrones Transport Module) est de 155,520 Mbit/s comme illustré dans la figure 13 :

Taille : 2430 Octets (9 rangées/270 colonnes)

Durée : 125µs (1/8KHz)

Débit = $(n \times 270 \times 9 \times 8 \text{ bits}) / 125 \mu\text{s} = 155,520 \text{ Mbits/s}$ (soit 155).

En SDH on retrouve deux niveaux de conteneur virtuel (VC) : le "Low Order VC" : LO-VC et le "High Order VC" : HO-VC [7].



Notre transport Stream TS, afférent au projet de télémessure PV, déjà dimensionné à un signal 2Mbit/s synchrone (E1) est inséré dans le LO-VC appelé VC12 comme illustré dans la figure suivante :

Fig. 13. Structure bidimensionnelle de base de la trame SDH

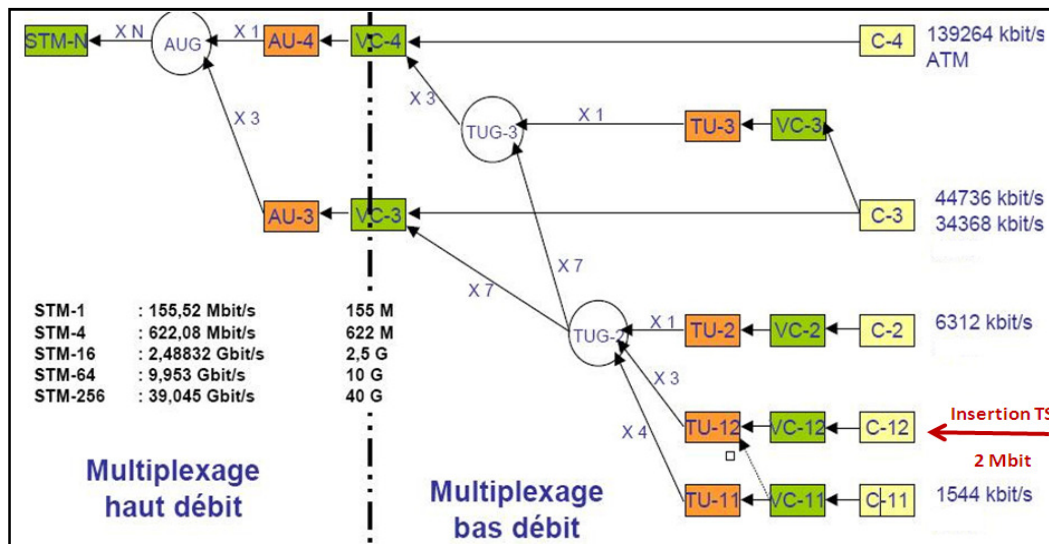


Fig. 14. Insertion du flux Transport Stream TS dans la trame de transmission SDH

B. Bilan de liaison de transmission

Cette partie est réservée à une étude qui tient compte des données réelles de l'installation photovoltaïque PV projetée, et la mise en évidence de l'éventualité certaine de

sa connexion par voie de transmission afin de transporter le flux de signalisation TS.

Pour ce faire nous invitons le lecteur à examiner la localisation géographique suivante qui correspond au site

PV éventuel, situé au Sud Tunisien:

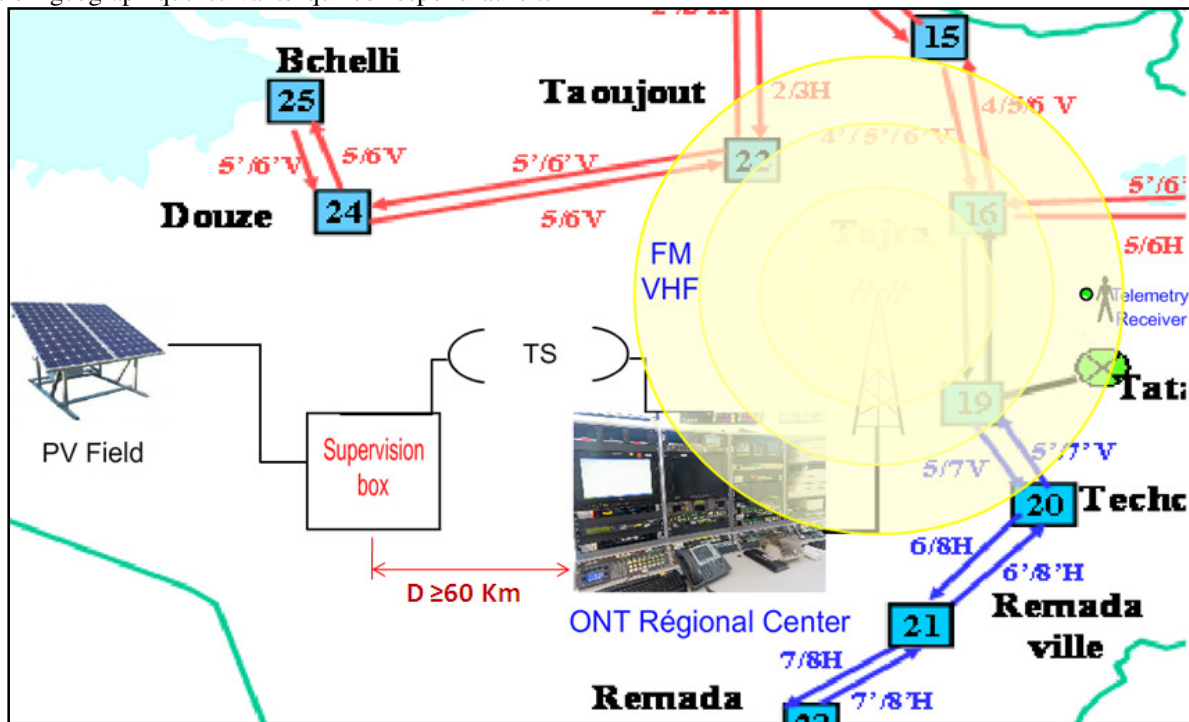


Fig. 15. Site éventuel du champ photovoltaïque PV

La capture de cette animation localise le lieu du site PV et le synoptique de la liaison par FH numérique qui acheminera le flux de télémétrie vers le site de radiodiffusion dont la couverture assure la propagation du processus de télémétrie vers le récepteur présumé (Telemetry receiver).

➤ **Calcul du bilan RF (Radiofréquence) :**

Pour s'assurer du bilan de liaison nous allons supposer des cas optimum de puissance radioélectrique d'émission FH, et de hauteur d'antennes à l'émission et à la réception tout en tenant compte des données technologiques et de la distance approximative entre le site PV et le centre de diffusion.

Puissance radioélectrique de l'émetteur de transmission par FH ; $P_e = 10\text{Watt}$

Hauteur de l'antenne d'émission $h_1 = 100$ mètres / Gain d'antenne $G_1 = 25$ dB

Hauteur de l'antenne de réception $h_2 = 100$ mètres / Gain d'antenne $G_2 = 25$ dB

Distance $D = 60$ Km (60000 mètres)

$F = 6\text{GHz}$ (le réseau FH ciblé exploite la bande 6)

La formule de télécommunication donne la valeur de la puissance reçue (P_r) en fonction des paramètres de transmission par:

$$Pr \text{ (dBm)} = Pe \text{ (dBm)} + G_1 + G_2 - (\text{AEL}) - \text{Pertes} \text{ (1)}$$

AEL= Affaiblissement en Espace Libre (par définition en dB) :

$$AEL = 20 \log 4\pi D/\lambda \quad (\lambda = c/f) \text{ (2)}$$

F étant la fréquence radioélectrique dans la bande SHF et D en mètres

Soit (2) dans ce cas :

$$20 \log 4\pi \times 3,14 \times 60000 / 0,05 = 20 \log (15 \times 1000000) = 20(\log 15 + 6) = 143 \text{dB}$$

Conversion Watt en dB(m)

$$\rightarrow P(e) = 10 \text{ W} = 10 \log 10000 \text{ m.W} / 1 \text{ m.w} = 10 \log 1000 = 10 \times 4 = 40 \text{ dBm} \text{ (m par rapport au milliwatt)}$$

$$(1) \text{ donne } Pr \text{ (dBm)} = 40 \text{ dBm} + 25 + 25 - (143) - \text{Pertes}$$

Les pertes dans les guides d'ondes qui relient les antennes paraboliques à l'émission et à la réception sont fonction de la longueur du guide. Les valeurs usuelles des pertes linéiques afférentes à la technologie actuelles sont 0,04 dB/mètres [6].

$$\rightarrow \text{Pertes estimés à } (100 + 100) \times 0,004 = 8 \text{dB} \text{ (100 mètres de guides à l'émission et à la réception)}$$

$$\text{Finalement on aura } Pr \text{ (dBm)} = 40 \text{ dBm} + 25 + 25 - (143) - 8 = -61 \text{ (dBm)}$$

Ce niveau de puissance RF reçue à 60 Km est largement suffisant pour sensibiliser le récepteur SHF et restituer le signal dans de bonnes conditions, car les sensibilités usuelles des récepteurs numériques SHF peuvent aller jusqu'à **- 85 (dBm)** [6] [7].

IV. SYNTHÈSE DES RESULTATS TROUVES ET CONCLUSION

Nous nous sommes intéressés dans cet article à résumer la procédure proposée pour la collecte des informations de mesure des paramètres de fonctionnement des installations PV dans un site isolé.

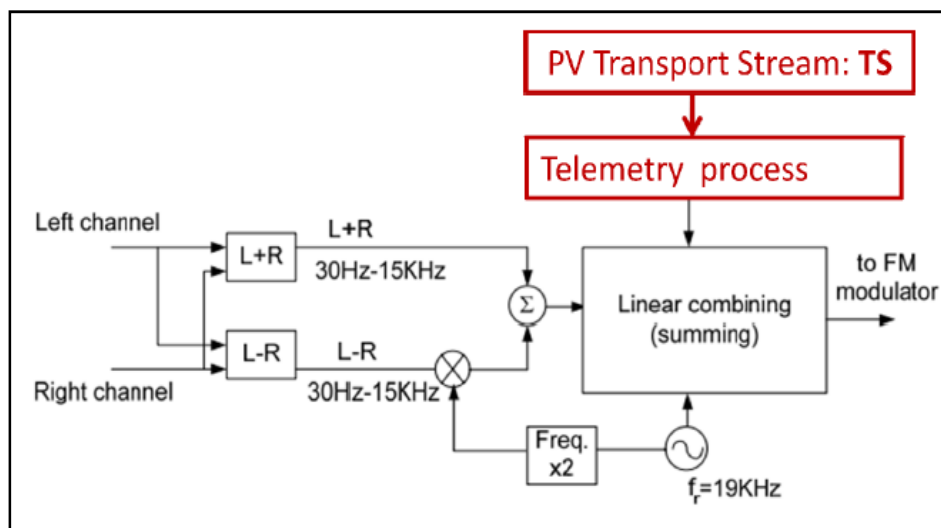
Puis nous avons étudié l'éventualité de transmission du flux numérique résultant de cette opération via une transmission radio SHF par faisceaux numériques afin de le confier à un centre de radiodiffusion sur bande FM [6] [7]. Tout en rappelant que la fonction de radiodiffusion et celle des FH sont gérées par le même opérateur auquel nous

allons confier la diffusion de notre processus de télémesure. Le calcul du bilan de liaison avec des valeurs optimales montre une réception d'un champ RF suffisant pour restituer le signal à 60 Km.

PERSPECTIVES

Les étapes suivantes seront axées sur la réception du flux TS au *seuil* du nœud de radiodiffusion et l'élaboration du codage du message RDS engendrant le texte de télémesure destiné à l'opérateur du réseau PV. Comme illustré dans la simulation de la figure 15, tant que le récepteur (s) est dans les limites du réseau FM, il recevra le message textuel mis à jour périodiquement par les PLC de collecte.

Fig. 16. Insertion du processus de télémesure avec les signaux FM



REFERENCES

- [1] Recommendation ITU-R BS.643-3, "Radio data system for automatic tuning and other applications in FM radio receivers for use with pilot-tone system".
- [2] The new RDS IEC 62106, RDS Forum Office, Geneva, Switzerland, December 1999.
- [3] Y. Oudhini, F. Ghazzi, L. Sbita, "Dynamic Telemetry Network for Remote Photovoltaic Stations", ICGE'2014, 25-27 Mars 2014, ENET'Com, Sfax, Tunisia. 978-1-4799-3602-1/14/00 ©2014 IEEE.
- [4] Y. Oudhini, F. Ghazzi, L. Sbita, "Synthesis of total Harmonic Distortion and Interference between Stereo Spectrum and RDS Process", SSD'15 (Systems, Signals, and Devices 2015 MAHDIA TN 16-19/03/2015).
- [5] Protocole MODBUS, Cours liaison série MODBUS RS485, www.ac-grenoble.fr/ECOLE
- [6] Ivain KESTELOOT, Stéphane RZETELNY, Eric JULLIEN, Nouvelles Technologies Réseaux : SDH (Synchronous Digital Hierarchy) igm.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20022003/SDH.pdf
- [7] ALCATEL UNIVERSITY Training manual Edition 2002, 8AS 90200 0551 VH ZZA Ed. 01.