

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Filière Électronique  
Spécialité Automatique et Informatique Industriel

présenté par

*BENCHAMMA Samah*

*ET*

*ZEMIR Meroua*

---

# Mise au point d'une communication sans fil « BLE » du capteur jusqu'au réseau d'API SIEMENS à base du nRF52832

---

Proposé par : BENNILA. N et HAMDAD. I

Année Universitaire 2018-2019



## **REMERCIEMENTS**

*Louange à **Dieu**, le tout puissant d'avoir nous donné la santé, le temps et la patience pour pouvoir finaliser ce travail.*

*Nos remerciements seront également adressés aux membres du jury, pour avoir nous faisons l'honneur de juger ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profond respect.*

*Nos sincères remerciements et gratitude s'adressent spécialement à Monsieur HAMDAD I pour avoir nous proposé ce sujet que nous trouvons intéressant, pour son encadrement, a Monsieur BENNILA N pour le temps qu'il a consacré à la correction et à la relecture de ce document et son suivi ainsi que ses conseils précieux qui nous a permis d'aboutir à la production de ce mémoire.*

*Nous resterons toujours reconnaissantes envers eux. Veuillez accepter Messieurs nos plus vifs remerciements.*

*Enfin, nous voudrions remercier toutes les personnes ayant contribué à la réalisation et au bon déroulement de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma source de bonheur ma chère maman et mon cher papa*

*Qui n'ont jamais cessés de formuler des prières à mon égard , de me soutenir et de m'encourager pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*A mon petit cher frère **Younes**, et mes très chères sœurs **Hind** , **Mordjna**, **Soundous**, je leurs souhaite beaucoup de réussite dans leurs chemin.*

*A mes grands parents, en particulier ma grande mère maternelle, que dieu les protèges .*

*A tous mes oncles et mes tantes.*

*A tous mes cousins et cousines, et spécialement **Houda** et **Aziza**.*

*A mon binome **Zemir Maroua** , je la remercie pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur, **Abir, Wissem, Nesrine, Sihem , Nour el houda, Meriem, Amina, Sihem, Hamida, Samira, Linda, Imen, Katia.***

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

***Samah***

## DEDICACE

*J'ai l'immense plaisir de dédier ce modeste travail de fin d'étude à ceux qui j'aime le plus au monde, ma mère qu'elle m'a apporté son soutien, leurs encouragement avec beaucoup d'amour durant toutes les années d'étude.*

*Que Dieu la prête santé*

*A mes chers ma sœur Amina et mon frère Hamza.  
Je vous aime beaucoup.*

*À mon promoteur qui m'a guidé a fin de réalisé ce travail.*

*À mon Co-promoteur.*

*Mes chères tantes, ma grande mère, mon oncle que j'estime beaucoup.*

*A toute ma famille et mes proches,*

*Benchamma Samah, Nesrine et Hanane.*

*A mes amis, Samira, Linda, Sihem, Imen, Katia et Noussaïba.*

*Je remercie en particulier la gérante de la société STEMUL.*

*A toute la promotion 2018/2019.*

***Meroua***

---

## ملخص

---

يهدف العمل الذي أمام حضرتكم إلى التقليل من الكابلات في العالم الصناعي من خلال شبكة الاتصالات اللاسلكية. يعتمد البروتوكول الذي تمت دراسته على تقنية Bluetooth LE وهيكلتها وكيفية إرسال البيانات واستقبالها على المدى القصير باستخدام بطاقة nRF52832.

أصبح البلوتوث وسيلة شائعة للوصول إلى البيانات المرسله بواسطة أجهزة الاستشعار من الناحية العملية ولكي تكون هذه المستشعرات والإشارات غير مكلفة في الصيانة فإنها تستهلك أقل قدر ممكن من الطاقة. هناك العديد من الحلول في السوق التجارية غير أن BLE في أعلى قائمة المجال التطبيقي الذي تمت معالجته في الموضوع المقترح.

في نهاية هذا التطبيق، أثبتت الطريقة المعتمدة ثمارها، أين برهنت المراقبة على LabVIEW و WinCC Professional أن سياق هذا الاتصال اللاسلكي باستعمال BLE يقلل من تكلفة الأسلاك الصناعية والصيانة غير المتوقعة.

**كلمات مفتاحية:** كابلات، إرسال، الاتصالات اللاسلكية، استقبال، nRF52، البلوتوث، الأسلاك الصناعية.

---

## Résumé

---

Le travail devant vous a pour but de réduire le câblage dans le monde industriel par un réseau de communication sans fil.

Le protocole étudié est basé sur le Bluetooth LE, son architecture et la façon d'émettre et recevoir les données sur une courte portée en utilisant la carte nRF52832.

Bluetooth est devenu un moyen populaire d'accéder aux données transmises par des capteurs et des balises. Pour être pratiques et peu coûteux en maintenance, ces capteurs et ces balises doivent consommer le moins d'énergie possible. Il existe plusieurs solutions sur le marché, mais le BLE est en haut de la liste dans le domaine d'application traité du thème abordé.

La fin de cette réalisation, la méthode adoptée a porté ses fruits, la supervision sur LabVIEW et WinCC Professionnel a prouvé que le contexte de cette communication sans fil qui emploie le BLE, réduit le coût du câblage industriel et la maintenance inattendue.

**Mots clés :** câblage, communication sans fil, émettre, recevoir, nRF52, Bluetooth, câblage industriel

---

## Abstract

---

The job ahead is to reduce cabling in the industrial world by a wireless communication network.

The protocol studied is based on the Bluetooth LE, its architecture and how to send and receive data in a short range using the nRF52832 card.

Bluetooth has become a popular way to access data transmitted by sensors and tags. To be practical and inexpensive in maintenance, these sensors and beacons consume as little energy as possible. There are several solutions on the market, but BLE is at the top of the list in the area of application.

The end of this realization, the method adopted has borne fruit, the supervision on LabView and WinCC Professional proved the context of this wireless communication by the BLE, reduces the cost of industrial wiring and unexpected maintenance.

**Keywords** : cabling, wireless communication, send, receive, nRF52, Bluetooth, industrial wiring

## Liste des abréviations:

**AC** : Alternating Current

**ADT**: Advertising Data Type.

**AdvA**: Advertising Adress.

**AdvData**: Advertising Data.

**ANT**: Antenna.

**API**: Automate Programmable Industriel.

**ATT**: Attribut.

**BLE**: Bluetooth Low Energy.

**C/C++** : Langage de programmation.

**CPU** : Central Processing Unit.

**CRC** : Controle de Redondance Cyclique.

**DAQ** : Data Acquisition

**DC** : Direct Current

**DEL** : Diode électronique lumineuse.

**DFU** : Device Framewave Update.

**GAP**: General Access Profile.

**GATT**: General Agreement on Tariffs and Trade.

**GPIO**: General Purpose Inputs Outputs.

**HCI**: Host Controller Interface.

**IDE:** Integrated development environment.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**IOT:** Internet Of Things.

**IT:** Information Technology.

**IWN:** Integrated Wireless Network.

**L2CAP:** Logical Link Control and Adaption Protocol.

**LTE:** Long Term Evolution.

**MPI:** Multi Point Interface.

**NFC:** Near Filed Communication.

**PC:** Personal Computer.

**PDU:** Protocol Data Unit.

**PROFIBUS DP:** Process Field Bus Decentralised Peripherals.

**RAM:** Random Access Memory.

**RSSI:** Received Signal Strength Indication.

**RS232 :** Recommended Standard 232.

**RS485:** Recommended Standard 232.

**SES:** SEGGER Embedded Studio.

**SDK:** Software Developement kit.

**SoC:** System on Chip.

**TCP/IP:** Transmission control protocol/Internet Protocol.

**TOR:** Tout Ou Rien.

**USB:** Universal Serial Bus.

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity.

**WLAN:** Wireless Local Area Network.

**WMANS** : Wireless Metropolitan Area Network.

**WPAN:** Wireless Personal Area Network.

**WWANS:** Wireless Wide Area Networks.

## Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

### Chapitre I : Révolution du système industriel

o Introduction.....	3
I.1 – Système industriel.....	3
I.1.1 – Généralité sur les automates programmable industriels .....	3
I.1.2 – Structure de l’automate programmable industriel .....	5
a) – L’unité centrale.....	5
b) –Le module d’alimentation.....	5
c) – Le module de communication.....	6
d) – Interfaces d’entrées / sorties .....	7
I.1.3 – Câblage industriel .....	7
I.2 - La nouvelle révolution industrielle.....	8
I.2.1 - L’industrie 4.0.....	8
I.3 - Réseau de communication sans fil industriel.....	9
I.3.1 – Catégories des réseaux sans fil.....	9
a) – Réseaux personnels et locaux sans fil (WPAN ) .....	11
I.3.2 – Bluetooth Smart (BLE).....	12
a) – Développement du Bluetooth.....	13
b) - Bluetooth Smart VS Bluetooth classique.....	14
c) – Avantages .....	14
o Conclusion.....	15

### Chapitre II : Techniques de mise en réseau BLE

o Introduction.....	16
II.1 – Intégration du capteur avec le transmetteur.....	16

II.1.1 – Capteur de proximité photoélectrique...	16
a) – Technologie et principe de fonctionnement.....	17
b) - Détecteur avec élimination de l'arrière-plan .....	17
c) - Caractéristiques et utilités .....	19
II.1.2 – Fiche technique du capteur utilisée.....	20
II.1.3 – Cartes de conversion de tension.....	22
a) – L'optocoupleur EL817 C809N.....	23
II.1.4 – nRF 52832 par NORDIC Semiconductor.....	24
a) – Spécification du produit.....	25
II.2 – Communication sans fil.....	27
II.2.1 – Architecture Bluetooth Low Energy « BLE » .....	28
II.2.2 – Emission des données.....	30
a) – Advertisement.....	30
b) - Type de PDU des canaux publicitaires.....	32
II.3.3 – Mode Scanner .....	35
a) – Listes blanches.....	36
b) - Diffusion et numérisation .....	37
c) - RSSI .....	38
o Conclusion.....	39

## Chapitre III : Implémentation, tests et résultats

o Introduction.....	40
III.1 – Environnement du travail.....	40
III.1.1 – Introduction au SEGGER Embedded Studio.....	41
III.1.2 – Software Développement Kit (SDK 14.1.0).....	42
a) – SDK pour nRF52 .....	42
b) – S132 SoftDevice.....	43
c) – Démarrer .....	44
III.2 – Visualisation des résultats .....	45
III.2.1 – Termité version 3.4 .....	45
a) – Fonctionnement. ....	46

b) – Scan du port RS232 .....	47
III.2.2 – nRF Connect .....	48
a) – nRF Connect pour PC version 2.6.0 .....	48
b) – nRF Connect pour mobile .....	51
c) – Caractéristiques .....	51
III.2.3 – LabView .....	51
III.3 – Montage .....	52
III.3.1 – Transmission.....	52
a) – Alimentation .....	52
b) – Les signaux .....	52
III.3.2 – Réception .....	53
a) – Alimentation .....	53
b) – Les signaux .....	54
III.4 – Résultats obtenus .....	54
III.4.1 – Station de supervision à base de LabView .....	55
a) – Feux de circulation.....	55
b) – Module sécurité.....	57
III.4.2 – Station de supervision à base de WinCC Professionnel .....	59
III.4.3 – nRF Connect mobile pour une application industrielle .....	60
o Conclusion.....	63
Conclusion et perspectives.....	
Références bibliographique.....	

## Liste des figures

<b>Figure 1.1:</b> Différents modelés d'API.....	5
<b>Figure 1.2:</b> Structure générale du système industriel.....	6
<b>Figure 1.3:</b> Structure de l'API.....	7
<b>Figure 1.4:</b> Classification des réseaux sans fil.....	10
<b>Figure 2.1:</b> Schéma explicatif du détecteur avec l'élimination de l'arrière-plan.....	18
<b>Figure 2.2:</b> Application réelle d'une photocellule.....	20
<b>Figure 2.3:</b> Capteurs photoélectriques cylindriques FAR2/BP-0 E.....	21
<b>Figure 2.4:</b> Cartes de conversion 24 V DC – 3.3 V DC et de 3.3 V DC – 24 V DC .....	22
<b>Figure 2.5:</b> Schéma électrique de la carte de conversion 24 V DC – 3.3 V DC .....	24
<b>Figure 2.6:</b> Kit de développement NRF 52 par NORDIC Semiconductor.....	25
<b>Figure 2.7:</b> Fonctionnement du pins du kit de développement NRF52.....	27
<b>Figure 2.8:</b> Architecture de laPile Bluetooth LE.....	29
<b>Figure 2.9:</b> Les différentes topologies du BLE.....;	32
<b>Figure 2.10:</b> Canaux primaires et secondaires par fréquence du BLE.....	33
<b>Figure 2.11:</b> La séquence standard d'un paquet publicitaire.....	35
<b>Figure 2.12:</b> Diagramme des paquets de diffusion vers le scanner en fonction du temps.....	36
<b>Figure 2.13:</b> Numérisation et synchronisation des paquets de diffusion avec le scanner.....	38
<b>Figure 3.1:</b> SEGGER Embedded Studio .....	40
<b>Figure 3.2:</b> Les étapes principales pour ouvrir un exemple « Beacon ».....	44
<b>Figure 3.3:</b> Interface de SEGGER Embedded Studio .....	45
<b>Figure 3.4:</b> A propos de Termite .....	46
<b>Figure 3.5:</b> Réglage de l'interface pour communiquer Termite avec le PC .....	47
<b>Figure 3.6:</b> Interface de lancement de nRF connect.....	48
<b>Figure 3.7:</b> L'interface de nRF Connect pour pc .....	49
<b>Figure 3.8:</b> Ajouter ou supprimer une application.....	49
<b>Figure 3.9:</b> Créer un raccourci sur le bureau .....	50
<b>Figure 3.10:</b> Montage d'émission .....	53
<b>Figure 3.11:</b> Montage de réception .....	54
<b>Figure 3.12:</b> Supervision du feux rouges en mode nuit.....	55
<b>Figure 3.13:</b> Visualisation des boutons S0 et S1 en temps réel sur Termite.....	57

<b>Figure 3.14:</b> Supervision industrielle avec LabView indique l'état du photocellule .....	58
<b>Figure 3.15:</b> Visualisation du photocellule 1 en temps réel sur Termite .....	58
<b>Figure 3.16:</b> Visualisation du photocellule 1 en temps réel sur Termite .....	59
<b>Figure 3.17:</b> Visualisation du photocellule 2 du chariot en temps réel .....	60
<b>Figure 3.18:</b> Interface de nRF connect mobile durant la réception des données .....	61
<b>Figure 3.19:</b> Le RSSI de la donnée reçue .....	61
<b>Figure 3.20:</b> Détails sur la donnée reçue .....	61
<b>Figure 3.21:</b> indique la relation entre le RSSI et la distance .....	62

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1:</b> Catégories des réseaux sans fil.....	11
<b>Tableau 1.2:</b> Comparaison entre les protocoles de WPAN.....	12
<b>Tableau 1.3 :</b> Amélioration du Bluetooth.....	13
<b>Tableau 1.4 :</b> Caractéristiques du Bluetooth classique et BLE.....	14
<b>Tableau 2.1:</b> Détails technique du capteur photoélectrique FAR2/BP-0 E.....	21
<b>Tableau 2.2:</b> Spécification du NRF52 et détail du produit.....	26
<b>Tableau 2.3 :</b> Type de paquet ADV et sa diffusion prise en charge.....	33

### Introduction générale :

Depuis 1973, l'économie mondiale a été changée d'une façon comparable au cours de la révolution industrielle. La technologie à donner la possibilité d'influencer leur famille, leurs organisations et leurs communautés, car elle peut offrir une réduction de la consommation d'énergie, accroître les avantages économiques et permettre une production intelligente.

Le concept de cette révolution se base sur les réseaux de capteurs sans fil dans ces réseaux afin de réaliser la flexibilité, l'adaptabilité et l'efficacité et d'accroître la communication efficace entre les producteurs et les consommateurs.

Les systèmes industriels du présent sont constitués d'un grand nombre de périphériques, ces périphériques peuvent communiquer directement, les données circulent dans n'importe quelle direction, avec une grande souplesse ou ils éliminent le besoin de connectivité par câble.

Ericson a proposé en 1994 la technologie sans fil Bluetooth comme concept d'interconnexion sans fil d'une grande variété d'objets et de périphériques. Bluetooth SIG a été conçu quatre ans plus tard par Nokia sous le nom de Wibree en 2006, qui a ensuite été adopté par le groupe d'intérêt spécial Bluetooth (SIG) en 2010.

Dans le but de mettre le Bluetooth un standard ouvert de l'industrie, Bluetooth SIG a proposé BLE ou Bluetooth Smart, afin d'atteindre le but d'acquérir la communication à courte portée destiné à remplacer le câble connectant les appareils industriels.

Il y a plusieurs raisons pour lesquelles les fils peuvent être gênants et coûteux, on site parmi : il faut consacrer beaucoup de temps pour faire l'installation sur le plan réel, sans oublier le cout élevé des branchements, les coûts de l'entretien, le taux de défaillance des connecteurs et les coûts associés au système câblé augmente d'une année à une autre.

L'objectif de ce mémoire est de créer un système automatisé sans fil avec le protocole de communication Bluetooth Low Energy « BLE », dans le but de diminuer le nombre des câbles dans l'industrie vue que chaque capteur a au minimum trois fils qui vont être acheminés à une distance bien déterminée vers l'API, ou on doit penser que ça va couter trois fois le métrage au minimum pour un seul capteur.

Ce mémoire est divisé en 3 chapitres :

Le premier chapitre : présente les informations fondamentales nécessaires pour comprendre pleinement le concept des changements vécus au cours de la révolution industrielle et l'invasion des réseaux sans fil dans l'espace industriel, en clarifiant les protocoles qui nous permettent de gagner un bon profit économique.

Le deuxième chapitre qui est le cœur de ce mémoire : présente les dispositifs nécessaires et les techniques qui ont été développés pour acquérir une bonne transmission des données souhaitées. Ces techniques sont essentiels à la fois pour établir la connexion voulu.

Le troisième chapitre : présente l'environnement de travail et le logiciel SEGGER Embedded Studio qui est utilisé dans notre programmation, ainsi que certaines applications nécessaires pour les visualisations des résultats obtenus, Les expérimentations menées sur des images de supervision permettent d'illustrer les différentes manières de visualisation par LabView et WinCC Professionnel.

Enfin, nous concluons et nous donnons des perspectives pour la future recherche dans ce domaine coté analogique et évaluer le débit de l'émission a une portée intéressante.

### Introduction

Dans ce chapitre, nous allons Définir la révolution industrielle, et les changements qui ont été abordées dans le système industriel.

L'industrialisation a marqué le passage du système câblé à plusieurs modèles de communication sans fil qui ont été approuvés dans le domaine d'automatisation.

### I.1 Système industriel

Un système industriel apporte une valeur ajoutée à une matière d'œuvre.

Un système industriel est composé de deux parties :

- Une partie opérative, qui effectue les actions nécessaires à la réalisation du processus de fabrication à partir des ordres de la partie commande.
- Une partie commande, qui donne les ordres à la partie opérative selon les informations et les comptes rendus qu'elle reçoit, son module principal et l'automate programmable industriel.

#### I.1.1. Généralités sur les automates programmables :

Les Automates Programmables Industriels (API) sont apparus aux Etats-Unis vers la fin des années soixante, à la demande de l'industrie automobile américaine (General Motors) qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande [1].

Les ingénieurs américains ont résolu le problème en créant un nouveau type de produit nommé automates programmables. Ils n'étaient rentables que pour des installations d'une certaine complexité, mais la situation a très vite changée, ce qui a rendu les systèmes câblés obsolètes [2].

Un automate programmable est un système électronique fonctionnant de manière numérique, destiné à l'environnement industriel [3]. Aux premières, il

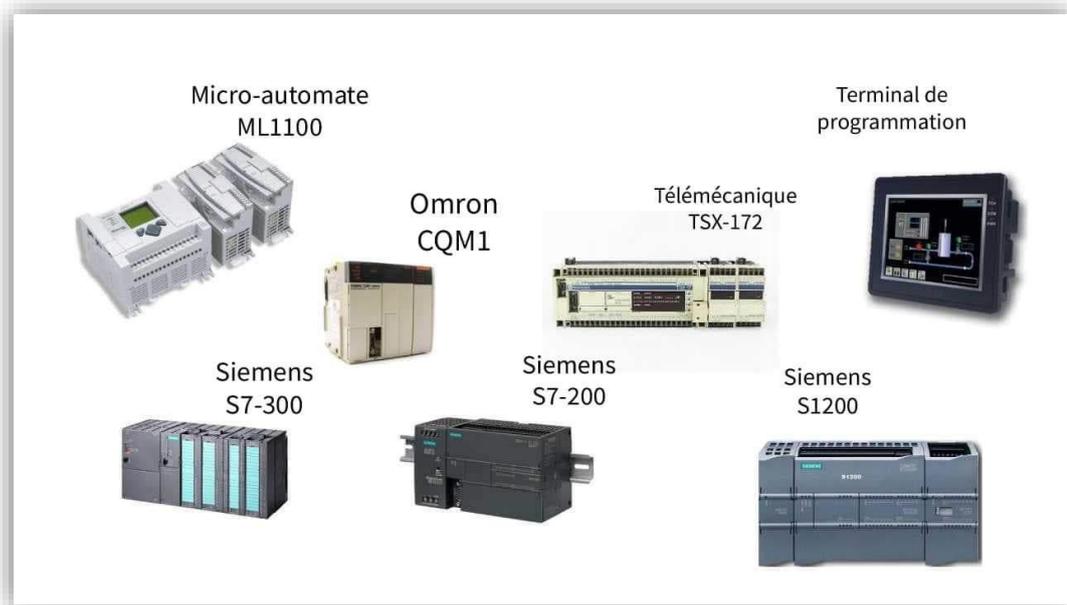
emprunte la simplicité, la robustesse et le faible coût ; aux seconds, la souplesse et l'adaptabilité conférées par leur nature programmable [4].

Les machines de productions modernes sont pratiquement toutes commandées par des systèmes programmables .Cela signifie que le fonctionnement de ce type de machine est complètement régi par un programme constitué d'une suite d'instructions stockées dans une mémoire. Ces instructions sont exécutées séquentiellement par un processeur central unique qui a accès à tous les capteurs et actuateurs de la machine [5]. Les automates sont en effet parfaitement adaptés à l'environnement industriel: entrées/sorties conformes aux standards de signaux industriels, protection contre les parasites électromagnétiques, tenue aux chocs et aux vibrations, résistance à la corrosion, dispositifs de sécurité en cas de panne ou de chute de tension, etc...[6]

Le rôle de l'automate est de :

- Réagir aux changements d'état de ses entrées en modifiant l'état de ses sorties selon une loi de contrôle déterminée a priori par le concepteur du système [7].
- Eliminer des tâches répétitives.
- Simplifier le travail humain.
- Augmenter la sécurité.
- Accroître la production.
- Economiser les matières premières et l'énergie.
- S'adapter à des contextes particuliers.
- Maintenir la qualité.

Il existe des différents modèles d'automates programmables comme montré sur la **(Figure 1.1)**.



**Figure 1.1.** Différents modèles d'API

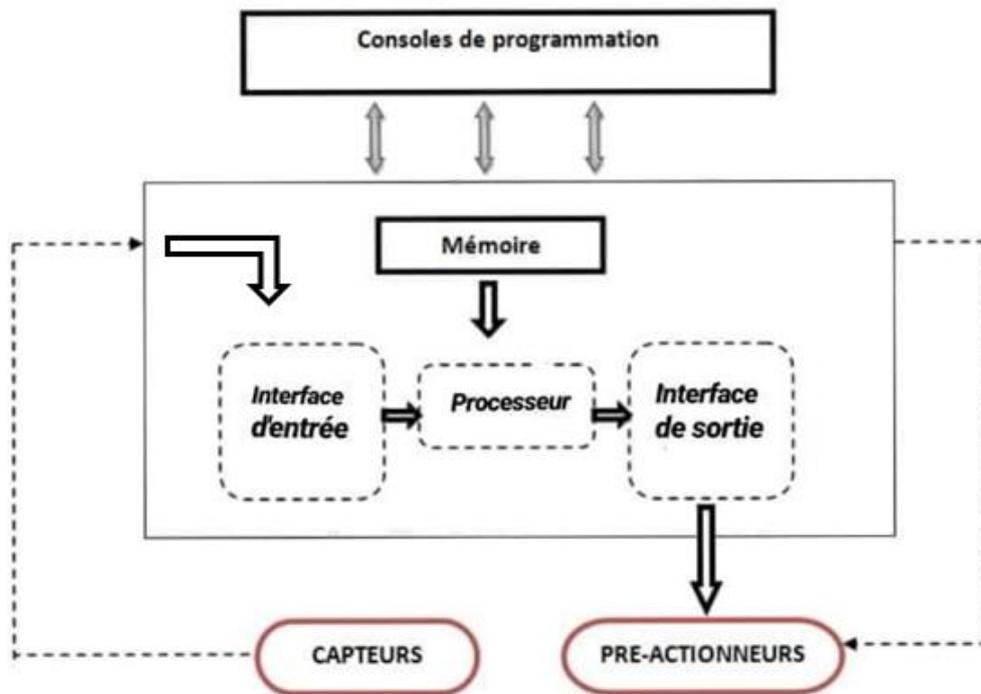
### I.1.3. Structure de l'automate programmable industriel :

Un API se compose principalement de quatre éléments principaux (**Figure 1.2**) :

- a. **L'unité centrale (CPU) :** c'est le cerveau de l'automate qui exécute le programme utilisateur et commande-les sorties.
  - Mémoire.
  - Processeur.
- b. **Le module d'alimentation :** (240V AC, 24V DC) avec un courant de sortie assigné de 2, 5,10A.
- c. **Le module de communication :**
  - Interface (MPI) : C'est une interface de communication utilisée pour la programmation, le contrôle l'échange de données en CPU.
  - Interface PROFIBUS DP pour une vitesse de transmission maximale de 12 Mbauds.
  - Des modules de communication (RS232, RS485 ...) peuvent également être insérés.

- Une interface TCP/IP intégrée, et servira au chargement des programmes et à la supervision du processus.

**d. Interfaces d'Entrées/Sorties :** L'interface d'entrée comporte des adresses d'entrée. Chaque capteur est relié à une de ces adresses. L'interface de sortie comporte de la même façon des adresses de sortie. Chaque pré-actionneur est relié à une de ces adresses. Le nombre de ces entrées et sorties varie suivant le types d'automate.



**Figure 1.2** Structure générale du système industriel

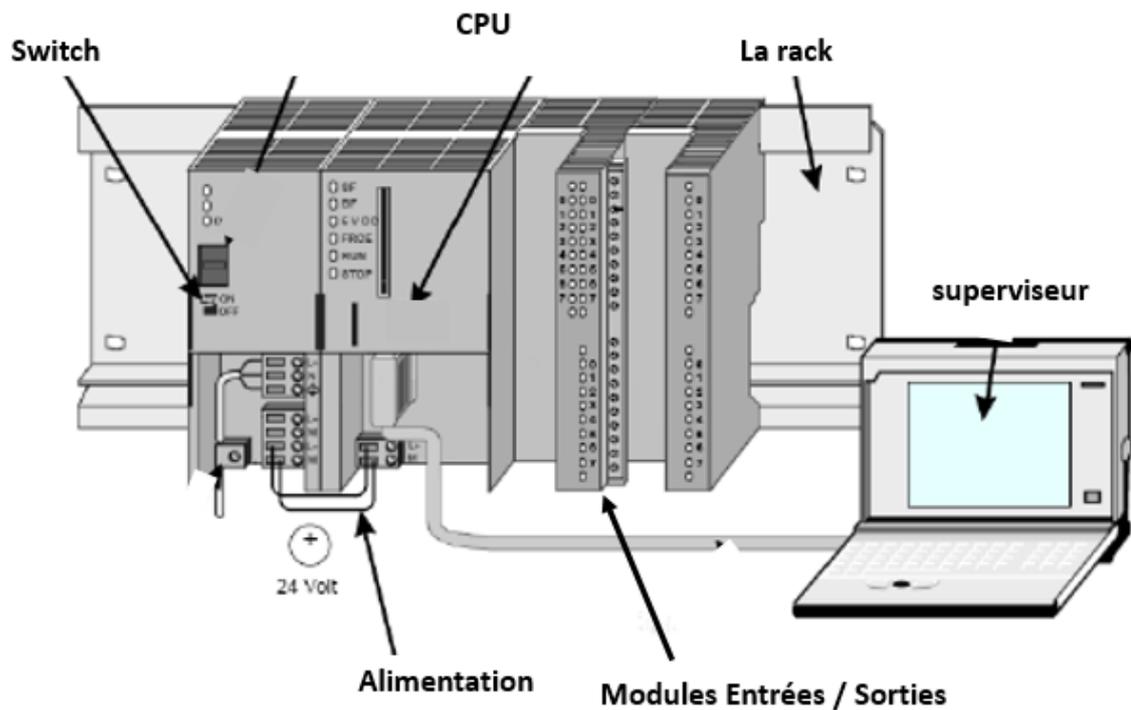


Figure 1.3. Structure de l'API

### II.1.3. Câblage industriel :

Dans le système industriel, il existe plusieurs éléments de fonctions qui nécessite l'intervention de certains modules, on site parmi ces éléments :

- **Éléments pour fonction de sécurité :**  
Les fusibles, sectionneur porte fusible, relais thermique, sectionneurs, disjoncteur, magnétothermique.
- **Éléments pour fonction de commande :**  
Le contacteur, relais électromagnétique (relais de commande), relais de niveau, démarreur Progressif.
- **Éléments pour fonction d'alimentation :**  
Bloc d'alimentation, le transformateur, redresseur.
- **Éléments pour fonction de détection :**

Capteur, les sondes TOR, les sondes analogiques.

- **Éléments pour fonction des actionneurs :**

Les pompes, boutons poussoirs et voyants.

## **I.2. La nouvelle révolution industrielle**

Avant d'aborder la quatrième révolution, la technologie industrielle à passer par trois étapes successives, on cite la première qui est la production mécanique avec la vapeur, l'hydraulique. La deuxième qui est la production de masse avec l'arrivée de l'électricité. La troisième qui est la production automatisée avec les automates et les robots, et maintenant c'est la quatrième révolution [8].

### **I.2.1. L'industrie 4.0**

La quatrième révolution industrielle représente un changement fondamental dans notre façon de vivre, de travailler et de nous relier. C'est un nouveau chapitre du développement humain [9]. Elle suppose une intégration horizontale. On réalise tout de A à Z, sans intervention humaine, en interaction entre les produits et les machines, et les machines entre elles. Nous sommes dans un système global interconnecté [10].

La rapidité, l'ampleur et la profondeur de cette révolution nous obligent à repenser la manière dont les pays se développent, c'est une occasion d'aider tout le monde à exploiter les technologies convergentes afin de créer un environnement inclusif, avenir centré sur l'homme, car elle peut offrir une réduction de la consommation d'énergie, accroître les avantages économiques et permettre une production intelligente. Les réseaux sans fil industriels (IWN) sont la technologie clé permettant le déploiement de l'industrie 4. Ils ont un certain nombre de mérites,

y compris la flexibilité, le manque de câblage et la mobilité [11]. À cet égard, les IWN sont progressivement entrés dans la vision de l'industrie et sont en train de devenir des bases vitales pour réaliser l'architecture de l'Industrie 4.0 et des usines intelligentes. Par

conséquent, les communications et les réseaux jouent un rôle important dans l'industrie 4.0 [12].

### I.3. Réseau de communication sans fil industriel

La communication sans fil représente un enjeu industriel majeur dans les années à venir. Il offre de nombreux usages et aide l'industrie à réduire ses coûts d'exploitation et à améliorer son efficacité opérationnelle.

Ces dernières années, les technologies Wi-Fi (IEEE 802.11-WLANs) et Bluetooth (IEEE 802.15-WPANs) ont connu un développement considérable. Ces technologies sans fil grand public peuvent être utilisées de façon limitée dans des installations industrielles en raison d'environnements difficiles, de problèmes de compatibilité électromagnétique et de brouillage, de contraintes de sécurité liées à la sécurité des technologies de l'information (IT). Et autonomie de la batterie [13].

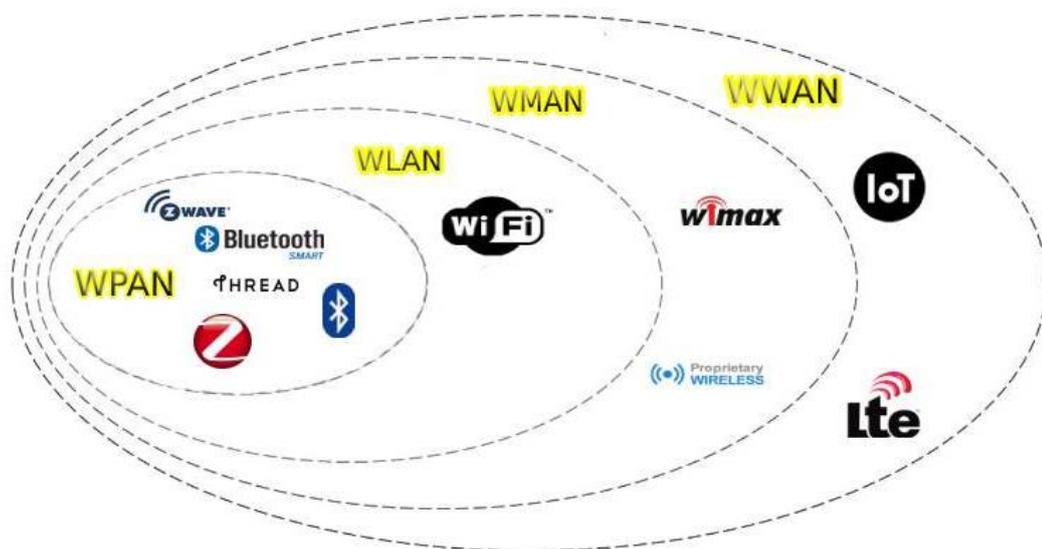
Dans une industrie ou une usine, par exemple, les avantages de l'utilisation des technologies sans fil sont multiples. Tout d'abord, le coût et le temps nécessaires à l'installation et à l'entretien du grand nombre de câbles normalement requis dans un tel environnement peuvent être considérablement réduits, ce qui facilite la configuration et la reconfiguration des installations. Cela est particulièrement important dans les environnements difficiles où il existe des produits chimiques, des vibrations ou des pièces mobiles qui pourraient endommager n'importe quel type de câblage [14].

#### I.3.1 Catégories des réseaux sans fil :

Il existe différents types de réseaux sans fil :

- WPANS: Wireless Personal Area Networks.
  - Bluetooth radio.
  - Bluetooth Low Energy.
  - ZigBee.

- Z-Wave.
- Thread.
  
- WLANS: Wireless Local Area Networks.
  - Wi-Fi.
- WMANS: Wireless Metropolitan Area Networks.
  - Proprietary.
  - Wimax.
- WWANS: Wireless Wide Area Networks.
  - LTE.
  - IOT.



**Figure 1.4.** Classification des réseaux sans fil

Le **(Tableau 1.1)** représente les caractéristiques des catégories des réseaux sans fil.

	<b>Norme</b>	<b>Portée</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Connu sous le nom</b>
<b>Le réseau personnel sans fil (WPAN)</b>	IEEE 802.15	Quelques dizaine de mètres	2.4 Ghz	Bluetooth Thread Zigbee
<b>Le réseau local sans fil (WLAN)</b>	IEEE 802.11	Jusqu'à 500 m	2.4 Ghz et 5 Ghz	wifi
<b>Le réseau métropolitain sans fil (WMAN)</b>	IEEE 802.16	4 à 50 kilomètres	/	wimax
<b>Le réseau étendu sans fil (WWAN)</b>	IEEE 802.20	Très large	/	Lte IOT

**Tableau 1.1.** Catégories des réseaux sans fil

**a. Réseaux personnels et locaux sans fil (WPAN)**

Le réseau personnel sans fil (appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil et noté WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN.

Les avantages évidents de la transmission sans fil ont mené à un certain nombre de solutions. Ces solutions sont axées sur les données comme les réseaux sans fil de zone personnelle (WPAN) et les réseaux de capteurs sans fil. Les systèmes WPAN, tels que Bluetooth BT (IEEE 802.15.1), BLE (IEEE 802.15.4), Zigbee (IEEE 802.15.4), Thread (IEEE 802.15.4) et ANT (IEEE 802.15.4) ont été conçus pour connecter des appareils sans fil tout en tenant compte de l'efficacité énergétique. Ils supportent des débits de données de l'ordre de centaines de kilobits par seconde à quelques mégabits par seconde et ont des intervalles de l'ordre de quelques mètres (**Tableau 1.2**) [15].

	Bluetooth classique	BLE	ZigBee	Thread	ANT
IEEE	802.15.1	802.15.4	802.15.4	802.15.4	802.15.4
Fréquence	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4GHz
Portée	10 m	100 m	10 m	40 m	30 m
Nombre des nœuds	8	illimité	65 000+	250-300	2
Vitesse de transfert	1-3 Mb/s	1 Mb/s	20-250 kb/s	250 kb/s	20 kb/s
Période d'advertising	100 ms	~20 ms	100 ms	/	10 ms

**Tableau 1.2.** Comparaison entre les protocoles de WPAN

### **I.3.2. Bluetooth Smart (BLE)**

Au milieu des années 1990, Ericsson a lancé Bluetooth. Le nom inhabituel vient d'un roi danois du Xe siècle « **Harald Blatand** »[16].

En 2010, le groupe d'intérêt spécial Bluetooth (SIG) a publié sa spécification de base 4.0, y compris la technologie Bluetooth basse énergie (BLE), ou Bluetooth Smart. Elle a été introduite pour la première fois avec l'adoption de la spécification Bluetooth Core 4.0. La dernière version de cette technologie est actuellement Bluetooth 5.0, qui a été publiée en décembre 2016 [17]. Les informations contenues dans cette section sont extraites de cette spécification si rien d'autre n'est indiqué. Cette radio à courte portée peut fonctionner pendant des années avec des piles ou de l'énergie récupérée [18].

L'une des principales raisons du succès de la technologie Bluetooth est qu'elle est toujours efforcée de fournir aux développeurs des solutions de connectivité sans fil complètes. Par conséquent, le BLE permet aux développeurs de diffuser de l'audio entre des périphériques, transférer des données entre des périphériques, créer une solution

de service de localisation ou créer un réseau de périphériques volumineux [19]. Cette technologie a été conçue pour être facile à utilisation et de fournir aux utilisateurs la liberté, la fiabilité, la polyvalence [16].

### **a. Développement du Bluetooth**

Bluetooth a passé par certaines améliorations avant d'avoir arrivé au Bluetooth smart,

Le (**Tableau 1.3**) au-dessous illustre les éléments principaux dans cette amélioration.

Date	Version	Améliorations
1999	1.0b	- Interopérabilité entre marques
2004	2.0	- Débit pratique supérieur à 2.1 Mbit/s - Réduction de la consommation des périphériques - Optimisation des transferts
2007	2.0 + EDR	- Couplage plus simple et plus rapide. - Sécurité renforcée. - Ajout du mode de connexion « NFC ».
2009	3.0	- Débit théorique supérieur à 24 Mbit/s
2010	4.0 ou 4+LE	- Réduction de la consommation des périphériques (Low energy). - Haute vitesse basée sur le WI-FI. - Logo « Bluetooth Smart Ready ».
2013	4.1	- Connexion d'appareils multiples sur un seul accès pour la sortie du LTE.
2014	4.2	- Réduction de la consommation des protocoles IP sécurisés pour les objets connectés.
2016	5	- Débit supérieur en low energy de 40 à 350 mètres.

**Tableau 1.3.** Amélioration du Bluetooth**b. Bluetooth smart VS Bluetooth classique :**

La technologie à faible consommation est une autre révision Bluetooth, c'est une toute nouvelle technologie [20].

Voici quelques-unes des différences notables :

Bluetooth classique	Bluetooth a basse consommation
Utilisé pour des applications de streaming telles que le streaming audio et les transferts de fichiers.	Utilisé pour les données des capteurs, le contrôle des dispositifs et les applications à faible bande passante.
Non optimisé pour une faible puissance, à un débit de données plus élevé.	Cycles de données de faible puissance et de faible puissance.
Fonctionne sur 79 canaux RF.	Fonctionne sur plus de 40 canaux RF (radiofréquence).
Découverte sur 32 canaux, conduisant à des connexions plus lentes	Connexions sont beaucoup plus rapides (découverte sur 3 canaux)

**Tableau 1.4.** Caractéristiques du Bluetooth classique et BLE**c Avantage :**

- Une faible consommation d'énergie par rapport à d'autres technologies de faible puissance. En envoyant de petites quantités de données avec une vitesse de transfert de 1Mb/s.
- Pas de frais pour accéder aux documents officiels de spécification. Avec la plupart des autres protocoles et technologies sans fil, il faut être membre du groupe officiel ou du consortium pour cette technologie afin d'avoir accès aux spécifications.

- Coût inférieur des modules et des chipsets, même par rapport à d'autres technologies similaires.
- existence dans la plupart des Smartphones sur le marché.

### I.4. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le passage révolutionnaire des systèmes industriels vers la quatrième génération qui nous a permis d'intervenir les réseaux sans fil dans le monde industriel et en particulier le réseau personnel sans fil (WPAN).

L'étude sur les protocoles sans fil de (WPAN) nous a mené à choisir le Bluetooth smart, sa topologie de réseau proposée pour la mise en œuvre de la technologie BLE a prouvé être :

- Plus efficace en puissance.
- Fournir un débit de données supérieur à celui d'autres technologies sans fil.
- Forte redondance cyclique des contrôles sont garantis qui offrent des communications très robustes et sécurisées.
- Idéale pour remplacer la série câblée communications sur des distances relativement courtes.
- Meilleure stabilité et sécurité du réseau par rapport aux autres technologies sans fil.
- Pour tous les intervalles de veille mesurés, BLE a atteint une consommation d'énergie inférieure.

## **Introduction**

Dans ce chapitre, nous décrivons les différentes techniques qui ont été développés pour la transmission sans fil des données de diffusion souhaitées en particulier BLE. Ces théories sont essentiels à la fois pour atteindre la communication unidirectionnelle, à l'aide des techniques fondamentales électronique et technologiques.

### **II.1. Intégration du capteur avec le transmetteur**

Afin de transmettre l'état des capteurs industriels en BLE, le choix des capteurs et leurs technologies semblent importantes à ce niveau.

#### **II.1.1. Capteurs de proximité photoélectriques**

Le capteur de proximité infra-rouge (capteur photoélectrique) se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur. Un détecteur photoélectrique réalise la détection d'une cible, qui peut être un objet ou une personne, par coupure d'un faisceau lumineux. La détection est effective quand la cible pénètre dans le faisceau lumineux et modifie suffisamment la quantité de lumière reçue par le récepteur pour provoquer un changement d'état de la sortie [21].

Associée à un conditionneur approprié, la cellule photoconductrice compte parmi les capteurs optiques les plus sensibles.

Les appareils existent sous différentes formes : compacts, miniatures, subminiatures, à fibres optiques, rectangulaires avec boîtier plastique ou métallique, ou cylindriques avec corps en plastique, métal ou inox [21].

L'intérêt des cellules photoconductrices réside dans leur sensibilité élevée et dans la simplicité de leurs montages d'utilisation.

Ces détecteurs sont utilisés dans les domaines industriels et tertiaires les plus divers: détection d'objets et de produits dans la manutention et le convoyage, détection de pièces machine dans les secteurs de la robotique, des ascenseurs et du bâtiment en général, du textile, détection de personnes, de véhicules ou d'animaux, etc. ...

La détection s'appuie sur les cinq systèmes de base suivants : barrage, reflex, reflex polarisé, proximité, proximité avec effacement de l'arrière-plan [21].

### a. Technologie et principe de détection

Les constituants électroniques l'émetteur à diode électroluminescente et le récepteur à phototransistor sont utilisés pour leur grand rendement lumineux, leur insensibilité aux chocs et aux vibrations, leur tenue en température, leur durée de vie pratiquement illimitée, leur rapidité de réponse.

Un détecteur photoélectrique réalise la détection d'une cible (objet ou personne) au moyen d'un faisceau lumineux. Ses deux constituants de base sont un émetteur et un récepteur de lumière.

La détection est effective quand la cible pénètre dans le faisceau lumineux et modifie suffisamment la quantité de lumière reçue par le récepteur pour provoquer un changement d'état de la sortie.

Tous les détecteurs photoélectriques ont un émetteur à diode électroluminescente (DEL) et un récepteur à phototransistor. Selon les modèles de détecteurs et les impératifs applicatifs, l'émission se fait en lumière non visible infrarouge.

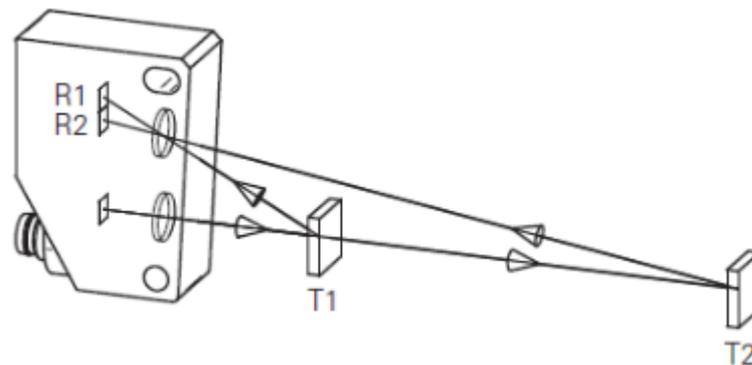
### b. Détecteur avec élimination de l'arrière-plan

Les détecteurs de proximité avec effacement de l'arrière-plan (**Figure 2.1**) sont équipés d'un potentiomètre de réglage de portée qui permet de se « focaliser » sur une zone de détection en évitant la détection de l'arrière-plan. Ils peuvent détecter pratiquement à la même distance des objets de couleurs et de réflectivités différentes. La tolérance de fonctionnement d'un système proximité avec effacement de l'arrière-plan dans un environnement pollué est supérieure à celle d'un système standard, la

portée réelle n'évoluant pas en fonction de la quantité de lumière renvoyée par la cible [22].

Les détecteurs réflex avec élimination de l'arrière-plan selon le principe de triangulation n'évaluent pas seulement l'intensité de la lumière renvoyée par l'objet mais ils sont aussi à même d'évaluer la distance de l'objet par rapport au détecteur.

C'est ainsi que des objets qui accusent une dimension minimum au moins égale au rayon lumineux et qui se trouvent à l'intérieur de la zone de détection réglable peuvent être reconnus indépendamment de leurs couleurs et de leurs structures (**Figure 2.2**). Les détecteurs réflex avec élimination de l'arrière-plan et source laser ont été développés tout spécialement pour des applications où un positionnement très précis est recherché. A cause d'un rayon bien focalisé, de très petits objets comme, par exemple, les fils de connexion des résistances ou des fils peuvent être reconnus ou comptés de façon fiable [22].



**Figure 2.1.** Schéma explicatif du détecteur avec l'élimination de l'arrière-plan

### c. Caractéristiques et utilités

- **Portée réglable**

Le seuil de commutation peut être réglé de façon précise entre l'objet et l'arrière-plan perturbant au moyen d'une vis de réglage [23].

- **Insensible à la couleur**

La portée de détection reste constante même lors du changement de couleur de l'objet [23].

- **Petite dimension du spot**

Les détecteurs laser peuvent détecter des objets d'une dimension jusqu'à 0,1 mm. Les détecteurs avec diode Pin-Point ont, au foyer, un spot d'une valeur de 2 mm seulement [23].

- **Emetteur lumière rouge**

La lumière rouge visible rend possible un réglage simple et visuel du détecteur sur de petits objets [23].

- **Court temps d'activation**

Des petits objets se déplaçant rapidement sont reconnus de façon fiable grâce au court temps d'activation [23].



**Figure 2.2.** Application réelle d'une photocellule

### II.1.2. Fiche technique du capteur utilisé

Le capteur utilisé est un capteur photoélectrique cylindrique, PNP de type (Diffuse reflection sensor M12 connector) qui porte la référence FAR2/BP-0 E du fabricant SICK qui est l'un des principaux fabricants de capteurs intelligents et de solutions de capteurs pour les applications industrielles (**Figure 2.3**)[46].

Une gamme unique de produits et de services crée la base idéale pour contrôler les processus de manière sécurisée et efficace, en protégeant les personnes contre les accidents et en prévenant les dommages à l'environnement.



**Figure 2.3.** Capteurs photoélectriques cylindriques FAR2/BP-0 E [46]

Le **Tableau 2.1** au-dessous, décrit les caractéristiques mécanique et électronique du capteur utilisé.

CARACTERISTIQUES	
Capteur / Principe de détection	Détecteur de proximité photoélectrique, suppression de fond
Conception du boîtier	Cylindrique
Axe Optique	Axial
Plage de détection Max	1 mm ... 100 mm
Source de lumière	LED Rouge visible
MECANIQUE / ELECTRONIQUE	
Tension d'alimentation	10 V CC ... 30 V CC
Consommation d'énergie	30 mA
Sortie de commutation	PNP
Tension du signal PNP HIGH/LOW	Environ Vs -1,8 V / 0 V
Courant de sortie I <sub>max</sub>	≤ 100 mA
Temps de réponse	200 ms
Fréquence de commutation	250 Hz

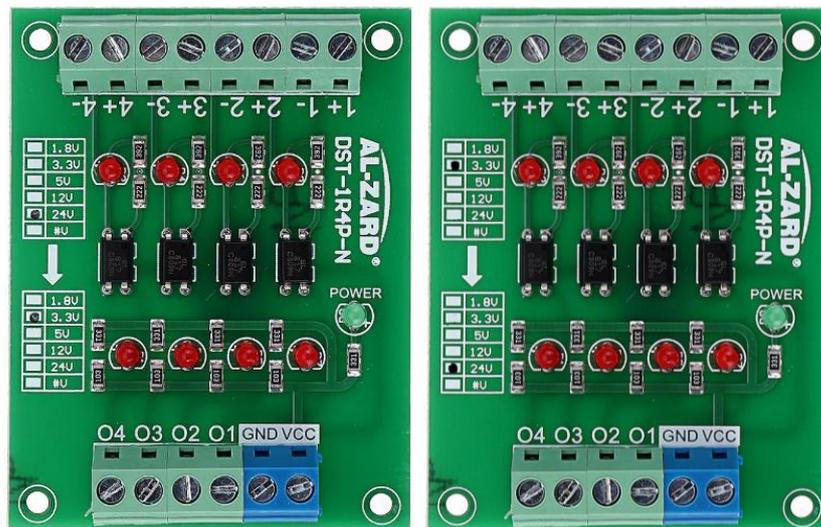
Protection	Oui
Une fonction spéciale	Optique focalisée
Température ambiante de fonctionnement	-25° C ... +55° C
Température ambiante de stockage	-40° C ... +70° C

**Tableau 2.1** : Détails technique du capteur photoélectrique FAR2/BP-0 E [46].

### II.1.3. Carte de conversion de tension 24V à 3.3V

La tension délivré dans les industries est normalisée par 24V, ou on doit abaisser la tension a 3.3 V selon la carte choisi pour la diffusion des données (**Figure 2.4**).

Les régulateurs DC-DC ont un très haut rendement et ils sont dont très appréciés dans les projets modernes puisqu'il faut éviter de gaspiller l'énergie (en chaleur).



**Figure 2.4.** Cartes de conversion 24 V DC – 3.3 V DC et de 3.3 V DC – 24 V DC.

### a. L'optocoupleur EL 817 C809N

Les opto-isolateurs ou opto-coupleurs sont constitués d'un dispositif émetteur de lumière et d'un dispositif photosensible, le tout emballé dans un seul boîtier, mais sans connexion électrique entre les deux, mais avec un faisceau de lumière. L'émetteur de lumière est presque toujours une LED. Le dispositif photosensible peut être une photodiode, un phototransistor ou plusieurs dispositifs ésotériques tels que des thyristors, des TRIAC, etc.

De nos jours, de nombreux équipements électroniques utilisent un coupleur optique dans le circuit. Un opt-coupleur ou parfois appelé opt-isolateur permet à deux circuits d'échanger des signaux tout en restant isolés électriquement. Ceci est généralement accompli en utilisant la lumière pour relayer le signal.

Le signal est appliqué à la LED, qui brille ensuite sur le transistor dans le circuit intégré sans oublier que la lumière est proportionnelle au signal, le signal est donc transféré au phototransistor.

L'optocoupleur est généralement utilisé dans les circuits d'alimentation à découpage de nombreux équipements électroniques. Il est connecté entre les sections primaire et secondaire des alimentations. L'application ou la fonction de l'opto-coupleur dans le circuit selon le schéma mentionnée dans la **(Figure 2.5)** consiste à :

- Surveiller la haute tension.
- Échantillonnage de la tension de sortie pour la régulation.
- Isolation galvanique.

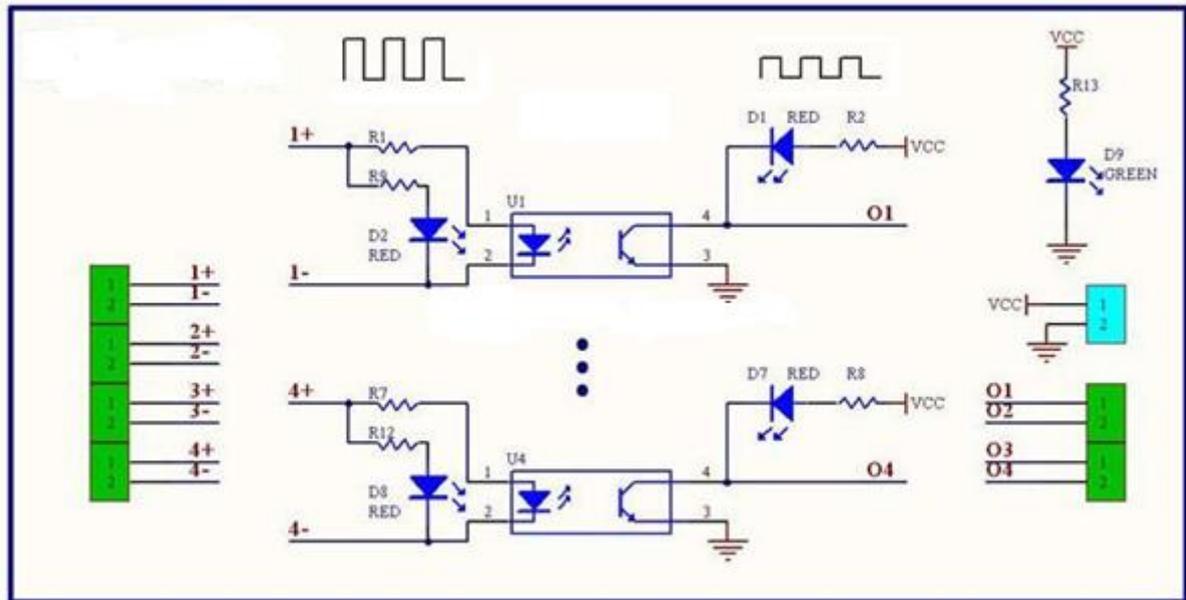


Figure 2.5. Schéma électrique de la carte de conversion 24 V DC – 3.3 V DC.

#### II.1.4. NRF52 par NORDIC Semiconductor

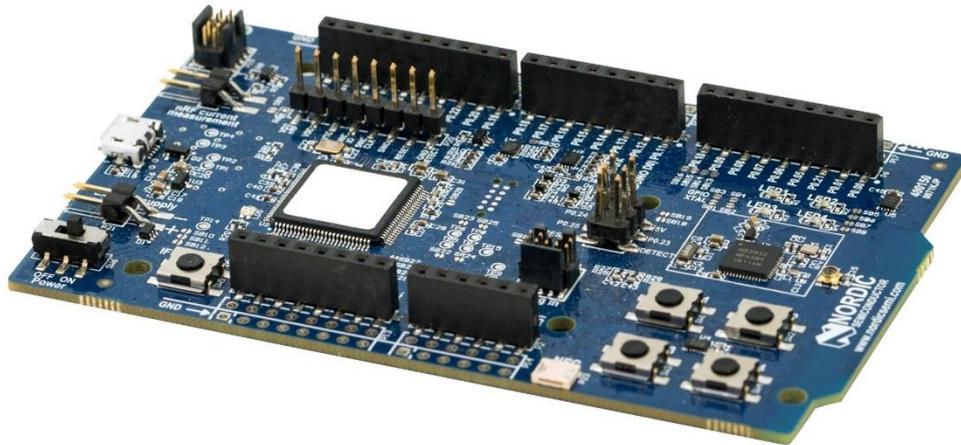
Avant d’entamer la communication sans fil, la partie hardware est importante pour établir cette action. La société NORDIC Semiconductor a réalisé plusieurs versions du NRF5 spécialisée dans la communication sans fil à courte portée.

Le nRF52832 mentionné dans la (Figure 2.6), est le membre de milieu de gamme de la famille de SoC nRF52 Séries. Il relève les défis d’un large éventail d’applications nécessitant des ensembles de fonctionnalités Bluetooth 5, la simultanéité de protocoles et un ensemble riche et varié de périphériques et de fonctionnalités. De plus, il offre une disponibilité de mémoire généreuse pour Flash et RAM [25].

Le nRF52832 est entièrement compatible multi protocole avec accès simultané au protocole complet. Il prend en charge les protocoles pour les piles propriétaires Bluetooth 5, Bluetooth maillé, ANT et 2,4 GHz [25].

Il est construit autour d'un processeur ARM® Cortex™ -M4 avec une unité à virgule flottante fonctionnant à 64 MHz. Il possède une étiquette NFC-A pour une utilisation dans les solutions simplifiées de paiement. Il possède de nombreux périphériques et interfaces numériques pour les microphones numériques et l'audio.

Une consommation d'énergie exceptionnellement basse est obtenue grâce à un système sophistiqué de gestion de l'alimentation adaptative sur puce [25].



**Figure 2.6.** Kit de développement NRF 52 par NORDIC Semiconductor.

### a. Spécification du produit

Le nRF52832 et tous les SoC de la famille nRF52 Series sont les SoC à mémoire flash sont parfaits pour les mises à jour de micro-logiciels de périphériques « Device Framewave Update » (DFU) qui apporte une flexibilité et un contrôle total en cours d'exécution dans votre produit (**Figure 2.7**). Activation de nouvelles mises à jour de sécurité, correction de bugs et ajouts de fonctionnalités sur le terrain. Le (**Tableau 2.2**) met en valeur quelques spécifications du produit [26].

Radio	
Band	2.4 GHz ISM
Débit de données en visibilité	2 Mbps et 1 Mbps Bluetooth LE 1 Mbps ANT 2 Mbps and 1 Mbps 2.4 GHz proprietary
Puissance de sortie	Programmable : +4 à -20 dBm par incrément de 4 dB
Sensibilité	-96 dBm Bluetooth LE 1 Mbps -89 dBm Bluetooth LE 2 Mbps -93 dBm 1 Mbps ANT -30 dBm whisper mode (silencieux)
RSSI	1 dB résolution
Consommation de courant radio avec DC / DC à 3V	7.5 mA – TX at +4 dBm puissance de sortie 5.3 mA – TX at 0 dBm puissance de sortie 5.4 mA – RX at 1 Mbps
Microcontrôleur	
CPU	ARM Cortex M4
Unité à virgule flottante	Oui
Mémoire	Flash 512 KB + 64 KB RAM Flash 256 KB + 32 KB RAM
GPIO	32 configurable

**Tableau 2.2.** Spécification du nRF52 et détail du produit

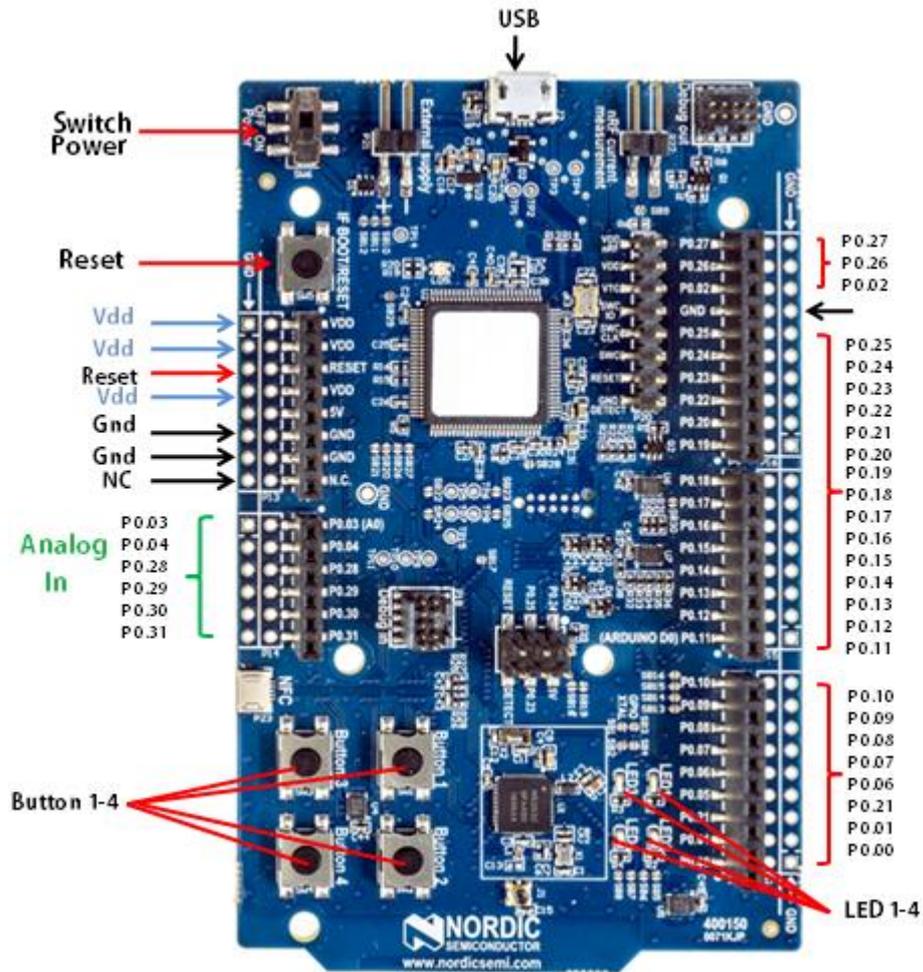


Figure 2.7. Fonctionnement du pins du kit de développement nRF52

## II.2. Communication sans fil

La spécification de base Bluetooth 4.0 a été publiée avec pour objectif principal la conception d'une norme de diffusion avec une consommation d'énergie ciblée à utiliser sur des appareils disposant de peu de ressources, d'énergie et de bande passante [27].

BLE présente un certain nombre d'avantages par rapport aux autres protocoles de communication, notamment la possibilité de conserver l'énergie plus longtemps, une

utilisation extrêmement réduite des ressources même avec des volumes de transfert de données plus importants, etc ... [27].

La technologie de faible énergie Bluetooth met également en œuvre la même sécurité de lien avec des modes d'appariement simples, authentification sécurisée et chiffrement. Cet héritage rend la technologie Bluetooth basse énergie facile à configurer, robuste et fiable dans des environnements difficiles [28].

### II.2.1. Architecture Bluetooth basse consommation (BLE)

La pile BLE se compose de deux couches différentes - hôte et contrôleur - liées via l'interface HCI. Tous les composants des différentes couches ont leurs propres fonctionnalités. Par exemple, la couche physique est responsable de toute la modulation et de la démodulation des signaux ; la couche liaison gère la génération de CRC, le chiffrement et la définition de la manière dont les périphériques communiquent entre eux ; et le protocole L2CAP prend plusieurs formats de données des couches supérieures et les place dans une structure de paquets BLE.

Tout en haut de la pile BLE, à l'intérieur de la couche hôte, il existe quelques composants plus intéressants tels que le protocole d'attribut (ATT), le profil d'attribut générique (GATT) et le profil d'accès générique (GAP) selon la **(Figure 2.8)**.

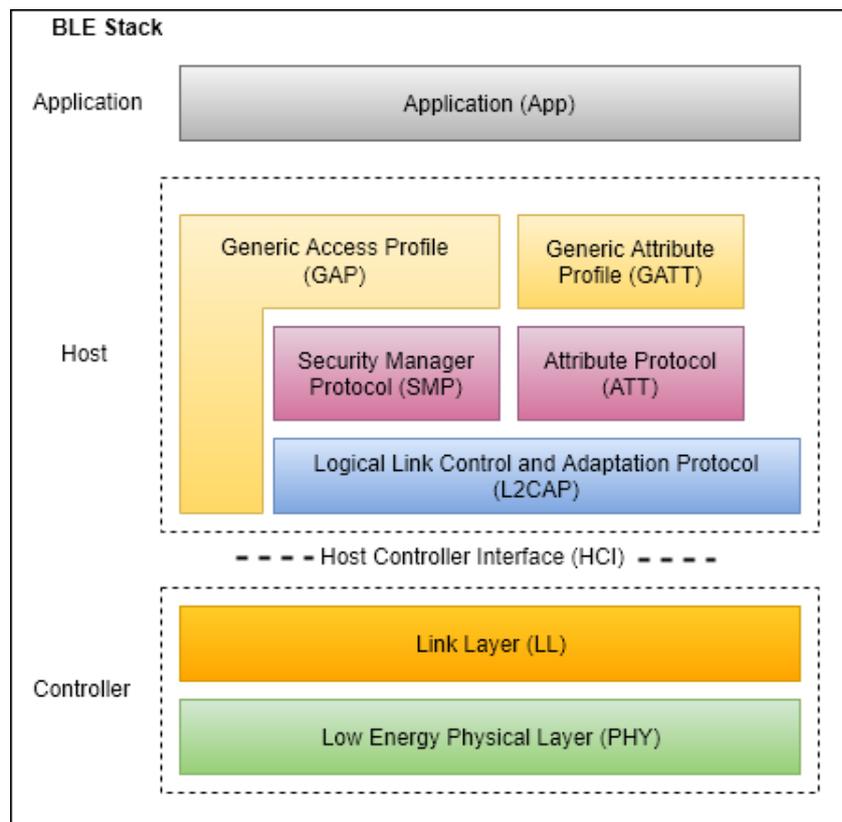
- GAP est responsable de toutes les découvertes et des aspects liés dans tout réseau BLE. ATT définit le protocole client / serveur pour l'échange de données, qui est ensuite regroupé en services utiles à l'aide du GATT.
- Le GATT est responsable de l'échange complet de toutes les données d'utilisateur et informations de profil dans une connexion BLE.

Le principe de fonctionnement de ce processus peut être divisé en les étapes suivantes :

- Deux périphériques sont impliqués : un diffuseur et un périphérique. Le rôle du radiodiffuseur est de collecter et de surveiller les données. Il diffuse également

en permanence pour assurer sa disponibilité. L'observateur observe ces émissions.

- Lorsqu'un observateur observe un message diffusé correspondant à ce qui l'intéresse, il envoie un accusé de réception pour la connexion au périphérique.
- En fonction du mécanisme d'appariement sélectionné, les deux appareils sont maintenant connectés l'un à l'autre.
- Ensuite, la transmission de données commence, au cours de laquelle l'observateur et le périphérique s'envoient et reçoivent des données l'un par rapport à l'autre.



**Figure 2.8.** Architecture de la Pile Bluetooth LE

## II.2.2. Emission des données

Le processus de communication BLE comprend deux étapes principales : la diffusion via des émetteurs et la connexion entre les émetteurs et les récepteurs. En pratique, ce processus permet à une application des appareils mobiles d'écouter et de collecter des informations auprès des émetteurs BLE [29].

Le principal enjeu est que les balises annoncent périodiquement des paquets de données à sélectionner par les appareils mobiles. L'indicateur de puissance du signal reçu (RSSI) peut ensuite être mesuré et utilisé pour estimer la distance entre les balises et les appareils mobiles [29].

BLE met en œuvre deux méthodes de communication :

- Non-connecté : un périphérique Bluetooth basse énergie diffuse des paquets vers tous les périphériques environnants. Le dispositif récepteur peut alors agir sur ces informations sans établir de connexion (demande de numérisation) ou peut également se connecter pour recevoir des informations supplémentaires.
- Connecté : la communication est configurée pour recevoir des paquets, où les périphériques et les périphériques centraux envoient des paquets [30].

### a. Advertisement

BLE est basé sur la diffusion de données d'une manière Non-connecté. Le format dans lequel les données sont transportées lorsque la diffusion est définie dans la spécification GAP. Il consiste en une séquence de structures de données, chacune commençant par un octet définissant un type de données de diffusion (ADT), suivi des données réelles de longueur variable [31].

Bluetooth LE prend en charge plusieurs topologies de réseau, notamment une option point à point pour le transfert de données, une option de diffusion pour les services de localisation et une option maillée utilisée pour la création de réseaux de périphériques à grande échelle [28] comme le montre la **(Figure 2.9)**.

Les périphériques BLE peuvent fonctionner simultanément dans un ou plusieurs rôles de profil d'accès générique (GAP) [32].

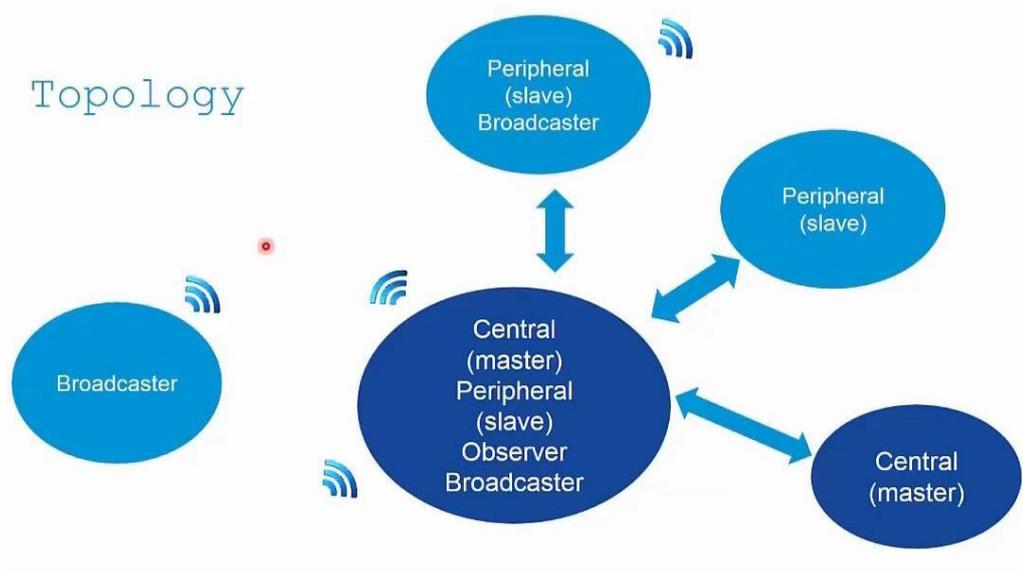
- Central : un appareil qui découvre et écoute les autres appareils qui font de la publicité [31].

Un central peut également se connecter à un appareil de diffusion [30]. Le périphérique agira en tant que maître de couche de liaison. Capable d'établir plusieurs connexions et est toujours celui qui initie une connexion [31].

- Périphérique : un périphérique qui annonce et accepte les connexions des périphériques centraux [30]. Le périphérique agira en tant qu'esclave de couche de liaison [31]. Permet au centre de trouver le dispositif utilisant des paquets publicitaires. Gardez à l'esprit qu'un seul périphérique peut fonctionner dans plusieurs rôles en même temps [30].

- Diffuseur : appareil qui envoie des annonces et ne reçoit pas de paquets ni n'autorise les connexions de tiers [30], conçu pour les applications de transmission uniquement qui seront périodiquement envoyer des paquets publicitaires de données [31].

- Observateur : un périphérique qui écoute les autres qui reçoit des paquets publicitaires, mais ne crée pas de connexion avec le périphérique publicitaire [30], conçu pour les applications de réception uniquement qui souhaitent collecter des données des appareils de diffusion [31].

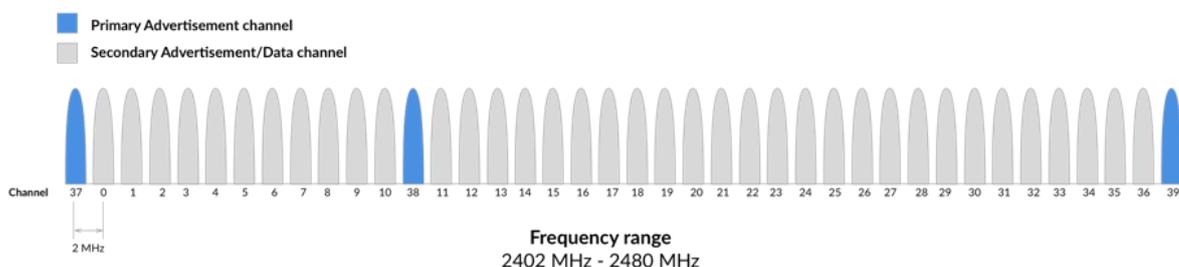


**Figure 2.9.** Les différentes topologies du BLE

Le mode de diffusion et la procédure d'observation définis dans le protocole GAP établissent le cadre à travers lequel les appareils peuvent envoyer des données de manière unidirectionnelle sans connexion, en tant que diffuseur, à un ou plusieurs appareils homologues à l'écoute active (les observateurs). Il est important de noter que le radiodiffuseur n'a aucun moyen de savoir si les données parviennent réellement à des observateurs : un radiodiffuseur diffuse des données sans confirmation ni accusé de réception, et un observateur écoute [31].

#### **b. Types de PDU de canaux publicitaires**

Bluetooth à faible consommation d'énergie possède 40 canaux physiques dans la bande 2,4 GHz ISM, chacun étant séparé par 2 MHz. Bluetooth définit deux types de transmissions : les transmissions de données et les transmissions publicitaires. À ce titre, 3 de ces 40 chaînes sont dédiées à la publicité et 37 aux données (**Figure 2.10**) [31]. Les paquets sont envoyés à un intervalle fixe défini comme l'intervalle de publicité [30].



**Figure 2.10.** Canaux primaires et secondaires par fréquence du BLE.

Il existe sept types d'unité PDU de canal publicitaire, chacun ayant un format de charge utile et une fonction différents comme indiqué dans le **(Tableau 2.3)** si dessous [33] :

- **PDU publicitaires**
  - ADV\_IND, ADV\_DIRECT\_IND, ADV\_NONCONN\_IND, ADV\_SCAN\_IND
- **Numérisation des PDU**
  - SCAN\_REQ, SCAN\_RSP
- **Initier des PDU**
  - CONNECT\_REQ

Type de paquet ADV	Type de publicité prise en charge
ADV_IND	Publicité non dirigée connectable
ADV_DIRECT_IND	Publicité dirigée connectable
ADV_NONCONN_IND	Publicité non dirigée non connectable
ADV_SCAN_IND	Publicité non dirigée scannable

**Tableau 2.3.** Type de paquet ADV et sa diffusion prise en charge

Un paquet peut avoir une longueur de 80 à 376 bits et comporte les composants suivants (*Figure 2.11*) :

- **Préambule** : utilisé pour la gestion de protocole interne. Le préambule des paquets publicitaires est 10101010b.
- **Adresse d'accès** : il s'agit toujours de 0x8E89BED6 (10001110100010011011111011010110b) pour les paquets publicitaires.
- **PDU** : il existe deux formats de PDU, un pour les paquets publicitaires et un pour les paquets de données.
- **CRC** : valeur de 3 octets calculée sur une PDU.
  
- **ADV\_NONCONN\_IND (0010)** : Publicité non dirigée non connectable. Utilisé par les périphériques qui souhaitent diffuser et ne veulent pas être connectés ou numérisés. C'est la seule option pour un appareil qui n'est qu'un émetteur [24].
  - **AdvA (6 octets)** : adresse de périphérique publique ou aléatoire des annonceurs.
    - **TxAdd** indique si l'adresse est publique ou aléatoire.
    - **TxAdd = 0** adresse de l'annonceur est publique.
    - **TxAdd = 1** adresse de l'annonceur est une adresse aléatoire.
  - **AdvData (0-31 bytes)** : données publicitaires facultatives de l'annonceur.

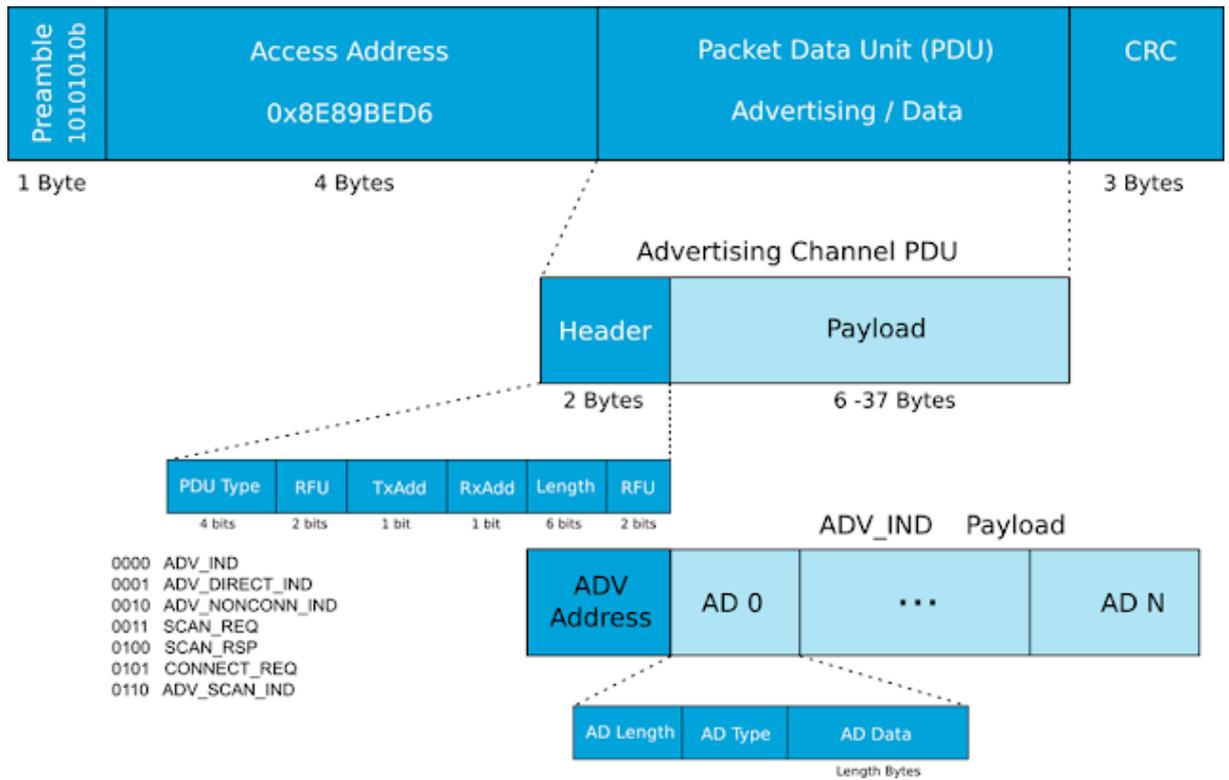


Figure 2.11. La séquence standard d'un paquet publicitaire

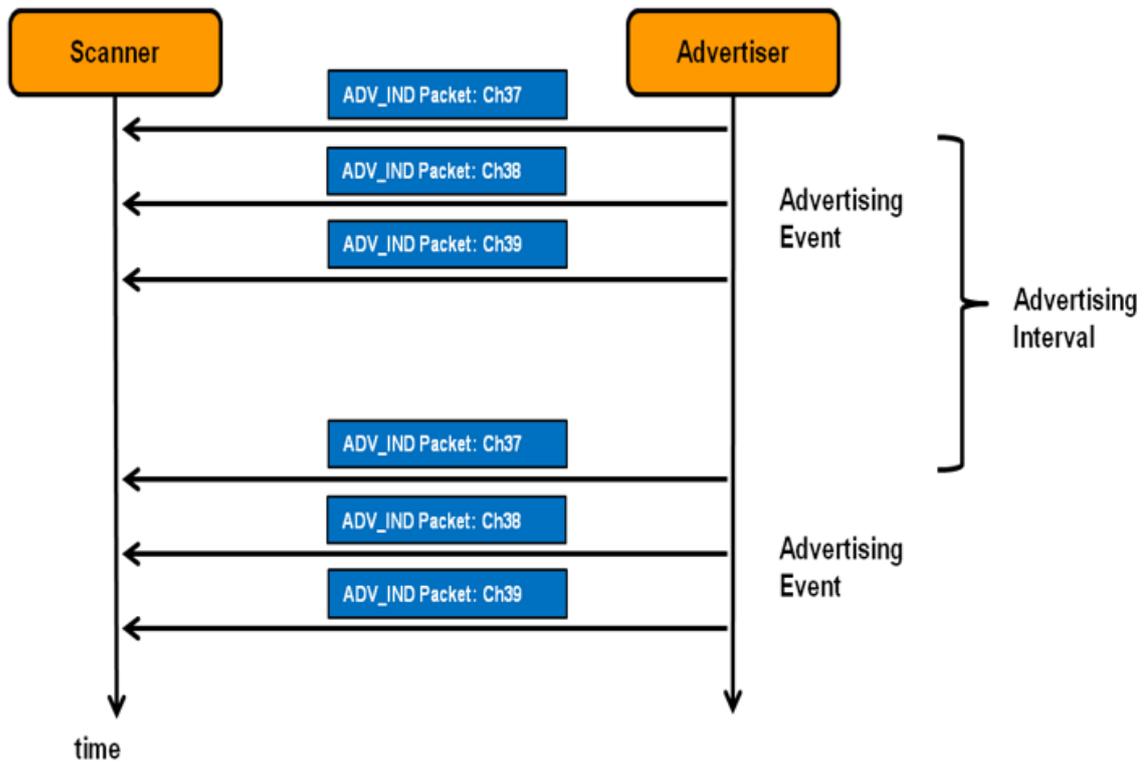
### II.2.3. Mode Scanner

L'analyse est une tâche importante qui complète le processus de découverte. Il est nécessaire de pouvoir recevoir des paquets de publicité. Il existe deux types d'analyse [34] :

**Balayage passif :** ou le scanner écoute simplement les paquets publicitaires. L'annonceur ne sait jamais que des paquets ont été reçus.

**Numérisation active :** Le scanner émet un paquet de demande de numérisation après avoir reçu un paquet de publicité. L'annonceur le reçoit et répond avec un paquet de réponse d'analyse.

L'annonceur envoie des paquets publicitaires initialement non connecté contenant des informations de base sur l'hôte. Tous les scanners reçoivent ces paquets (*Figure 2.12*), [35].



*Figure 2.12.* Diagramme des paquets de diffusion vers le scanner en fonction du temps

#### a. Listes blanches

Les listes blanches sont simplement des tableaux d'adresses de périphériques Bluetooth qui permettent aux hôtes de filtrer les périphériques lors de la diffusion, de l'analyse et de l'établissement de connexions des deux côtés.

Un périphérique analysant ou établissant une connexion peut utiliser une liste blanche pour limiter le nombre de périphériques détectés ou avec lesquels il peut se connecter.

### b. Déffusion et numérisation

Les centrales se connectent aux trois canaux de publicité primaires, un à la fois. Ainsi, pour qu'un Central découvre un périphérique, celui-ci doit être syntonisé sur le même canal que celui sur lequel il fait de la publicité à un moment donné. Pour augmenter la possibilité que cela se produise rapidement, les différents paramètres de publicité et de numérisation peuvent être ajustés.

Chaque paquet publicitaire peut contenir jusqu'à 31 octets de charge utile de données publicitaires, ainsi que les informations d'en-tête de base (y compris l'adresse du périphérique Bluetooth). De tels paquets sont simplement diffusés aveuglément sur les ondes par l'annonceur, sans connaissance préalable de la présence de tout dispositif de numérisation. Ils sont envoyés à un débit fixe défini par l'intervalle de publicité compris entre 20 ms et 10,24 s.

Plus l'intervalle est court, plus la fréquence à laquelle les paquets publicitaires sont diffusés est élevée, ce qui augmente la probabilité que ces paquets soient reçus par un scanner, mais des quantités plus élevées de paquets transmis se traduisent également par une consommation d'énergie supérieure [36].

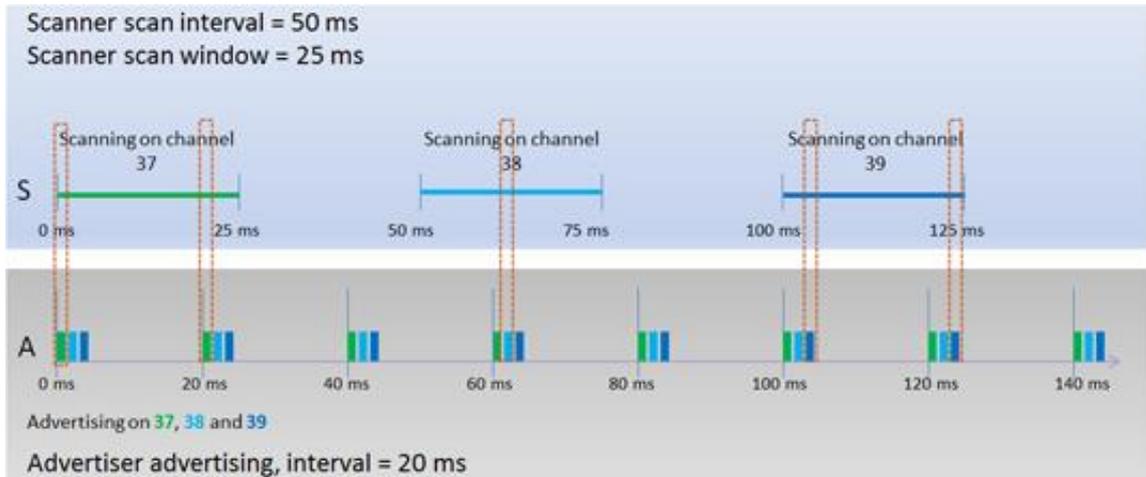
Nous constatons que les activités de publicité et de numérisation ont lieu à intervalles réguliers. Notez cependant que les annonceurs et les scanners ne sont pas synchronisés. Par conséquent, ces activités doivent se chevaucher pour que la découverte puisse débiter [34].

La **(Figure 2.13)** décrit un scénario spécifique :

- Intervalle de l'Advertising : 20 ms, plus l'intervalle est court, plus le signal est stable.

Paramètres du scanner :

- Scan Interval : 50 ms.
- Scan Window : 25 ms.



**Figure 2.13.** Numérisation et synchronisation des paquets de diffusion avec le scanner.

### c. Le RSSI

RSSI signifie Indicateur de puissance du signal reçu mesuré en dBm. Il s'agit de la force du signal de la balise, telle qu'elle apparaît sur l'appareil récepteur, par exemple un smartphone. La force du signal dépend de la distance et de la valeur de la puissance de diffusion. À la puissance de diffusion maximale (+4 dBm), le RSSI varie de -26 (quelques pouces) à -100 (distance de 40 à 50 m).

RSSI est utilisé pour estimer la distance entre l'appareil et la balise en utilisant une autre valeur définie par le standard iBeacon: Puissance mesurée [37]

La puissance mesurée est une constante en lecture seule, qui indique le RSSI attendu à une distance d'un mètre de la balise. Combiné avec RSSI, il permet d'estimer la distance entre l'appareil et la balise [37].

## Conclusion

A la fin de ce chapitre on peut conclure que le BLE accepte deux modes principaux, Non-connecté et connecté.

La diffusion des données a été introduite dans la première méthode (Non-connecté) à l'aide d'une trame bien précise afin d'émettre l'état du capteur traité dans ce bloc sous le nom Advertising.

L'architecture interne du BLE permet au mode scanner de collecter et recevoir les informations pré requises par les capteurs reliés avec le transmetteur « Advertising » d'une manière continue avec une synchronisation entre les deux modes Advertising et Scanner.

## Introduction

Dans ce chapitre on va présenter notre environnement de travail (Les logiciels et applications conçues, le montage réalisés), et quelques interfaces de tests qui montrent les résultats de ce travail.

### III.1. Environnement du travail

Le projet traité ne peut pas être réalisé sans avoir un matériel programmé avec les logiciels cités au-dessous :

#### III.1.1. Introduction au SEGGER Embedded Studio :

La société SEGGER Microcontroller Company propose une gamme complète de composants pour un processus de développement y compris le matériel, les logiciels et les outils. Il assure également le développement professionnel et la production.

Des solutions pour le marché de l'embarqué avec plusieurs années d'expertise [38].



**Figure 3.1.** SEGGER Embedded Studio

SEGGER Embedded Studio (SES) est un environnement de développement intégré (IDE)

C/C ++ pour les produits de NORDIC Semiconductor pour ARM et Cortex, microcontrôleurs et microprocesseurs fonctionnant sous Windows, Mac OS et Linux, comme le nRF52832 [39].

Elle est conçue pour fournir aux utilisateurs tout le nécessaire pour la programmation et le développement professionnels C embarqués professionnels [40]. SES est une solution complète pour la gestion, la création, la construction des tests et le déploiement de vos applications embarquées. Du générateur de projet qui vous permet de démarrer facilement avec les microcontrôleurs courants, au puissant gestionnaire de projet et éditeur de code source [40].

Son style à la Visual Studio-like offre au monde embarqué de l'ingénierie le même usage intuitif que celui que connaissent les développeurs PC.

L'IDE rassemble presque toutes les étapes nécessaires au développement du code C, telles que l'écriture du code, la compilation du code, chargé du code et le débogage du code en cours d'exécution.

SEGGER Embedded Studio est l'environnement de développement idéal pour la gestion, la construction, les tests et le déploiement de systèmes intégrés. Il comprend un compilateur et un débogueur C / C ++. Embedded Studio prend également en charge directement un programmeur de firmware, il est donc facile de télécharger le programme [41].

SEGGER Embedded Studio fournit :

- **Éditeur de code source** : un puissant éditeur de code source avec des fonctions d'annulation et de refonte à plusieurs niveaux, ce qui rend l'édition de votre code source plus facile.
- **Système de projet** : Un système de projet complet organise votre code source et vos règles de construction.
- **Système de construction** : Avec une seule pression sur une touche, vous pouvez construire toutes vos applications dans une solution, prête pour qu'elles soient chargées sur un microcontrôleur cible.

- **Debugger et programmation Flash** : les programmes peuvent être téléchargés directement dans Flash et les déboguer de manière transparente depuis l'EDI en utilisant un large éventail d'interfaces cibles.
- **Système d'aide** : Le système d'aide intégré fournit une aide contextuelle et une référence complète à la fonction SEGGER Embedded Studio IDE et outils.
- **Simulateur de base** : SEGGER Embedded Studio pour ARM fournit une simulation entièrement fonctionnelle sur PC du cœur du microcontrôleur cible afin que vous puissiez déboguer les pièces de votre application sans attendre l'arrivée du matériel.

### III.1.2. Software Développement Kit (SDK 14.1.0)

Le SDK est une bibliothèque dans laquelle un code de programmation pré-écrit et testé facilite le développement [41]. La bibliothèque contient de nombreux exemples d'applications que vous pouvez exécuter sur votre kit de développement pour vous assurer que tout est correctement configuré. Après ces tests, vous pouvez utiliser les exemples comme point de départ pour développer vos propres applications [42].

#### a. SDK pour nRF52

Comme le programme ne peut pas être exécuté sur un ordinateur, un micrologiciel séparé est requis. Avec ce programmeur, les données binaires peuvent être chargées dans la mémoire flash utilisée par le processeur ARM M4F. La plate-forme de développement comprend SEGGER J-Link.

Le nRF52 est une plate-forme de développement distincte qui vous permet d'examiner les performances d'un programme à la fois. Elle est entièrement compatible avec SEGGER Embedded Studio [43].

Le kit de développement logiciel nRF5 SDK est votre première étape dans la création d'applications complètes, fiables et sécurisées avec les séries nRF52. Il offre aux développeurs une multitude de modules et d'exemples variés, y compris de nombreux profils Bluetooth Low Energy, DFU (Device Firmware Upgrade), un sérialiseur GATT et une prise en charge des pilotes pour tous les périphériques de tous les appareils de la série nRF5. Le kit de développement logiciel nRF5 SDK répondra certainement à vos besoins en développant des produits sans fil à la fois passionnants et robustes [44].

Le développement du deuxième prototype utilise le SEGGER Embedded Studio, qui prend en charge la version 14.1.0. Le logiciel de développement est également gratuit aux districts de Nordic Semiconductor.

### **b. S132 SoftDevice :**

SoftDevice est le firmware développé par Nordic Semiconductor. Le SoftDevice exécute toutes les fonctions nécessaires pour le trafic sans fil avec des interruptions, et travaille en toute indépendance.

Un SoftDevice est une bibliothèque de pile de protocoles précompilée pour le SoC nRF52832 qui implémente BLE fonctionnalité. Cette composante est indépendante du développement de l'application et peut être trouvée dans SDKs packs. Il est chargé automatiquement et en toute sécurité avec l'application compilée en nRF52 DK à l'aide de la commande [43].

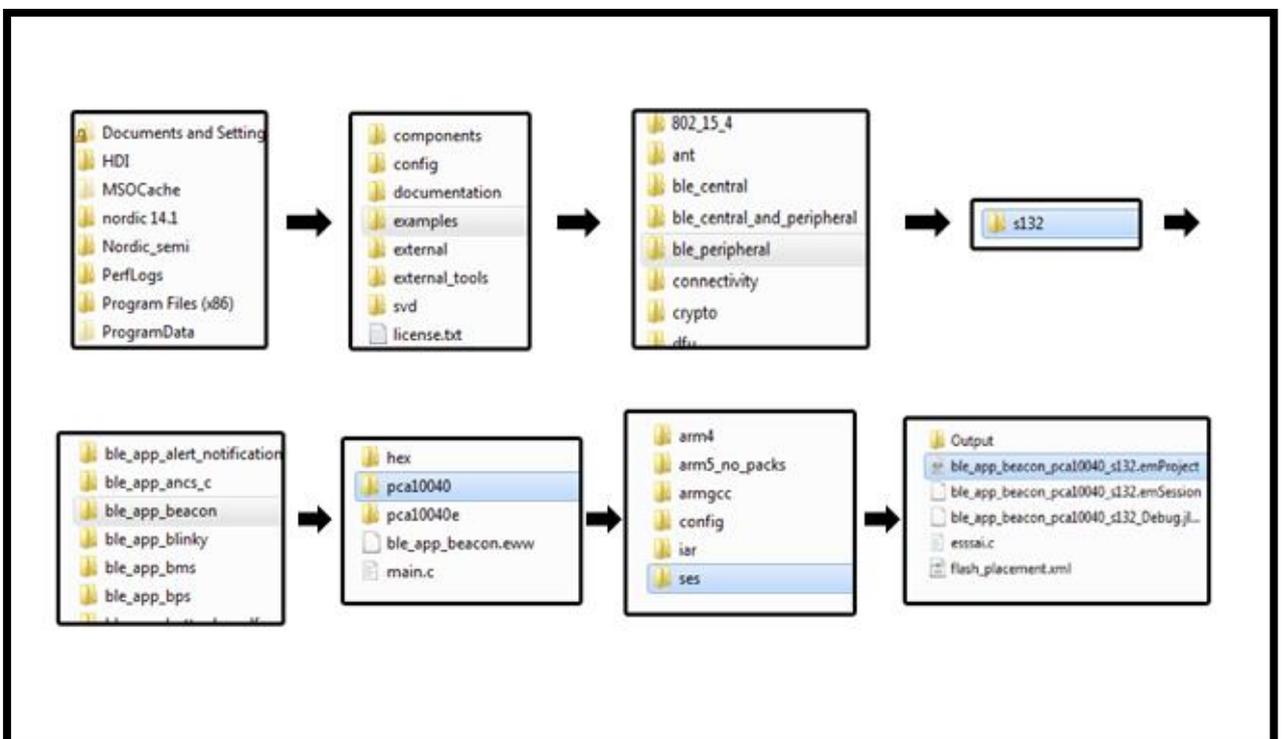
Le SoftDevice S132 est une solution pour Bluetooth® Low Energy Central and Peripheral protocol stack. Il prend en charge jusqu'à vingt connexions avec un observateur supplémentaire et un rôle de radiodiffuseur fonctionnant simultanément. Le S132 SoftDevice intègre un contrôleur et un hôte Bluetooth basse consommation, et fournit une API complète et flexible pour construire des solutions Bluetooth LE nRF52 SoC [41].

c. Démarrer :

La version zip du SDK fournit des fichiers précompilés pour la plupart des exemples fournis.

Pour commencer rapidement, un double clic sur le dossier « SDK 14.1.0 » pour avoir largement de projets a compilé avec des exemples fournis.

Dans le répertoire SDK, naviguer jusqu'à l'exemple voulu tester et ouvrir le sous-répertoire hexadécimal (**Figure 3.2.**) :



**Figure 3.2.** Les étapes principales pour ouvrir un exemple « Beacon »

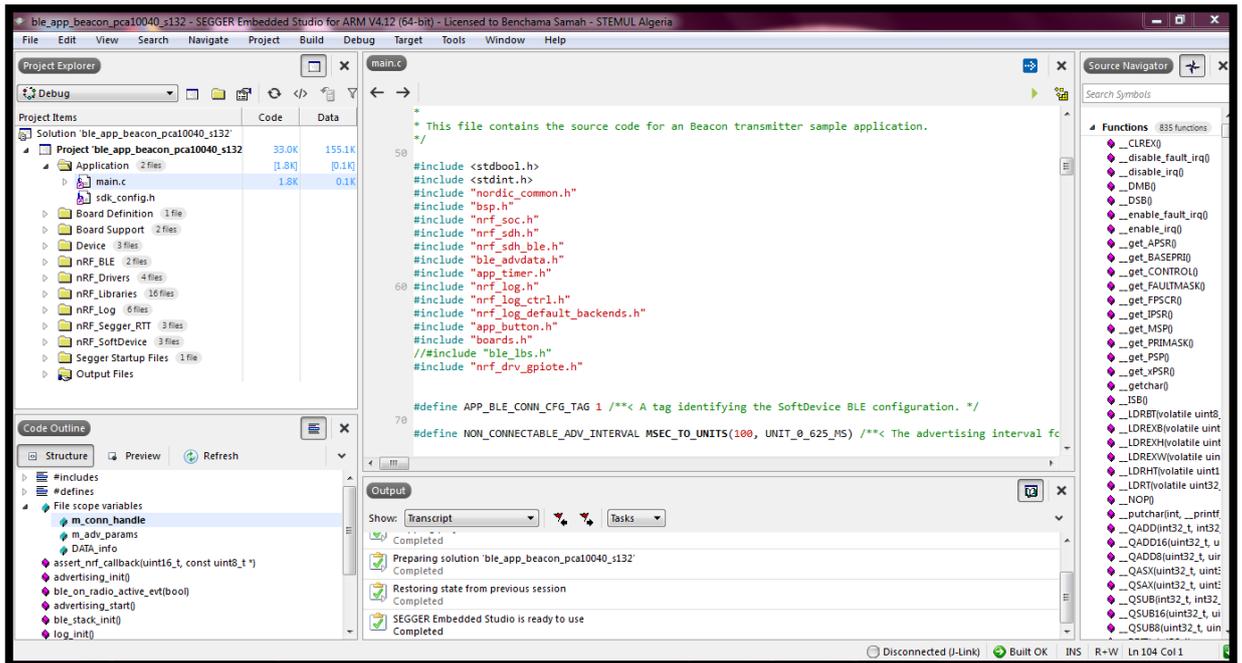
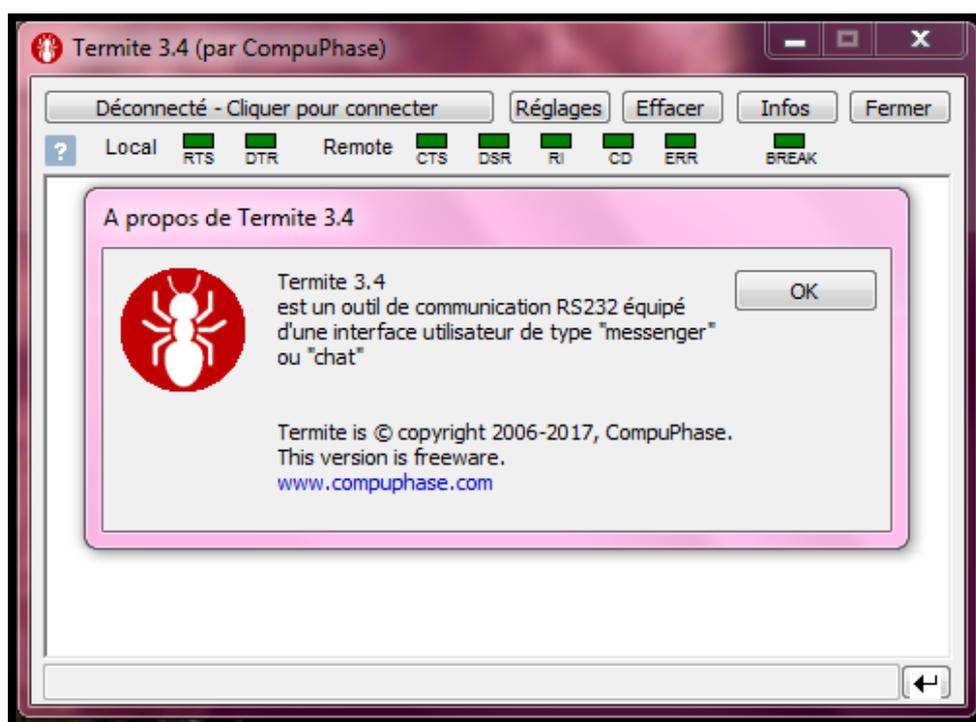


Figure 3.3. Interface de SEGGER Embedded Studio

## III.2. Visualisation des résultats

### III.2.1. Termite version 3.4 :

Termite est un terminal RS232 facile à utiliser et à configurer. Il utilise une interface similaire à celle des programmes "Messenger" ou "chat", avec une grande fenêtre contenant toutes les données reçues et une ligne d'édition permettant de saisir les chaînes à transmettre. Les points forts de cet utilitaire sont la facilité d'installation (éventuellement avec des paramètres préconfigurés) à l'aide d'une recherche heuristique du port COM approprié et, comme cela a été mentionné, de sa convivialité [47].

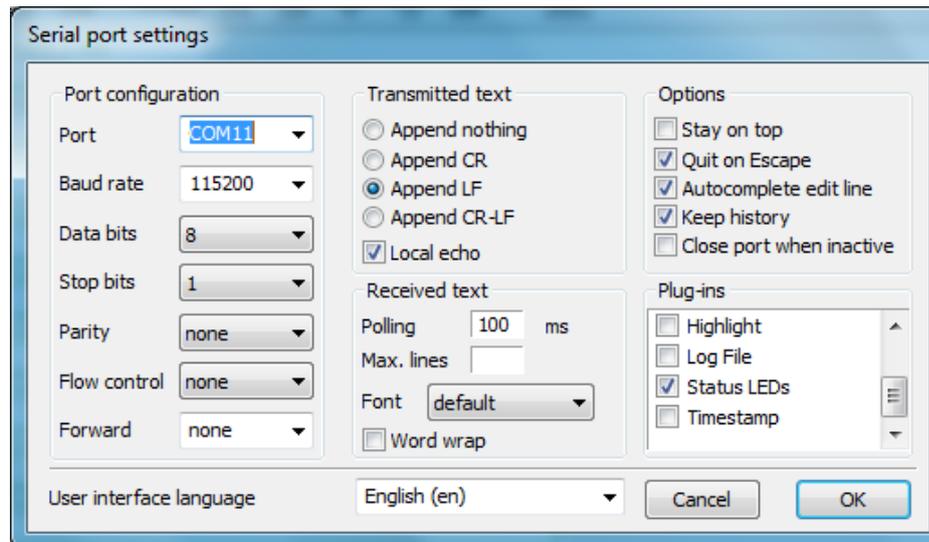


*Figure 3.4.* A propos de Termite

**a. Fonctionnement :**

Termite se concentre sur les données textuelles, et plus particulièrement sur le texte envoyé et reçu sous forme de chaînes se terminant par des caractères "nouvelle ligne". Il ne contient aucune disposition pour transférer des fichiers ou des données binaires, et il donne la possibilité d'envoyer et recevoir des octets sous forme de valeurs hexadécimales.

L'interface du programme Termite comporte une grande zone de texte initialement vide appelée « vue de réception ». Au-dessus se trouve un ensemble de boutons dans une « barre de boutons » et au-dessous se trouve une ligne « transmettre » afin de taper une ligne de texte. L'utilitaire ouvre automatiquement le port RS232 pour lequel il a été configuré. Il montre la configuration actuelle à gauche dans la barre de boutons. Si ceux-ci ne sont pas corrects, le bouton « Réglage » donne la possibilité de choisir un autre port ou une autre configuration [47].



**Figure 3.5.** Réglage de l'interface pour communiquer Termite avec le PC

Après avoir connecté un câble série entre le PC et le périphérique distant et configuré le port, des données peuvent être envoyées en saisissant du texte dans la ligne de transmission et en appuyant sur la touche « Entrée ».

Toutes les données envoyées par le périphérique distant apparaîtront dans la vue de réception. Le texte transmis est éventuellement copié dans la vue de réception [47].

Termite enregistre la configuration dans un fichier. De cette façon, Termite se souvient de ses paramètres entre les sessions.

#### **b. Scan du port RS232 :**

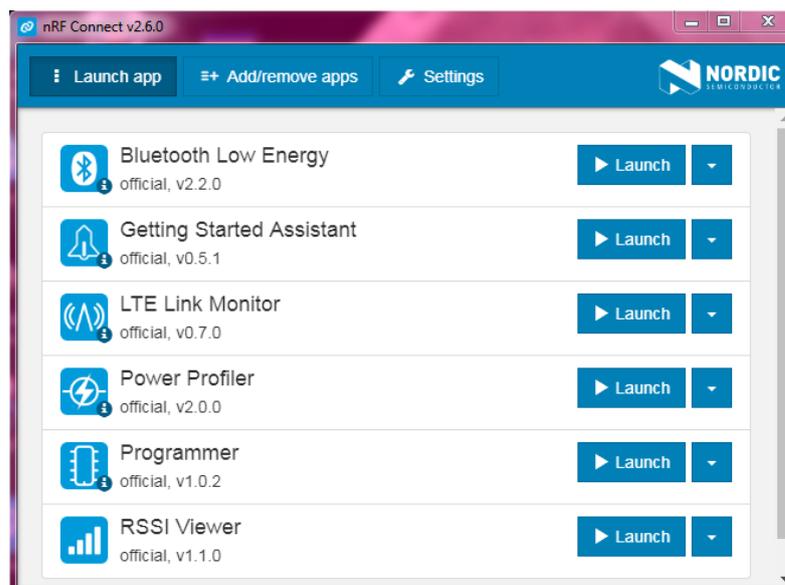
La plupart des paramètres RS232 pour un appareil peuvent être choisis par le développeur (le débit en bauds, le nombre de données et les bits d'arrêt sont généralement déterminés par l'autre appareil). Un paramètre que le développeur ne peut pas prévoir est toutefois le port COM auquel l'utilisateur l'attachera. Pour cette raison, Termite contient une fonction de « recherche de port » ainsi qu'un protocole simple « balayage de port ».

La fonction "recherche de port" ne fonctionne qu'avec les ports COM virtuels, tels que les câbles USB. Comme Microsoft Windows a des pilotes préinstallés pour les périphériques USB simulant un port série, cette conception est populaire.

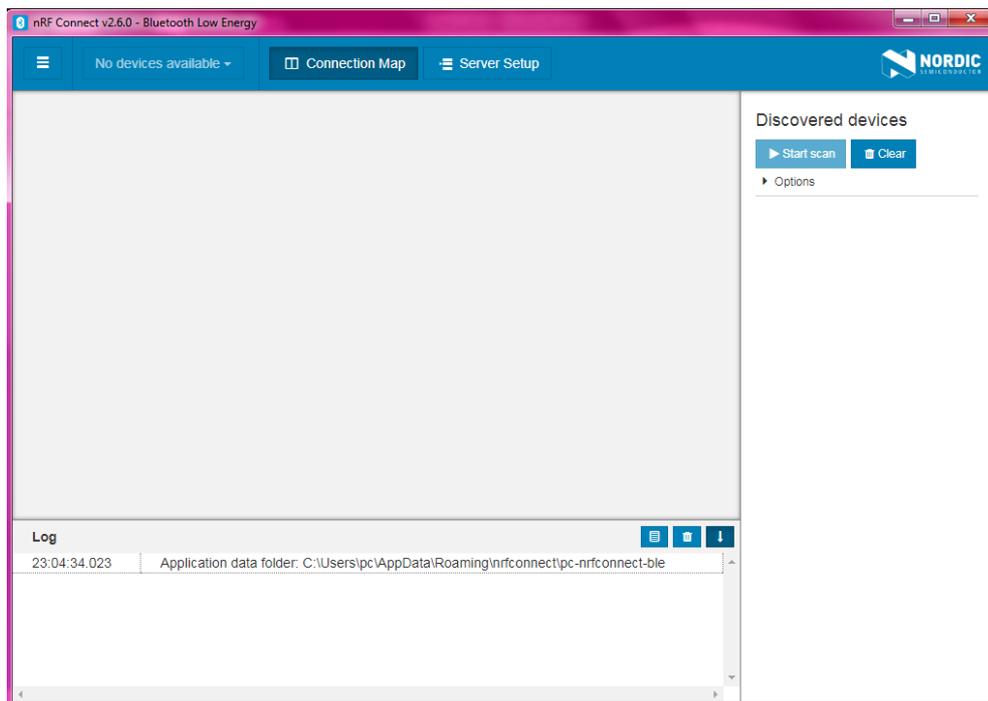
### III.2.2. nRF Connect :

#### a. nRF Connect pour pc version 2.6.0 :

Le nRF Connect for Desktop est un environnement de travail multiplateforme pour les applications de développement. Il contient des applications pour tester les liens Bluetooth LE et LTE, optimiser l'alimentation, programmer, etc...

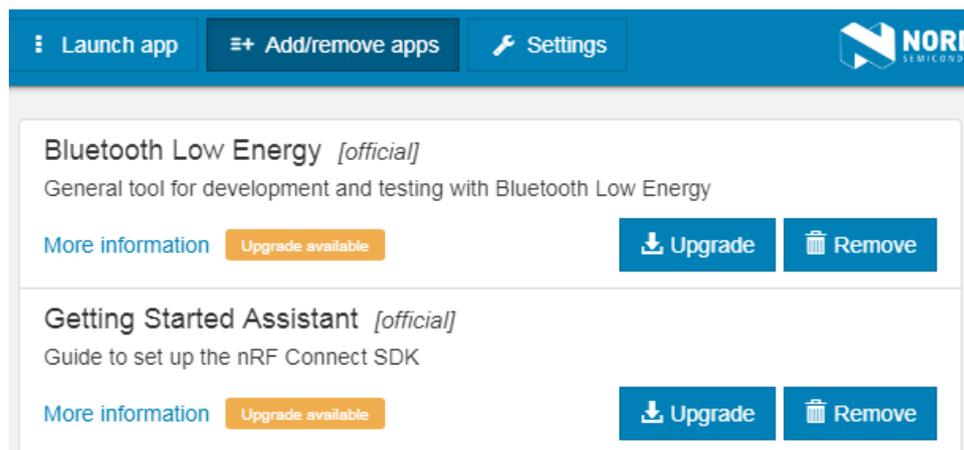


**Figure 3.6.** Interface de lancement de nRF Connect



**Figure 3.7.** L'interface de nRF Connect pour pc

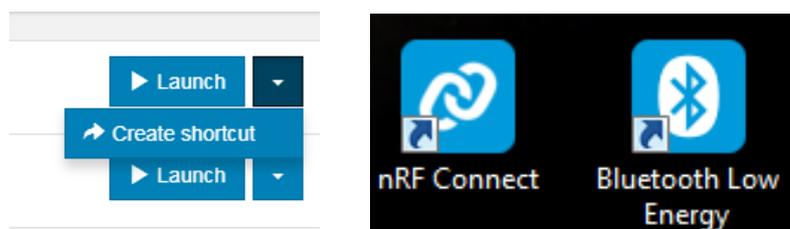
Après avoir installé l'application principale, cliquez sur Ajouter/supprimer des applications pour voir un aperçu des applications disponibles et des liens vers d'autres informations.



**Figure 3.8.** Ajouter ou supprimer une application

Trouver l'application voulu et cliquer sur Installer.

Pour faciliter l'accès, vous pouvez créer un raccourci sur le bureau en cliquant sur la flèche vers le bas et en sélectionnant Créer un raccourci.



**Figure 3.9.** Créer un raccourci sur le bureau

L'application Bluetooth Faible consommation d'énergie :

- Application multiplateforme facile à utiliser pour tester la connectivité Bluetooth LE.
- Prise en charge de la détection automatique du kit nordique connecté.
- Jusqu'à 8 connexions Bluetooth LE simultanées.
- Max 8 connexions centrales simultanée.
- 1 connexion périphérique max.
- Recherche de périphériques Bluetooth LE.
- Analyse les données de l'annonce.
- Affiche la valeur RSSI.
- Se connecte à n'importe quel périphérique Bluetooth LE connectable.
- Découvre et analyse les services et les caractéristiques.

### c. nRF connect pour mobile :

nRF Connect for Mobile, anciennement connu sous le nom de nRF Master Control Panel, c'est un outil générique puissant qui vous permet de scanner et d'explorer vos appareils Bluetooth Low Energy et de communiquer avec eux. nRF Connect for Mobile supporte un certain nombre de profils Bluetooth SIG adoptés, ainsi que le profil Device Firmware Update (DFU) de Nordic Semiconducteur ou Eddystone de Google [44].

### d. Caractéristiques :

- Balayages pour les périphériques Bluetooth basse consommation.
- Analyse les données de l'annonce.
- Affiche le graphique RSSI.
- Se connecte à n'importe quel périphérique Bluetooth Low Energy connectable.
- Découvre et analyse les services et les caractéristiques.
- Permet la lecture/écriture des caractéristiques.
- Permet d'activer/désactiver les notifications et les indications.
- Enregistre les événements et les appels de méthode.

### III.2.3. LabView

LabView est un environnement graphique, compilé et particulièrement bien adapté au domaine de l'acquisition et de mesure, son approche totalement graphique offre une souplesse comparativement aux langages textuels.

Le LabView étant les avantages de la programmation graphique au développement de contrôle de supervision et acquisition des données ou aux applications d'enregistrement de données a grand nombre de canaux.

Ce logiciel utilise des outils pour communiquer avec les automates programmables industriels (API), gère les données, les alarmes, les événements et créer les interfaces HMI [41].

### III.3. Montage :

Avant d'établir la connexion sans fil, les capteurs numériques doivent être branché avec le nRF52 en mode advertising et d'établir une connexion filaire du récepteur a l'automate programmable industriel ou le DAQ (selon l'application à traiter), tous ce montage peut être réalisé en circuit imprimé divisé en deux sous circuit.

#### III.3.1. Transmission

Afin de transmettre l'état des capteurs utilisés, le circuit décrit dans la **(Figure 3.10)** établi la connexion suivante :

##### a. Alimentation 24 V DC

Sachant que les capteurs industrielles doivent être alimentées en 24V, l'alimentation des photocellules, la maquette des feux rouge et la carte de conversion 24V DC – 3.3 V DC sont brancher dans le Vcc qui égale à 24V.

##### b. Les signaux

Les deux signaux des photocellules et les boutons S0 et S1 doivent être branchés dans les entrées du convertisseur pour réduire la tension à 3.3V DC et les relier dans les pins **P0.14, P0.13, P0.12, P0.11** respectivement sans oublier les résistances (pull-down) en série afin d'amener l'état bas à 0V.

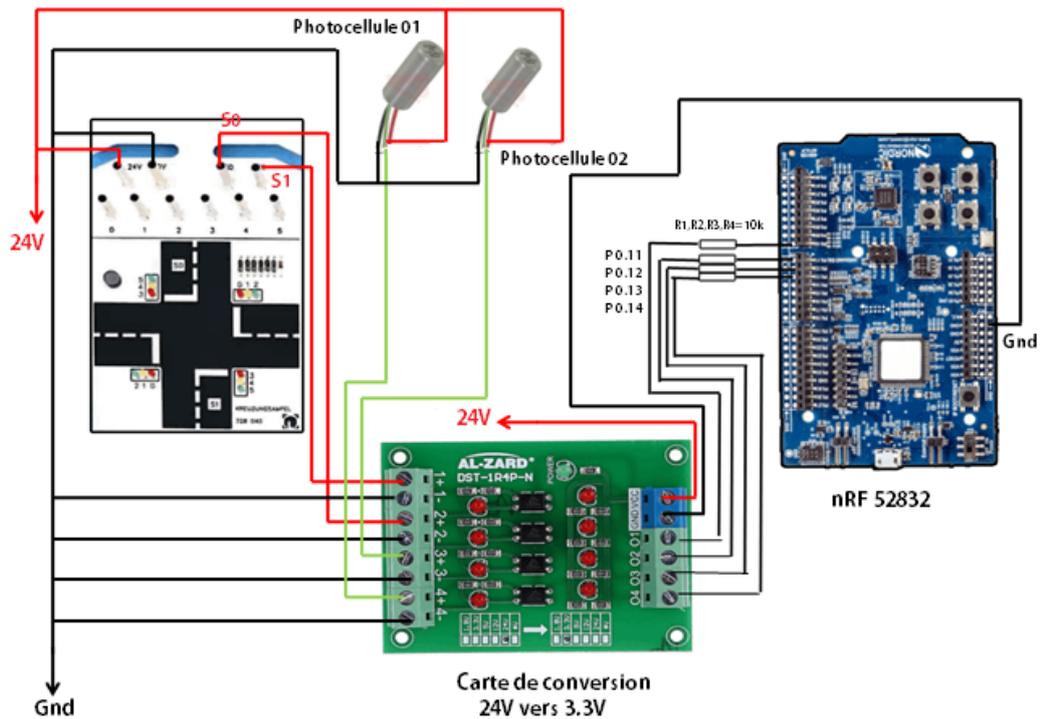


Figure 3.10. Montage d'émission

### III.3.2 Réception :

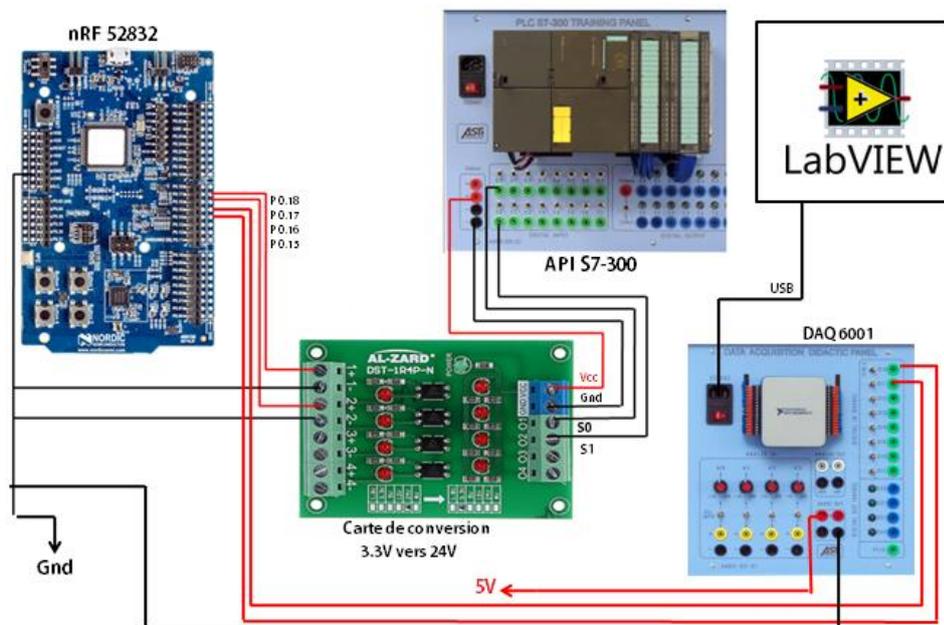
A la réception des données envoyées par l'émetteur, un petit montage de circuiterie suffira pour transmettre les informations collectées au DAQ et à l'automate programmable industriel selon la (Figure 3.11).

#### a. Alimentation

- nRF 52832 peut être alimenté en 3V avec un câble USB, pile intégré, ou alimentation externe.
- La carte de conversion 3.3V DC - 24 V DC accepte une alimentation de 24V DC peut être généré par l'automate programmable industriel.
- Alimenter le DAQ par 5V DC.

**b. Les signaux**

- Le pin **P0.15** configuré en sortie sur le nRF52832 est placé dans le pin du DAQ comme entrée numérique sans aucune conversion au niveau du voltage puisque le DAQ supporte la tension 3.3V DC.
- **P0.16, P0.17, P0.18** sont des pins configurés en sortie au niveau de la carte de réception nRF52832, ou ils doivent passer par la conversion 3.3V DC-24V DC a pour but de les relier avec l'automate programmable industriel et avoir l'état des capteurs transmis au niveau de l'API.



**Figure 3.11.** Montage de réception

**III.4. Résultats obtenus :**

Afin de mettre en évidence le travail qu'on a développé, on a implémenté la réalisation ainsi obtenue sur deux stations de supervision différentes, l'un est basé sur LabView et l'autre sur WinCC professionnel.

### III.4.1. Station de supervision à base de LabView

Il s'agit de développement d'un système control-commande et acquisition des données à base de LabView.

#### a. Feux de circulation

La maquette introduite comme feux de circulation comporte deux boutons S0 pour le mode jour, et S1 pour faire marcher le mode nuit (**Figure 3.12**).

S0 et S1 sont branchées dans les pins **P0.12** et **P0.11** respectivement dans la carte nRF après la conversion de la tension du 24V DC-DC a 3.3V DC-DC.

Lors de la réception des données par la deuxième carte nRF52832 programmée en mode scanner (**Figure 3.13**), le signal des pins **P0.17** et **P0.18** programmés en sortie doit passer par une deuxième conversion de 3.3V DC-DC à 24V DC-DC afin de pouvoir la connecter sur l'API, au niveau des entrées **%I 124.0** et **%I 124.1** respectivement.



**Figure 3.12.** Supervision des feux rouges en mode nuit

Le scénario feux de circulation se déroule comme suivant :

L'activation de mode jour avec le bouton S0 :

- Allumer les feux verts du côté (Nord/Sud) et les feux rouges du côté (Est/West) pour 20 secondes.
- Allumer les feux oranges du côté (Nord/Sud) et les feux rouges du côté (Est/West) pour 4 secondes.
- Allumer les feux rouges du côté (Nord/Sud) et les feux verts du côté (Est/West) pour 20 secondes.
- Allumer les feux rouges du côté (Nord/Sud) et les feux oranges du côté (Est/West) pour 4 secondes.

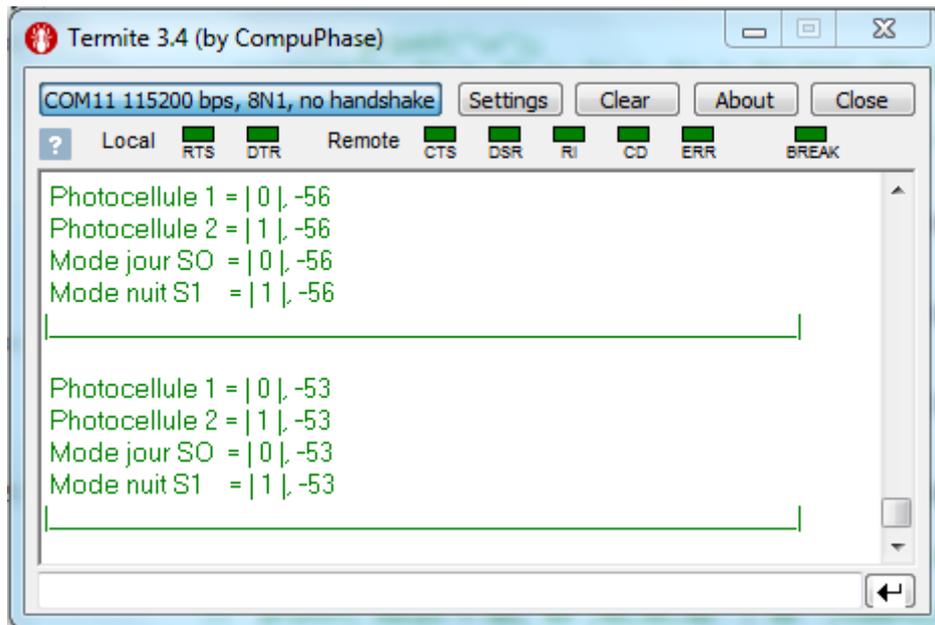
Le cycle se répète automatiquement tandis que le bouton S1 n'ai pas pressé.

L'activation de mode nuit avec le bouton S1 :

- Allumer les feux oranges du côté (Nord/Sud) et le côté (Est/West) pour 1 seconde.
- Eteindre les feux oranges du côté (Nord/Sud) et le côté (Est/West) pour 1 seconde.

Le cycle se répète automatiquement tandis que le bouton S0 n'ai pas pressé.

La **(Figure 3.13)** indique une visualisation en temps réel par le port USB du PC vers La carte de réception programmé en mode scanner des données transmîtes par les boutons S0 et S1.



**Figure 3.13.** Visualisation des boutons S0 et S1 en temps réel sur Termite.

**b. Module sécurité**

La sécurité est assurée par une photocellule, dès qu'elle détecte une présence, le moteur s'arrête. Cette situation peut être visualisée sur le superviseur « LabView » **(Figure 3.14).**

Côté connexion, le signal de la photo cellule 01 est acheminé vers le pin **P 0.14** du transmetteur BLE, à travers le convertisseur 24V DC-3.3V DC.

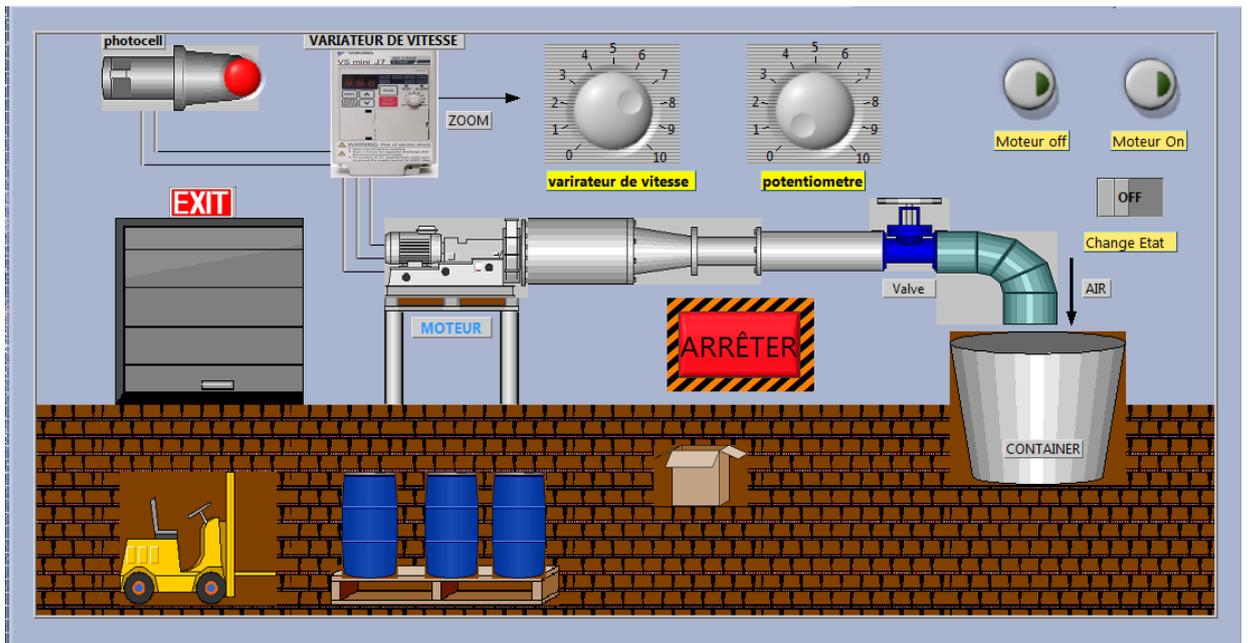


Figure 3.14. Supervision industrielle avec LabView indique l'état du photocellule

La visualisation en temps réel sur Termite dans la (Figure3.15), indique le changement d'état de la première photocellule 1 à un état haut qui signifie un arrêt d'urgence au niveau du moteur.

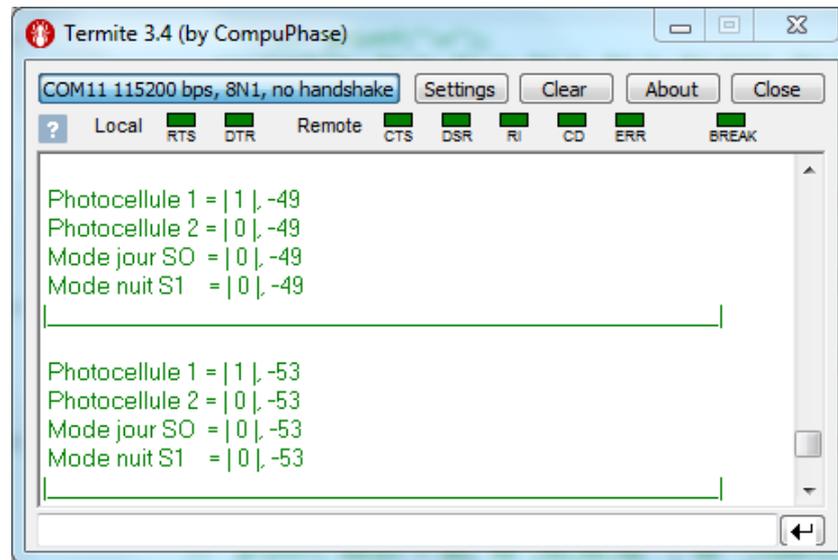


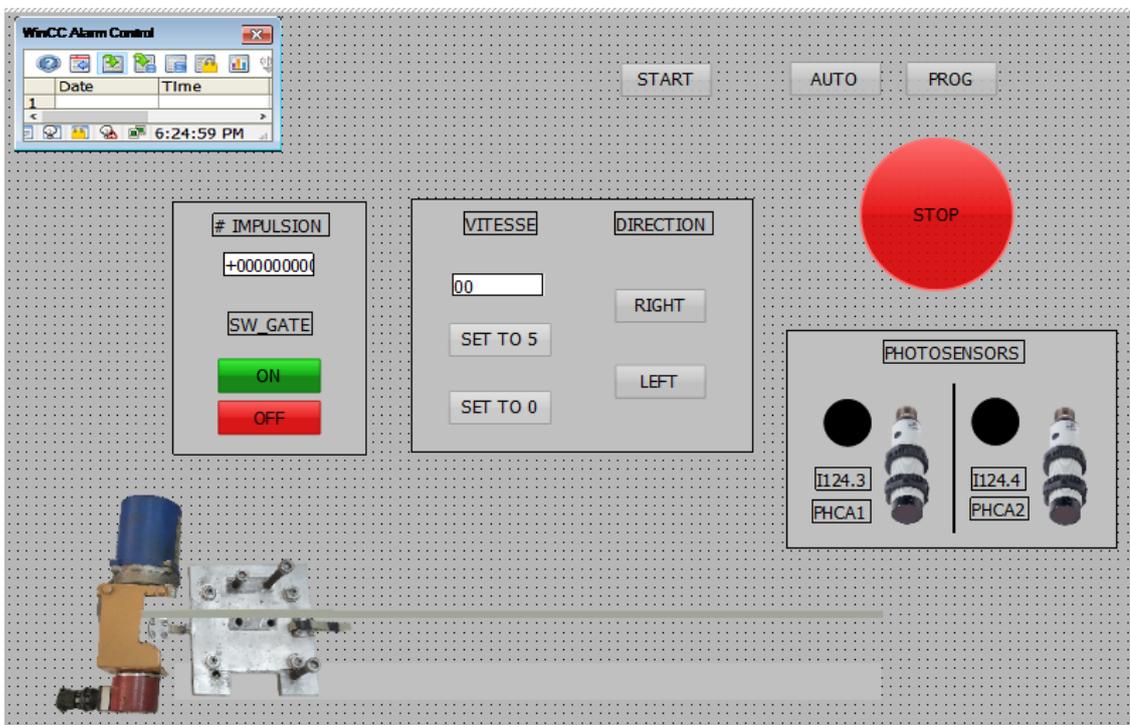
Figure 3.15. Visualisation du photocellule 1 en temps réel sur Termite

### III.4.2. Station de supervision à base de WinCC Professionnel

Cette troisième application traite le développement d'une station d'une supervision industrielle à base d'équipement SIEMENS.

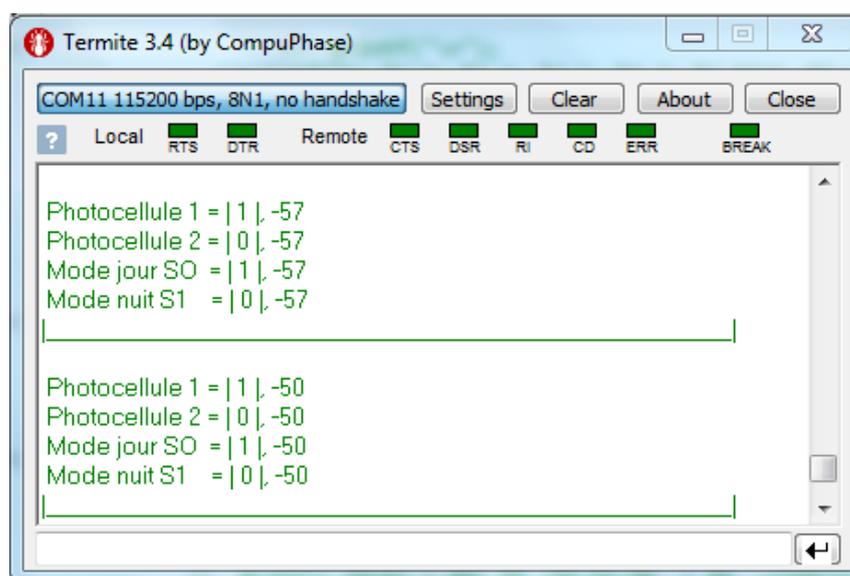
A ce niveau, le scénario de la deuxième application se répète mais d'une manière différente. La partie courante est de remplacer le DAQ avec l'API en ajoutant une carte de conversion 3.3V/24V, et de substituer le signal du capteur en signal inverse.

La supervision sur WinCC Professionnel est indiquée sur la **(Figure 3.15)**.



**Figure 3.16.** Visualisation du photocellule 2 du chariot en temps réel sur WinCC Professionnel

Le programme chargé dans l'automate programmable industriel provoque le mouvement du moteur dans le chariot, le fait que le signal inverse de la photo cellule 02 qui occupe le pin **P0.13** du transmetteur en BLE sera coupé, le moteur s'arrête immédiatement ou on peut remarquer cette action en temps réel dans la **(Figure 3.16)**.



**Figure 3.17.** Visualisation du photocellule 2 du chariot en temps réel

### III.4.3. nRF Connect mobile pour une application industrielle

Pour pouvoir superviser la station quelque soit l'endroit, nous avons pensé à utiliser l'application nRF Connect Mobile. C'est une application qui permet de collecter les données dans n'importe quel endroit, pas uniquement dans la salle de supervision (**Figure 3.17, Figure 3.18, Figure 3.19**).

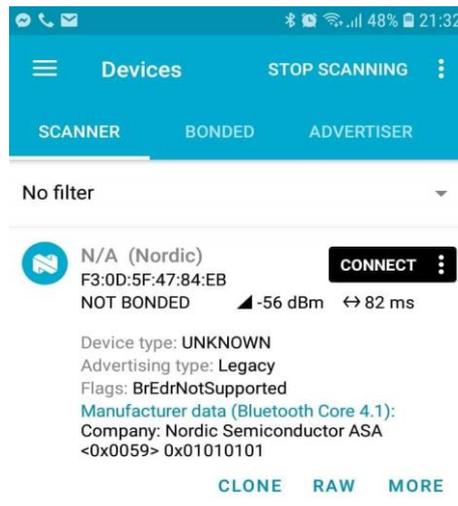


Figure 3.18. Interface de nRF connect mobile durant la réception des données

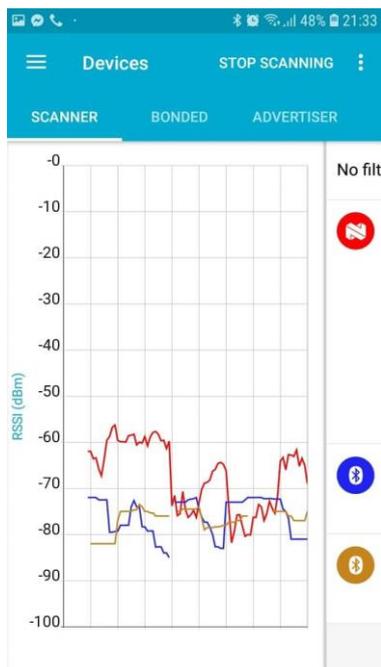


Figure 3.19. Le RSSI de la donnée reçue

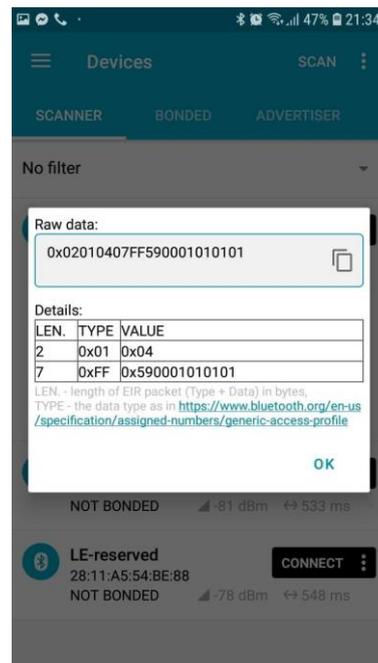
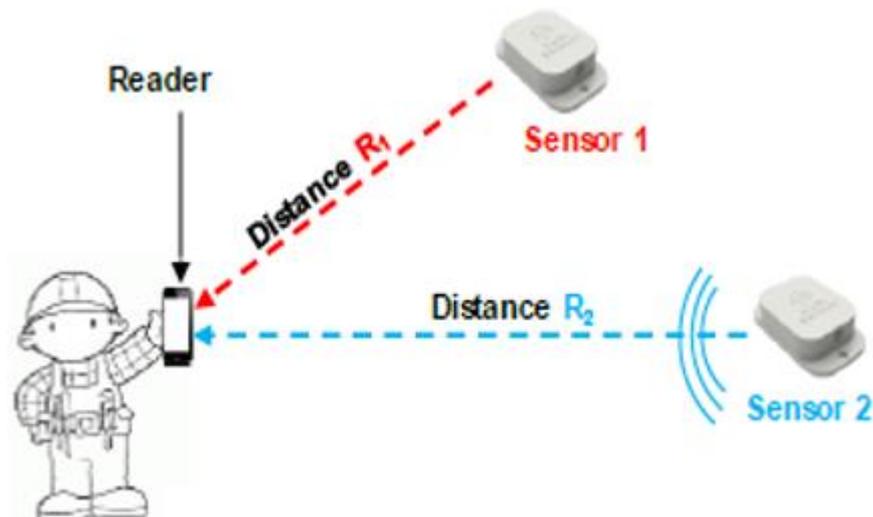


Figure 3.20. Détails sur la donnée reçue

A ce stade, cette application met en main une supervision graphique plus les paquets de données reçues et le RSSI en dBm.

Lorsque l'employeur se déplace, auprès des capteurs de balise BLE, nRF Connect Mobile capte les signaux de chaque capteur BLE et mesure les niveaux de puissance reçus.

Comme le montre la **(Figure 3.20)**, même lorsque les niveaux de puissance transmis de deux capteurs sont identiques, la puissance reçue du capteur 1 est supérieure à celle du capteur 2 en raison de la dissipation d'énergie électromagnétique dans l'air (perte d'énergie sans fil dans l'air). En conséquence, le système de suivi prédit que l'emplacement du travailleur est plus proche du capteur 1 que du capteur 2. Alors, le niveau de puissance reçu de chaque capteur BLE est un indice important pour l'estimation de la distance entre le capteur et le scanner du nRF Connect Mobile.



**Figure 3.21.** Schéma indique la relation entre le RSSI et la distance

## Conclusion

Ce chapitre présente une méthode basée sur un branchement électronique et une supervision à deux niveaux dans l'industrie avec des méthodes différentes.

Les résultats obtenus peuvent apporter une amélioration importante au niveau de l'industrie sur le plan câblage et rapidité d'exécution d'une part, et au niveau de la supervision par rapport à l'ancienne méthode d'une autre part.

En revanche, l'estimation coté marketing indique que le cout du montage de la technique de la communication sans fil avec BLE va être similaire au cout de l'équipement du câblage des deux capteurs.

### **Conclusion et perspectives :**

Ce travail concerne le développement d'une méthode pour le système automatisé selon la dernière technologie afin de réduire le câblage dans les industries vue l'ensemble des inconvénients du côté financier très élevé.

Une introduction aux termes des communications sans fil a été donnée, ainsi que les protocoles de l'architecture du Bluetooth LE dans l'émission et la réception des données souhaitées. L'étude était basée sur le type « Advertising » d'une émission non-connectée, et le mode « Scanner » pour collecter et recevoir les données transmises.

Dans l'ensemble, ce travail a présenté des résultats dans la communication du réseau sans fil, précisément le BLE ou cette technologie à remplacer de câblage à courte distance (environ 50 mètres) avec succès.

A ce stade, le but principal est atteint, ou cette communication sans fil « BLE » a pu minimiser le temps de réponse et le cout du câblage lors de l'installation, faciliter le branchement au niveau du transmetteur et le récepteur, et réduire le cout de l'entretien lors d'une défaillance des connecteurs. Plus de ce qui précède, la carte nRF52832 certifié par « NORDIC Semiconductor » pour des utilisations industrielles accepte pas mal de nombre des capteurs.

Par conséquent, il existe différentes directions qui peuvent être poursuivis pour des applications industrielles ultérieures, on cite parmi : l'étude de transmission des données en BLE des capteurs analogiques dans une portée plus intéressante, ainsi que le mode connecté.

## Références et Bibliographie :

**[1]** : Alain GONZAGA, « LES AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS »,

[http://www.geea.org/IMG/pdf/LES\\_AUTOMATES\\_PROGRAMMABLES\\_INDUSTRIELS\\_pour\\_GEEA.pdf](http://www.geea.org/IMG/pdf/LES_AUTOMATES_PROGRAMMABLES_INDUSTRIELS_pour_GEEA.pdf)

**[2]** : RAHMANI Abd el ghani , TOUAHRI Nabil : Thèse de master «Automatisation d'une station de pompage d'eau filtrée » Automatique, Université Abderrahmane Mira - Béjaia, (2015/2016).

**[3]** : MAKHLOUFI Mounir, BOUMAZA Sofiane : Thèse de master « Migration S5 vers S7 et S7 vers TIA D'un automate programmable pour un système de palettisation », thèse d'ingénieur, Décembre 2009.

**[4]** : Gilles Michel « Les A.P.I. : architecture et applications des automates programmables industriels » Dunod, 1988, Bordas Edition

**[5]** : Dr. Ir. H. LECOCQ « Caractéristiques et méthodologie de programmation » UNIVERSITE DE LIEGE, 2005, P10.

**[6]** : Dr. Ir. H. LECOCQ « Caractéristiques et méthodologie de programmation » UNIVERSITE DE LIEGE, 2005, p12.

**[7]** : : Dr. Ir. H. LECOCQ « Caractéristiques et méthodologie de programmation » UNIVERSITE DE LIEGE, 2005, p17.

**[8]** : Frédéric Abbal « Industrie 4.0 L'usine connectée » 2013, P 4.

**[9]** : World economic forum, Website : <https://www.weforum.org/focus/fourth-industrial-revolution>

**[10]** : Website : <http://hu.jean-louis.pagesperso-orange.fr/ressourc/auto/pdf/api.pdf>

**[11]** : Xiaomin Li, Di Li, Jiafu Wan, Athanasios V. Vasilakos, Chin-Feng Lai, Shiyong Wang «A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0 »

**[12]** : Xiaomin Li, Di Li, Jiafu Wan, Athanasios V. Vasilakos, Chin-Feng Lai, Shiyong Wang «A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0 »

**[13]** : Al Agha, K., Bertin, M.-H., T. Dang, A. Guitton, P. Minet, T. Val, J. Viollet « Which Wireless Technology for Industrial Wireless Sensor Networks ? The Development of OCARI Technology » IEEE transactions on industrial electronics, Octobre 2009.

**[14]** : Willig. A., K. Matheus, A. Wolisz. « Wireless Technology in Industrial Networks » Actes de l'IEEE, June 2005.

**[15]** : Willig. A., K. Matheus, A. Wolisz. « Wireless Technology in Industrial Networks » Actes de l'IEEE, June 2005.

**[16]** : DeCuir, J « Présentation de Bluetooth Smart : Partie 1 : Un aperçu des technologies classiques et nouvelles. » IEEE Consumer Electronics Magazine, 3 (1), 12-18,2014.

**[17]** : Hampus Tjäder. « End-to-end security enhancement of an IoT platform using object security » Department of Electrical Engineering, Linköping University, 2017

**[18]** : DeCuir, J « Présentation de Bluetooth Smart : Partie 1: Un aperçu des technologies classiques et nouvelles. » IEEE Consumer Electronics Magazine, 3 (1), 12-18,2014.

**[19]**: Bluetooth, Site web <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/solutions/>

**[20]** : Tony Ciardiello, Mr. Ciardiello « Wireless Communications for Industrial Control and Monitoring » IEE Computing et Control Engineering, April/May 2005.

**[21]** : Dictionnaire, website :

<http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Capteur%20de%20proximit%C3%A9/fr-fr/>

**[22]** : Baumer.com, website : [https://www.baumer.com/fr/fr/service-assistance/savoir-faire/fonctionnement/le-fonctionnement-et-la-technologie-des-barrieres-photoelectriques-et-detecteurs-reflex/a/know-how\\_function\\_lichtschranken-lichttaster](https://www.baumer.com/fr/fr/service-assistance/savoir-faire/fonctionnement/le-fonctionnement-et-la-technologie-des-barrieres-photoelectriques-et-detecteurs-reflex/a/know-how_function_lichtschranken-lichttaster)

**[23]** : Guide Technique « Détecteur photoélectrique », web site : <http://sitelyceejdar.org/autodoc/cours/001%201%20STI2D/Technologie%20transversale/123%20AP%20323%20capteur/export/medias/425.pdf>, Novembre 2003.

**[24]** : SICK Sensor intelligence « Capteur photoélectrique cylindrique V180-2 », web site : <https://www.sick.com/ag/en/photoelectric-sensors/photoelectric-sensors/v180-2/vtf180-2p42417/p/p226911>

**[25]** : NORDIC Semiconductor « nRF52832 product brief Version 2.1 », web site : <https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF52832>.

**[26]**: NORDIC Semiconductor «nRF52832 product brief».

**[27]** : Gupta A, « Le manuel de l'loT Hacker », Exploiter ZigBee et BLE,2019.

**[28]** : Rolf Nilsson and Bill Saltzstein, « Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth », Medical Electronics Design, web site : <http://venkatachalam.co.in/wpcontent/uploads/2015/02/Bluetooth-Low-Energy-vs-Bluetooth-Classic.pdf>

- [29]** : QuangHuy Nguyen, Princy Johnson, Trung Thanh Nguyen and Martin Randles. John Moores University Liverpool, UK, web site: <http://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/7330/1/PID5027469.pdf>, 2017.
- [30]**: Mohammed Afaneh, « Intro to BLUETOOTH LOW ENERGY », Technologie BLE,6 Mai 2016.
- [31]**: HampusTjäder, « End-to-end security enhancement of an IoT platform using object security », Linköping University, 2017, page 8.
- [32]**: Microchip, « Rôles Bluetooth® Low Energy GAP », wikidot.com, website: <https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-gap-roles>,2019.
- [33]**: John Abraham, 'Spécification Bluetooth, version 4.1', Blogpot, 4 juin 2014.
- [34]**: Microchip, wikidot, web site : <https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-link-layer-discovery>,2019.
- [35]**: Microchip, wikidot, web site : <https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-link-layer-roles-states>, 2019.
- [36]**: Learning oreilly, « Notion de base sur le protocole BLE », web site : [https://learning.oreilly.com/library/view/Getting+Started+with+Bluetooth+Low+Energy/9781491900550/ch02.html#Protocol\\_Stack](https://learning.oreilly.com/library/view/Getting+Started+with+Bluetooth+Low+Energy/9781491900550/ch02.html#Protocol_Stack)
- [37]**: Luqman Hakim, « comment calculer la distance à partir de la valeur RSSI de la balise BLE », Estimote, Kontakt, 19 Novembre 2018.
- [38]** : SEGGER Embedded Studio, Web site : <https://www.segger.com/about-us/the-company/>

- [39]** : Ruuvi Lab, Web site : <https://lab.ruuvi.com/ses/?fbclid=IwAR3ZTV0MR1dan2qJ1ktyqSVmhLdX8suwL52Piq3LagvM81o95L00D8O4NE>
- [40]** : SEGGER Embedded Studio, Web site : <https://www.segger.com/products/development-tools/embedded-studio/>
- [41]** : Jonne Pätzold, « Kiihtyvyyssanturin kehittäminen », 2019, page 10
- [42]** : Nordic Semiconductor , Web site : [https://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp?topic=%2Fstruct\\_sdk%2Fstruct%2Fsdk\\_nrf5\\_latest.html&cp=5\\_0](https://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp?topic=%2Fstruct_sdk%2Fstruct%2Fsdk_nrf5_latest.html&cp=5_0)
- [43]** : Veiga. A, et Abbas. C, « Proposition et application du profil de maillage Bluetooth pour les services des villes intelligentes » Villes intelligentes, 2018
- [44]** : Nordic Semiconductor, Web Site : [https://www.nordicsemi.com/?sc\\_itemid=%7B21C26716-5F2C-4E2D-9514-C9B87B711114%7D](https://www.nordicsemi.com/?sc_itemid=%7B21C26716-5F2C-4E2D-9514-C9B87B711114%7D)
- [45]** : Nordic Semiconductor, Web site : [https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/S132\\_SDS\\_v6.2.pdf](https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/S132_SDS_v6.2.pdf)
- [46]** : Welotec, « industrial sensor/ Photoelectric sensor », Web site : <https://www.welotec.com/tradepro/shop/artikel/allgemein/FA-Datasheet-EN.pdf>
- [47]** : Compuphase, web site : [https://www.compuphase.com/software\\_termite.htm](https://www.compuphase.com/software_termite.htm)
- [48]** : Nordic semiconductor, Web site : [https://www.nordicsemi.com/?sc\\_itemid=%7B41FF7A0B-B565-420A-95B7-B32122B5D3AD%7D](https://www.nordicsemi.com/?sc_itemid=%7B41FF7A0B-B565-420A-95B7-B32122B5D3AD%7D)

