

# Table des matières

|   |    |
|---|----|
| <b>Préface</b> . . . . .  | 1  |
| Florence BOST et Gaëlle LISSORGUES  |    |
| <b>Remerciements</b> . . . . .  | 3  |
| <b>Avant-propos</b> . . . . .   | 5  |
| <b>Introduction</b> . . . . .   | 7  |
| <b>Partie 1. Vêtements, patches intelligents et biocapteurs</b> . . . . .       | 23 |
| <b>Chapitre 1. Vêtements, patches intelligents et contraintes</b> . . . . .     | 25 |
| 1.1. Quelques rappels et définitions . . . . .                                  | 25 |
| 1.1.1. Les grandes familles du textile . . . . .                                | 25 |
| 1.1.2. La filière « vêtements » . . . . .                                       | 33 |
| 1.2. Le marché des textiles intelligents vu du côté des consommateurs . . . . . | 35 |
| 1.2.1. Les leviers d’achats . . . . .   | 35 |
| 1.2.2. Les freins à l’achat des vêtements intelligents (VI) . . . . .           | 35 |
| 1.2.3. Les solutions pour apporter la confiance . . . . .                       | 37 |
| 1.2.4. Courbe « Hype » des innovations. . . . .                                 | 37 |
| 1.3. Contraintes autour d’un projet VI. . . . .                                 | 41 |
| 1.3.1. Aspects financiers et marketing. . . . .                                 | 41 |

|  |    |
|--|----|
| 1.3.2. Aspects ergonomiques . . . . .                      | 42 |
| 1.3.3. Aspects techniques . . . . .                        | 43 |
| 1.3.4. Aspects énergétiques . . . . .                      | 44 |
| 1.3.5. Aspects industriels . . . . .                       | 44 |
| 1.3.6. Aspects réglementaires et recommandations . . . . . | 45 |
| 1.3.7. Aspects normatifs . . . . .                         | 62 |
| 1.3.8. Aspects applicatifs . . . . .                       | 65 |

## **Chapitre 2. Biocapteurs et technologie graphène . . . . . 73**

|   |     |
|---|-----|
| 2.1. Introduction aux capteurs VI. . . . .                          | 74  |
| 2.1.1. Capteurs fréquemment utilisés dans les VI . . . . .          | 77  |
| 2.2. Capteurs de grandeurs physiques « non bio » . . . . .          | 81  |
| 2.2.1. Les types de détecteurs de ces capteurs . . . . .            | 82  |
| 2.2.2. Exemples de capteurs . . . . .                               | 82  |
| 2.3. Le matériau graphène . . . . .                                 | 86  |
| 2.3.1. Le carbone . . . . .   | 86  |
| 2.3.2. Le graphite . . . . .  | 86  |
| 2.3.3. Le graphène . . . . .  | 87  |
| 2.3.4. Propriétés du graphène . . . . .                             | 89  |
| 2.3.5. Intérêt du graphène dans les VI. . . . .                     | 92  |
| 2.4. Le graphène et ses secrets . . . . .                           | 93  |
| 2.4.1. Obtention du graphène . . . . .                              | 94  |
| 2.4.2. Producteurs et fournisseurs de graphène . . . . .            | 103 |
| 2.4.3. Prix du marché . . . . .                                     | 106 |
| 2.4.4. Recherches autour du graphène . . . . .                      | 107 |
| 2.4.5. Brevets et propriétés intellectuelles . . . . .              | 112 |
| 2.5. Les capteurs « bio » . . . . .                                 | 114 |
| 2.5.1. Capteurs « physiques » reliés au bio, sans analyte . . . . . | 114 |
| 2.5.2. Capteurs « bio » (biocapteurs), avec analyte . . . . .       | 116 |
| 2.6. Applications du graphène dans les VI . . . . .                 | 131 |
| 2.6.1. Biocapteurs et patches . . . . .                             | 131 |
| 2.6.2. Multicapteurs : patches multibiocapteurs. . . . .            | 144 |
| 2.6.3. Hors capteurs et hors « bio » . . . . .                      | 145 |
| 2.7. Conclusions du graphène dans le VI . . . . .                   | 149 |
| 2.7.1. Bénéfices aux contraintes applicatives des VI . . . . .      | 149 |
| 2.7.2. Biocapteurs graphènes dans le VI . . . . .                   | 155 |
| 2.7.3. Les points critiques à examiner au plus tôt . . . . .        | 156 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Partie 2. Le biocontrôleur</b> . . . . .                                      | <b>157</b> |
| <b>Chapitre 3. Le bioprocasseur</b> . . . . .                                    | <b>159</b> |
| 3.1. Structure de l'ensemble « AFE ( <i>Analog Front-End</i> )                   |            |
| + CPU ( <i>Central Processing Unit</i> ) » . . . . .                             | 159        |
| 3.1.1. Le « tout-en-deux » . . . . .   | 161        |
| 3.1.2. Le « tout-en-un » . . . . .   | 161        |
| 3.2. L'AFE . . . . .   | 162        |
| 3.2.1. Fonctionnalités d'une AFE . . . . .                                       | 162        |
| 3.2.2. Les nombreuses AFE possibles . . . . .                                    | 162        |
| 3.3. La CPU . . . . .  | 178        |
| 3.3.1. Traitement du signal . . . . .  | 178        |
| <b>Chapitre 4. Alimentation énergétique du patch</b> . . . . .                   | <b>187</b> |
| 4.1. Problèmes d'alimentation du patch . . . . .                                 | 187        |
| 4.1.1. Choix des modes d'alimentations du patch . . . . .                        | 187        |
| 4.1.2. Estimation du bilan énergétique d'un patch . . . . .                      | 188        |
| 4.1.3. Choix de la batterie, supercapacité et <i>energy harvesting</i> . . . . . | 192        |
| 4.2. <i>Energy harvesting</i> . . . . .  | 195        |
| 4.2.1. Généralités . . . . .   | 196        |
| 4.2.2. Technologies existantes pour VI . . . . .                                 | 207        |
| 4.3. Exemple d' <i>energy harvesting</i> pour VI . . . . .                       | 209        |
| 4.3.1. <i>Energy harvesting via</i> une liaison HF (haute fréquence)             |            |
| de type NFC ( <i>Near-Field Communication</i> ) . . . . .                        | 209        |
| 4.3.2. Exemples de patchs avec <i>energy harvesting</i> à NFC . . . . .          | 216        |
| <b>Chapitre 5. Communications OBC (<i>Out-of-body Communications</i>)</b>        |            |
| <b>et IBC (<i>Intra-body Communications</i>) en VI</b> . . . . .                 | <b>219</b> |
| 5.1. Communications en VI . . . . .  | 220        |
| 5.1.1. Communications <i>orbi</i> – OBC . . . . .                                | 220        |
| 5.1.2. Communications <i>urbi</i> – IBC . . . . .                                | 221        |
| 5.1.3. Modes de communications possibles des patchs . . . . .                    | 222        |
| 5.2. Connectivité et viabilité OBC des VI . . . . .                              | 224        |
| 5.2.1. Viabilité de la connectivité des OBC en VI . . . . .                      | 224        |
| 5.3. Du monde connecté RF (radiofréquences) aux OBC en VI . . . . .              | 227        |
| 5.3.1. Quelques minibases de RF . . . . .  | 228        |

---

|   |     |
|---|-----|
| 5.3.2. Connectivité RF de proximité ou lointaine des VI. . . . .  | 229 |
| 5.3.3. <i>Short Range</i> (SR) . . . . .  | 231 |
| 5.3.4. <i>Medium Range</i> (MR) . . . . .   | 233 |
| 5.3.5. <i>Medium Range Wide Band</i> (MRWB) (centaine de mètres) . . . .  | 233 |
| 5.3.6. <i>Long Range</i> (LR) et <i>Far-Field</i> . . . . .   | 234 |
| 5.4. Architecture des chaînes VI connectées . . . . .   | 235 |
| 5.4.1. Description technologique de la chaîne . . . . .   | 236 |
| 5.4.2. Big Data . . . . .   | 241 |
| 5.4.3. Les très nombreux protocoles mis en jeu . . . . .  | 242 |
| 5.5. Réseaux de patches OBC et IBC en VI . . . . .  | 243 |
| 5.5.1. Les nombreuses terminologies de $x$ AN ( <i>x Area Network</i> ). . . . .                                    | 243 |
| 5.5.2. $x$ PAN ( <i>x Personal Area Network</i> ) en radiofréquences . . . . .                                      | 245 |
| 5.5.3. Du WPAN ( <i>Wireless Personal Area Network</i> )<br>au WBAN ( <i>Wireless Body Area Network</i> ) . . . . . | 247 |
| 5.5.4. PAN et famille IEEE 802.15 . . . . .   | 247 |
| 5.6. BAN . . . . .  | 248 |
| 5.6.1. Définition du BAN – IEEE 802.15.6 . . . . .  | 248 |
| 5.6.2. Historique du BAN . . . . .  | 249 |
| 5.6.3. Réseaux BAN en VI . . . . .  | 251 |
| 5.6.4. Couche physique d'un BAN . . . . .   | 256 |
| 5.6.5. Couche MAC ( <i>Medium Access</i> ) . . . . .  | 260 |
| 5.6.6. Champs applicatifs des BAN . . . . .   | 261 |
| 5.6.7. Principaux challenges de conception des patches BAN . . . . .  | 264 |
| 5.7. IBC. . . . .   | 265 |
| 5.7.1. Du BAN à l'IBC . . . . .   | 265 |
| 5.7.2. La genèse de l'IBC . . . . .   | 267 |
| 5.7.3. Les grands principes de l'IBC . . . . .  | 272 |
| 5.8. Système IBC capacitif . . . . .  | 285 |
| 5.8.1. Communication entre deux éléments du réseau . . . . .  | 285 |
| 5.8.2. IBC et non-rayonnement corporel . . . . .  | 289 |
| 5.8.3. Concept de base de la communication IBC. . . . .   | 292 |
| 5.9. Modélisations d'un système IBC . . . . .   | 293 |
| 5.9.1. Modèle d'un système IBC et analyse des canaux . . . . .  | 294 |
| 5.9.2. Modélisation des canaux de communication du corps humain . .   | 294 |
| 5.9.3. Modèle électrique du médium . . . . .  | 298 |
| 5.9.4. Modèle électrique du canal . . . . .   | 300 |
| 5.10. Simulations . . . . .   | 303 |
| 5.11. Exemples de solutions VI avec IBC. . . . .  | 304 |
| 5.11.1. Exemple 1 : pour les débutants . . . . .  | 304 |
| 5.11.2. Exemple 2 : pour les plus grands . . . . .  | 310 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Conclusion. Concrétisation d'une solution</b> . . . . . | 315 |
| <b>Épilogue</b> . . . . .                                  | 335 |
| <b>Glossaire</b> . . . . .                                 | 337 |
| <b>Les auteurs</b> . . . . .                               | 339 |
| <b>Bibliographie</b> . . . . .                             | 341 |
| <b>Index</b> . . . . .                                     | 347 |