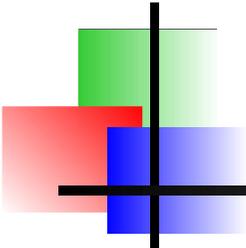
A decorative graphic on the left side of the title, consisting of a black crosshair overlaid on a grid of colored squares (green, red, blue) with a gradient effect.

Qualité de Service dans les réseaux sans fil

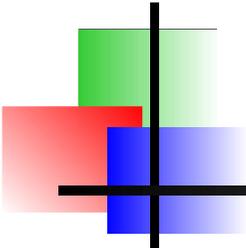
Thierry VAL / Guy JUANOLE
Laboratoire de recherche ICARE EA3050 / LAAS-CNRS de Toulouse

ETR 2005



1. Introduction

- Aptitudes des WLAN à être utilisés par des applications "temps réel" communicantes ?
- Les WLAN doivent offrir une certaine Qualité de Service (QoS ou QoS)
 - Débit minimum garanti, Délai borné, Gigue faible : couche MAC performante
 - Taux d'erreur acceptable (10^{-4}), portée correcte (100m), débit nominal important (100Mbps) : couche 1
- 1^{ère} idée issue du monde informatique : utiliser des méthodes classiques (filaire) :
 - Différentiation de services applicatifs
 - DiffServ
 - IntServ
 - RSVP...
- On masque aux couches logicielles protocolaires hautes la présence de couches immatérielles
- Les couches physiques sans fil (IR, Radio, US) offrent des caractéristiques mauvaises :
 - Débit faible : 1, 10, 100 Mbps max (rapport 10 !)
 - Délai de transit plus grand,
 - Mauvais taux d'erreurs,
 - Grande variabilité...
- Plus judicieux de tenter de résoudre le problème de la QoS à sa source
- (Re)travailler sur les couches basses (10 ans en arrière !) :
 - Couches physiques (modulations, codage...),
 - Couches MAC nouvelles et adaptées aux caractéristiques intrinsèques immatérielles,
 - Interactions entre les couches du modèle OSI...
- Dans cette présentation : nous allons nous limiter aux couches MAC de WiFi et ZigBee (+ BT)



Plan de la présentation

1. Introduction

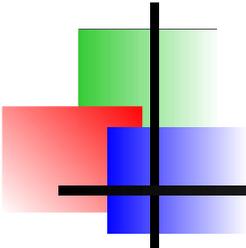
2. WLAN WiFi (ASFI)

- CSMA/CA + RTS/CTS
- DCF / PCF
- 802.11e

3. LR-WPAN ZigBee

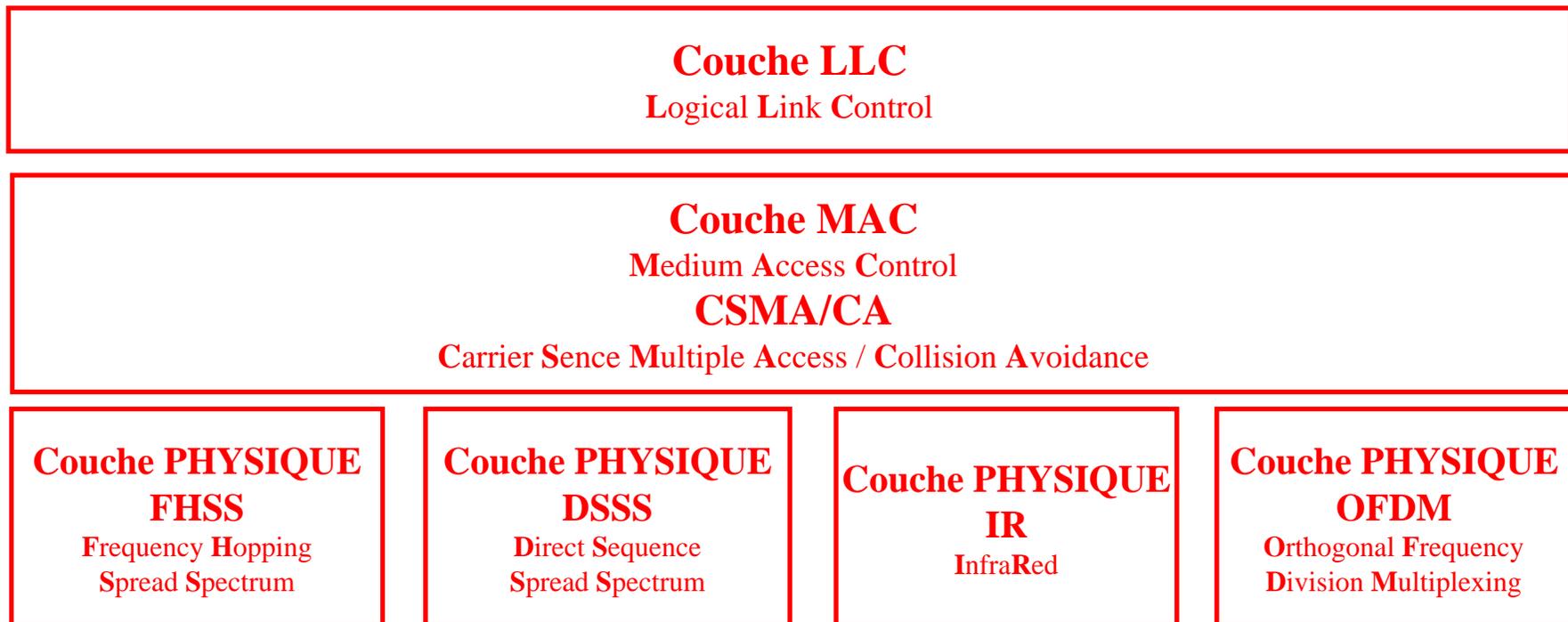
- Présentation générale
- Modes "balisé" & CSMA/CA

4. Conclusion



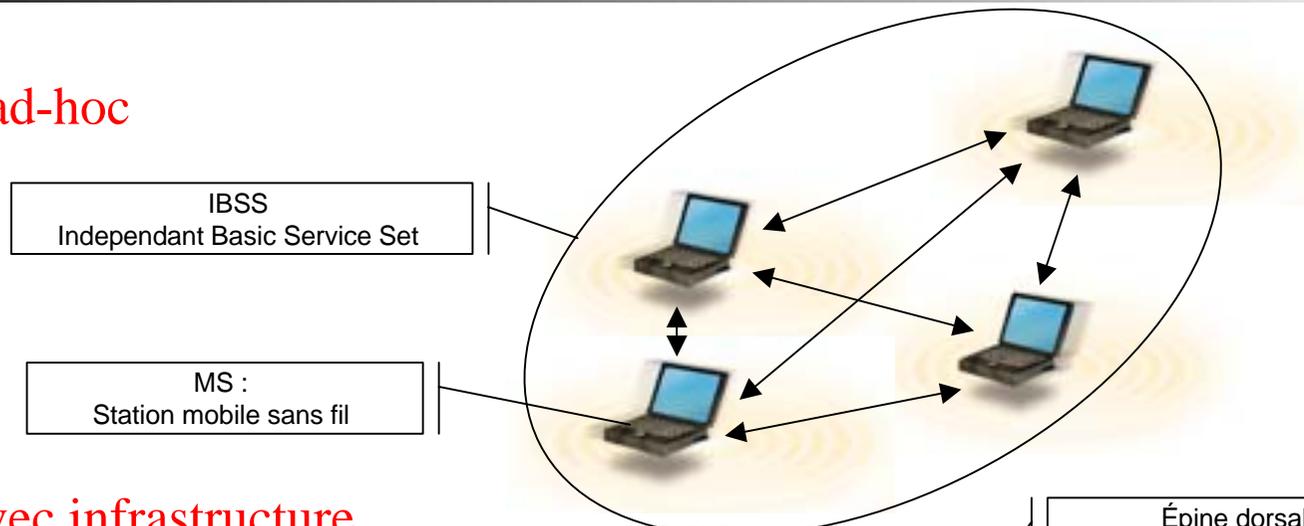
2. WLAN IEEE 802.11

- Le comité 802.11 de l'IEEE travaille sur la normalisation des réseaux sans fil
- Initiée en 1990, cette norme a évolué (802.11b , 802.11a, 802.11g, 802.11n...)
- 4 couches physiques différentes pour une couche MAC dans 802.11

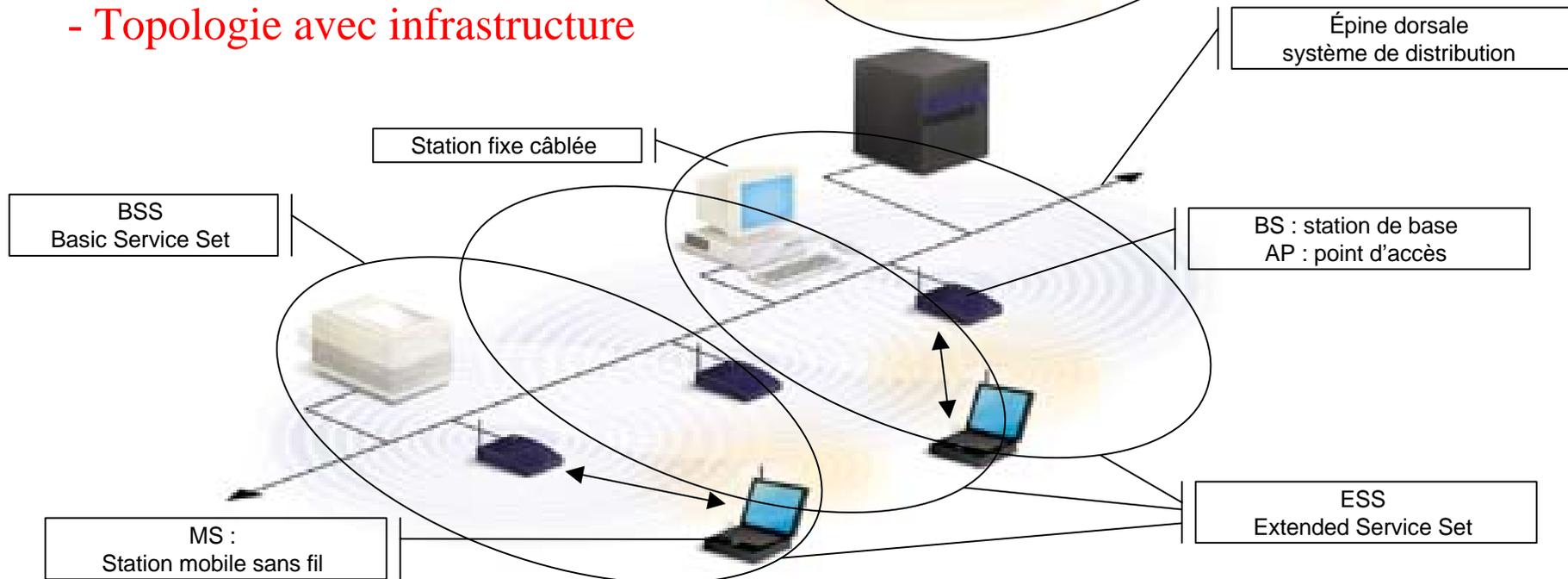


2. WLAN IEEE 802.11

- Topologie ad-hoc



- Topologie avec infrastructure

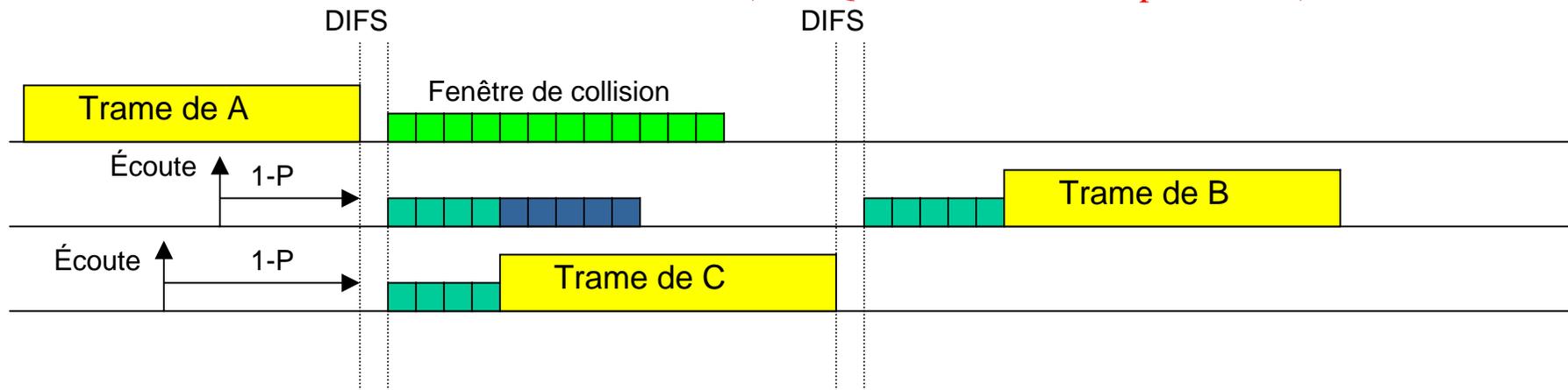


- Bientôt une topologie WiFi maillée : relais radio entre AP

2. WLAN IEEE 802.11

2 modes de fonctionnement de la méthode d'accès : DCF et PCF

- DCF : Distribution Coordination Function (sans QoS, mais le seul implémenté !)



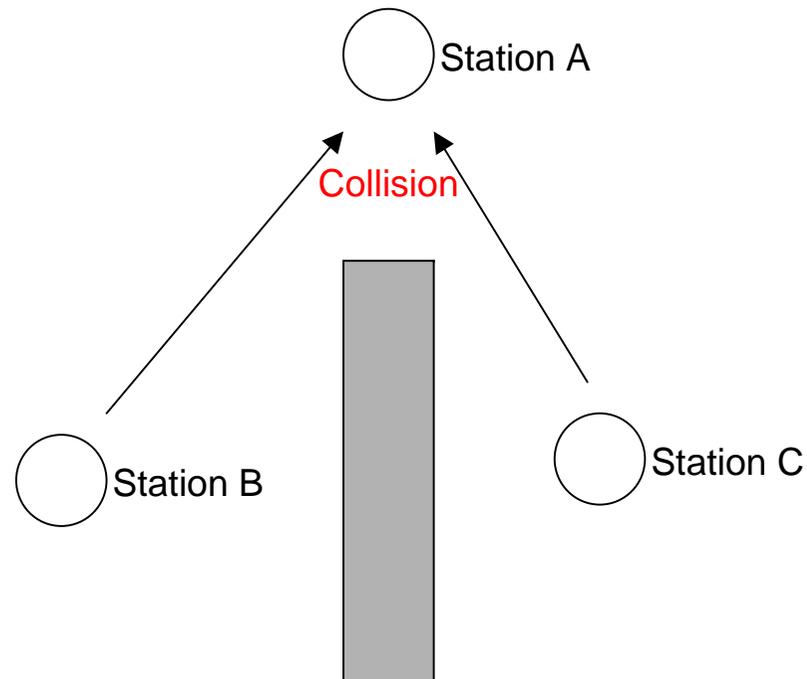
- Attente canal libre (CSMA) : 1-Persistent
- Puis attente encore libre pendant DIFS (autres temps plus court PIFS et SIFS)
- Puis attente encore fenêtre de collision = $\text{aléa}(CW) * \text{durée slot_collision}$;
- Émission si encore libre, sinon on retente la trame suivante (il ne reste que le temps non écoulé à attendre !)
- Rq1) + ACK après chaque trame de données (SIFS)
- Rq2) Backoff exponentiel : $CW = CW_{\min}(2^b - 1)$; $b=1$ au début, incrémenté chaque retransmission
- Rq3) option RTS/CTS (terminal caché) : cf + tard !

Problèmes face à la QoS :

- Couche MAC non déterministe,
- basée sur des temps aléatoires pouvant être identiques
- les collisions sont encore possibles : 2 stations détectent le canal libre en même temps (~) après CW

2. WLAN IEEE 802.11

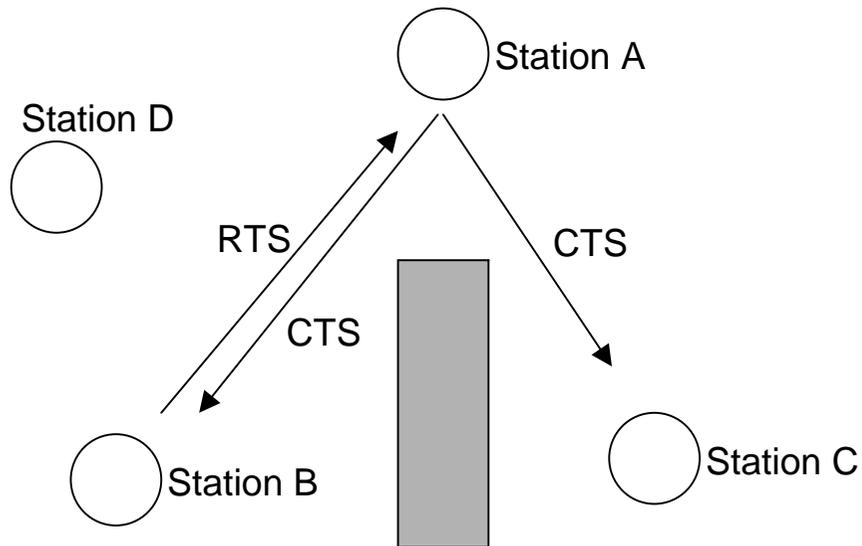
- **Problématique des terminaux cachés (en mode DCF)**
 - Si 2 stations (ou plus) ne s'entendent pas mutuellement
 - Cause : obstacle (armoires métalliques, béton armé), portée trop faible, directivité des antennes...
 - Détection (CSMA/CA) inopérante entre des machines cachées les unes des autres
 - Si machine tierce entre elles : dans la zone de collision



2. WLAN IEEE 802.11

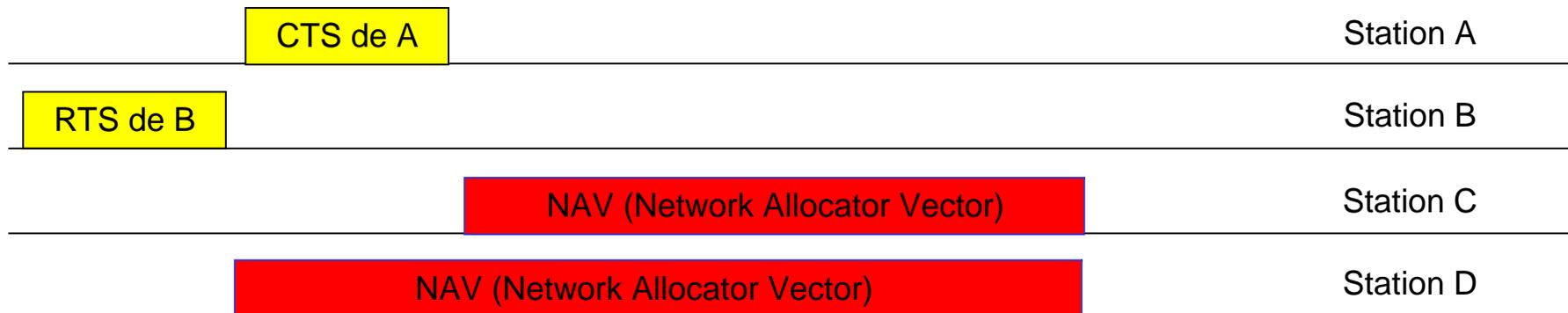
- **Problématique des terminaux cachés : option de 802.11**

- Solution : RTS/CTS : Request To Send / Clear To Send (vocabulaire RS232 : contrôle de flux matériel)



Problème :

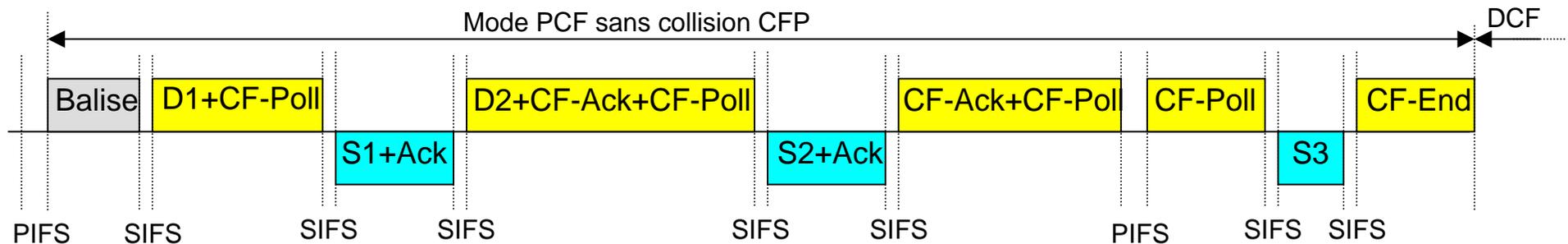
- Collision possibles entre RTS
- Petites collision par rapport aux longues trames de données
- crédits de répétition des RTS (si non retour de CTS)



2. WLAN IEEE 802.11

PCF : Point Coordination Function (avec QoS de base , mais très rarement implémenté !)

- Mode complémentaire au DCF
- Contrôle d'accès par une station centralisée (le point d'accès)
- Découpage temporel en supertrame : mode sans collision CFP puis mode DCF CP (inverse de ZigBee cf. plus tard)
- Début de la supertrame : balise émise par l'AP portant la durée de la supertrame



Problème par rapport à la QoS :

- Le point d'accès doit connaître toutes ses SM
- Problème si mobilité rapide des stations
- On peut interroger une SM pour rien (polling simple statique) : perte de temps – ou l'inverse !
- Pas de priorités pour des trafics différents (débits, délais...)
- Problème si 2 point d'accès proches : collisions de supertrames. Obligation de définir des canaux différents entre AP

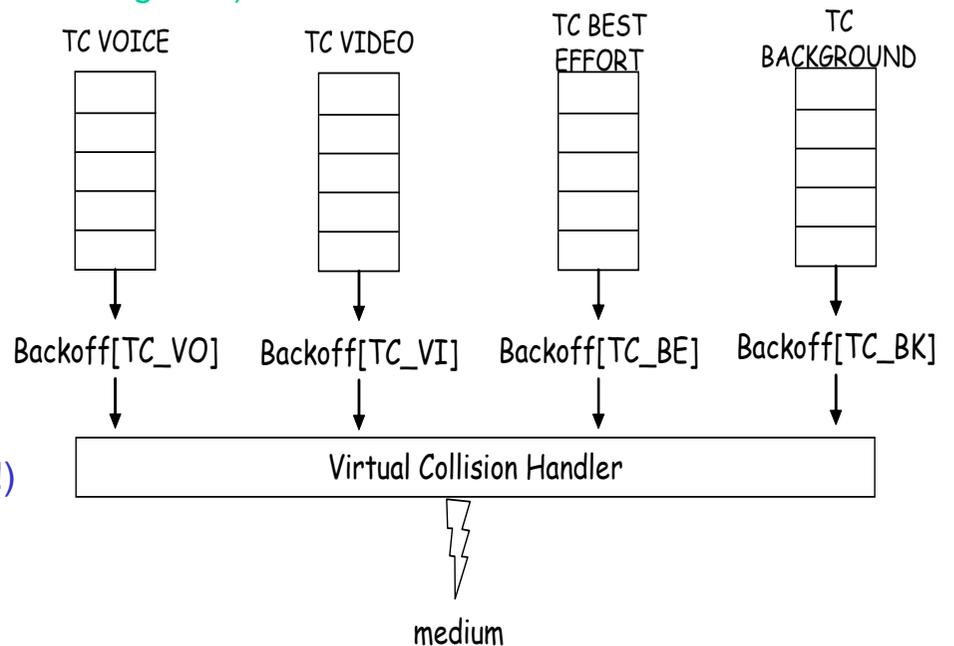
2. WLAN IEEE 802.11 et QoS : 802.11e

Travaux actuels du comité IEEE 802.11e :

- Améliorations de 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11i...
- Offrir une QoS effective, implémentée et plus performante
- Amélioration à la fois du mode DCF et du mode PCF : EDCA et HCCA
- Enhanced Distributed Channel Access : dans la CP, mode DCF décentralisé avec priorités :

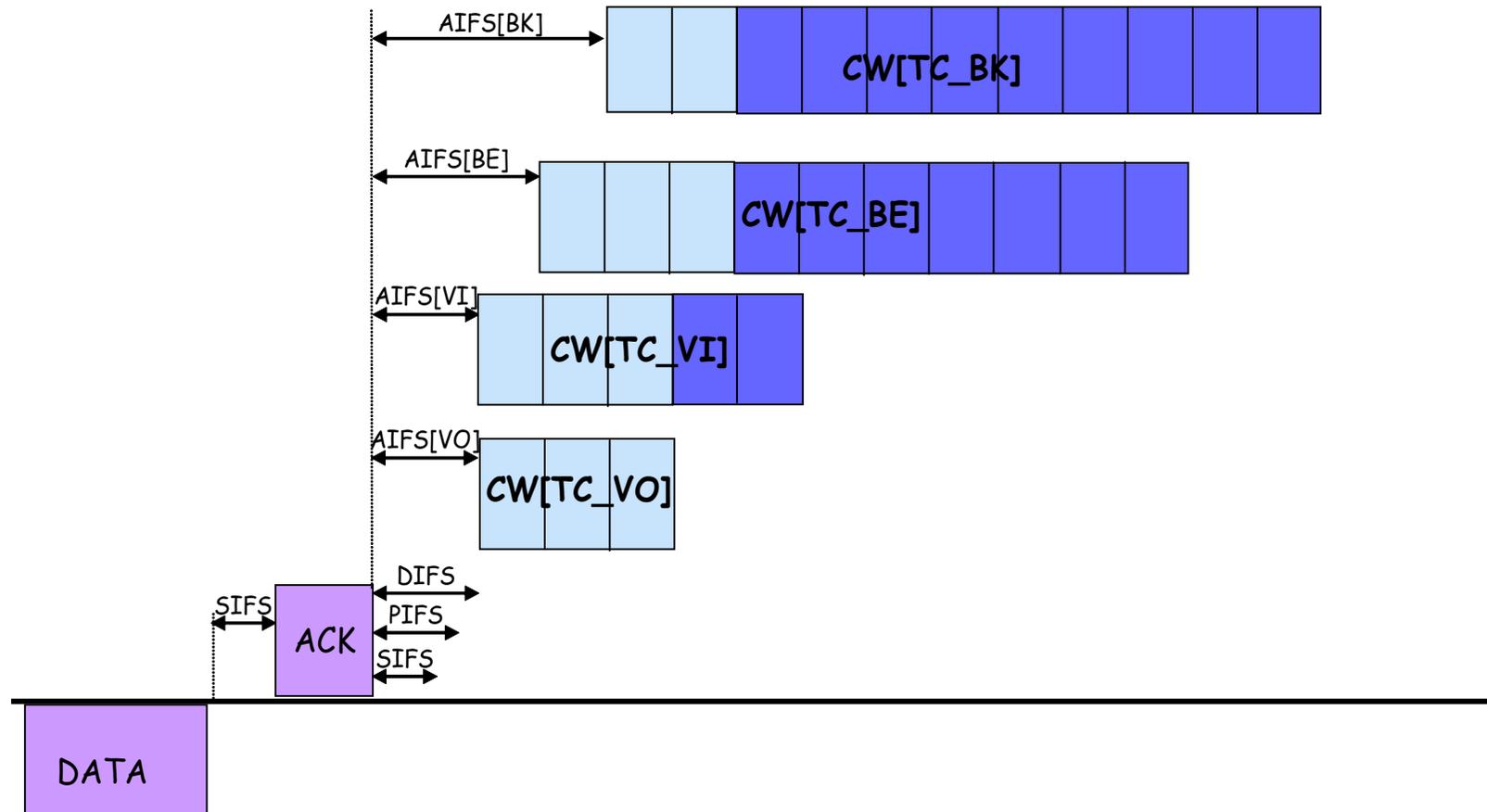
4 niveaux de priorité pour 4 types de trafics : TC (Traffic Categories)

- TC-VO pour des applications de type voix
(le plus prioritaire : AIFS et CW petits)
- TC-VI pour des applications vidéo,
- TC-BE pour des trafics associés à une méthode d'accès de type « Best Effort »,
- TC-BK pour des applications « Background »
(les - prioritaires : donc l'AIFS le + grand !)
- 4 FIFO différentes vidées par priorité croissantes



2. WLAN IEEE 802.11 et QoS : 802.11e

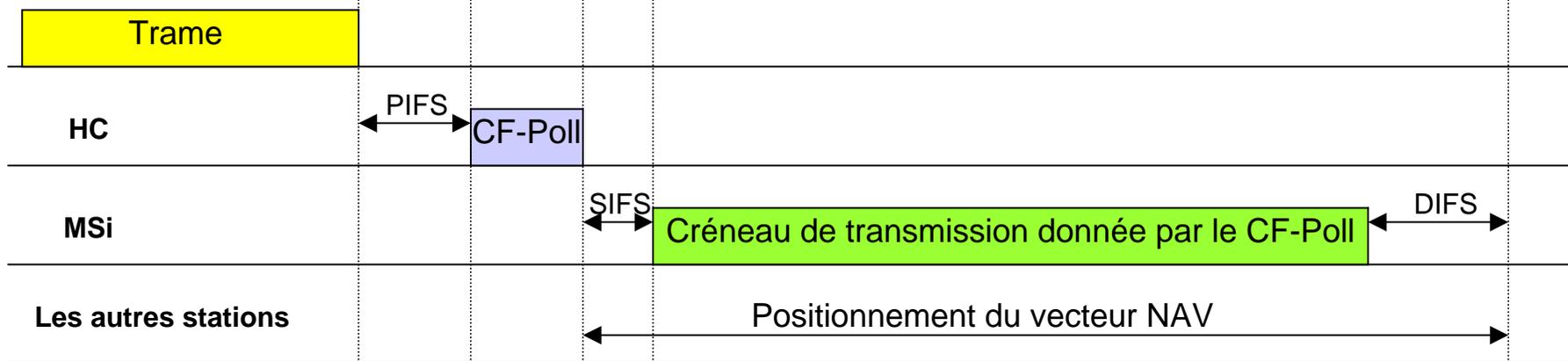
- Le DIFS est remplacé par 4 AIFS (Arbitration IFS) de tailles croissantes
- Les 4 AIFS sont associés à 4 CW différents



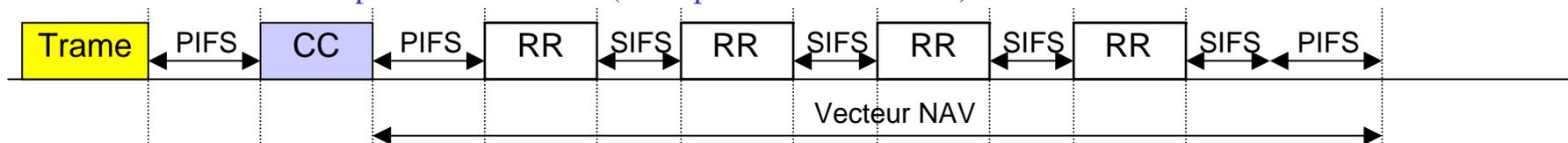
Les collisions sont toujours possibles entres trafics différents ou entres trames de même trafic !

2. WLAN IEEE 802.11 et QoS : 802.11e

- Hybrid Controlled Channel Access : dans la CFP et la CP - Hybrid Coordination Function
 - Le HC : Hybrid Coordinator (point d'accès) peut offrir un créneau d'accès sans collision à une station
 - Créneau d'accès limité dans le temps (par vecteur NAV)
 - Émission dans les périodes DCF ou PCF d'une trame CF-Poll vers une station mobile MSi

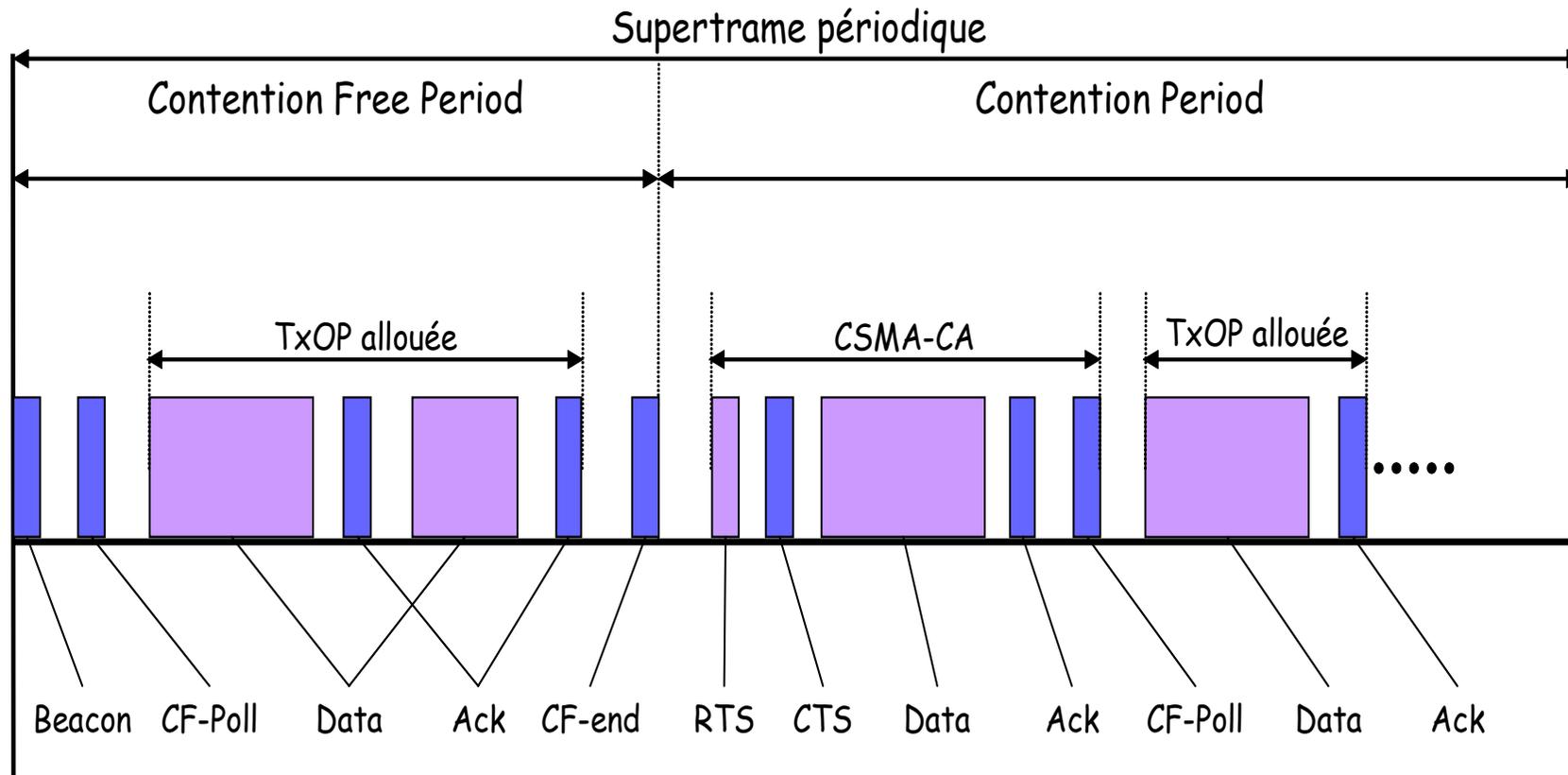


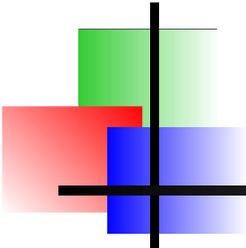
- Si la station mobile ne s'en sert pas, le créneau se termine par CF-End au plus tôt
- Adaptation des créneaux d'accès réservés sans collision à la demande
- Il faut alors offrir la possibilité aux stations de demander du trafic !
- Introduction d'un mécanisme de réservation au mode HCCA !
- Émission par l'AP d'une trame CC (Contrôle Contention)
- Trame CC suivie de plusieurs positions de RR (Reservation Request) générées par les stations mobiles
- Mais collisions possibles entre RR (idem protocole ALOHA !)



2. WLAN IEEE 802.11 et QoS : 802.11e

- Nouvel attribut de 802.11e : le TxOP (Transmission Opportunity)
- Intervalle de temps durant lequel une station qui a obtenu l'accès au médium peut transmettre plusieurs trames venant du niveau supérieur





3. LR-WPAN ZigBee

Généralités

- Le projet :

Idée initiale : 1998, IEEE : 2001, production : 2004.

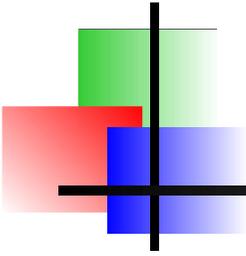
Objectif : définir une norme de communication à faible consommation et à faible débit.

ZigBee est adapté aux transports à faible utilisation du médium (typiquement < 1%)

- Les normes :

IEEE 802.15.4 pour couches 1 & 2 (Radio, MAC)

Les couches 3 et + sont propriétaires (Adressage, Routage, Profiles, Applications)



3. LR-WPAN ZigBee

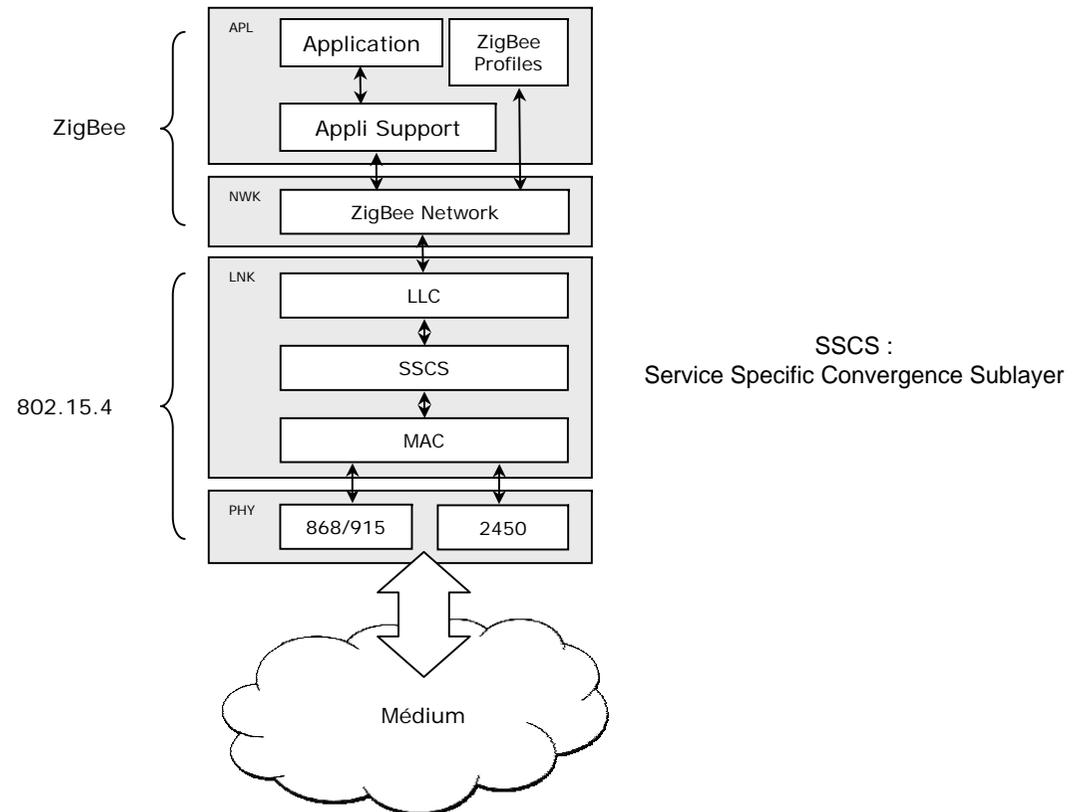
Les grandes lignes :

- Économe en énergie
- PHY 868/915 et PHY2450
- Débit constaté ~ 100kbit/s
- Puissances identiques à WiFi ou Bluetooth (bande ISM)
- Portée identique de quelques dizaines de mètres
- Taille de code de la pile : 20ko à 60ko
- Topologies évoluées (point à point, étoile, maillée)
- Méthode d'accès CSMA/CA pur ou mode balisé

3. LR-WPAN ZigBee

Pile protocolaire :

- 802.15.4 : couches basses
- ZigBee : couches hautes



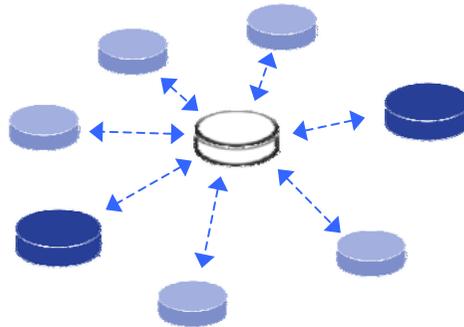
Implémentation :

- Suivant les besoins, deux piles sont disponibles :
 - FFD « Full Fonction Device » : Contient toute la pile (les nœuds coordinateurs)
 - RFD « Reduced Fonction Device » : Contient une pile + légère (les nœuds esclaves)

3. LR-WPAN ZigBee

Topologie en étoile (802.15.4 et ZigBee) :

- Toutes les communications passent par un point central appelé Coordinateur qui nécessite : une pile complète, et plus d'énergie consommée



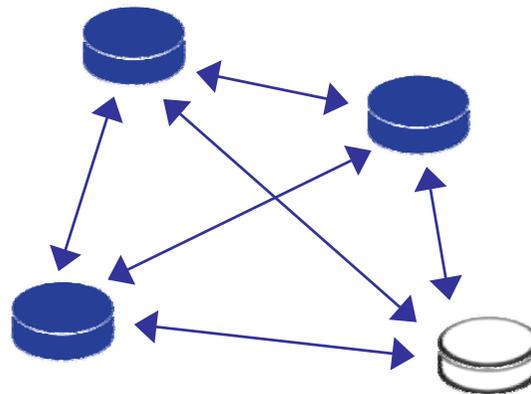
Topologie étoile

- Possibilité de distribuer la parole par des balises (*mode beacon*) au lieu de CSMA/CA

3. LR-WPAN ZigBee

Topologie point à point (802.15.4 et ZigBee) :

- Communication directe tant que la portée radio le permet
- Permet la formation de topologies plus complexes (avec couche réseau)
- Le coordinateur a un rôle plus restreint

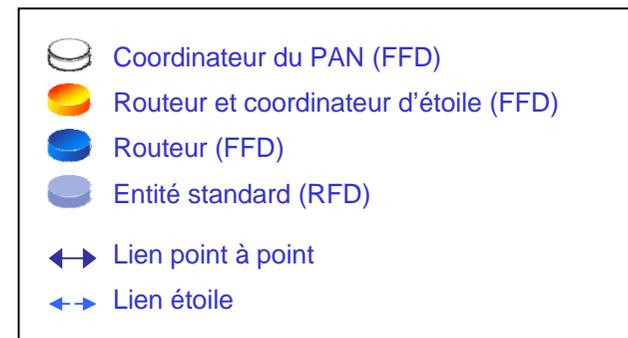
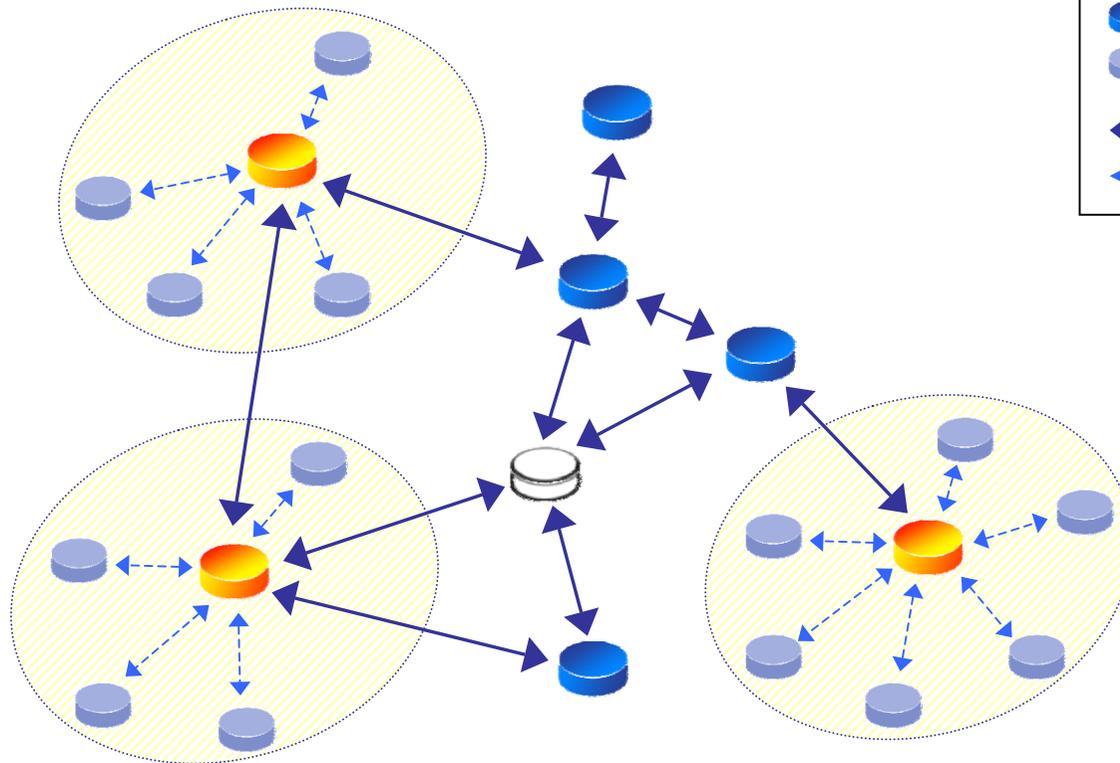


Topologie point à point

3. LR-WPAN ZigBee

Topologie maillée (ZigBee) :

- Association des 2 topologies précédentes
- Communications point à point entre coordinateurs



3. LR-WPAN ZigBee

Niveau Liaison : deux méthodes d'accès complémentaires

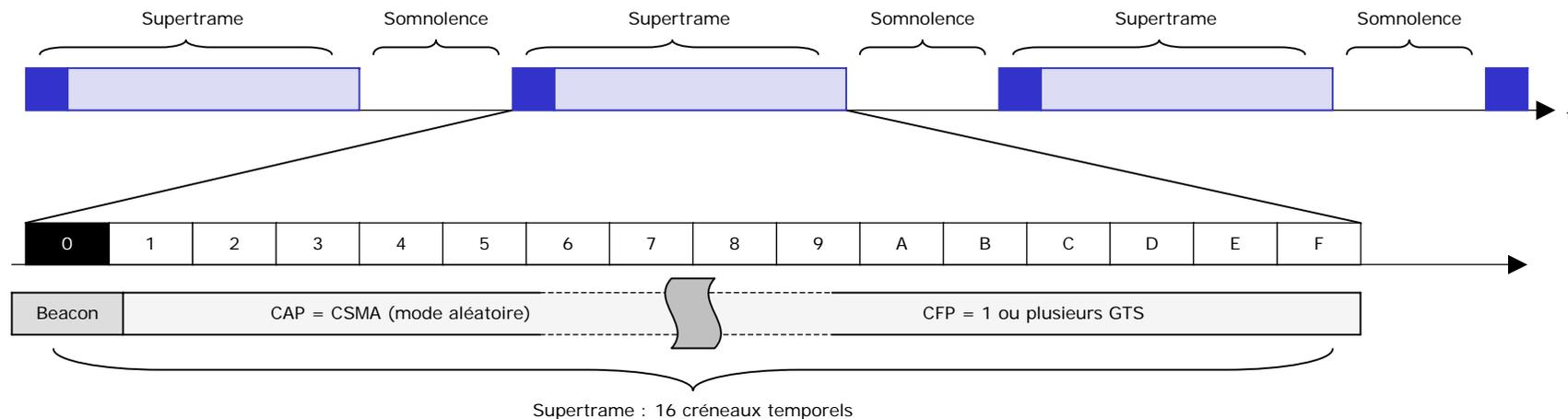
- Mode aléatoire : CSMA/CA sans RTS/CTS (topologie point à point),
- Mode beacon : avec balises et supertrames (topologie en étoile),

Beacon simple :

- émission des beacons soit périodiquement, soit à la demande,
- accès avec contention entre les beacons en CSMA/CA, dans la CAP (*Contention Access Period*).

Beacons + GTS (*Guaranteed Time Slot*) :

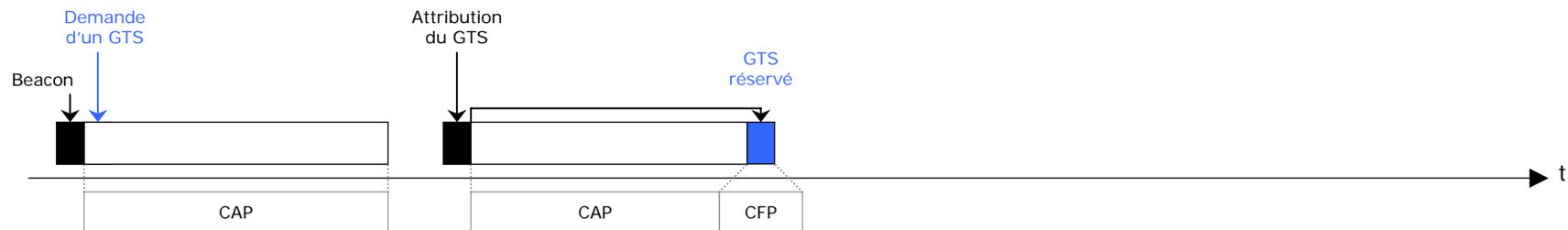
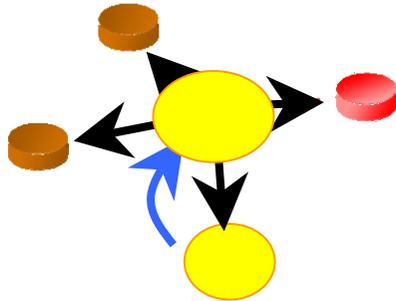
- émission régulière des beacons,
- accès sans contention dans la CFP (*Contention Free Period*) : slots temporels réservés (GTS).



3. LR-WPAN ZigBee

Mode beacon :

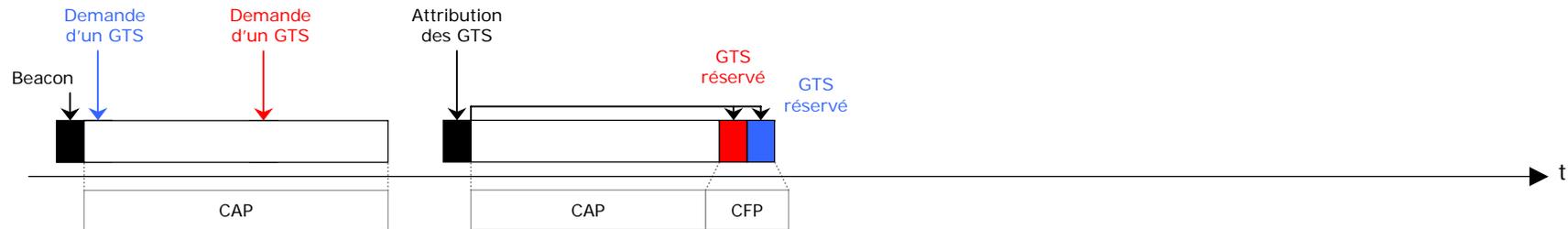
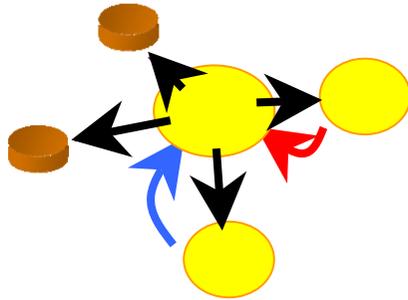
- Demande de réservation de bande passante = demande d'un GTS



3. LR-WPAN ZigBee

Mode beacon :

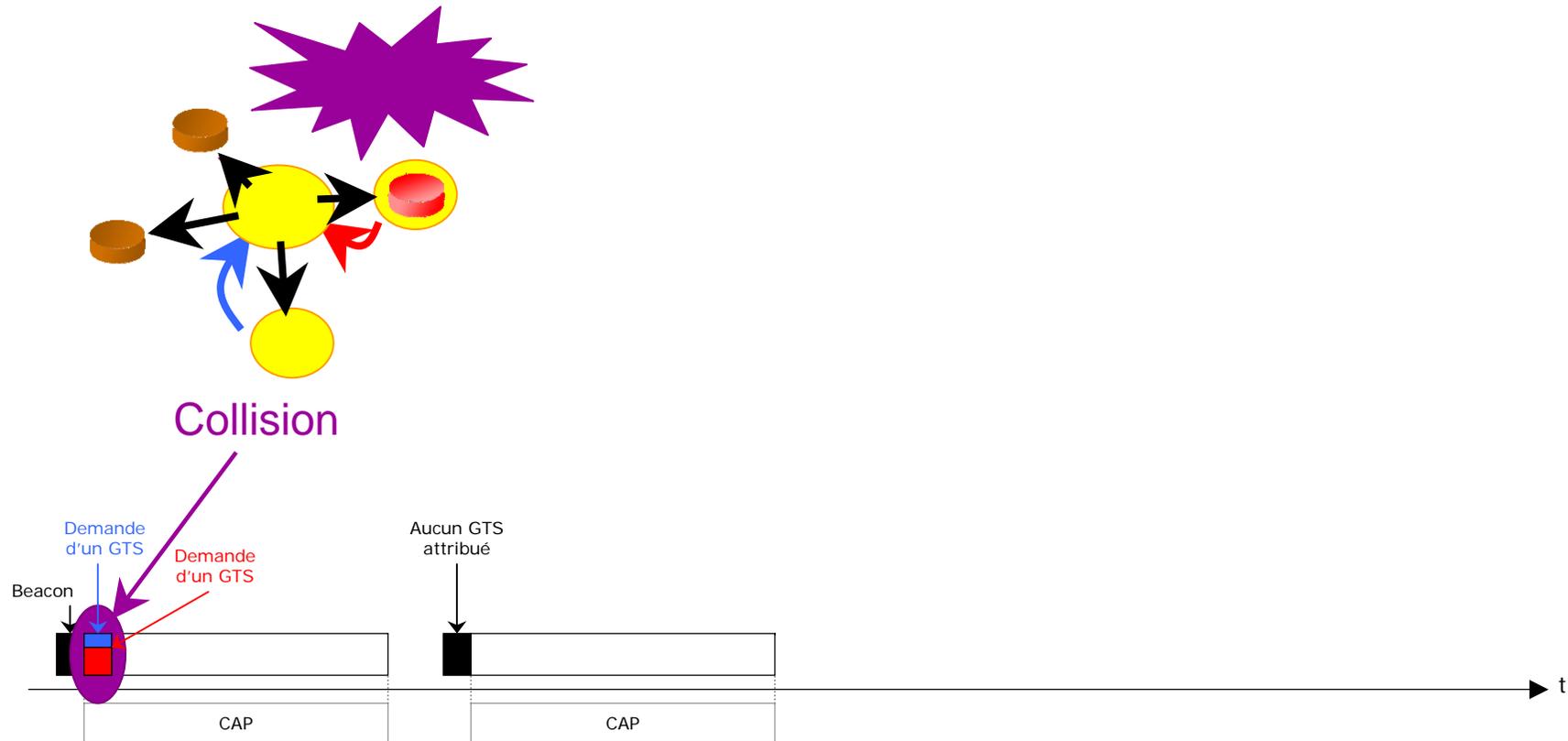
- deux nœuds demandent un GTS sans provoquer de collision

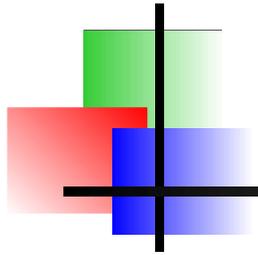


3. LR-WPAN ZigBee

Mode beacon :

- cette demande peut provoquer une collision !

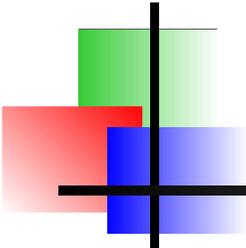




3. LR-WPAN ZigBee

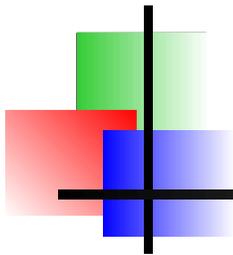
ZigBee face à la QoS :

- Seule la topologie en étoile peut offrir une QoS avec le mode beacon
- Ce mode beacon n'est efficace qu'une fois les demandes validés par le coordinateur !
- Car souvent, plusieurs demandes devront être effectuées avant d'obtenir un GTS (collisions)
- Il faut connaître les RFD potentiels et leurs applications pour que les coordinateurs leur donnent des GTS au bon moment (statique)!
- La topologie point à point n'offre pas de QoS (CSMA/CA)
- Pas de QoS non plus, entre les coordinateurs des étoiles de la topologie maillée
- Non déterminisme des phases de rajouts ou de retraits de nœuds ZigBee (ils se déclarent en mode CSMA/CA !)



4. Conclusion

- Les premiers réseaux sans fil ne prenaient pas en charge la QoS
- Les dernières versions (WiFi, Bluetooth et ZigBee) la propose
 - sous la forme d'option (PCF puis 802.11e de WiFi)
 - en fonction des applications (liens synchrones audio de Bluetooth)
 - QoS liée à une topologie (ZigBee)
- **Beaucoup de travaux restent à faire :**
 - prise en charge de la QoS liée à la mobilité (handover)
 - demandes de réservations de ressources déterministes
 - couches physiques rapides, fiables et constantes
 - couches MAC totalement déterministes (rajouts, retraits de nœuds...)
 - couches 3 spécifiques aux topologies fortement maillées des WLAN
 - prise en compte dans les couches > de la forte variabilité des couches physiques
 - applications adaptatives (mode dégradés, adaptation des demandes...)

A decorative graphic on the left side of the slide, featuring a black crosshair overlaid on a grid of colored squares (green, red, blue) with a gradient effect.

Qualité de Service dans les réseaux sans fil

Thierry VAL / Guy JUANOLE
LAAS-CNRS de Toulouse / Laboratoire de recherche ICARE EA3050

ETR 2005

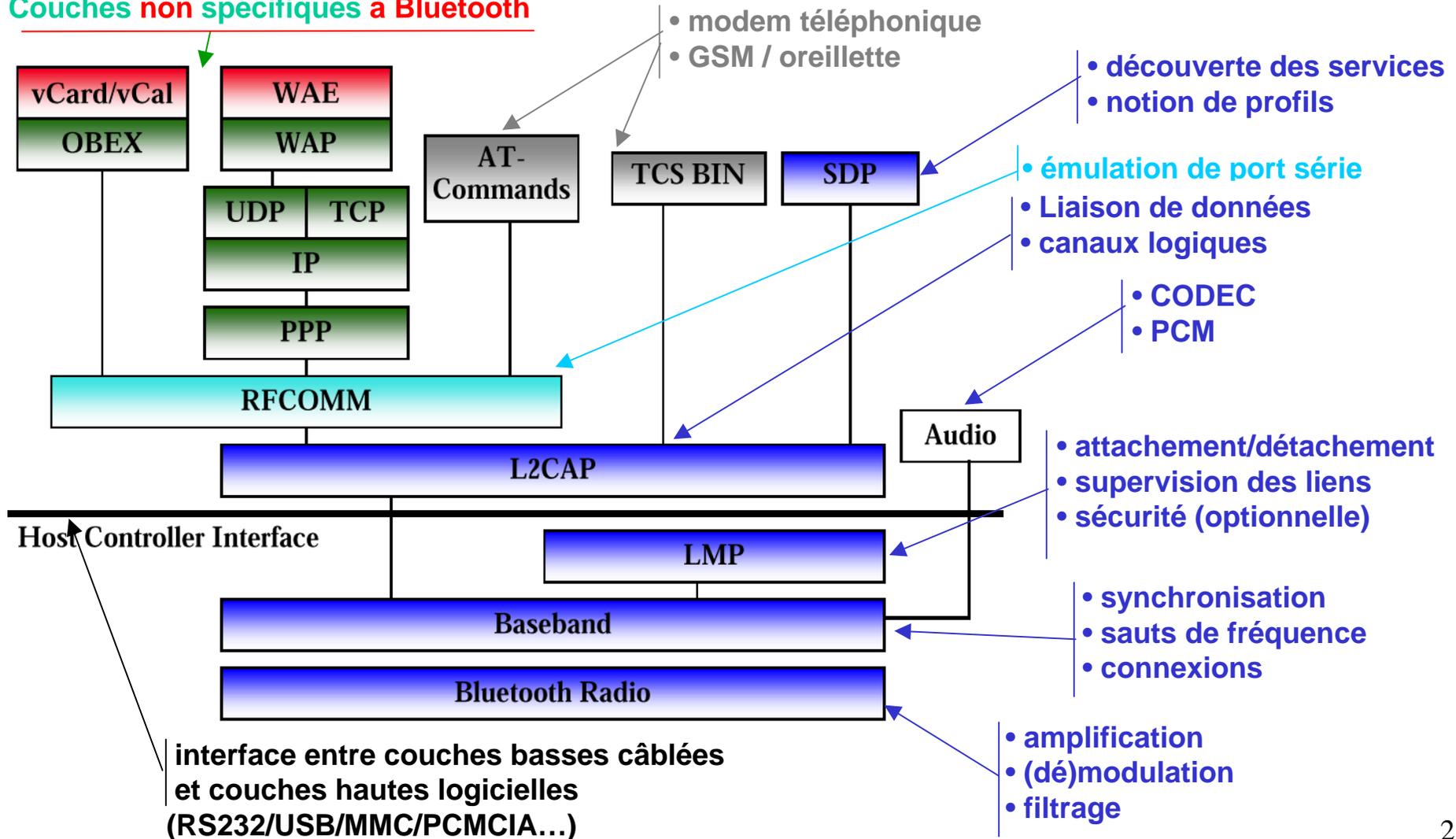


- Réseau personnel sans fil (WPAN-WiMedia : IEEE 802.15.1)
- Communication courte portée (1, 10, 100m)
- Liaison radio 2.4 Ghz (bande ISM comme WiFi)
- But principal : élimination des câbles
- Débit nominal total faible : 1 Mbps
- Transport de la voix avec QoS et des données sans QoS
- Applications typiques : GSM, notebooks, casque sans fil...
- Norme Bluetooth du 26 juillet 1999 v1.0A (puis v1.1 et v1.2)
- Bientôt : EDR et v2.0

WPAN Bluetooth

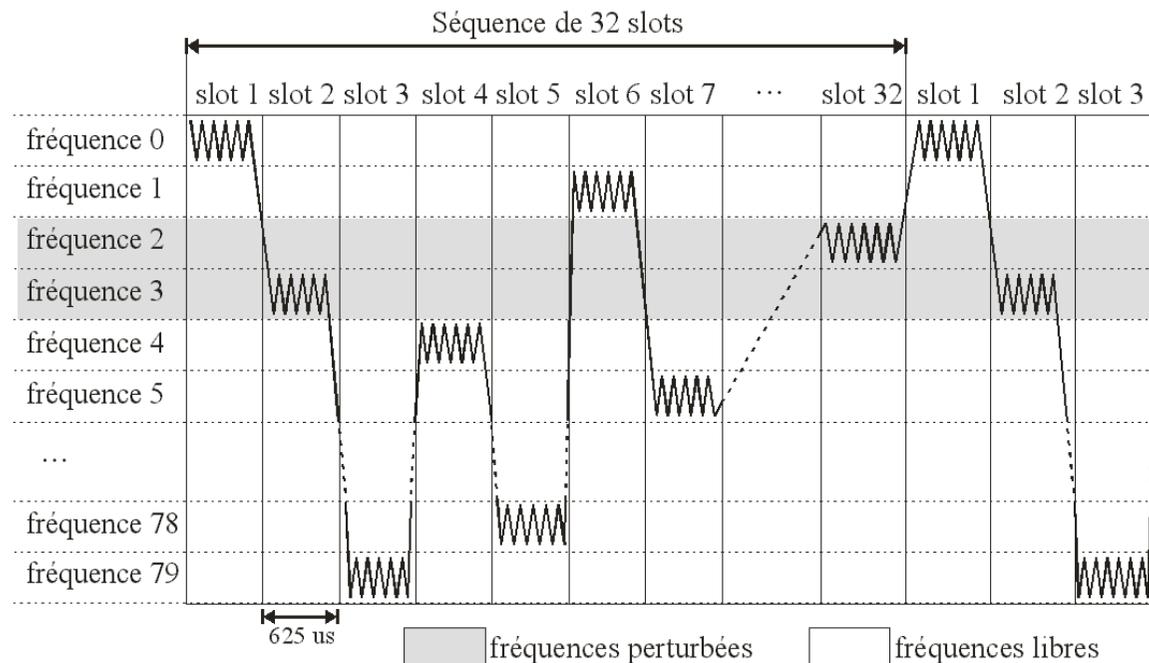
Pile protocolaire

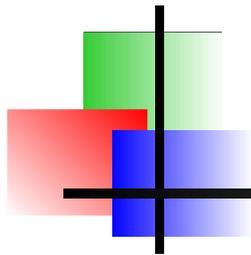
Couches non spécifiques à Bluetooth



WPAN Bluetooth

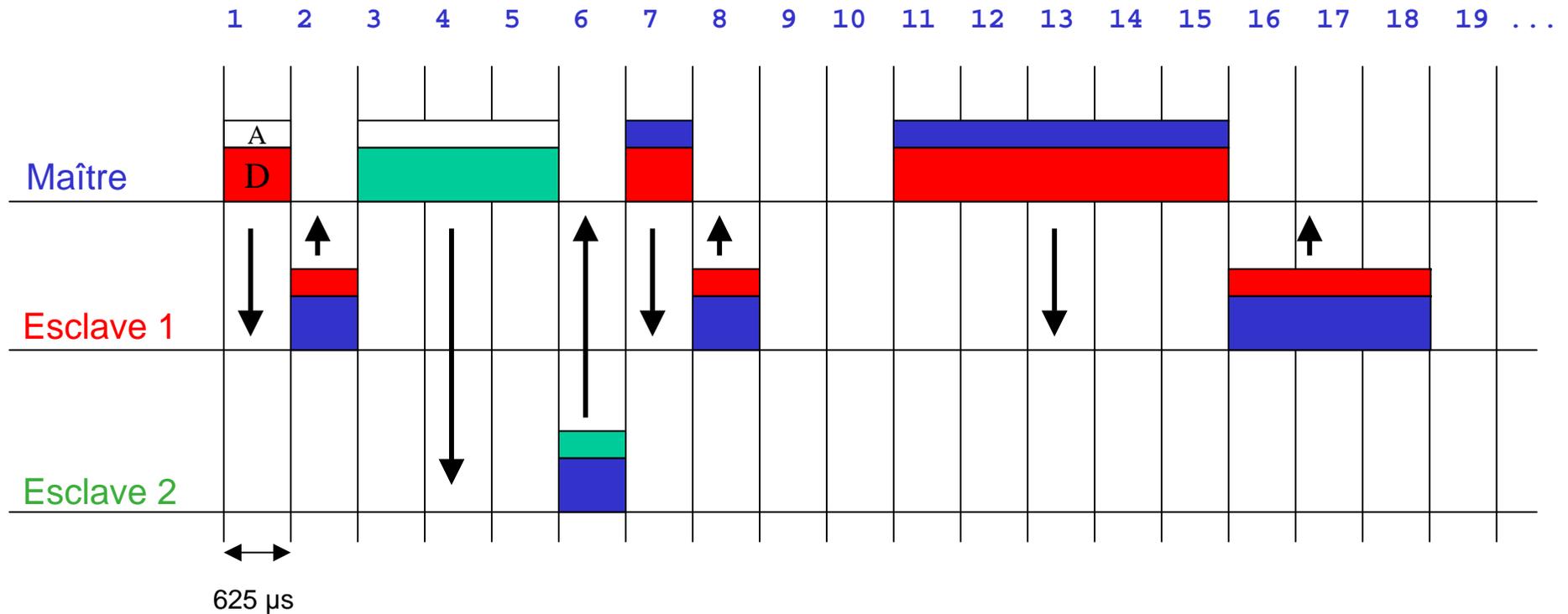
- FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum (comme IEEE 802.11)
- Variante AFH : Adaptive Frequency Hopping pour la norme v1.2
- 79 fréquences porteuses espacées de 1 Mhz : $2.402 \text{ Ghz} + k \text{ Mhz}$, $k=0..78$
- Séquence de sauts : 32 slots parmi les 79
- Modulation FSK, débit nominal de 1Mbps
- Saut de slot tous les $625 \mu\text{s}$
- Une station maître synchronise tous ses esclaves



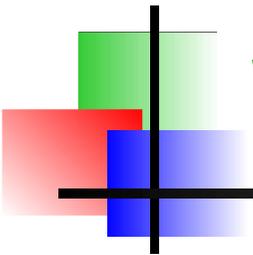


WPAN Bluetooth

TDD : Time Division Duplex



- Paquets ACL (asynchrones) de 1, 3 ou 5 slots
- Maître : slots impairs, Esclave : slots pairs
- Communications entre le Maître et 1 Esclave à la fois



WPAN Bluetooth

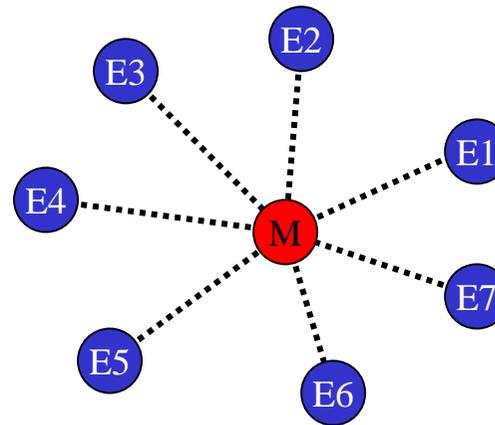
3 topologies :

- Point à point



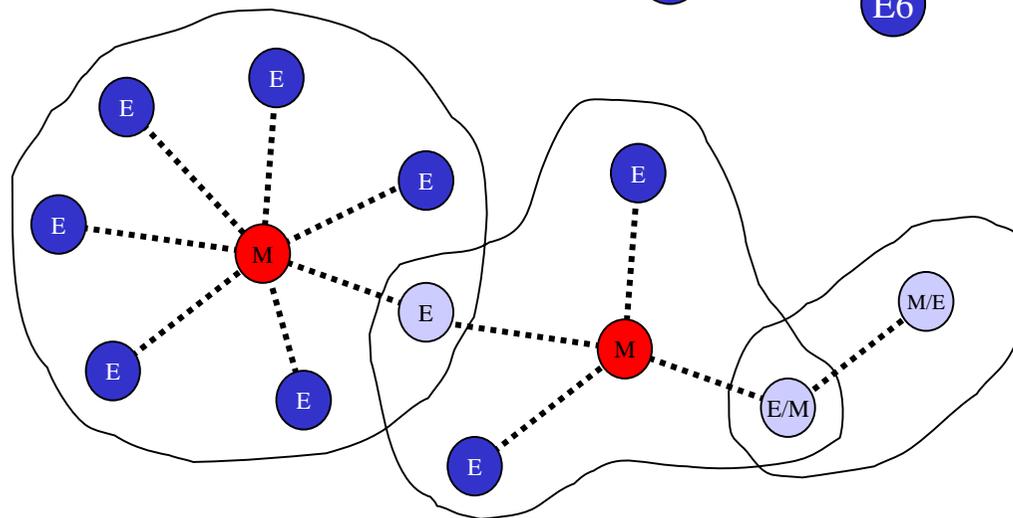
- Piconet

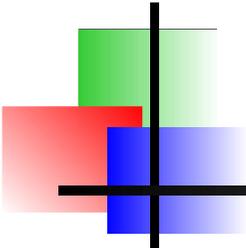
7 esclaves actifs max.



- Scatternet

10 piconets max.
Pas de QoS !





WPAN Bluetooth

Différentes communications offrant des QoS différentes :

2 types de liens :

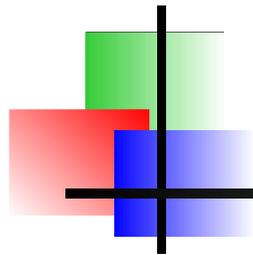
- Asynchrones : ACL (Asynchronous Connection Less) sans QoS
- Synchrones : SCO (Synchronous Connection Oriented) avec QoS

3 types de détection/correction des erreurs :

- 1/3 FEC (Forward Error Correction) : tripler chaque bit émis
- 2/3 FEC : 10 bits utiles → 15 bits émis (par un CRC sur 5 bits)
- Mode ARQ (Automatic Request Query) : CRC

ou

- Composition des 3 types
- Pas de gestion d'erreur

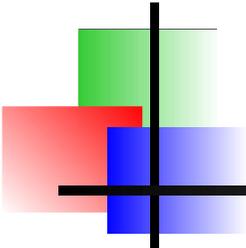


WPAN Bluetooth

Principaux paquets

Nom	Type	Données utiles	Code détecteur	Code correcteur	Taille	Débit max théorique
HV1	SCO	10 octets	aucun	1/3 FEC	1 slot	64 Kbps assuré
HV2	SCO	20 octets	aucun	2/3 FEC	1 slot	64 Kbps assuré
HV3	SCO	30 octets	aucun	aucun	1 slot	64 Kbps assuré
DM1	ACL	18 octets	CRC	2/3 FEC	1 slot	108 Kbps best effort
DH1	ACL	28 octets	CRC	aucun	1 slot	173 Kbps best effort
DM3	ACL	123 octets	CRC	2/3 FEC	3 slots	387 Kbps best effort
DH3	ACL	185 octets	CRC	aucun	3 slots	586 Kbps best effort
DM5	ACL	226 octets	CRC	2/3 FEC	5 slots	478 Kbps best effort
DH5	ACL	341 octets	CRC	aucun	5 slots	723 Kbps best effort

+ eSCO : paquets synchrones (v1.2) avec CRC (ARQ)

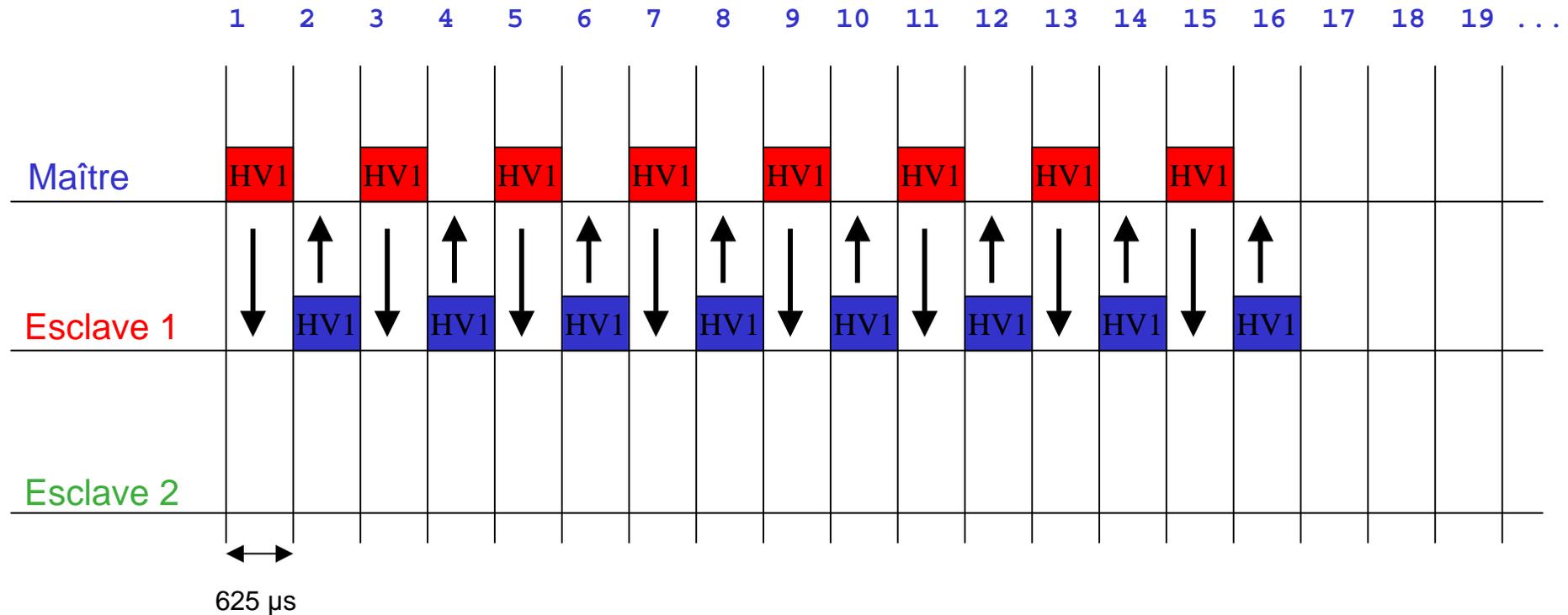


WPAN Bluetooth

QoS Bluetooth prévue par la norme (rarement implémentée) :

- Liens ACL : canaux asynchrones non déterministes + couche L2CAP spécifique
- Négociation des paramètres qui influencent la qualité et la fiabilité temporelle des liens :
 - L2CAP Configuration Parameter*
- MTU : taille maximale des paquets transférés dans 1 sens et dans l'autre :
 - le + petit paquet est pris comme référence
- Flush TimeOut : temps au delà duquel le paquet est abandonné
 - (nombre de re-transmissions par ARQ)
- 6 Paramètres + spécifiques à la QoS :
 - type de service : Best Effort ou Guaranteed (non implémenté, mais basé sur le round robin des esclaves)
 - Token Rate : en octets/seconde quand on a le jeton
 - Token Bucket Size : en octets (taille du paquet qui influence sur le choix de DM/H 1, 3 ou 5)
 - Peak Bandwidth : en octets/seconde
 - Latency : en μ s
 - Delay variation : en μ s (gigue)
- Aucunes meilleures performances que celles imposées par les canaux ACL au niveau 1 :
 - latence de bout en bout effective supérieure à 5ms !
 - débit utile inférieur au débit théorique de chaque canal !

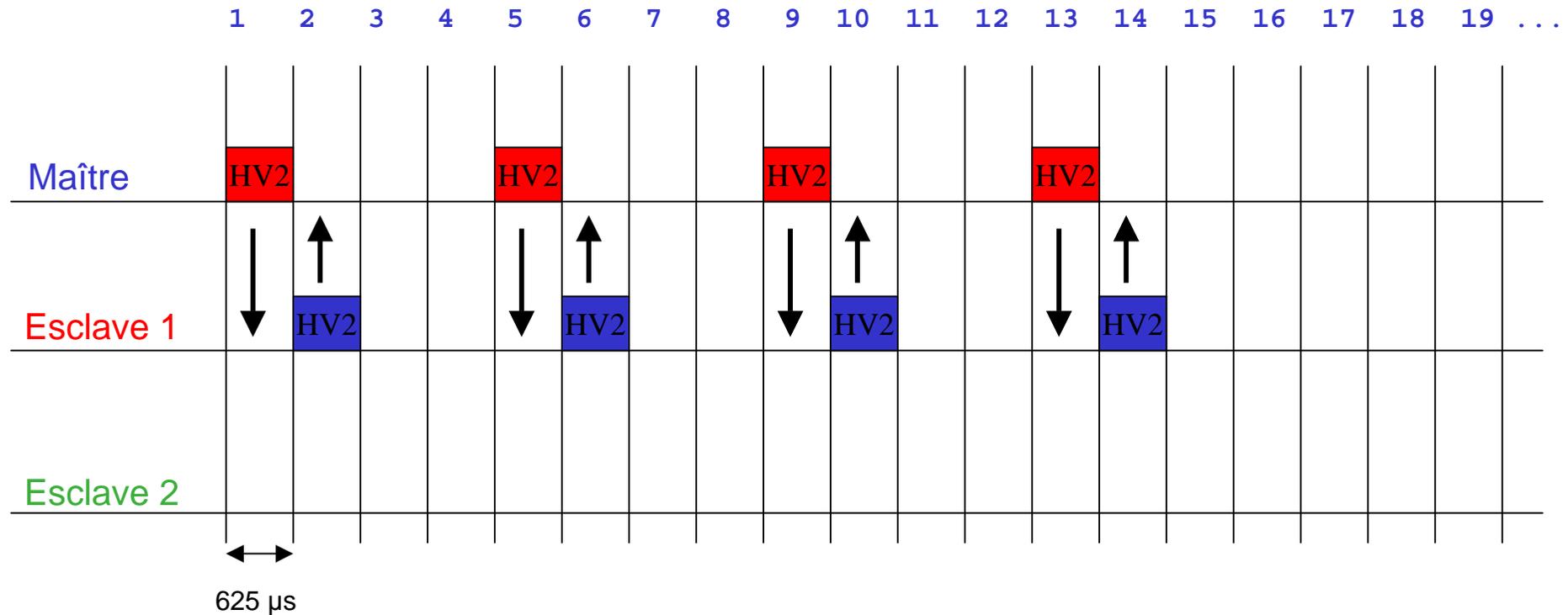
WPAN Bluetooth : liens SCO



Paquet HV1 :

- Débit garanti de 64 kbps (chaque bit utile est triplé !)
- 1 bit faux corrigé tous les 3 bits transmis (sans perte de temps !)
- Accès assuré toutes les $2 \times 625 \mu\text{s}$
- Retour d'informations toutes les $2 \times 625 \mu\text{s}$
- Toute la bande passante utilisée !

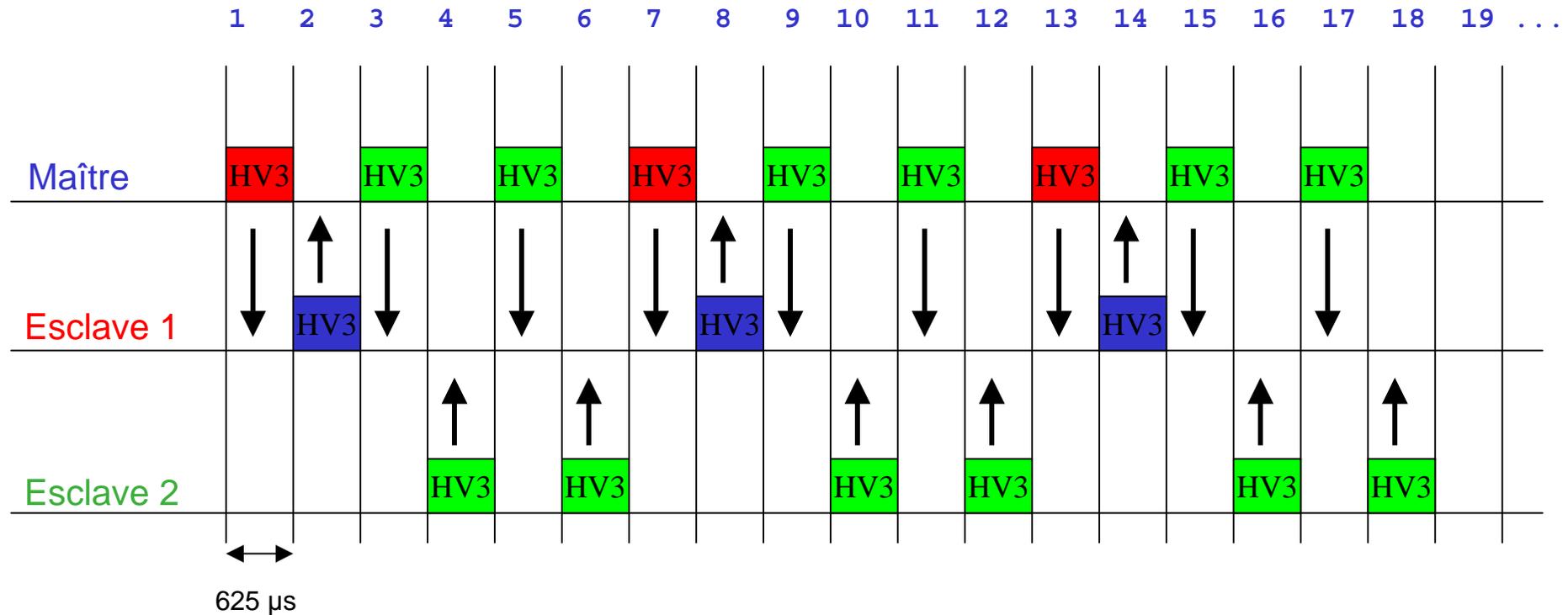
WPAN Bluetooth : liens SCO



Paquet HV2 :

- Débit garanti de 64 kbps (10 bits utiles + 5 bits de redondance)
- 1 bit faux corrigé tous les 10 bits utiles transmis (sans perte de temps !)
- Accès assuré toutes les $4 \times 625 \mu\text{s}$
- Retour d'informations toutes les $4 \times 625 \mu\text{s}$

WPAN Bluetooth : liens SCO



Paquet HV3 :

- Débit garanti de 64 kbps
- Pas de correction d'erreurs
- Accès assuré toutes les $6 \cdot 625 \mu\text{s}$
- Retour d'informations toutes les $6 \cdot 625 \mu\text{s}$
- Possibilité de 3 liens HV3 en même temps