

HE RFID

Objectifs du cours:

Ce cours traitera les points suivants :

- Introduction
- Aperçu sur les codes à barres
- Qu'est ce que la technologie RFID
- Le fonctionnement de RFID
- Les caractéristiques principales
- Les classes
- Lecture seule ou lecture/écriture
- Protocole TTF et ITF
- Exercice d'application
- Les applications

1. INTRODUCTION

Depuis la nuit de temps, il a toujours été une préoccupation pour l'homme d'identifier, de localiser et de suivre des objets en utilisant d'abord l'identification visuelle puis remplacée par des équipements électroniques. Plusieurs systèmes pratiques ont été utilisés au cours des années, de motifs uniques ont été placés sur des objets, et des appareils de reconnaissances pouvaient identifier ces codes et par la même voie l'objet sur lequel ils sont collés. De là est né le système de codes à barres qui, pendant plusieurs années, a permis de réaliser ce rêve d'identification des objets. Cependant les codes à barres présentent plusieurs lacunes, notamment le manque de stockage de données, la nécessité de scanner, ...etc. Ces déficits ont continuellement poussé l'homme à la recherche d'une meilleure solution pour pallier à ce manque, et voilà pourquoi est née très récemment la technologie RFID qui, à priori résolverait les problèmes d'identification, de localisation, de suivi et d'analyse de données.

L'identification automatique peut se faire par plusieurs types de technologies présentant des avantages et des inconvénients. Nous n'allons pas nous étendre dans le cadre de ce travail sur tous ces différents types de technologies, mais nous comparons dans le tableau 1, les codes à barres, les cartes intelligentes, les RFID passives et les RFID actives.

	Codes à barres	Carte intelligente	Etiquettes RFID passives	Etiquettes RFID actives
Modifications de données	Non modifiables	Modifiables	Modifiables	Modifiables
Sécurité de données	Minimale	Haute	Moyenne	Haute
Volume de données	Code à barres linéaires peuvent contenir 8-30 Bytes. Certains codes à barres à 2-D peuvent contenir jusqu' à 7200 Bytes.	Jusqu'à 8MB	Jusqu'à 64 KB	Jusqu'à 8MB
Coûts	Bas (fraction de cent jusqu'à quelques cents par item)	Elevé (plus d'un dollars par item)	Moyen (moins de 25 cents par item)	Très élevé (entre 10-100\$ par item)
Interférence potentielle	Barrières optiques, saletés ou objet placé entre le lecteur et l'étiquette.	Blocage contact	Environnement ou champ qui affecte l'émission de fréquence radio (RF)	Barrières très limitées aussi longtemps que l'émission du signal fort.
Rayon de lecture	En vue (3-5 pieds)	Contact exigé	Pas de contact (jusqu'à 20 mètres.	Pas de contact (jusqu'à 100 mètres)
Durée de vie	Court	Long	Indéfini	Durée batterie (3-5ans)
Standards	Stable et agréé	Non standard	Evolue vers le standard	Evolue vers un standard ouvert

Tableau 1 : Comparaisons de différents types de technologie d'identification automatique

Avant d'aborder la technologie RFID, nous examinons brièvement le code à barres.

2. APERÇU SUR LES CODES A BARRES

Les codes à barres sont destinés à automatiser l'acquisition d'une information généralement numérique. Ils trouvent leurs applications dans plusieurs domaines, notamment les caisses enregistreuses à lecture optique, le contrôle de la production dans les industries, la gestion des prêts de livres,

2.1 Lecture d'un code à barres

Il existe deux moyens courants de lire les codes à barres. Le plus classique est la lecture optique qui consiste à envoyer sur le code à barres un faisceau lumineux (souvent un laser de très faible puissance) puis, à analyser la lumière réfléchi. Il existe aussi les

codes à barres imprimés à l'aide d'une encre magnétisable, dans ce cas la lecture sera alors magnétique : une tête de lecture traduit en signaux électriques la succession de barres magnétisées.

2.2 Impression d'un code à barres

L'impression d'un code à barres est très facile, il suffit de disposer d'une imprimante. C'est la raison fondamentale pour laquelle les codes à barres ont eu une généralisation et une vulgarisation plus faciles étant donné que leur production est plus économique.

2.3 Normalisation EAN

L'EAN ou European Article Number est une norme garantissant que le code à barres d'un article sera reconnu dans tous les pays de l'Union Européenne. L'EAN assure aussi une compatibilité avec les codes UPC utilisés en Amérique du nord.

Le mot codé est constitué de 8 ou 13 caractères repartis entre trois zones comme présentées sur les figures 1

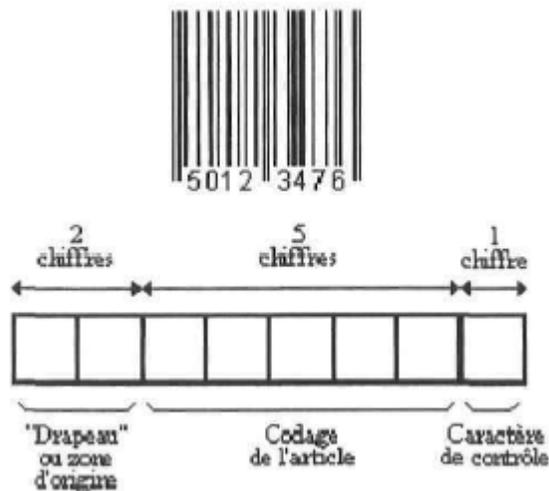


Figure 1 : Exemples d'un code à barres à EAN 8 chiffres

- Le "drapeau" codant sur deux caractères et qui exprime le pays d'origine du code
- La "zone utile de codage" qui comprend 10 caractères dont les 4 premiers représentent le fabricant et les 6 derniers l'article (cas d'un code sur 13 chiffres).
- Le dernier caractère est le "code de contrôle" qui détermine la validité du code.

2.4 Types de code à barres les plus utilisées

Il existe trois types de code à barres qui sont les plus utilisés. Ils se différencient les uns des autres par les contraintes d'utilisations et de normalisation.

Les trois types de codes à barres les plus utilisés sont :

a) Les codes à barres unidimensionnelles ou linéaires



Figure 2 : Les codes à barres unidimensionnelles ou linéaires

b) Les codes à barres à deux dimensions

Les codes à barres à deux dimensions ont la particularité d'être lus horizontalement et verticalement, et de ce fait on pourrait coder un nombre beaucoup plus grand sur une même surface.

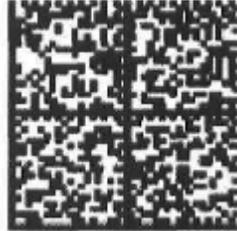


Figure 3 : Les codes à barres à deux dimensions

2.5 Avantages

- > Lecture et décodage instantanés;
- > Remplacement de la saisie au clavier;
- > Facilité de branchement (écran clavier) et d'utilisation du lecteur optique;
- > Coût très faible;
- > Impression très facile.

2.6 Inconvénients

- > Faible capacité;
- > Impossibilité de modifier les informations;
- > Exigence d'un contact visuel pour la lecture;
- ^ Impossibilité de lecture simultanée;
- > Contenu non évolutif.

Actuellement l'identification automatique repose très largement sur la technologie de code à barres, cependant les avancées techniques qu'offre la RFID et la mise en place de normes dans ce domaine amènent à se questionner sur laquelle de ces deux technologies est avantageuse. Pour penser répondre à cette préoccupation d'abord posons nous la question, qu'est ce que la technologie RFID?

3. QU'EST CE QUE LA TECHNOLOGIE RFID

La RFID (Radio Frequency Identification) est une technologie faisant partie de la technologie AIDC (Automatic Identification Data Capture) utilisée pour reconnaître et identifier à plus ou moins grande distance (du contact à plusieurs mètres) un objet, une forme ou un individu porteur d'une étiquette capable d'émettre de données transformées en ondes radio.

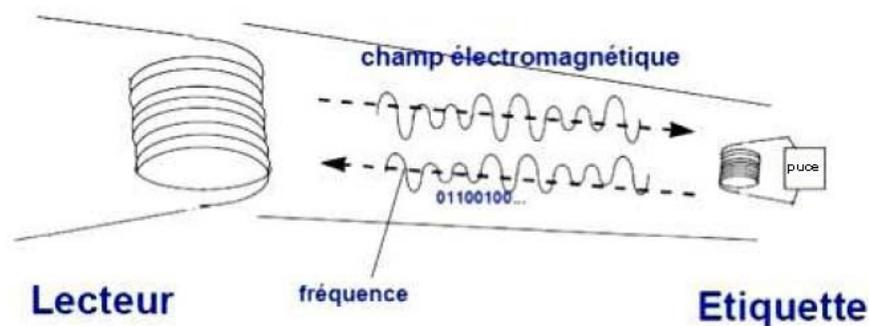
La technologie de fréquence radio est généralement utilisée pour transmettre et recevoir

des informations sans fils. Une grande variété d'appareils électroniques comme la télévision, la radio, le téléphone cellulaire utilise ce principe pour transmettre ou recevoir des informations. L'émetteur envoie en continu un rayonnement de fréquence radio fournissant à la fois de l'énergie (étiquette passive) à l'étiquette sous forme électromagnétique et aussi l'information à transmettre. L'étiquette réagit alors et renvoie grâce à l'énergie qu'elle contient les informations vers le récepteur.

A la différence de la technologie de code à barres qui se lit avec un laser optique, le lecteur RFID balaye ou interroge une étiquette en utilisant des signaux de fréquence radio.

4. LE FONCTIONNEMENT DE RFID

Une application d'identification automatique radio fréquence se compose donc d'un **lecteur** qui transmet un signal selon une fréquence déterminée vers une ou plusieurs **étiquettes radio** situées dans son champ de lecture. Celles-ci transmettent en retour un signal. Lorsque les étiquettes sont "réveillées" par le lecteur, un dialogue s'établit selon un protocole de communication prédéfini et les données sont échangées.



L'induction magnétique est le principe physique exploité par les solutions NFC/RFID.

Il existe deux principaux modes de fonctionnement :

-**Passif** : l'étiquette reçoit une source d'énergie lorsqu'elle se trouve dans le champ radio du lecteur qui est alimenté et peut donc répondre par des données préprogrammées.

-**Actif** : le lecteur et l'étiquette sont tous les deux alimentés et émettent leur propre champ

radio. Ils peuvent établir une communication et la maintenir tant qu'ils se trouvent à portée.

Remarques :

Le **tag RFID passif assisté par batterie** (BAP : Battery Assisted Passive) : il comporte une alimentation embarquée (piles, batteries...). Cette dernière n'est pas utilisée pour alimenter un émetteur puisque le principe de communication reste la rétro-modulation (comme pour le

tag passif), mais pour alimenter le circuit électronique du tag ou tous autres circuits ou capteur connecté au circuit de base. Cette alimentation permet, en théorie, d'améliorer les performances. Ce tag est largement utilisé pour des applications nécessitant une capture d'information (température, choc, lumière, etc.) indépendante de la présence du lecteur.

Jusqu'à récemment, le mode passif était le plus répandu, mais l'utilisation du mode actif avec les smartphones tend à se diffuser. Les fabricants de ces appareils font une promotion acharnée de cette nouvelle fonctionnalité dont l'objectif est d'étendre les possibilités de partage de données.

L'étiquette électronique est un support d'informations qui combine le traitement d'un signal et le stockage des données. Elle est constituée d'un circuit électronique (ou « circuit intégré ») sur un circuit imprimé et couplé à une antenne.

Souvent appelées "transpondeur" (TRANSmitter/resPONDER) à cause de leurs fonctions de réponse et d'émission, l'étiquette radio ou tag répond à une demande transmise par le lecteur et concernant les données qu'elle contient. La mémoire d'un transpondeur comprend généralement une ROM (Read Only Memory), une RAM (Random Access Memory) ainsi qu'une mémoire programmable non volatile pour la conservation des données selon le type et le degré de complexité du produit. La mémoire ROM contient les données de sécurité ainsi que les instructions de l'OS (Operating System) de l'étiquette en charge des fonctions de base telles que le délai de réponse, le contrôle du flux de données, et la gestion de l'énergie. La mémoire RAM est utilisée pour les stockages temporaires de données pendant les processus d'interrogation et de réponse. L'énergie nécessaire au fonctionnement du tag est fournie soit par une pile interne (ou batterie) pour les tags actifs ou semi-actifs, soit téléalimenté par le champ électro-magnétique émis par le lecteur (tags passifs).

5. LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Un système RFID permet donc d'écrire, de stocker et d'effacer de l'information sur la puce électronique du tag. En plus du transfert de données sans contact, la communication via l'antenne, permet également, des transferts sans visibilité entre le lecteur et l'étiquette au travers

de matériaux opaques à la lumière, cette lecture pouvant s'effectuer simultanément sur plusieurs étiquettes.

Les différents systèmes RFID sont caractérisés principalement par leur fréquence de communication. Cependant, outre cette fréquence porteuse, d'autres caractéristiques définissent

également les étiquettes RFID et constituent la base de leurs spécifications :

- l'origine et la nature de l'énergie ;
- la distance de lecture ;
- la programmabilité ;
- la forme physique ;
- la taille mémoire ;
- les propriétés du packaging (matériau) ;
- le nombre de tags lus simultanément (anti-collision) ;
- et bien sur le coût.

Débits de communication : 106, 212 ou 424 kbit/s (le débit 848 kbit/s n'est pas compatible avec la

norme NFCIP-1) ;

Gamme de fréquence (classique) : 135 KHz ; 13,56 MHz ;

Distance de communication : maximum 10 cm ;

Mode de communication : half-duplex ou full-duplex.

Le tableau ci-dessous dresse un aperçu des avantages et inconvénients des tags par fréquence de communication :

	LF< 135 kHz	HF13.56 MHz	UHF863 à 915 MHz	SHF2.45 GHz
Capacité de données	De 64 bits lecture seul à 2kbits lecture-écriture	Classiquement tags lecture-écriture avec 512 bits de mémoire (max: 8kbits partitioné)	Classiquement tags lecture-écriture avec 32 bits de mémoire (max: 4kbits partitioné en 128 bits)	De 128 bits à 32 kbits partitioné
Produits disponibles	Read-only et read/write	Read-only et read/write	Read-only et read/write	Read-only et read/write, télé-alimenté et batterie assisté
Transfert de données	Faible taux de transfert: inférieur à 1kbits/s (~200bits/s)	Environ 25 kbits/s en général (existe en 100 kbits/s)	Environ 28 kbits/s	Généralement < à 100 kbits/s mais peu aller jusqu'à 1 Mbits/s
Distance de lecture	Typiquement du contact à 0.5 m pour les tags télé-alimentés, sinon ~ 2 m	Pour les tags télé-alimenté de l'ordre du mètre	Pour les tags télé-alimenté de l'ordre du mètre	Qq dizaine de centimètre pour les passifs et qq dizaine de mètres pour les actifs
Mode de lecture	Les versions lecture unique et lecture multiple sont disponibles	Les versions lecture unique et lecture multiple sont disponibles	Lecture unique et lecture multiple, omni-directionnel	Lecture unique et lecture multiple
Limites de fonctionnement	- 40 à + 85 °C Peu sensible aux perturbations électromagnétiques industrielles	- 25 à + 70 °C Faiblement sensible aux perturbations électromagnétiques industrielles	- 25 à + 70 °C Sensible aux perturbations électromagnétiques. Peut être perturbé par les autres systèmes UHF à proximité	- 25 à + 70 °C Fortement sensible aux perturbations électromagnétiques réfléchies par le métal et absorbées par l'eau
Applications	Process de fabrication Identification de véhicules et de container Contrôle d'accès Identification animale	Suivi de flotte de véhicules Bagages Librairie Service de location Laveries automatiques Logistique	Logistique Suivi de flotte de véhicules	Automatisation d'entreprises Contrôle d'accès Logistique militaire Péage automatique

LES CLASSES

Classe 0 et classe 1 : tags passifs à lecture seule (on ne peut que lire l'identifiant unique du tag) ;

Classe 2 : tags passifs à fonctions additionnelles (écriture mémoire) ;

Classe 3 : tags passifs assistés par batterie ;

Classe 4 : tags actifs. Communication large-bande du type « peer-to-peer » ;

Classe 5 : interrogateurs. Alimentent les tags de classe 0, 1, 2 et 3. Communiquent avec les tags de classe 4.



7. LECTURE SEULE OU LECTURE/ ECRITURE

Quelque soit la fréquence à laquelle le système RFID fonctionne, quelque soit le type d'étiquette passive ou active, on peut différencier les applications RFID suivant les possibilités de lecture et/ou d'écriture dans la mémoire de la puce embarquée sur l'étiquette. Le but de la RFID étant d'identifier de manière unique les objets portant des tags, la puce électronique doit au minimum contenir un identifiant numérique accessible par le lecteur. Ce numéro unique peut être celui gravé par le fondeur de la puce lors de la fabrication (TID : Tag IDentifier). Si cette puce ne possède pas d'autre zone mémoire, on parle de puce en lecture seule. Toute l'information liée au produit portant l'étiquette est donc déportée sur des systèmes d'informations indexés par l'identifiant unique.

Dans certains cas, le numéro unique gravé par le fondeur de la puce n'est pas suffisant pour l'application finale. On peut donc trouver des puces possédant une zone mémoire vierge sur laquelle on puisse écrire un numéro particulier propre à l'utilisateur final du système RFID (UII : Unique Item Identifier ou Code EPC : Electronic Product Code par exemple). Une fois ce numéro écrit, il ne peut plus être modifié. On parle alors de puce WORM (Write Once, Read Multiple).

D'autres types d'applications vont nécessiter la présence d'une zone mémoire accessible par l'utilisateur et réinscriptible. Cette zone, ne dépassant pas les quelques dizaines de kilo octets dans la majeure partie des cas, peut servir lorsque l'accès à une base de données centrale n'est pas garantie (lors d'opération de maintenance en zone isolée ou sur le théâtre d'opérations militaires). Les puces sont alors de type MTP (Multi Time Programmable) et possèdent de la mémoire généralement de type EEPROM.

8. PROTOCOLES TTF ET ITF

Qui parle le premier : le tag ou le lecteur ?

Cette question, a priori anodine, prend tout son sens lorsque plusieurs étiquettes se trouvent simultanément dans le champ du lecteur où lorsque les étiquettes ne sont pas statiques et qu'elles ne font que passer dans le champ rayonné par l'antenne du lecteur. Dans le cas, rencontré très souvent en RFID, où les étiquettes sont batteryless (sans source d'énergie embarquée), il est clair que la première chose à faire pour le lecteur est de transmettre de l'énergie à (aux) l'étiquette(s). Pour cela, le lecteur émet un signal à fréquence fixe (sans modulation). À ce moment, la communication entre le lecteur et l'étiquette n'a pas débuté. Une fois la puce de l'étiquette alimentée, elle peut soit transmettre immédiatement une information au lecteur (protocole TTF pour Tag Talk First) ou répondre à une requête du lecteur (protocole ITF pour Interrogator Talk First).

Le choix d'un protocole ou de l'autre dépend fortement de la gestion de la ressource radio et de la gestion de la présence éventuelle de plusieurs étiquettes dans le champ rayonné par le lecteur (protocole d'anti-collision). Pour se faire une idée de l'implication sur la gestion des collisions du choix d'un protocole ou de l'autre, imaginons une salle de classe. L'enseignant joue le rôle du lecteur, les élèves celui des étiquettes RFID.

Pour les systèmes TTF, nous pouvons imaginer qu'en début de cours, chaque élève entrant dans la salle donne son nom. Les élèves arrivent en cours à l'heure et chacun donnant son nom quasiment en même temps, nous pouvons douter que l'enseignant (le lecteur) puisse comprendre chaque nom individuellement et identifier chacun des élèves (étiquettes). Pour essayer de palier ce problème, il est possible de demander aux élèves de ne donner leur nom qu'après avoir écouté et s'être assuré que personne d'autre n'a pris la parole. Cette variante du protocole TTF est appelée TOTAL pour Tag Only Talk After Listening.

Pour des systèmes ITF, c'est l'enseignant (le lecteur) qui pose la première question et demande aux élèves de donner leur nom. Tous les élèves présents dans la salle répondent alors à la requête de l'enseignant. Comme dans le cas précédent, il peut être difficile, voire impossible, à l'enseignant d'identifier chaque élève puisque ceux-ci répondront à la requête de façon simultanée.

Parmi les avantages du protocole TTF, on peut noter la **rapidité** avec laquelle il est possible d'identifier une étiquette quand celle-ci est seule dans le champ rayonné par le lecteur. On peut également noter que lorsque le lecteur ne communique pas avec des étiquettes, il ne fait que rayonner un signal RF sans modulation. Ce signal n'occupe donc qu'une faible partie du spectre électromagnétique. Cela permet de réduire le risque d'interférence avec d'autres émissions ou d'autres lecteurs. En ce qui concerne le protocole ITF, le principal avantage est que la communication est initiée (trigger) par le lecteur. Toutes les réponses des tags peuvent donc être facilement superposées pour une

détection de collision au niveau « bit » ou facilement séquencées pour singulariser les étiquettes.

9. EXERCICES D'APPLICATION

Sur un objet, on peut désormais installer une étiquette contenant des données d'identification et des informations en tout genre, que des lecteurs reçoivent et décodent automatiquement à distance. C'est ce que l'on appelle la technique d'identification par radiofréquences (RFID). Elle est utilisée par exemple dans les systèmes de contrôle d'accès aux transports en commun, type passe pour le métro.

Les étiquettes, « souvent pas plus grosses qu'un grain de riz » sont constituées d'une « puce de silicium et d'un bobinage d'antenne encapsulés dans un module de verre ou de plastique ». Elles sont placées sur les passes des abonnés, tandis que les lecteurs sont fixés dans le bâti des portes automatiques.

Lorsque l'utilisateur approche son passe à moins de 10 cm du lecteur, l'étiquette reçoit l'onde électromagnétique, de fréquence égale à 13,56 Mhz, émise par le lecteur. Cette onde « sert de source de courant pour l'étiquette », qui ne nécessite donc pas de piles. Le courant produit par la réception de cette onde dans la bobine, charge un condensateur. « La tension à ses bornes augmente et active le circuit intégré de l'étiquette, qui transmet alors son code identificateur » au lecteur, toujours par onde électromagnétique. Le lecteur identifie alors le code et actionne le mécanisme d'ouverture de la porte.

Par rapport au système classique du ticket, l'utilisateur gagne en simplicité, et la rapidité de l'opération permet de mieux réguler le trafic, surtout en cas d'affluence.

Question 1 :

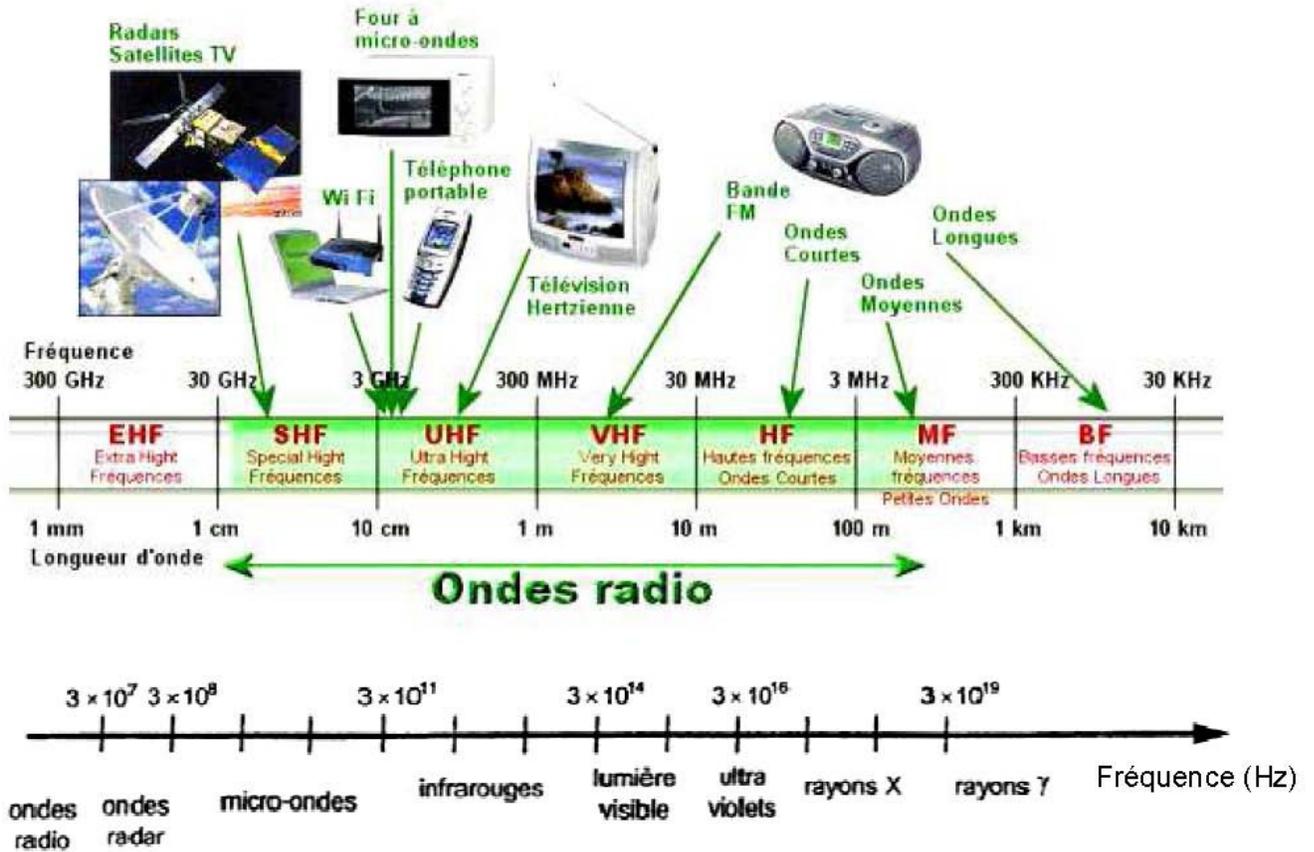
Dans cet exercice, on étudie le mode de communication entre le lecteur et l'étiquette. On modélise ensuite une partie du circuit électronique de l'étiquette, et on vérifie la validité de ce modèle expérimental en comparant son temps de réponse à celui d'un passe.

Donnée pour l'ensemble de l'exercice :

célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s

Communication entre le lecteur et l'étiquette du passe

La lumière, les rayons gamma, les infrarouges, les micro-ondes, les ondes radio, etc... font partie de la famille des ondes électromagnétiques. Les figures ci-dessous, précisent les différents domaines de fréquence de ces sous-familles.

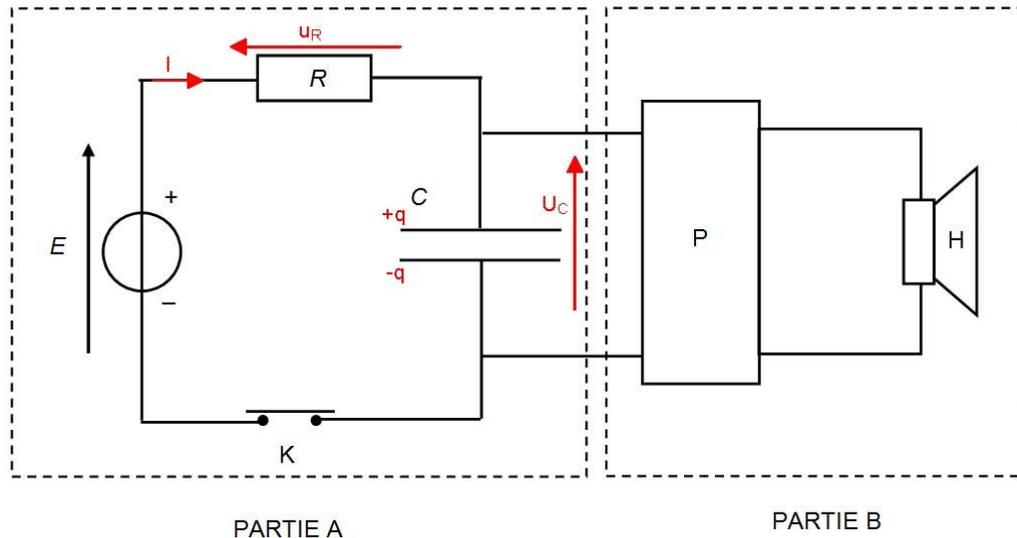


En vous aidant des figures et du texte ci-dessus, vérifier que les ondes passant entre le lecteur et l'étiquette appartiennent bien au domaine des ondes radio.

Question 2 :

Calculer la valeur de la longueur d'onde du signal radio lorsque celui-ci se propage dans l'air (que l'on assimilera au vide).

On peut modéliser le circuit de l'étiquette selon le schéma donné ci-dessous. Le bobinage d'antenne de l'étiquette qui reçoit l'onde radio et dans lequel naît le courant est modélisé, par souci de simplification, par un générateur idéal de tension E . La résistance R du circuit représente la résistance de l'étiquette et vaut $R = 1 \text{ M}\Omega$. Lorsque le passe de l'utilisateur est suffisamment proche du lecteur, un courant prend naissance dans le circuit, ce qui correspond à la fermeture de l'interrupteur K à la date $t_0 = 0$, et charge le condensateur de capacité C . Quand la tension aux bornes du condensateur devient supérieure à une tension seuil, notée U_S , le composant électronique P (qui correspond au circuit intégré de réponse de l'étiquette) alimente le haut-parleur H qui émet un son. Ainsi la réponse du modèle n'est donc pas une onde radio comme pour l'étiquette, mais une onde mécanique sonore.



Question 3 :

Retrouver la ou les bonnes propositions, parmi les suivantes :

- Un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde mécanique et d'une onde électromagnétique telle que la lumière.
- Une onde mécanique, tout comme une onde électromagnétique, se propage dans le vide.
- Une onde mécanique nécessite un milieu matériel pour se propager, alors qu'une onde électromagnétique peut se propager dans le vide.

Question 4 :

Quelle grandeur physique l'onde radio transfère-t-elle pour permettre à l'étiquette RFID de fonctionner sans piles ?

10. LES APPLICATIONS

Si nous regardons de plus près le principe de fonctionnement de la technologie RPID, nous comprendrons qu'elle peut générer toutes sortes d'applications impliquant l'identification, la traçabilité, l'analyse des données, le contrôle des accès etc.

Sécurité

Vérification de l'authenticité ;
Contrôle des accès ;

Véhicule

Perceptions de péages automatiques ;
Paiement des carburants dans les stations services ;

Agroalimentaire

Suivi de la chaîne du froid des produits alimentaires ;
Suivi de la chaîne de fabrication des produits frais ;
Suivi du bétail ;

Industrie

Identification et suivi de vêtements ;
Blanchisserie industrielle ;
Identification et suivi des bouteilles de gaz ;
Système antivol dans le commerce de détail ;
Suivi de production sur les chaînes de montage ;
Suivi de produits sensibles (médicaux, explosifs) ;

Loisirs

Location de matériels ;
Bibliothèque (gestion rapide des entrées-sorties et inventaires, antivol) ;

Logistique

Suivi de bagages dans le transport aérien ;
Suivi de sacs postaux, re-routage de colis, groupage ;

Médical

Recherche scientifique (identification et suivi d'échantillons) ;
Gestion de collectes des déchets médicaux jusqu'à l'incinération.

. Lors de la lecture d'un code barres, le faisceau lumineux émis par le scanner est absorbé par les barres sombres sans être réfléchi, alors qu'il est réfléchi par les espaces clairs.

A l'intérieur du scanner, une cellule photosensible reçoit la lumière réfléchie et la convertit en un signal électrique.

Lorsqu'un crayon optique lit un code barres, il crée :

- un signal électrique faible pour les espaces (lumière réfléchie) et
- un signal électrique fort pour les barres (lumière absorbée).

La durée du signal électrique détermine si les éléments sont larges ou étroits.

Le décodeur du lecteur convertit ce signal en caractères.

Les données décodées sont alors transmises à l'ordinateur.

Lecture du code :



Signal électrique :