



# CAPRI-FEC

**Conception et analyse des codes correcteurs d'erreurs de niveau applicatif (AL-FEC) et application aux communications mobiles**

Appel RNRT 2006

Durée : 2007 – 2009

Contact : [vincent.roca@inria.fr](mailto:vincent.roca@inria.fr)

INRIA / ISAE / CEA-LETI / STM

Labellisé par le pôle Minalogic

***Journées EMSoC Recherche, 23 octobre 2008***

# ***Plan de la présentation***

- 1. les codes AL-FEC : introduction et enjeux***
2. notre approche
3. résultats : un exemple
4. conclusions

# Les codes « Application-Layer » FEC...

- codes pour le « canal à effacements »

*un symbole est soit reçu intègre, soit perdu (effacé)*

- destinés aux « **couches hautes** »

μ application ou protocole de transport ou couche MAC

μ d'où l'acronyme « AL-FEC »

- **distincts** des codes FEC de la couche physique

μ FEC physique ⇒ corriger des bits **erronés**

μ AL-FEC ⇒ corriger des **pertes** de symboles  
(bits / paquets IP /

datagrammes

UDP / tronçons de fichiers /

etc.)

Les hypothèses sont différentes. le modèle de

# Les codes AL-FEC... (suite)

- ce codes sont facilement implantés en logiciel
  - μ car on travaille à un niveau supérieur
  - ⇒ codec logiciel

***Attention : codes  $\neq$  codecs***

*spécifie la façon dont la redondance est générée*

*l'implantation de l'encodeur et du décodeur*

μ il faut travailler sur les codes **et** les codecs

# Les codes AL-FEC... (suite)

- un codec logiciel apporte une énorme **flexibilité...**
  - μ encodage efficace des objets volumineux
    - μ **car on utilise la mémoire de l'hôte (et non celle du chipset !)**
    - μ **peut être un critère décisif dans certaines cas (ex. DVB-SH)**
  - μ prise en compte des contraintes applicatives
    - μ **car le codec y est intégré**
    - μ **ex. simplifie les approches de protection inégale**
  - μ possibilité de définir dynamiquement
    - la taille des blocs d'encodage
    - le taux de redondance
  - μ **car le code est généré à la volée**
  - μ **plus de poinçonnage ou raccourcissement (sous optimales)**

# Exemple : diffusion d'objets à large échelle

## 1. DVB-H (télévision numérique portable)

$\mu$  intègre un système de diffusion de contenus numériques sur IP, ou IP-datacasting (basé sur FLUTE/ALC)

$\mu \Rightarrow$  utilisation massive des AL-FEC

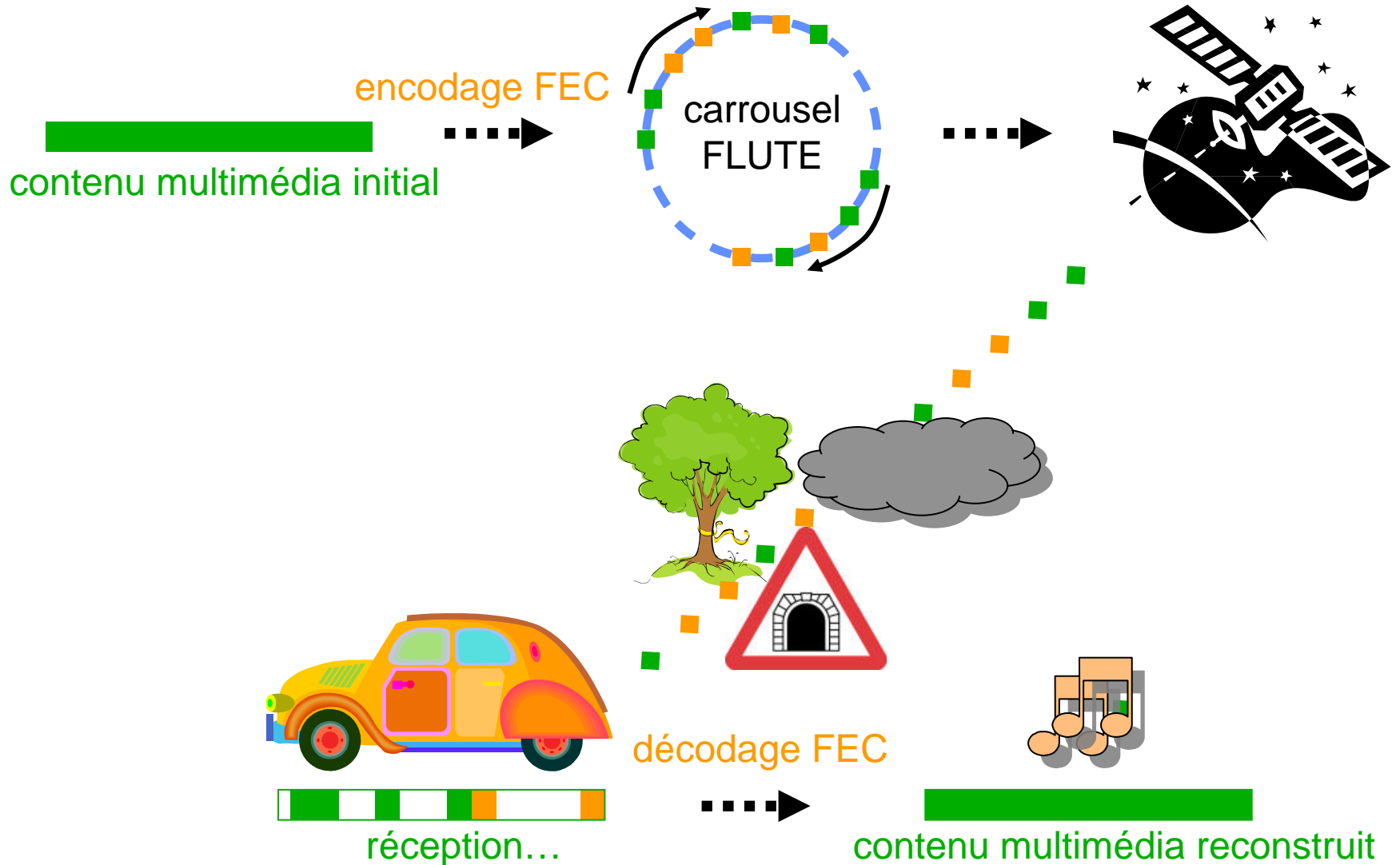
## 2. diffusion d'une bibliothèque de contenus numériques par satellite à des véhicules

$\mu \Rightarrow$  utilisation massive des AL-FEC

***Les AL-FEC fiabilisent et optimisent le service, surtout en cas de connectivité intermittente***

# Exemple... (suite)

μ Transmission en boucle au sein d'un carrousel



## **Exemple... (suite)**

- **de nombreux champs d'applications existent**

- μ **fiabilisation de transmission de fichiers**

- μ **fiabilisation de transmission de flux vidéo streamés**

- μ **optimisation du P2P type Bittorent**

- μ **robustesse des transmissions quand il n'y a pas de voie de retour**

- μ **stockage distribué sur plusieurs nœuds**

- ...

- **peut être utilisé dans différents environnements**

- μ **depuis la couche MAC jusqu'à la couche application**

- μ **en environnement non contraint ou pour de l'embarqué**



# AL-FEC: un domaine...

- ☹ **largement dominé** par Digital Fountain, Inc. (DF)
  - μ codes Raptor largement implantés dans le DVB et 3GPP
  - μ mais pas indéracinables...
- ☹ **largement protégé par des brevets**
  - μ DF annonce > 45 brevets publiés (1997-maintenant)
  - μ bloque de nombreuses possibilités...
- ☹ **attitude très agressive** de DF vis à vis des concurrents
  - μ font régner un climat de **peur, incertitude, et doute**
  - μ souvent efficace pour dissuader l'usage des AL-FEC concurrents !

# *AL-FEC: un domaine... (suite)*

😊 ... également très ancien et très vaste

⇒ des pistes « libres » existent...

😊 le choix d'un AL-FEC résulte d'un compromis

μ l'optimalité du code n'est qu'un des paramètres...

⇒ relativise l'importance des codes propriétaires

# *Plan de la présentation*

1. les codes AL-FEC : introduction et enjeux
2. ***notre approche***
3. résultats : un exemple
4. conclusions

# Notre approche

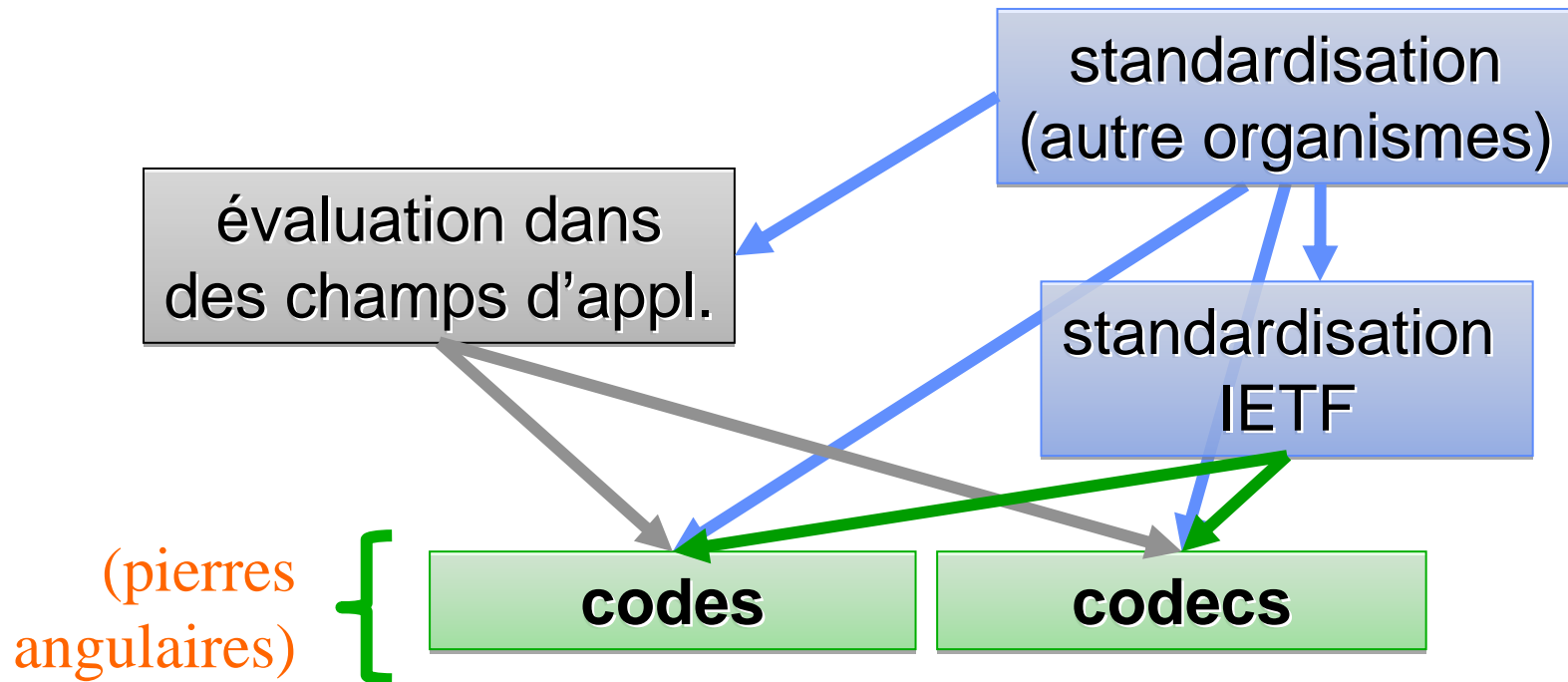
## Objectif :

- proposer des technologies alternatives crédibles
  - μ aux codes Raptor
  - μ idéalement plus performantes
- au moyen de codes FEC *libres*
  - μ brevets possibles en périphérie mais pas sur les principes fondateurs des codes
- au moyen d'une ou plusieurs briques
  - μ utilisables au sein de standards ou en dehors des standards

# Notre approche... (suite)

- trois types d'activités :

- μ travaux sur les codes et codecs
- μ évaluation des codes/codecs dans différents champs d'application
- μ dissémination et standardisation



# *Plan de la présentation*

1. les codes AL-FEC : introduction et enjeux
2. notre approche
3. ***résultats : un exemple***
4. conclusions

# Un exemple : LDPC-staircase/triangle

- deux résultats récents autour des codes LDPC-staircase/LDPC-triangle

- μ un **standard** IETF (RFC 5170)

- <http://www.ietf.org/rfc/rfc5170.txt>

- μ optimisation du décodeur par une « nouvelle » technique hybride de décodage itératif/pivot de Gauss

- μ permet :

- μ **capacités de correction d'effacements proches de l'optimal**

- μ **charge CPU limitée et contrôlable**

- μ **flexibilité importante**

- favorise +/- capacités de correction / charge CPU

# Un exemple... (suite)

## ● deux mots sur les codes LDPC

$\mu$  connus depuis les années 60

$\mu$  la matrice de parité fixe les relations entre symboles sources et symboles de parité

$\mu$  nous travaillons sur des variantes “hautes performances”

$$\begin{array}{c} \text{symboles source} \quad \text{symboles de parité} \\ \\ \begin{array}{c} s_1 \quad \dots \quad s_6 \quad | \quad p_7 \dots p_9 \\ \left( \begin{array}{ccc|ccc} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \begin{array}{l} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{array} \end{array} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{array}{l} s_2 + s_4 + s_5 + s_6 + p_7 = 0 \\ s_1 + s_2 + s_3 + s_6 + p_8 = 0 \\ s_1 + s_3 + s_4 + s_5 + p_8 = 0 \end{array} \end{array}$$

Exemple (trivial) de code LDPC



# Un exemple... (suite)

- exemple: LDPC-staircase

  - μ code rate 2/3,

  - μ objet de taille  $k = 1.000$  symboles,

  - μ  $N_1=5$

- capacités de correction **proches de l'idéal**

code rate	overhead moyen	overhead pour proba. échec $\leq 10^{-4}$
2/3 (= 0.66)	<b>0,63%</b>	2,21%

  - μ NB : un code idéal (ex. Reed-Solomon) a un overhead fixe, égal à 0, mais des contraintes pratiques (charge CPU) empêchent son utilisation sur de grands corps finis (ex.  $GF(2^{16})$ )

# Un exemple... (suite)

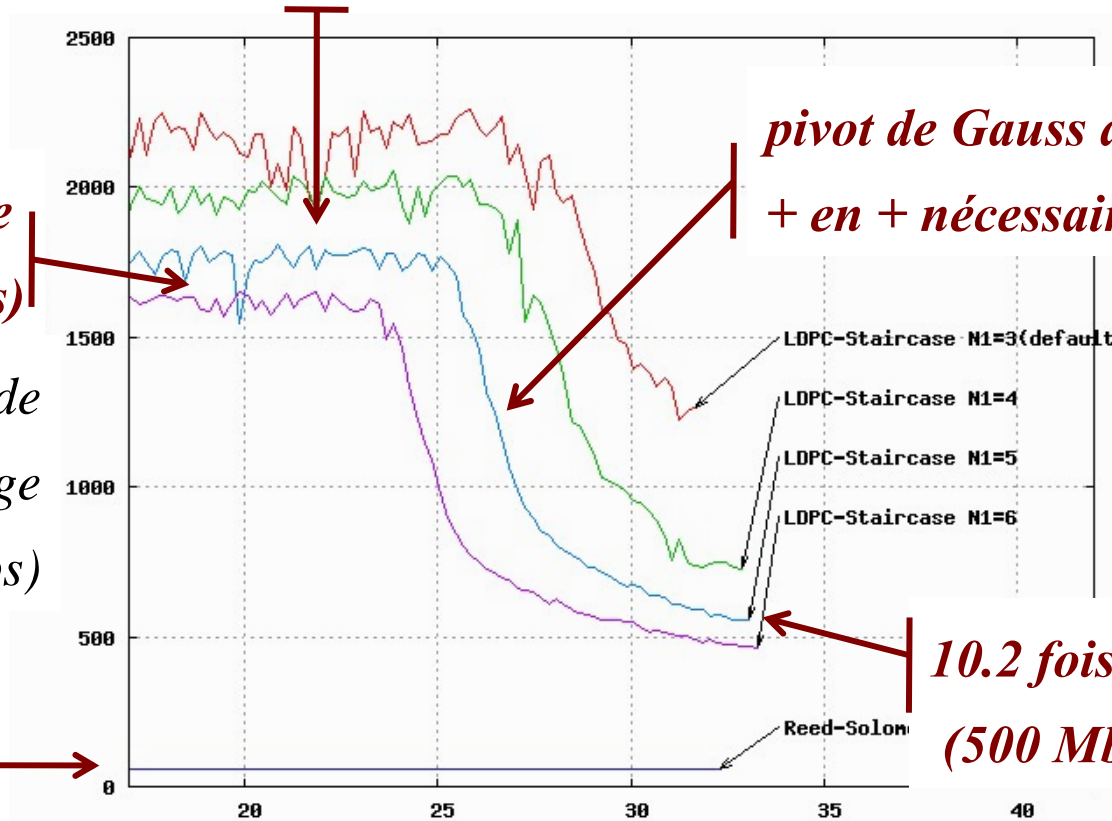
- vitesse de décodage élevée

*décodage itératif suffisant*

*32.4 fois plus rapide  
(1,7 Gbps)*

*vitesse de  
décodage  
(Mbps)*

*Reed-Solomon  
(54Mbps)*



*pivot de Gauss de  
+ en + nécessaire*

LDPC-Staircase N1=3(default)  
LDPC-Staircase N1=4  
LDPC-Staircase N1=5  
LDPC-Staircase N1=6

*10.2 fois plus rapide  
(500 Mbps)*

*probabilité de perte (%)*

*(limite théorique : correction si pertes < 33,3...%)*

# *Plan de la présentation*

1. les codes AL-FEC : introduction et enjeux
2. notre approche
3. résultats : un exemple
4. **conclusions**

# Conclusions... (suite)

- le RFC + ces résultats rendent très crédibles ces codes LDPC-staircase/triangle...

μ **pouvoir dire que l'on est « quasi idéal » marque les esprits...**

- ...même si ce n'est pas vrai dans toutes les situations

μ **et on pense encore :**

- améliorer la vitesse de décodage
- réduire les besoins mémoire...

***illustre l'importance de travailler sur les codes ET les codecs***

# Conclusions... (suite)

- ce n'est pas non plus le code ultime...

- μ travaux sur les codes **GLDPC** qui permettent d'approcher le « rate-less »

- possibilité de produire une **quasi infinité** de redondance

- μ travaux sur des codes qui par construction simplifieraient le décodage

- μ travaux sur les Turbo Codes pour canaux à effacement

- μ travaux sur les codes LDPC + vérification d'intégrité

- μ travaux sur l'usage d'un certain type d'AL-FEC pour un protocole de transmission point-à-point pour DTN

- μ ...

# Le mot de la fin...

- les codes AL-FEC ont acquis un rôle trop important pour être laissés dans les mains d'un unique acteur
  - μ enjeux commerciaux
    - ex. DVB et autres systèmes de diffusion numérique grand public
  - μ enjeux stratégiques
    - ex. les AL-FEC sont utilisés dans le domaine militaire et spatial
  - μ dans le domaine du libre
    - ex. outils de diffusion, P2P, de synchronisation, de stockage distribué, etc.
- CAPRI-FEC tâche d'y contribuer...



Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

