

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Delphine BECHEVET et Ana LOIZEAU	
<b>Remerciements</b> . . . . .	3
<b>Présentation des auteurs</b> . . . . .	5
<b>Avant-propos</b> . . . . .	7
<b>Partie 1. Introduction et contexte technique</b> . . . . .	13
<b>Introduction de la partie 1</b> . . . . .	15
<b>Chapitre 1. Généralités</b> . . . . .	17
1.1. De l'IFF au transpondeur . . . . .	17
1.2. La genèse de la RFID . . . . .	19
1.3. La carte à puce et le besoin de sécurité . . . . .	20
1.4. Convergence carte à puce et RFID en HF . . . . .	21
1.5. RFID en UHF, EPC, Rain . . . . .	23

<b>Chapitre 2. Généralités techniques de la RF</b>	<b>25</b>
2.1. Propagations et rayonnements des ondes RF	25
2.1.1. Comportement du champ rayonné en fonction de la distance	25
2.1.2. Quelques appellations contrôlées.	27
2.1.3. Remarques concernant les applications RFID et NFC	28
2.2. Communications RF en bandes étroite, large et ultra large : notion de bande passante fractionnaire.	29
2.2.1. <i>Narrow Band</i> (NB) : bande étroite	30
2.2.2. <i>Wide Band</i> (WB) : bande large	31
2.2.3. <i>Ultra Wide Band</i> (UWB) : bande ultra-large	32
2.3. Contraintes réglementaires.	35
2.4. Normes et standards.	35
2.4.1. Normes	35
2.4.2. Standards	36
 <b>Partie 2. Identification radiofréquences RFID en LF et en HF</b>	 <b>37</b>
 <b>Introduction de la partie 2.</b>	 <b>39</b>
 <b>Chapitre 3. Radio-identification en LF et HF</b>	 <b>41</b>
3.1. Généralités	41
3.1.1. RFID en LF (125/134,2 kHz) et en HF (13,56 MHz)	41
3.1.2. RFID en UHF (autour de 900 MHz) et en SHF (entre 3 et 30 GHz)	42
3.1.3. Lecteur, interrogateur, <i>base station</i> , PCD, tag, <i>target</i> , PICC, etc.	43
3.1.4. Énergie fournie et modes d'alimentations du tag	43
3.1.5. Liaison descendante ( <i>downlink</i> ) du tag vers le lecteur	45
3.1.6. Communication descendante passive : modulation de charge.	46
3.2. RFID LF à 125 et 134,2 kHz : identification générale et animale	48
3.3. RFID HF à 13,56 MHz : introduction et éléments communs.	48
3.3.1. Genèse et essaimages.	48
3.3.2. Un petit peu de physique.	49
3.3.3. Rappel des contraintes réglementaires à 13,56 MHz	51
3.3.4. Facteurs limitant les distances en RFID HF	52

3.3.5. Actualisations, enrichissements et nouveautés des normes ISO . . . . .	54
3.4. RFID HF à 13,56 MHz – Norme ISO/IEC 14 443 –	
Cartes de proximité . . . . .	56
3.4.1. Optimisation de la liaison entre PCD et les « PICC's...ss » . . . .	56
3.4.2. <i>Active Load Modulation</i> en ISO/IEC 14 443 . . . . .	57
3.4.3. Classes d'antennes . . . . .	61
3.4.4. Débits numériques HBR et VHBR . . . . .	65
3.4.5. <i>Loading effect</i> , <i>detuning</i> et <i>multichips</i> dans le champ . . . . .	68
3.4.6. Enrichissements techniques propriétaires . . . . .	72
3.5. RFID HF à 13,56 MHz – Norme ISO/IEC 15 693 –	
Cartes de voisinage . . . . .	74
3.5.1. Distance maximale en « main libre » . . . . .	75
3.5.2. <i>Electronic Article Surveillance</i> en ISO 15693 . . . . .	79
3.5.3. <i>Active Load Modulation</i> en ISO/IEC 15693 . . . . .	80
3.5.4. Enrichissements propriétaires et évolutions de la norme . . . . .	80
3.6. RFID HF à 13,56 MHz – Norme ISO/IEC 18 000-3 :	
<i>item management</i> . . . . .	81
3.6.1. ISO/IEC 18 000-3M 1 (ou 18 000-31). . . . .	82
3.6.2. ISO/IEC 18 000-3M 2 (ou 18 000-32). . . . .	82
3.6.3. ISO/IEC 18 000-3M 3 (ou 18 000-33). . . . .	82

## Chapitre 4. Du protocole à l'application . . . . . 85

4.1. Introduction. . . . .	85
4.1.1. Un lecteur sachant faire bien autre chose que lire . . . . .	85
4.1.2. Deux niveaux de lecture . . . . .	86
4.2. Modèle OSI et normes de la RFID en HF . . . . .	86
4.2.1. Partie analogique . . . . .	87
4.2.2. Partie digitale . . . . .	87
4.2.3. Couches hautes . . . . .	88
4.3. Détection du tag par le lecteur : boucle de <i>polling</i> et anticollision . . .	89
4.3.1. TTF <i>versus</i> RTF. . . . .	89
4.3.2. Boucle de <i>polling</i> . . . . .	90
4.3.3. Gestion des collisions et multi-activation . . . . .	91
4.3.4. Multi-activation, possibilités et limites pratiques . . . . .	93
4.3.5. Stratégie à adopter face à plusieurs tags ?. . . . .	93
4.4. Mission de la couche de transport : assurer la qualité de service	
sur un médium peu fiable . . . . .	94
4.4.1. Détection et classification des erreurs . . . . .	95
4.4.2. <i>Card tracking</i> , <i>timeout</i> et réactivité . . . . .	97

4.4.3. Plans de certification des lecteurs . . . . .	98
4.5. Développer une application utilisant les tags . . . . .	101
4.5.1. Cas de tag étant une (vraie) carte à puce (sans contact). . . . .	101
4.5.2. Cas des cartes à logique câblée . . . . .	103

## **Chapitre 5. Transactions sans contact sécurisées . . . . . 107**

5.1. Introduction. . . . .	107
5.1.1. RFID, NFC ou « carte à puce sans contact » ? . . . . .	107
5.1.2. Sécurité de la carte et sécurité du système . . . . .	108
5.1.3. Les acteurs de l'écosystème carte et l'évaluation de la sécurité. . . . .	110
5.1.4. Le cycle de vie de la carte . . . . .	111
5.2. Notion de transaction sécurisée . . . . .	114
5.2.1. Le concept d'une transaction . . . . .	114
5.2.2. <i>Anti-tearing</i> et atomicité de la transaction . . . . .	114
5.2.3. Le besoin de sécurité . . . . .	116
5.2.4. Des transactions sécurisées « légères » . . . . .	118
5.3. Mécanismes d'authentification . . . . .	118
5.3.1. Authentifier la carte ou authentifier les données ? . . . . .	118
5.3.2. Authentification mutuelle symétrique . . . . .	121
5.3.3. Authentification mutuelle asymétrique . . . . .	123
5.4. Communication sécurisée . . . . .	127
5.5. Attaques et défense . . . . .	128
5.5.1. Les différents angles d'attaques mis en jeu . . . . .	128
5.5.2. L'importance de la sécurité de bout en bout . . . . .	130
5.5.3. Petite panoplie du <i>hacker</i> . . . . .	131
5.5.4. Les attaques classiques (et quelques idées pour les parer) . . . . .	131

## **Partie 3. *Near Field Communication* en HF (NFC) . . . . . 137**

### **Introduction de la partie 3. . . . . 139**

## **Chapitre 6. La communication en champ proche . . . . . 141**

6.1. Présentation et concepts généraux . . . . .	141
6.1.1. De la RFID HF à la NFC . . . . .	141
6.1.2. Les promesses du marketing . . . . .	142
6.1.3. La normalisation . . . . .	143

6.2. Rôles et modes de fonctionnement des appareils NFC . . . . .	144
6.2.1. Un peu de vocabulaire . . . . .	144
6.2.2. Rôles d'un <i>NFC Device</i> . . . . .	146
6.2.3. Modes de communication entre deux <i>NFC Devices</i> . . . . .	147
6.2.4. Croiser les modes et les rôles . . . . .	149
6.3. Champs d'applications de la communication en champ proche . . . . .	149

## Chapitre 7. Le monde du *NFC Forum* . . . . . 151

7.1. Introduction. . . . .	151
7.1.1. Création et évolution du <i>NFC Forum</i> . . . . .	151
7.1.2. Extension du domaine de la NFC . . . . .	151
7.1.3. <i>NFC Forum</i> face aux normes ISO . . . . .	152
7.1.4. Comparaison des deux corpus . . . . .	153
7.1.5. Contraintes nées de la dualité ISO/ <i>NFC Forum</i> . . . . .	153
7.2. Les modes d'un <i>NFC Forum Device</i> . . . . .	154
7.2.1. Sens 1 : quel appareil pour générer la porteuse ? . . . . .	154
7.2.2. Sens 2 : le fonctionnement de l'appareil . . . . .	155
7.2.3. Tentative de synthèse. . . . .	156
7.3. Les tags du <i>NFC Forum</i> . . . . .	157
7.3.1. Sous-jacents techniques du tag <i>NFC Forum</i> . . . . .	158
7.3.2. <i>NFC Forum</i> T2T et T5T, les tags basés sur de la logique câblée . . . . .	159
7.3.3. <i>NFC Forum</i> T4T, la carte à puce utilisée comme tag . . . . .	160
7.3.4. Quel tag pour quelle application ? . . . . .	161
7.3.5. Géométrie, performances et ergonomie . . . . .	161
7.4. Messages NDEF et enregistrements RTD . . . . .	162
7.4.1. Le RTD URI . . . . .	162
7.4.2. Le RTD type externe (MIME) . . . . .	163
7.4.3. <i>Handshaking</i> et <i>handover</i> . . . . .	164
7.5. Vie et mort du <i>peer-to-peer</i> . . . . .	164
7.5.1. NFC-DEP, LLCP et SNEP . . . . .	164
7.5.2. Abandon du P2P . . . . .	165
7.5.3. Forme de réincarnation. . . . .	166
7.6. L'émulation de carte . . . . .	166
7.7. Chargement par induction avec NFC. . . . .	167

## Chapitre 8. Le *smartphone NFC*. . . . . 169

8.1. Le <i>smartphone</i> , l'appareil NFC à (presque) tout faire . . . . .	169
8.2. La gestion des tags <i>NFC Forum</i> par le <i>smartphone</i> . . . . .	171

8.2.1. Le tag comme déclencheur d'actions . . . . .	171
8.2.2. Manipulation d'un tag au sein d'une application . . . . .	172
8.3. Le <i>smartphone</i> en mode lecteur . . . . .	173
8.3.1. Principes . . . . .	173
8.3.2. Mise en œuvre Android . . . . .	174
8.3.3. Mise en œuvre iOS . . . . .	176
8.4. Le <i>smartphone</i> en mode émulation de carte. . . . .	179
8.4.1. Une petite histoire du père Castor . . . . .	179
8.4.2. Aspects physiques et protocolaires. . . . .	180
8.4.3. Émulation de carte par un <i>Secure Element</i> ou la SIM. . . . .	182
8.4.4. Émulation de carte dans le processeur principal . . . . .	183
8.5. Les passes NFC et les applications « Wallet » . . . . .	187
8.5.1. Les passes <i>NFC Google Smart Tap</i> . . . . .	188
8.5.2. Les passes <i>NFC Apple VAS</i> . . . . .	190
8.5.3. Vers le « multi purpose tap » . . . . .	192
8.6. Prenons un peu de distance . . . . .	193
8.6.1. Le cas doublement idéal du tag idéal face au lecteur idéal . . . . .	193
8.6.2. Lecteur conventionnel et tag conventionnel . . . . .	194
8.6.3. <i>Smartphone</i> en mode lecteur ou initiateur NFC . . . . .	194
8.6.4. <i>Smartphone</i> en mode émulation de carte . . . . .	195
8.6.5. Deux <i>smartphones</i> en face à face. . . . .	196
8.6.6. Les pistes d'améliorations : le <i>NFC Forum Release 15</i> . . . . .	196

## Chapitre 9. Objets connectés NFC . . . . . 199

9.1. Objets « lecteurs » . . . . .	199
9.1.1. Principes . . . . .	199
9.1.2. Détails de mise en œuvre . . . . .	200
9.2. Objets « tags » . . . . .	202
9.2.1. Principes . . . . .	202
9.2.2. Détails de mise en œuvre . . . . .	203
9.2.3. Capteurs minimalistes . . . . .	204
9.3. Objets « tags » avec échanges dynamiques . . . . .	205

## Chapitre 10. Applications NFC en boucle ouverte. . . . . 207

10.1. NFC, RFID HF et RFID UHF . . . . .	207
10.1.1. Un besoin de convergence poussé par la vente au détail . . . . .	208
10.1.2. Les premiers pas vers une fusion NFC et RFID UHF . . . . .	209

10.2. NFC et paiement, NFC et transport . . . . .	211
10.2.1. Le transport public . . . . .	211
10.2.2. Le paiement . . . . .	212
10.3. NFC et eID . . . . .	213
10.3.1. Du passeport aux cartes d'identité électroniques . . . . .	213
10.3.2. Les limites du MRTD et la création du mDL . . . . .	215
10.3.3. Vers un portefeuille numérique unique ? . . . . .	216
10.4. NFC et automobile . . . . .	217
10.4.1. <i>Car Connectivity Consortium</i> (CCC) et la clé virtualisée . . . . .	219
10.4.2. CCC et <i>NFC Forum</i> . . . . .	219
10.5. NFC et contrôle d'accès physique . . . . .	220
10.5.1. Vers une solution contrôle d'accès « universelle » ? . . . . .	221
10.5.2. Convergence contrôles d'accès physique, accès logique et gestions des identités . . . . .	222
10.6. <i>Digital Product Passport</i> : DPP et le NFC . . . . .	222
10.6.1. Généralités . . . . .	222
10.6.2. Le DPP et le NFC en HF . . . . .	223

## **Partie 4. Identification en UHF et SHF localisation en UWB . . . . . 225**

## **Introduction de la partie 4. . . . . 227**

## **Chapitre 11. Radio-identification en UHF . . . . . 229**

11.1. Introduction et rapide historique de la RFID en UHF . . . . .	229
11.2. Rappels techniques nécessaires . . . . .	232
11.2.1. Surface effective de l'antenne d'un tag en UHF . . . . .	232
11.2.2. Équation de Friis . . . . .	232
11.2.3. Principe de fonctionnement en RFID UHF . . . . .	234
11.3. Nouveautés et compléments à la norme originale ISO 18 000-6 . . . . .	235
11.3.1. Populations d' <i>interrogators</i> denses et multiples . . . . .	235
11.3.2. « Traceable » et « Untraceable » . . . . .	240
11.3.3. « Visibilité » et « invisibilité » du tag . . . . .	245
11.3.4. Exemples usuels en UHF . . . . .	247
11.4. Mode <i>Untraceable</i> et $P_{max}$ admissible des circuits intégrés . . . . .	247
11.4.1. Champs forts en UHF . . . . .	247
11.4.2. Premières conclusions . . . . .	248
11.4.3. Exemples : champ UHF, tag sur métal, puissance maximale du circuit intégré . . . . .	251

11.5. Conclusions générales <i>Traceable</i> et <i>Untraceable</i> . . . . .	252
11.6. Compléments/améliorations propriétaires . . . . .	254
11.7. UHF RFID et RAIN RFID <i>Technology</i> . . . . .	254
11.7.1. RAIN . . . . .	254
11.7.2. RAIN RFID . . . . .	254
11.8. <i>Digital Product Passport</i> (DPP) et la RFID UHF . . . . .	255
11.8.1. Informations requises par le DPP. . . . .	256
11.8.2. Calendrier de l'introduction des DPP . . . . .	256
11.8.3. Le DPP, la RFID UHF et RAIN RFID. . . . .	257

## Chapitre 12. De l'identification RFID à la localisation en UWB . . . . .

259

12.1. Bref historique du concept UWB ( <i>Ultra Wide Band</i> ) . . . . .	261
12.2. Réglementations concernant les émissions UWB. . . . .	266
12.2.1. Introduction. . . . .	266
12.2.2. Exemple aux États-Unis . . . . .	270
12.2.3. Exemple en France . . . . .	271
12.3. Organismes gravitant autour de l'UWB . . . . .	272
12.3.1. OSI. . . . .	272
12.3.2. IEEE. . . . .	273
12.3.3. ETSI. . . . .	273
12.3.4. Apple . . . . .	273
12.3.5. FiRa . . . . .	274
12.3.6. <i>Car Connectivity Consortium</i> (CCC). . . . .	275
12.3.7. Collaborations entre ces organismes . . . . .	276
12.4. Fonctionnalités de l'UWB . . . . .	278
12.5. Distance maximale de fonctionnement . . . . .	278
12.6. Fonctionnement en usage de télémétrie . . . . .	279
12.7. Stabilité de fonctionnement en présence de multiples éléments . . . . .	280
12.8. Compréhension de mouvements et de positions relatives . . . . .	280
12.9. Qualité accrue de sécurité. . . . .	280
12.10. Techniques de fusion d'informations de localisations . . . . .	281
12.11. Conclusion. . . . .	281

## Chapitre 13. Génération de signaux UWB . . . . .

283

13.1. Signal, codage et modulation. . . . .	285
13.1.1. Format de l'impulsion . . . . .	285
13.1.2. Mise en œuvre d'un signal UWB . . . . .	291



13.2. Communication avec des impulsions . . . . .	294
13.2.1. Fréquence de répétition des impulsions (PRF) . . . . .	294
13.2.2. Séquence de codes. . . . .	298
13.2.3. Portée maximale de communication . . . . .	299
13.3. Propriétés de la technologie UWB . . . . .	302
13.4. Architectures et technologies des émetteurs-récepteurs UWB . . . . .	306
13.4.1. Émetteurs UWB . . . . .	306
13.4.2. Récepteurs UWB . . . . .	307
13.4.3. Implémentation des émetteurs-récepteurs UWB . . . . .	312
13.4.4. Résumé émission-réception et synthèse UWB . . . . .	313

## **Chapitre 14. Introduction et méthodes de localisation . . . . . 315**

14.1. Zoner, zonage. . . . .	315
14.2. Localiser. . . . .	316
14.3. Localisation . . . . .	316
14.4. Méthodes de (géo)localisation . . . . .	317
14.5. Solutions de localisation et UWB . . . . .	317
14.6. Méthodes de localisation en UWB . . . . .	318
14.6.1. Principe de la trilatération en 2D . . . . .	319
14.6.2. Performances d'une localisation . . . . .	322
14.6.3. Précision requise pour juger d'un système de localisation . . . . .	322
14.6.4. RADAR et <i>Ranging</i> . . . . .	323
14.6.5. <i>Ranging</i> et télémétrie . . . . .	324
14.6.6. RADAR et applications UWB. . . . .	337
14.7. Concurrence à/de l'UWB. . . . .	340
14.7.1. Bluetooth LE . . . . .	340
14.7.2. Bluetooth 6.0 : concurrent à <i>Ultra Wide Band</i> ? . . . . .	342

## **Chapitre 15. Champs des applications UWB . . . . . 347**

15.1. Domaine de la santé et du médical . . . . .	348
15.2. Domaine de l'identification RFID. . . . .	349
15.3. Domaine grand public. . . . .	351
15.4. Domaine industriel. . . . .	352
15.5. Domaine des transports en commun . . . . .	353
15.5.1. Billetterie UWB – Exemple . . . . .	354
15.6. Domaine de l'automobile . . . . .	355
15.6.1. UWB en automobile, localisation, contrôle d'accès . . . . .	355
15.6.2. <i>Standard Digital Key</i> du CCC. . . . .	361

15.6.3. <i>Digital Key</i> UWB dans le marché automobile . . . . .	369
15.6.4. Usages UWB à d'autres commodités dans le véhicule . . . . .	370
15.6.5. Le problème des alimentations des modules UWB . . . . .	371

**Chapitre 16. Exemples de composants**

<b>pour applications UWB . . . . .</b>	<b>375</b>
--	------------

16.1. NXP : famille Trimension® . . . . .	375
16.1.1. Pour applications automobiles. . . . .	376
16.1.2. Pour applications domestiques et industrielles . . . . .	379
16.2. Qorvo . . . . .	380
16.2.1. Pour applications industrielles et <i>consumer</i> . . . . .	380
16.3. <i>Ultra Wide Band</i> : conclusions actuelles . . . . .	382
16.4. La suite de l'aventure de l' <i>Ultra Wide Band</i> . . . . .	384

<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>387</b>
-----------------------------	------------

<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>389</b>
--------------------------------	------------

<b>Index . . . . .</b>	<b>391</b>
------------------------	------------