

OV-APVI

Flux vidéo et diffusion sur IP, application à un lien mobile : réflexions et approches



Organisation des cours – unité OV-APVI (1/2)



- Introduction au module d'ouverture : de l'originalité des signaux multimédia
 - Notion de compression de source
 - Approche « bout en bout » : contraintes et opportunité
- Formation du signal vidéo
 - Différentes représentations
 - Perception du signal
 - Applications pratiques : signal télévisé, signal numérique compressé
- Transmission d'un signal vidéo numérique
 - Multiplex standards applicatifs : DVB, MPEG, AVI
 - Standards de diffusion « broadcast » : DVB-C, DVB-T, DVB-S, ...
 - Solutions de diffusion « streaming » : RTP/RTCP sur pile IP
 - Principe de l'IMS

Organisation des cours – unité OV-APVI (2/2)



- Codage vidéo [cours d'A. Bourge]
 - Les standards de compression vidéo
 - TP sur la compression vidéo
- Diffusion optimisée sur un canal radio-mobile
 - Niveau applicatif/transport : codeur vidéo H.264 AVC, pompe de diffusion (RTP), protocoles de transport, http streaming
 - Niveau IP/accès radio : compression d'en-tête robuste (RoHC), (H)-ARQ, gestion de la QoS
- L'approche « conjointe » : optimisation de bout en bout
 - Savoir tirer parti d'une connaissance de l'ensemble du système
 - Contrainte : présence d'une voie de retour indispensable ?
- Conclusions

Introduction module OV-APVI





Objectifs des cours

- Comprendre et découvrir
 - Les flux vidéo, et leurs particularités
 - Les différents modes de représentation du signal
 - La notion de compression de source, et les standards actuels
 - Les solutions existantes de diffusion
 - Les problématiques spécifiques liées à la diffusion sur lien sans fil
 - L'intérêt d'une approche globale « de bout en bout »
- Mettre en pratique
 - Travaux pratiques 1 : codage vidéo [cours A. Bourge]
 - Travaux pratiques 2 : protection inégale aux erreurs (UEP)

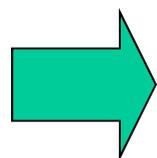




Pour démarrer

- De l'originalité des flux multimédia
 - corruption fichier données : problème
 - corruption fichier vidéo : peut être totalement invisible ou peu problématique

	A	B	C
1			
2			
3	valeurs A	2,34	
4	valeurs B	5,42	
5	valeurs C	3,89	
6	valeurs D	7,45	
7			
8			
9			



	A	B	C
1			
2			
3	valeurs A	2,34	
4	valeurs B	5,42	
5	valeurs C	3,89	
6	valeurs D	7,46	
7			
8			
9			

	A	B	C
1			
2			
3	valeurs A	2,34	
4	valeurs B	5,42	
5	valeurs C	3,89	
6	valeurs D	7,45	
7			
8			
9			



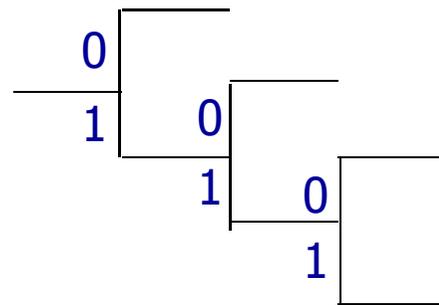
Pour démarrer

- La compression de source : notions
 - Redondance intrinsèque
 - Les flux multimédias sont largement redondants
 - Parce que les informations transportées sont elles aussi redondantes
 - Parce que le cerveau humain est capable d'interpoler
 - Exemple 1
 - A.J..RD'HU. VO.S AV.Z CO.RS DE DIFFUS..N V..EO
 - 46 caractères, 11 effacés (25%)
 - Exemple 2
 - ANTICONST.....ENT
 - 25 caractères, 12 effacés (50%)
 - Limite : où la placer ?
 - Risque de fragilité du message compressé



Pour démarrer

- On notera que compresser n'est pas forcément dégrader la qualité : on parle alors de compression sans perte
- Exemple du codage de Huffman pour la séquence 0000011000110000 ($l=16$). A quelle séquence (et quelle nouvelle longueur) arrive-t-on ?
 - La source est binaire non équiprobable : $p(0) = 0,75$ et $p(1) = 0,25$
 - l'arbre de Huffman s'établit comme suit :



00	-->	0
01	-->	10
10	-->	110
11	-->	111

- On pourra donc remplacer avantageusement l'étiquetage classique en quatre symboles de longueur 2 par un code à quatre symboles à longueur variable
 - ($l=....$)



Pour démarrer

- De l'originalité des flux multimédia (cont.)
 - Lorsque l'on regarde ceci en mode compressé, la différence peut s'accroître :
 - Exemple erreur 1 bit fichier zip => fichier corrompu



- Exemple erreur 1 bit fichier h.264 puis décompressé => inégalité des bits





Pour démarrer

- Approche de bout-en-bout : notions
 - Compresser est intéressant puisque cela permet d'utiliser moins de bande passante
 - Compresser amène de la fragilité dans le signal
- ➔ Il est opportun de de poser la question du cas d'application et des conditions de fonctionnement recherchées pour décider du meilleur compromis à adopter
- Exemple :
 - Bande passante infinie (circuit local) ➔ compresser est
 - Bande passante limitée et canal de transmission parfait ➔ compresser est
 - Le problème (que l'on abordera donc dans la suite) est lorsque la bande passante est limitée mais que le canal de transmission n'est pas parfait ...

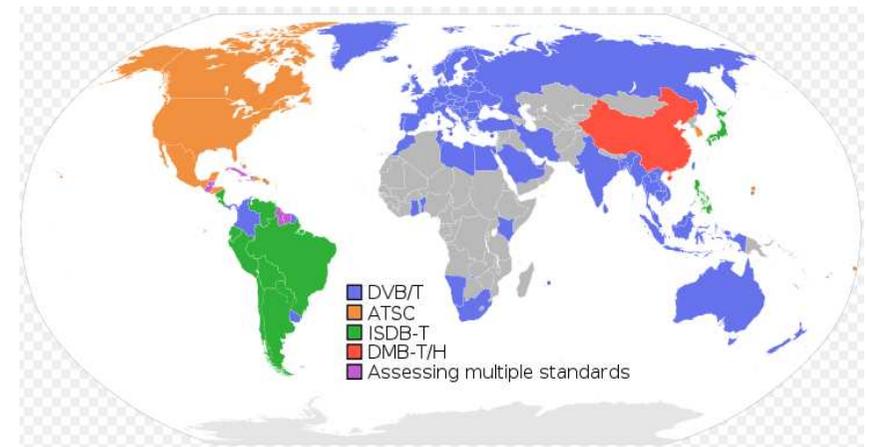
Formation du signal vidéo





De l'importance du format et de la mise en forme

- La problématique de l'affichage : illustration au travers des problèmes des années télévision analogique :
 - NTSC, SECAM, PAL ...
 - 4/3 vs. 16/9, format cinéma
- NB: la fin de la télévision analogique aura au moins eu un effet positif : la France adopte définitivement le SECAM et l'Europe est unifiée sur ce point.
 - La guerre technologique Etats-Unis/France reste néanmoins active puisque l'on passe de NTSC vs. PAL/SECAM à ATSC vs. DVB-T ☹

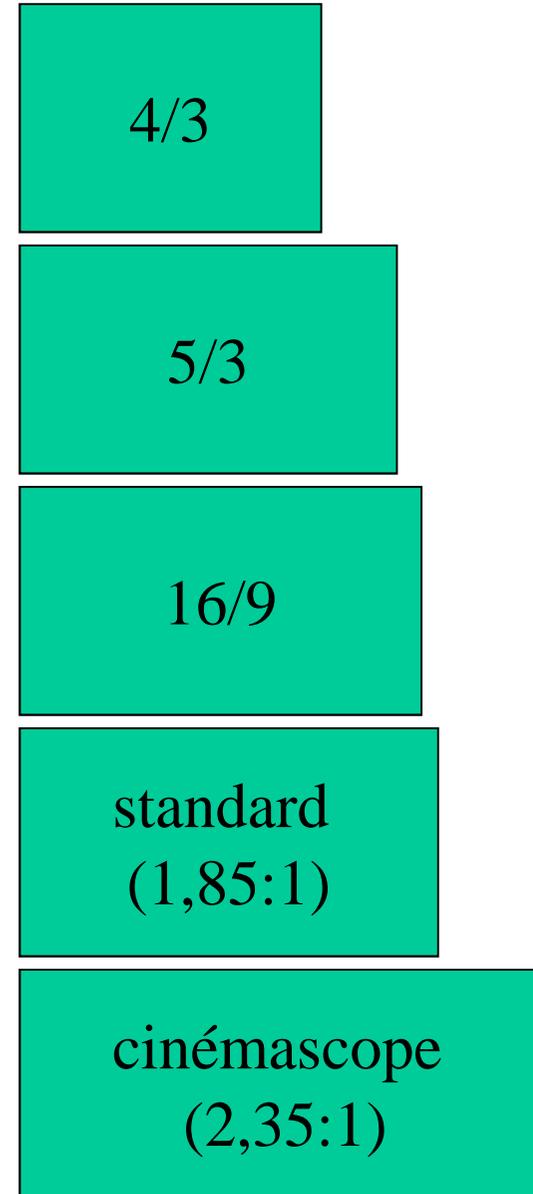
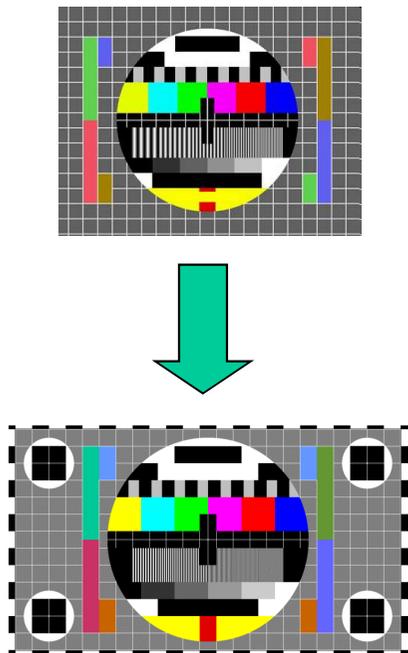


Source: wikipedia, 2010



De l'importance du format et de la mise en forme

- Les problèmes de format spatial :





De l'importance du format et de la mise en forme

- Les problèmes de format spatial : $4/3 \rightarrow 16/9$





De l'importance du format et de la mise en forme

- Les problèmes de format spatial : cinémascope → 16/9





De l'importance du format et de la mise en forme

- Conclusion : la notion de « haute définition » peut être associée à des recadrages « sauvages » et donc totalement usurpée !
 - Il est critique de savoir considérer l'ensemble de la chaîne de diffusion car sans prendre en compte des facteurs objectifs de qualité du flux vidéo, on ne peut garantir la qualité de l'image rendue
- On veillera donc notamment :
 - au respect des formats : géométrique, temporel,
 - au respect des couleurs : chromaticité, uniformité des blancs, niveau de luminance du signal initial
 - à la garantie d'une qualité d'affichage : résolution acceptable vis-à-vis du format d'affichage, gamma raisonnable, qualité indépendante de l'angle de vision, contrastes suffisants et non saturés (risques classiques : soleil, reflets, ...)
 - à d'éventuelles adaptations spécifiques : pas d'effets de traîne liés aux travellings (H et V), pas d'effets de type scintillement/papillotement liés à des possibles instabilités de l'image (changement de scène, mouvements de caméra), ...



La représentation d'un signal couleur

- La perception de la couleur par l'œil humain
- Les espaces de couleur
- Respect des couleurs



La représentation d'un signal couleur

- Le spectre visible dans le spectre électromagnétique

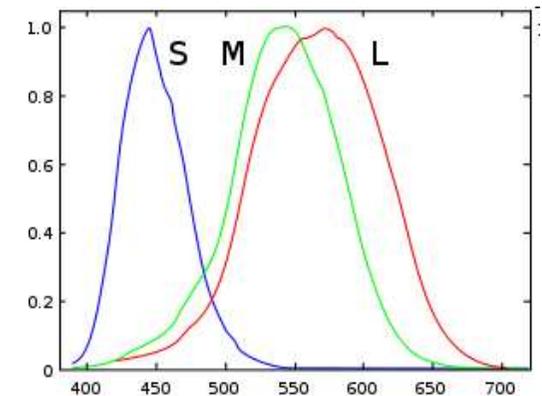
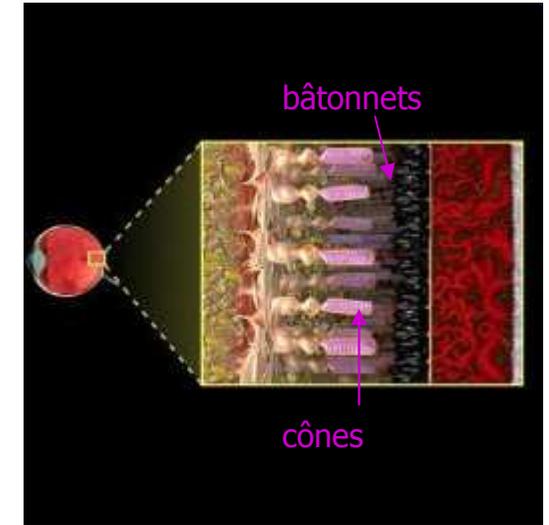
Fréquence	9 kHz	1 GHz	300 GHz	3 THz	405 THz	480 THz	508 THz	530 THz	577 THz	612 THz	690 THz	750 THz	30 PHz	30 EHz	
Longueur d'onde	33 km	30 cm	1 mm	100 µm	745 nm	625 nm	590 nm	565 nm	520 nm	490 nm	435 nm	400 nm	10 nm	5 pm	
Bande		ondes radio	micro-ondes	térahertz	infrarouge	rouge	orange	jaune	vert	cyan	bleu	violet	ultraviolet	rayons X	rayons γ
			<i>rayonnements pénétrants</i>			lumière visible						<i>rayonnements ionisants</i>			

- La lumière « visible » est le résultat d'une interprétation par l'œil humain de la longueur d'onde de l'onde lumineuse
 - L'œil humain cependant n'est pas capable de faire la différence entre une longueur d'onde unique (exemple du jaune) et un mélange de deux lumières (exemple du rouge et du vert) : les deux phénomènes stimulent les cellules de l'œil de façon semblable, ce qui fait que l'on ne perçoit pas la différence.
 - Ceci est dû au fonctionnement des cônes, cellules sensibles de la rétine, qui transforment tout rayonnement de lumière visible en trois impulsions nerveuses de valeurs variables qui sont acheminées vers le cerveau.



La représentation d'un signal couleur

- L'œil humain : capteur spécialisé
 - Deux types de récepteurs : cônes et bâtonnets
 - Cônes, de trois types
 - Permettent la vision fine des détails et des couleurs en cas de bonne luminosité
 - cônes S, sensibles aux ondes courtes (bleu)
 - cônes M, sensibles aux ondes moyennes (vert)
 - cônes L, sensibles aux ondes longues (rouge)
 - Bâtonnets
 - 20 fois plus nombreux que les cônes
 - Permettent de percevoir la luminance
 - Très sensibles en faible luminosité, ombres, ils permettent la vision nocturne



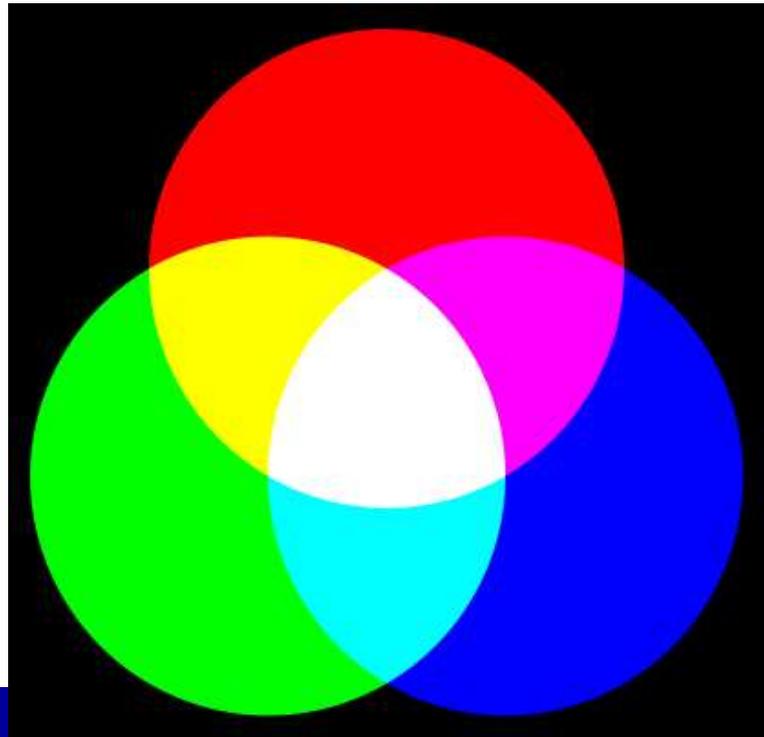
Source: <http://www.macula.org/rods-and-cones>

Source: wikipedia, 2010



La représentation d'un signal couleur

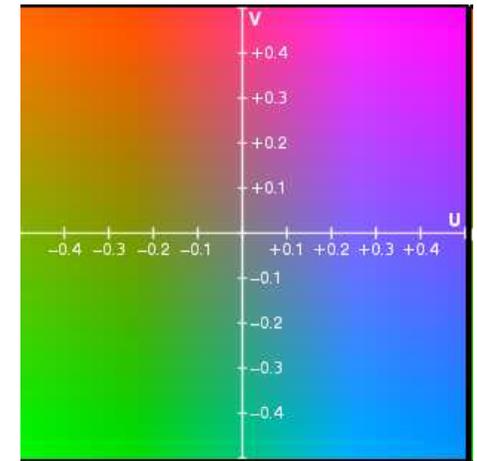
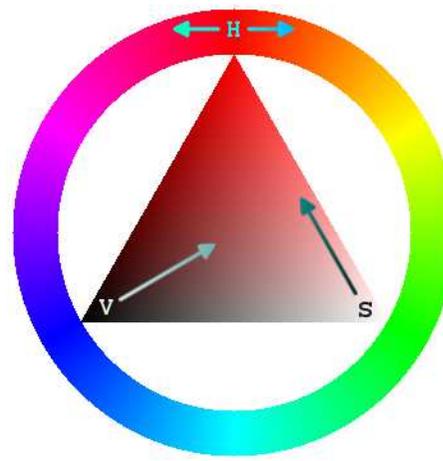
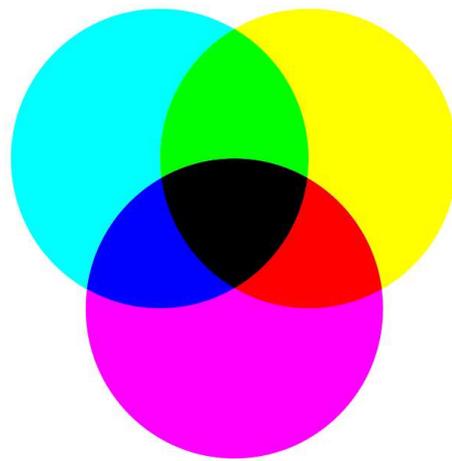
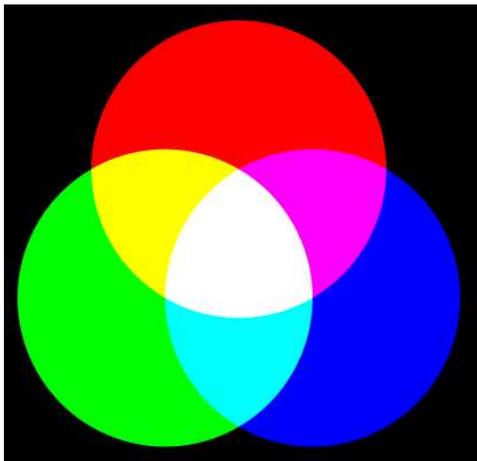
- Pour afficher un signal, on va devoir reproduire les différentes couleurs filmées sur l'écran
 - Utiliser des émetteurs capables de générer l'ensemble du spectre pixel par pixel est irréaliste
 - On utilise la propriété dite de « synthèse additive » : combiner plusieurs sources de couleur permet d'obtenir une nouvelle couleur





La représentation d'un signal couleur

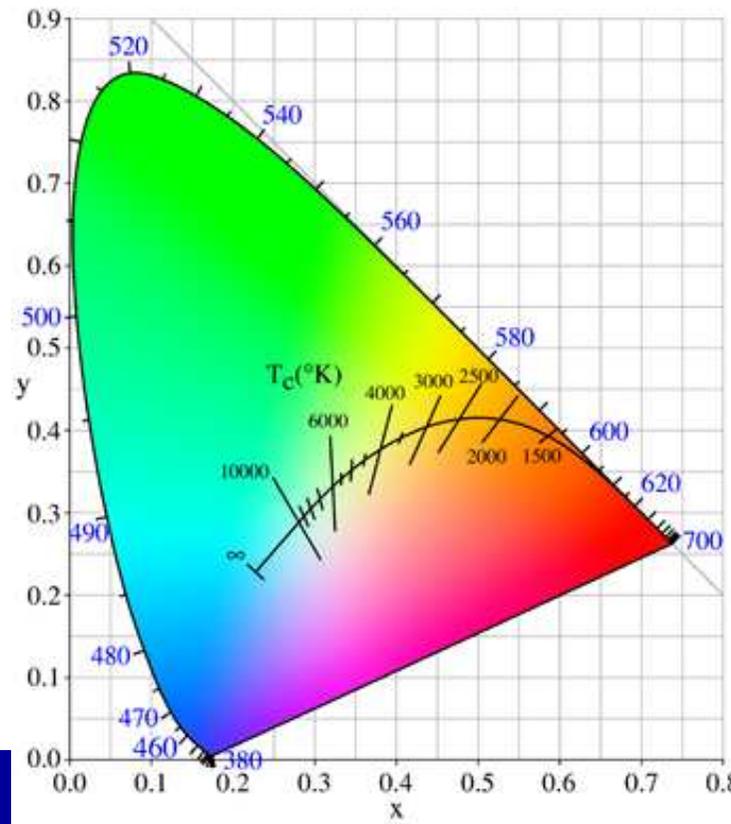
- Différents espaces de couleurs existent, sans faire mentir la théorie de la tri-chromie. Ils ont en général des applications différentes :
 - RGB \Leftrightarrow éclairage, affichages de vidéo (écrans, rétro-projection, ...)
 - CMY \Leftrightarrow applications synthèse soustractive : typiquement impressions couleur
 - HSV \Leftrightarrow espace teinte, saturation, valeur, utilisé en applications graphiques (plus de valeurs que RGB)
 - YUV \Leftrightarrow espace luminance, chrominances, utilisé en compression vidéo





La représentation d'un signal couleur

- Respect des couleurs : notion de température de couleur
 - Température de couleur : mesure en degrés Kelvin de la teinte d'une source de lumière
- Représentation de l'espace chromatique (« Planckian locus »)



Source: wikipedia, 2010



La représentation d'un signal couleur

- Respect des couleurs : notion de température de couleur (cont.)
 - L'œil humain est capable de s'adapter très vite aux variations de lumière, et de ce fait de nombreuses lumières différentes nous apparaissent « blanches »
 - Ce n'est pas le cas d'un film ...
- La température de couleur permet de qualifier la source de lumière afin d'étalonner correctement le film/capteur utilisé, et d'adapter au moment de l'affichage
 - Jour (extérieur) classique : film 5600K
 - Jour (intérieur) classique : film 3200K
 - Affichage télé standard : valeur de 6500K
- Pour aligner le film et la température de la source de couleur, on utilise en général un filtre placé sur la caméra



La représentation d'un signal couleur

- Respect des couleurs : notion de température de couleur (cont.)
 - Illustration de la variation de balance des couleurs selon le film employé

Degrees Kelvin	Type of Light Source	Indoor (3200k) Color Balance	Outdoor (5500k) Color Balance
1700-1800K	Match Flame		
1850-1930K	Candle Flame		
2000-3000K	Sun: At Sunrise or Sunset		
2500-2900K	Household Tungsten Bulbs		
3000K	Tungsten lamp 500W-1k		
3200-3500K	Quartz Lights		
3200-7500K	Fluorescent Lights		
3275K	Tungsten Lamp 2k		
3380K	Tungsten Lamp 5k, 10k		
5000-5400K	Sun: Direct at Noon		
5500-6500K	Daylight (Sun + Sky)		
5500-6500K	Sun: through clouds/haze		
6000-7500K	Sky: Overcast		
6500K	RGB Monitor (White Pt.)		
7000-8000K	Outdoor Shade Areas		
8000-10000K	Sky: Partly Cloudy		

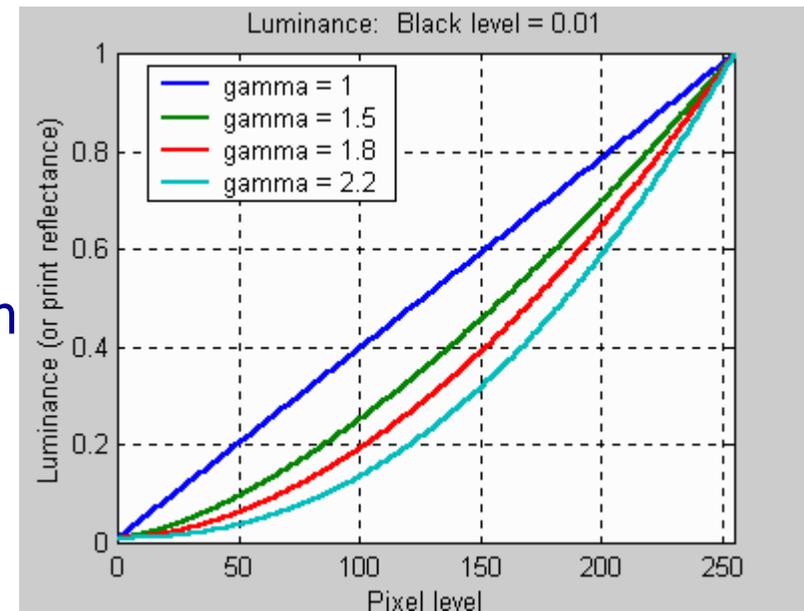
Based on information from the book [digital] Lighting & Rendering
Chart and colors (c)2003 Jeremy Birn for www.3dRender.com

Source: Lighting & Rendering by J. Birn (www.3drender.com), 2003



La représentation d'un signal couleur

- Effet de la correction gamma : passage de YUV à Y'UV
- Effet (ou émulation d'effet) d'un moniteur : la tension de sortie ne varie pas linéairement avec l'entrée ...
 - $Out = In^\gamma$
- Héritage des écrans cathodiques
- Existe y compris sur les écrans type LCD
- Un gamma de 2,2 est typiquement utilisé en télévision, correspondant à une compression initiale pré-corrective de 0,45





La représentation d'un signal couleur

- Illustration de l'impact du gamma :

- Gamma = 0,3



- Gamma = 1 (original)



- Gamma = 2,01



- Gamma = 7,14





La représentation d'un signal couleur

- Signal vidéo et bande passante :
 - En fait lorsque l'on numérise l'image en BT.601 (ex-CCIR 601) on prend
 - 720 points en horizontal (dont 704 vraiment utiles)
 - 576 points en vertical
 - Sans compression aucune, on va avoir :
 - $1 \text{ pixel} = 52\mu\text{s}/704 = 73,9 \text{ ns}$, soit une période de 147,8 ns (entrelacement)
 - La fréquence maximale est donc $f_{\text{max}} \sim 6,76 \text{ MHz}$, correspondant à une fréquence échantillonnage minimale de 13,5 MHz (norme BT.601)
 - Supposant que l'on se place alors sur 8 bits et sur 3 voies, on a un débit de l'ordre de 300 Mbits/s ! (en pratique **270 Mb/s** est le chiffre standard)
- Il est nécessaire de se poser la question de la compression



La représentation d'un signal couleur

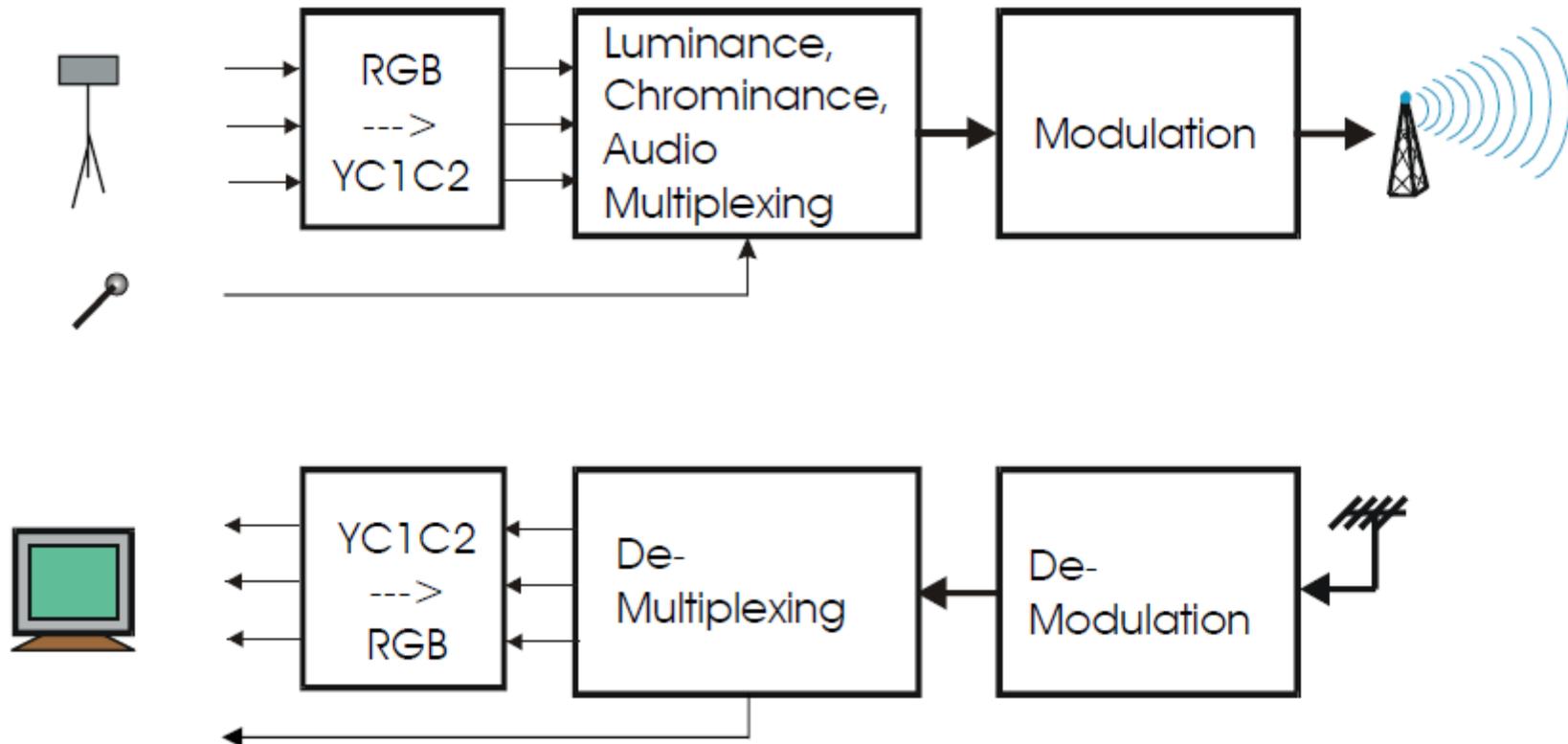
- Numérisation du signal : introduction de la compression
 - Compression par choix d'un espace de couleur adapté : YUV au lieu de RGB
 - Plus efficace
 - Les composantes R, G et B sont corrélées donc leur transmission séparée est redondante
 - Conversion de RGB en YUV, avec trois composantes décorréelées :
$$Y = w_R R + w_G G + w_B B$$
$$U = U_{\max} (B - Y) / (1 - w_B)$$
$$V = V_{\max} (R - Y) / (1 - w_B)$$

$$w_R = 0,299 \quad w_B = 0,114 \quad w_G = 0,587$$
$$U_{\max} = 0,436 \quad V_{\max} = 0,615$$
 - Les composantes U et V sont moins importantes pour l'œil humain
- Compatible des anciens standards noir et blanc
 - Y est la luminance, donc égale au signal initial N&B



La représentation d'un signal couleur

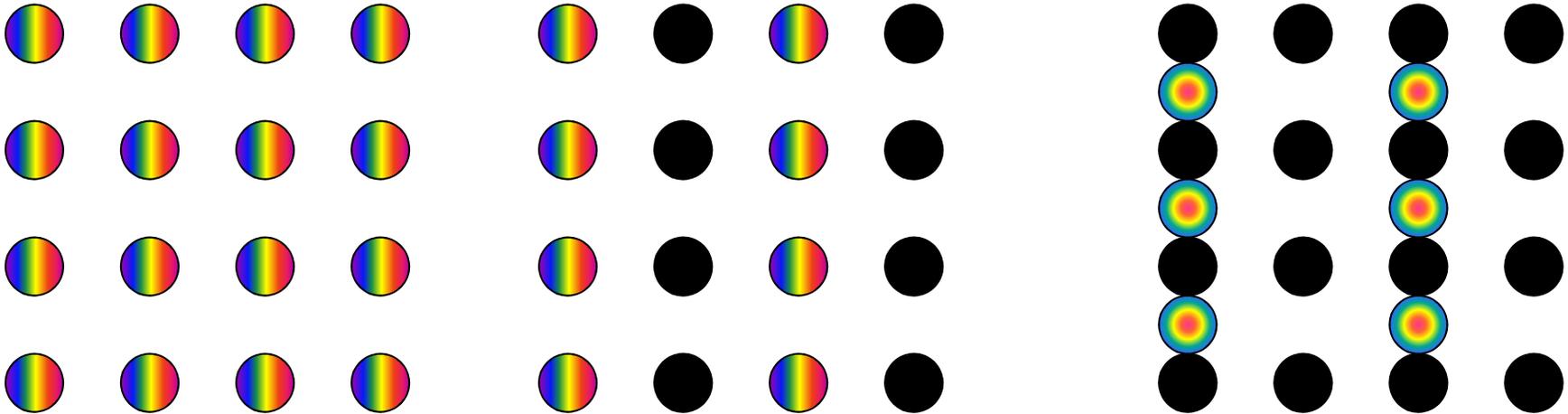
- Numérisation du signal : introduction de la compression
 - Compression par choix d'un espace de couleur adapté : YUV au lieu de RGB





La représentation d'un signal couleur

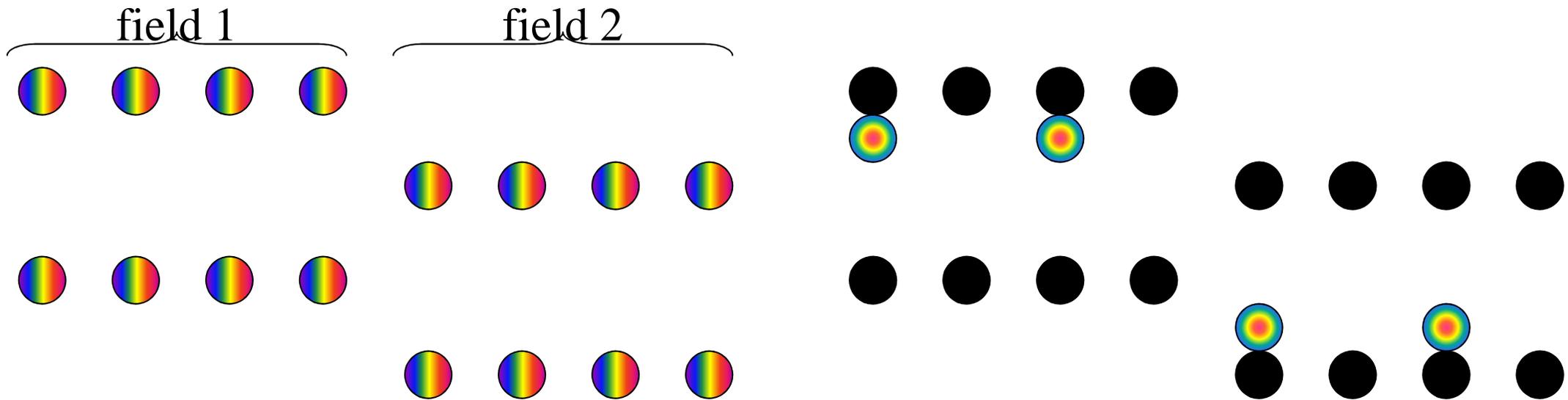
- Numérisation du signal : introduction de la compression
 - Compression par réduction du nombre de composantes : passage en YUV 4:2:0





La représentation d'un signal couleur

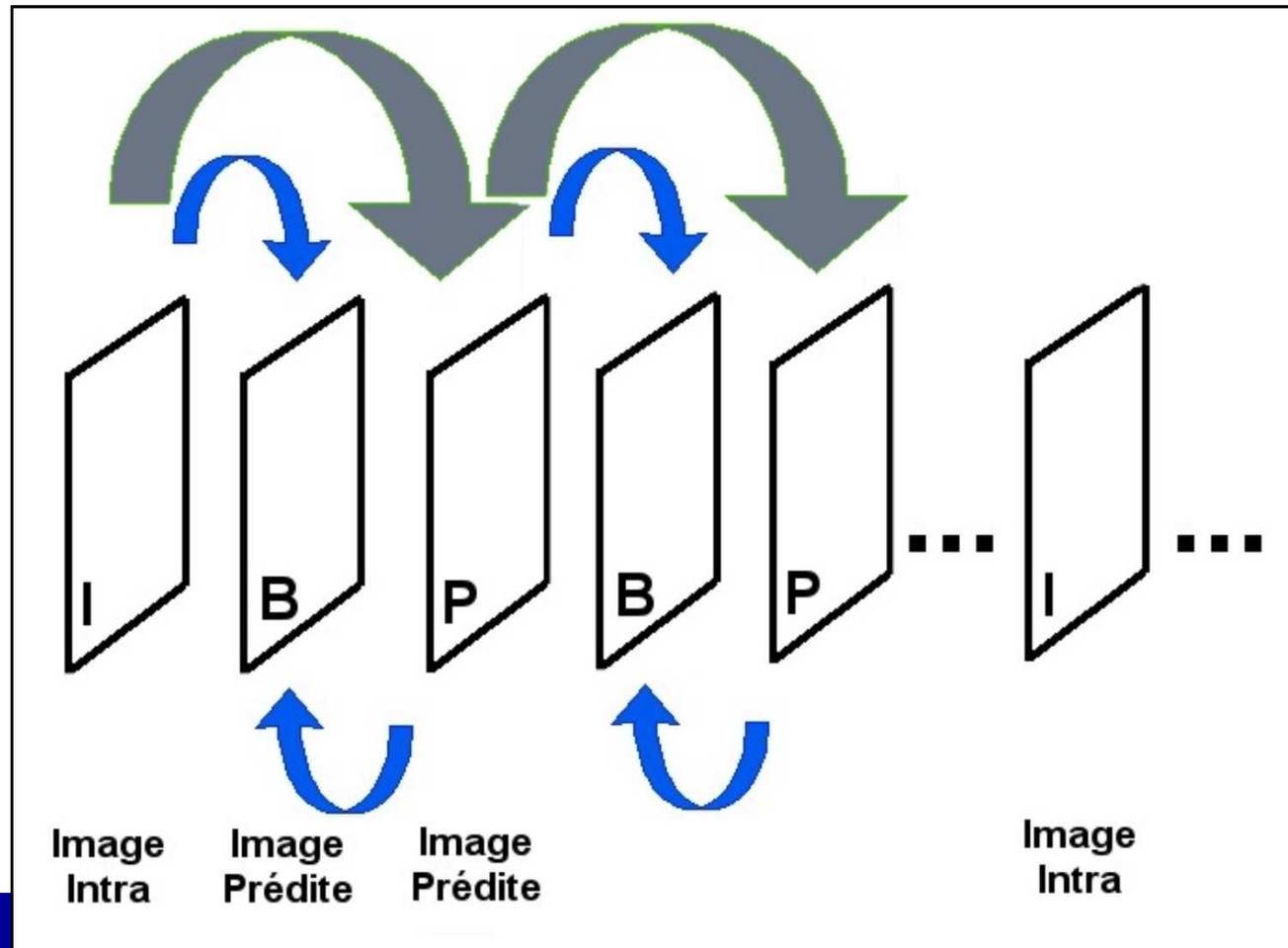
- Numérisation du signal : introduction de la compression
 - Compression par réduction du nombre de composantes : passage en YUV
4:2:0 – cas du mode entrelacé





La représentation d'un signal couleur

- Numérisation du signal : introduction de la compression (cont.)
 - Compression par application d'un mécanisme de compression de source : prédiction et codage des résidus





Notion de qualité de service « globale »

- QoS : Quality of Service
 - Notion classique pour les systèmes de communications
 - Notion utilisée dans des contextes très variables, donc résultat en des métriques très variables également
- Trois grandes familles d'estimation de la qualité de service d'un système de communication (multimédia ou autre) :
 - BER/PER (robustesse face aux erreurs)
 - SNR (fidélité par rapport au signal d'origine)
 - Latence, délai (temps de réponse du système)
- Dans le cadre d'un système multimédia, aucune n'est totalement satisfaisante : on veut d'intéresser en fait à la qualité perçue avec la notion plus récemment introduite de QoE (quality of experience) :
 - Service rendu à l'utilisateur : la vraie métrique par rapport au service que l'on va déployer



Notion de qualité de service « globale »

- Mesurer la qualité vidéo perçue (QoE) :
 - Comme pour tout système type QoS, on a deux approches envisageables :
 - Approches subjectives
 - Approches objectives
 - Tests subjectif [ITU-R, 2002]
 - Moyen le plus rigoureux d'évaluer la qualité perçue (ex : DSIS, DSCQS)
 - Coûteux en temps et ressources
 - Non dynamique
 - Tests objectifs, avec trois types de références :
 - full-reference (FR)
 - reduced-reference (RR)
 - no-reference (NR)



Mesures de QoE objectives

- Traditionnellement :
 - métriques au niveau pixel
 - évaluation *full reference* image par image
- « La » mesure classique : Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) et PSNR on MSE (av. MSE PSNR)

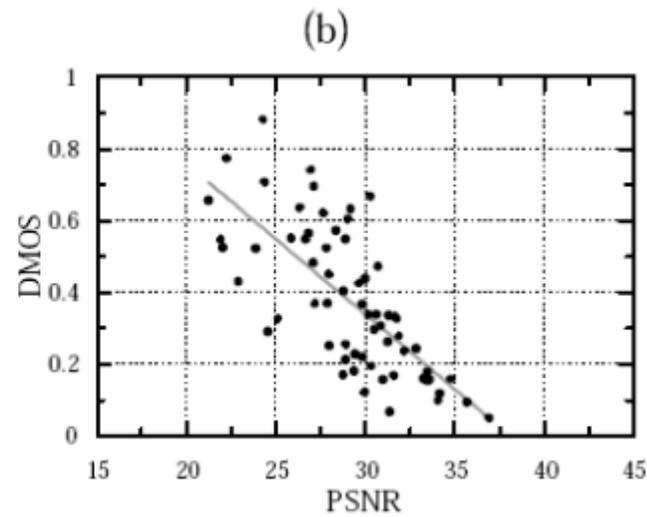
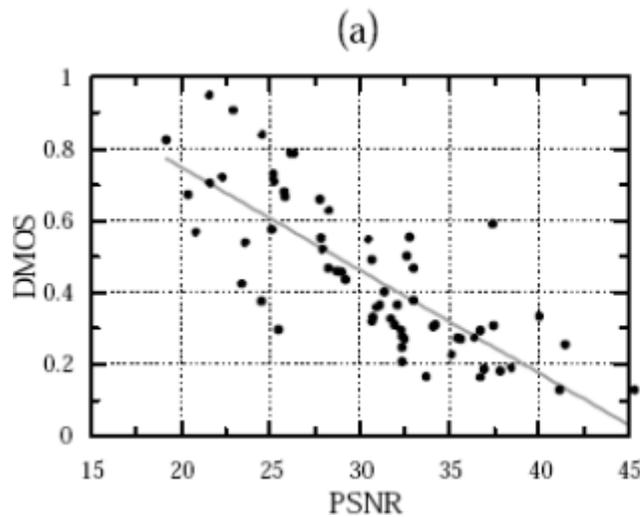
$$MSE_i = \sum_{j=1}^{N_p} (Y_{i,j} - \tilde{Y}_{i,j})^2, \quad 1 \leq i \leq N$$
$$PSNR_i = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE_i} \right), \quad 1 \leq i \leq N$$
$$PSNR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PSNR_i$$

$$MSE_i = \sum_{j=1}^{N_p} (Y_{i,j} - \tilde{Y}_{i,j})^2$$
$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2 N}{\sum_{i=1}^N MSE_i} \right)$$



Mesures de QoE objectives

- Défauts du PSNR : mauvaise corrélation avec les mesures subjectives
 - DMOS vs PSNR pour le test d'évaluation VQEG Phase II : (a) $CC = 0,787$; (b) $CC = 0,719$

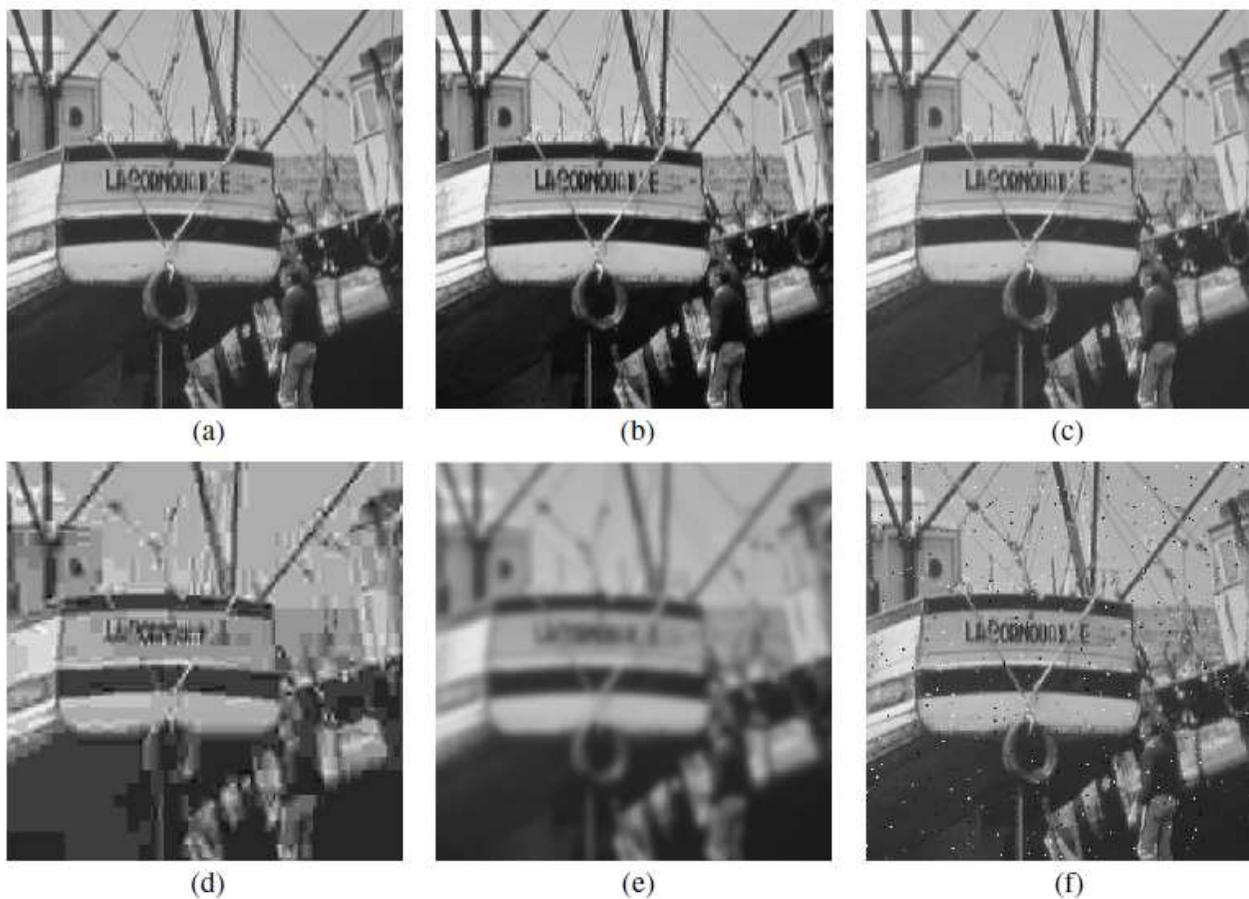


Source: Chulhee et al., SPIE 2004



Mesures de QoE objectives

- Défauts du PSNR (et de la mesure du MSE) : 5 résultats avec même MSE ((b)->(f)) comparés à l'image initiale (a)

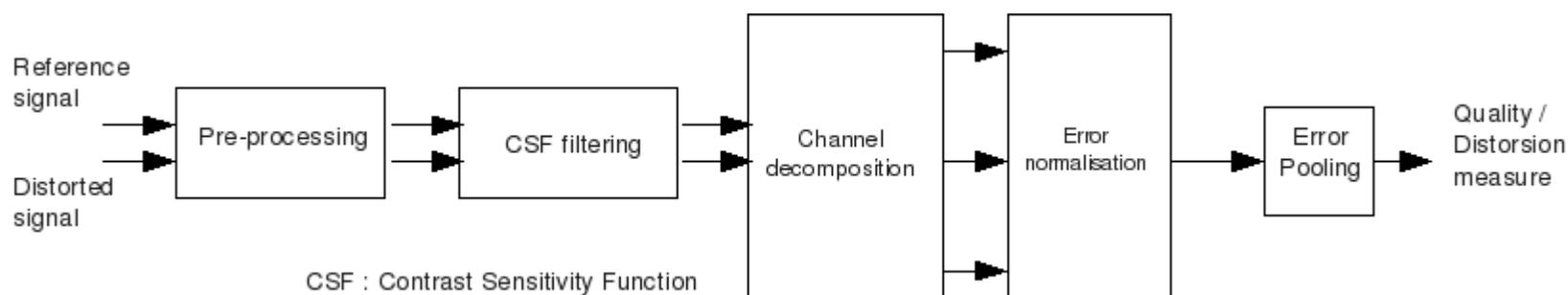


Source: Wang et al. IEEE Trans on IP 2004



Mesures de QoE objectives

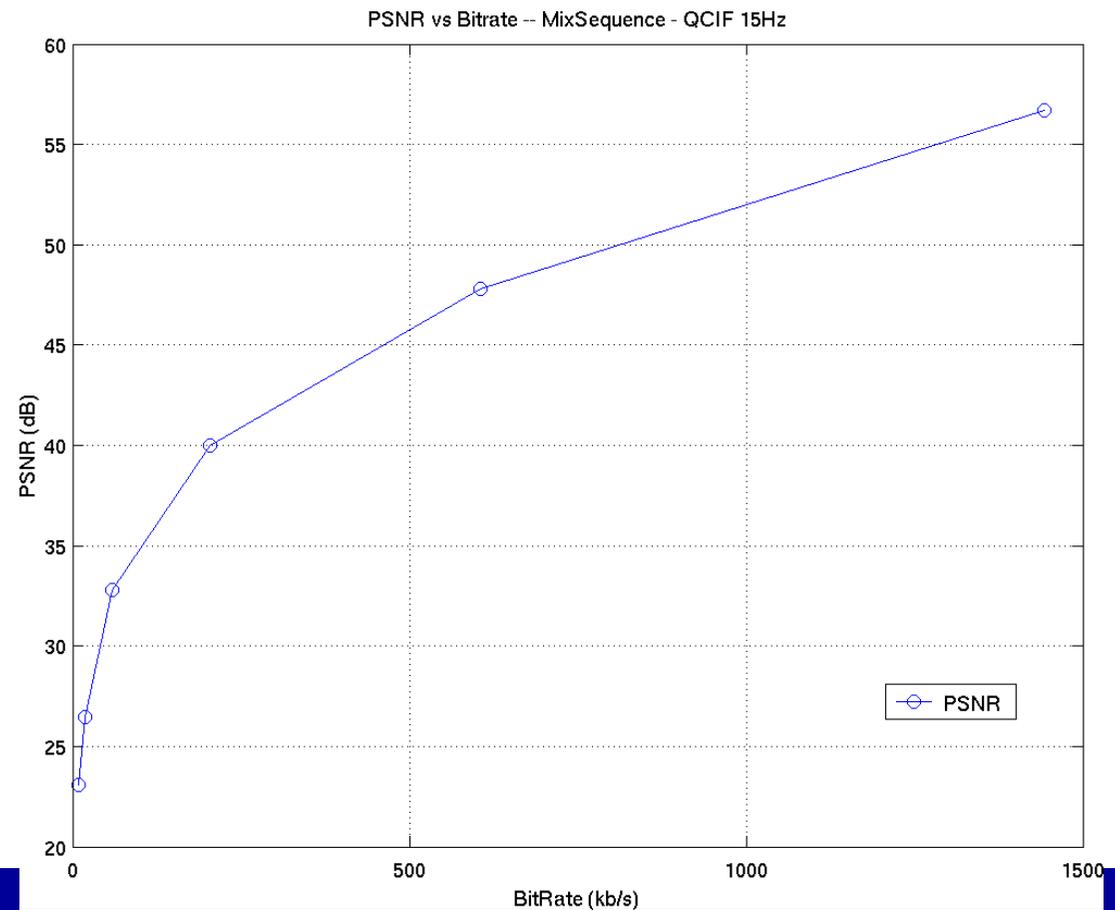
- Métriques objectives HVS (*Human Vision System*)
 - mesures objectives capables de représenter « fidèlement » la subjectivité
 - métriques basées sur le système de vision humaine (HVS)
- Introduction d'un modèle perceptuel [van den Branden Lamnbrect, 1996, Z. Wang *et al.*, 2004]





Exemples de métriques

- Exemples de métriques : calcul du PSNR
 - Séquence composite (Akiyo, Carphone, Children, Container, Foreman, HallMonitor, Mobile and Calendar, Mother and Daughter, TableTennis, Trevor) QCIF 15 Hz





Exemples de métriques

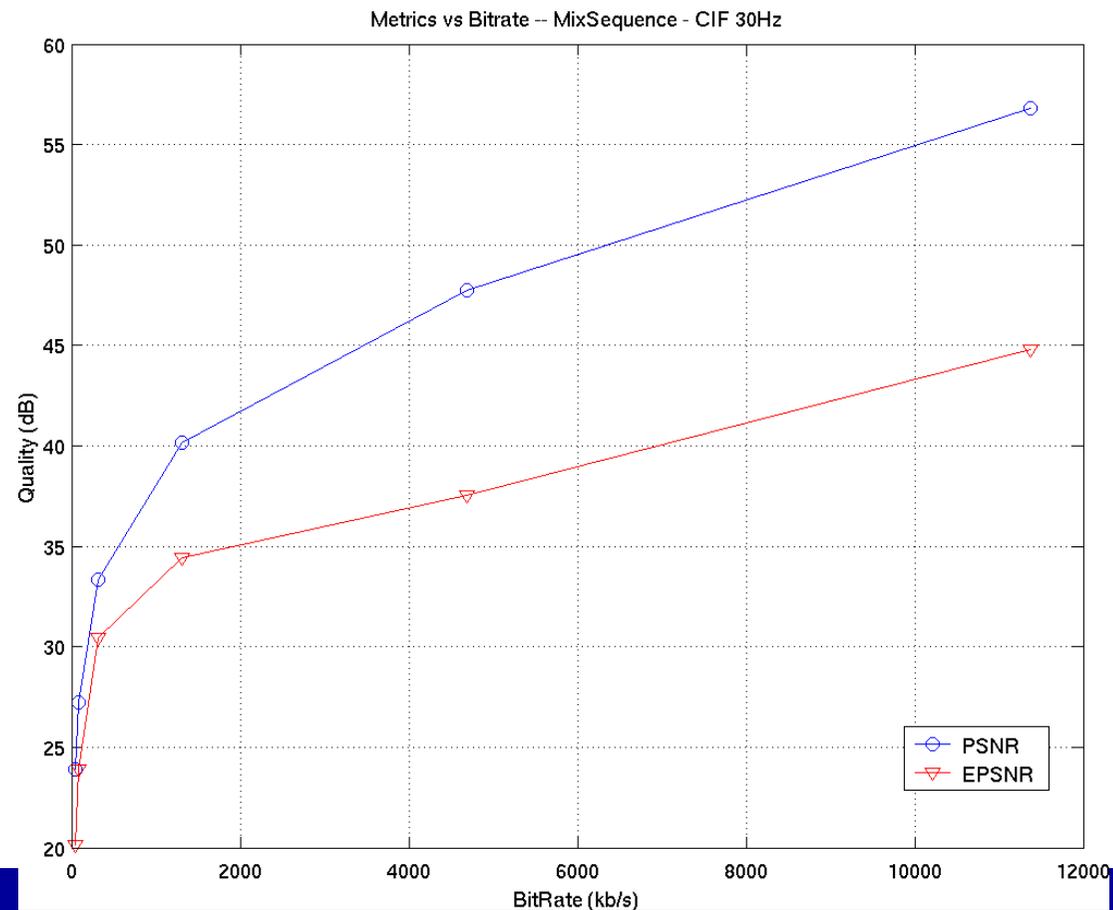
- Exemples de métriques : EPSNR
 - Extension du PSNR : en tenant compte du fait que l'œil humain est plus sensible aux erreurs sur des pixels de contour, a été proposé une nouvelle métrique définie comme le calcul du PSNR sur les pixels correspondants aux contours de l'image de référence.
 - La métrique est relativement facile à calculer, comme le montre l'algorithme de calcul :
 1. Gradient sur l'image de référence
 2. Seuillage sur le gradient obtenu (seuil t_e)
 3. Calcul $\text{PSNR}(p_i^{\text{ref}} ; p_i)$, $\forall i$ tel que $p_i^{\text{ref}} > t_e ; p_i > t_e$
 4. Post-traitements (correctifs empiriques)





Exemples de métriques

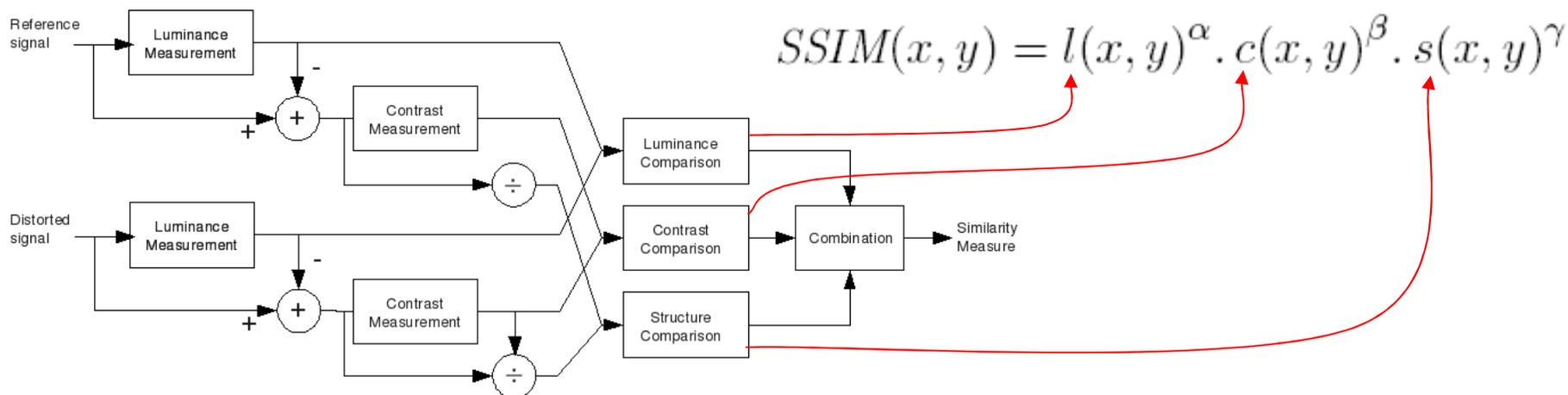
- Exemples de métriques : calcul du EPSNR
 - Séquence composite (Akiyo, Children, Container, Foreman, HallMonitor, Mobile and Calendar, Mother and Daughter, TableTennis) CIF 30 Hz





Exemples de métriques

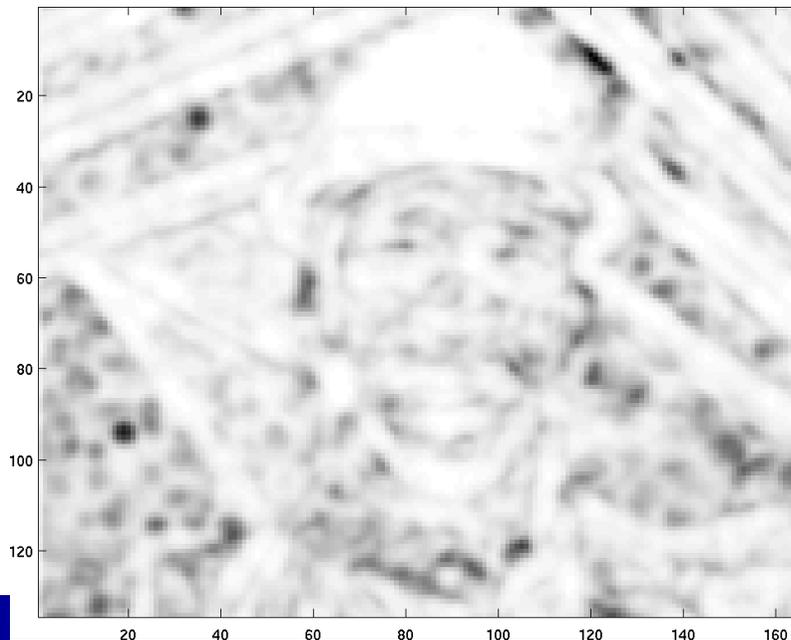
- Exemples de métriques : SSIM
 - Mesure orientée HVS : mesurer la ressemblance structurelle de l'image plutôt que détecter la visibilité des défauts.
 - Modèle du SSIM :
 - Calcul de la structure des objets dans la scène présentée, indépendamment des luminance et contraste moyens
 - Calcul d'un score tenant compte de la luminance, du contraste et de la structure





Exemples de métriques

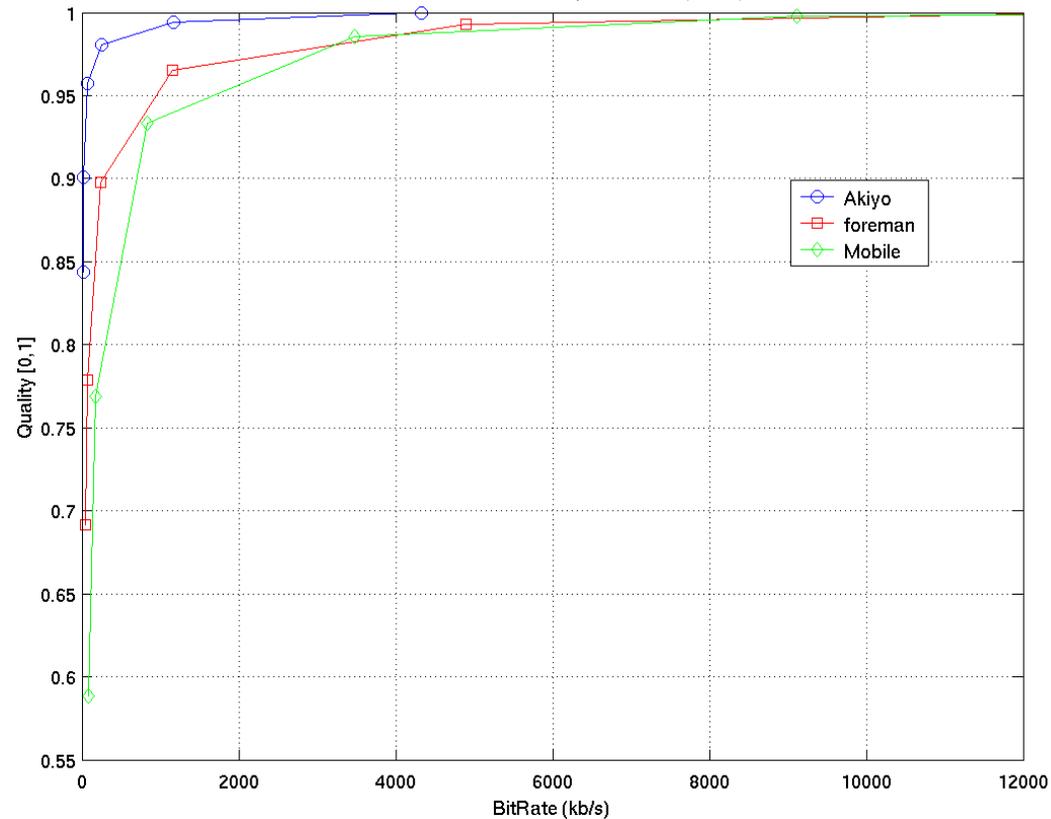
- Exemples de métriques : SSIM
 - Mesure orientée HVS : mesurer la ressemblance structurelle de l'image plutôt que détecter la visibilité des défauts.
 - Cartes des différences :
 - Calculant localement le SSIM pour chaque pixel de l'image, on peut obtenir une carte de ressemblances, où les zones foncées indiquent les zones dégradées.





Exemples de métriques

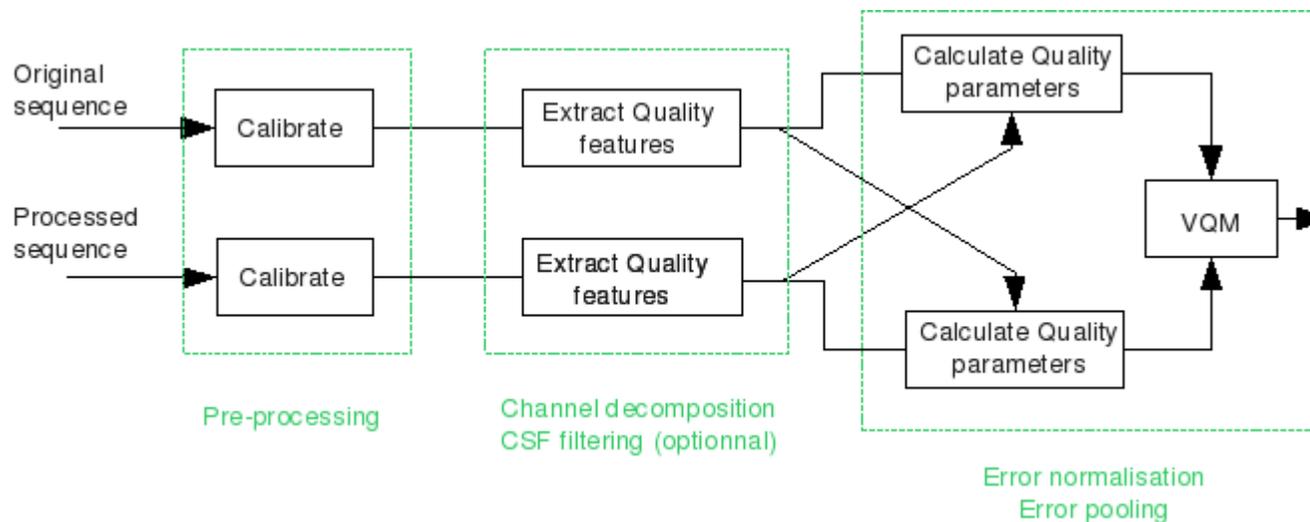
- Exemples de métriques : calcul du SSIM
 - Différentes séquences de référence : Akiyo, Foreman, Mobile and Calendar, CIF 30 Hz





Exemples de métriques

- Exemples de métriques : VQM
 - Mesure orientée HVS : proposée par le NTIA, la méthode du VQM propose d'évaluer la qualité d'une vidéo en extrayant des paramètres représentatifs de la dégradation de la séquence lorsque ceux-ci dépassent un certain seuil de perception.
 - Modèle du VQM :
 - Étape de calibration complexe à mettre en œuvre





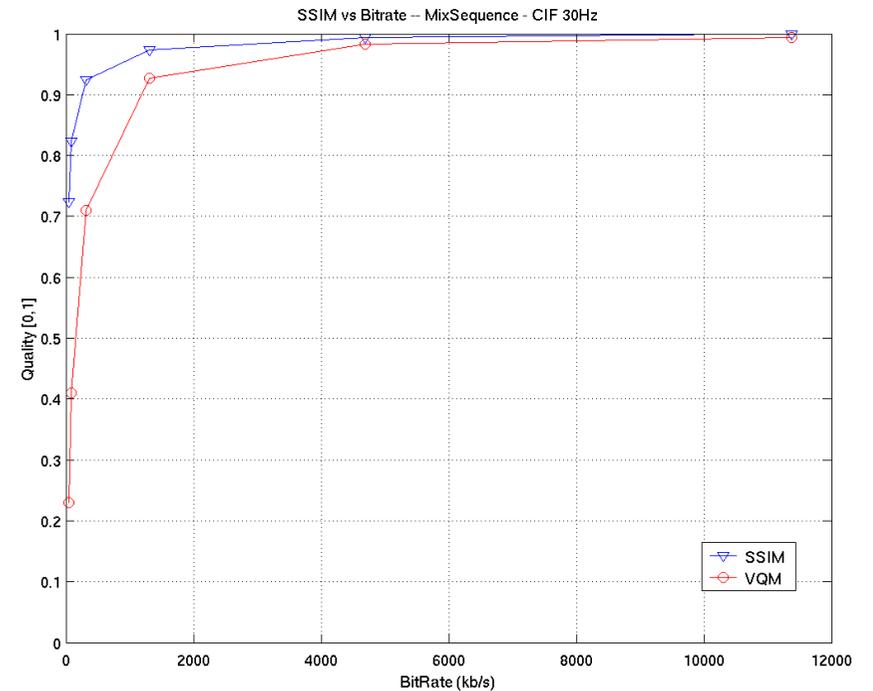
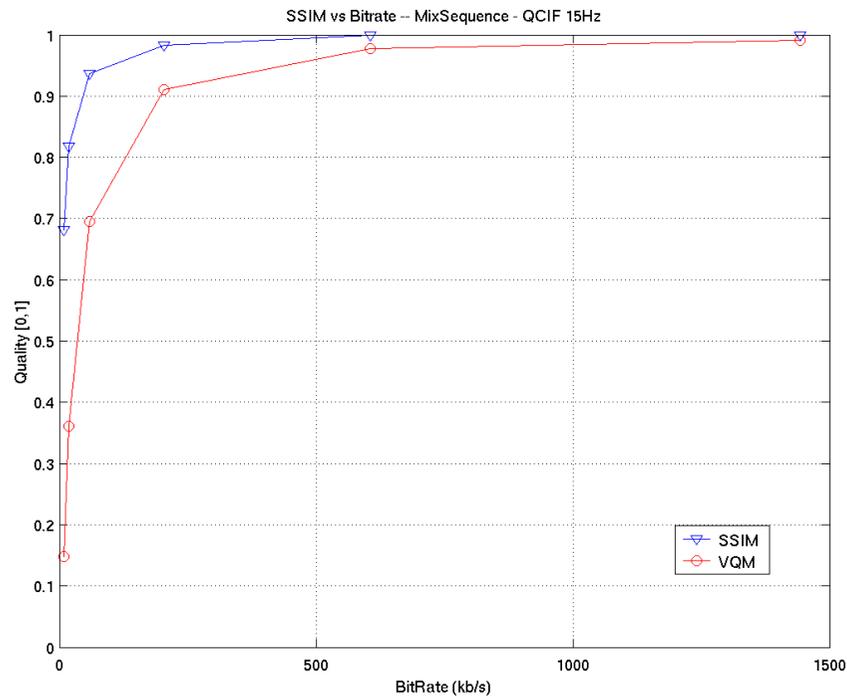
Exemples de métriques

- Exemples de métriques : VQM
 - Plus en détail :
 1. Calibration : ajustements spatio-temporels ainsi que la correction en gain et/ou offset.
 2. Quality features : extraction de caractéristiques informatives (gradients spatiaux, chrominance, contraste, mouvement), puis éventuellement application d'un modèle psychophysique de sensibilité aux dégradations (seuillage des paramètres par des seuils de perception).
 3. Quality parameters : évaluation/comparaison de la différence entre les caractéristiques issues de la séquence originale et de la séquence déformée, sous la forme de rapports logarithmiques ou d'erreur afin de prendre en compte l'effet de visual masking.
 4. VQM pooling : rassemblement des paramètres de comparaison par des collapsing functions pour émuler la subjectivité. La note finale, comprise entre 0 et 1, est obtenue par combinaison linéaire des paramètres de qualité.
 - NB: par analogie avec les autres métriques, on présente par la suite les notes en 1-VQM pour réserver la meilleure note aux séquences de bonne qualité



Exemples de métriques

- Exemples de métriques : calcul du VQM
 - Séquences composites QCIF 15 Hz et CIF 30 Hz
 - Comparaison VQM et SSIM



Comparer et évaluer : les écueils sans fin ...



- Quelques écueils à éviter lorsque l'on cherche à évaluer la qualité obtenue avec son codeur multimédia :
 - Se reposer toujours sur sa mesure objective
 - Ne pas déterminer des points de fonctionnement réalistes pour faire son évaluation
 - Débit
 - Rapidité du codec
 - Résolution
 - Ne pas adapter en fonction des besoins (liés au point de fonctionnement) les options de son codec
 - Ne pas s'adresser à des spécialistes de la question pour qu'ils valident l'approche retenue

Comparer et évaluer : les écueils sans fin ...



- Et ne parlons pas des problèmes lorsque l'on cherche à comparer deux codeurs différents : [<http://x264dev.multimedia.cx/archives/472>]
 - Toutes les mesures objectives peuvent être détournées
 - Il est aisé de trouver des configurations qui « ne marchent pas » ou donnent de mauvais résultats
 - La communauté ne reconnaît à l'heure actuelle aucun « bon » comparatif objectif, les tests étant souvent mauvais/faussés/incomplets
- Si vous voulez tout de même évaluer ou comparer :
 - ☹ MSU *video quality measurement tool* (non ouvert, peu estimé par les spécialistes du domaine de la compression vidéo)
 - ☺ SSIM structural similarity measurement [Z. Wang *et al.*, 2004]
- Problématiques à suivre sur le sujet : impact de la transmission sur un canal imparfait, comparaison de qualité pour des flux à résolutions différentes

Transmission d'un signal vidéo numérique

—

Extensions : quelle QoE en présence d'erreurs, pertes et flux scalables



Quelle qualité dans un contexte plus général : flux avec erreurs/pertes, résolutions variables ...

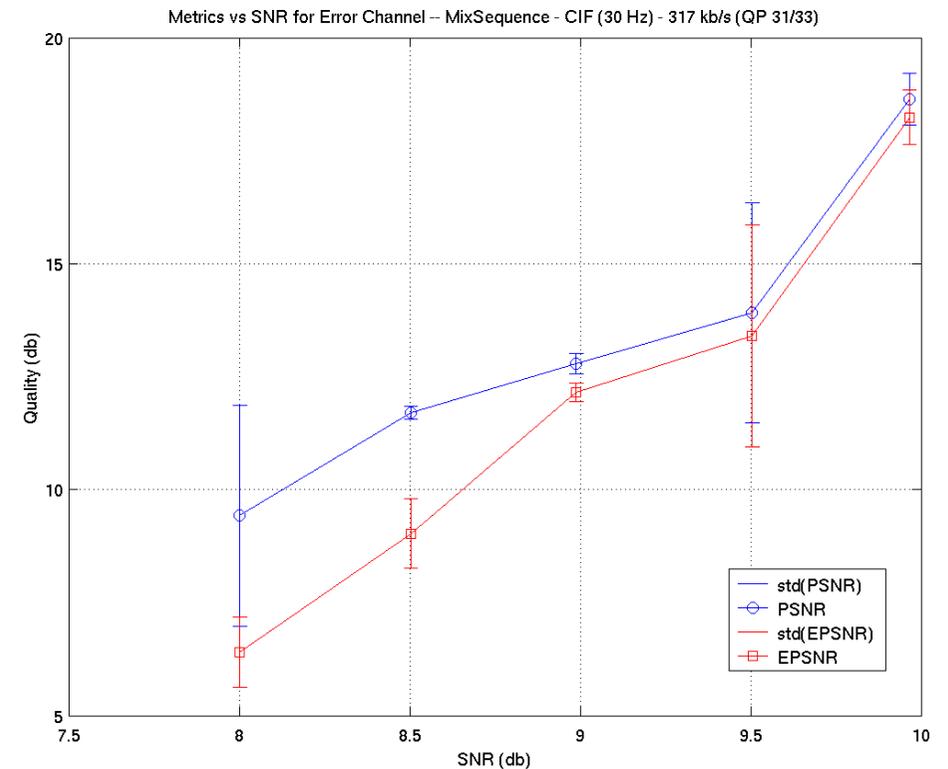
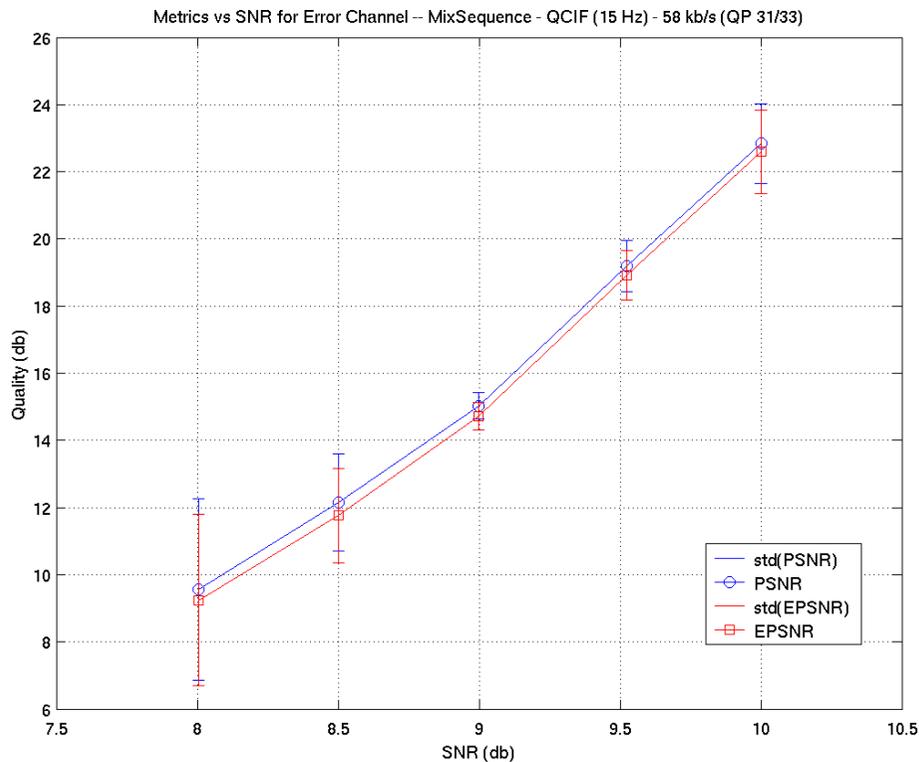


- Les observations faites dans le cas d'un canal « simple », à savoir
 - avec une résolution spatiale et une résolution temporelle figée
 - sans perte, sans erreurssont-elles généralisables ?
- Exemple illustratif : du point de vue QoE, on pourrait souhaiter envoyer moins d'images par secondes lorsque le canal se dégrade plutôt que de les envoyer toutes en très mauvaise qualité
- Deux extensions sont donc à considérer pour statuer sur la métrique de qualité à recommander :
 - Comportement face à un canal imparfait
 - Comportement face à un changement de résolution

Extension : transmission sur canal imparfait (erreurs)



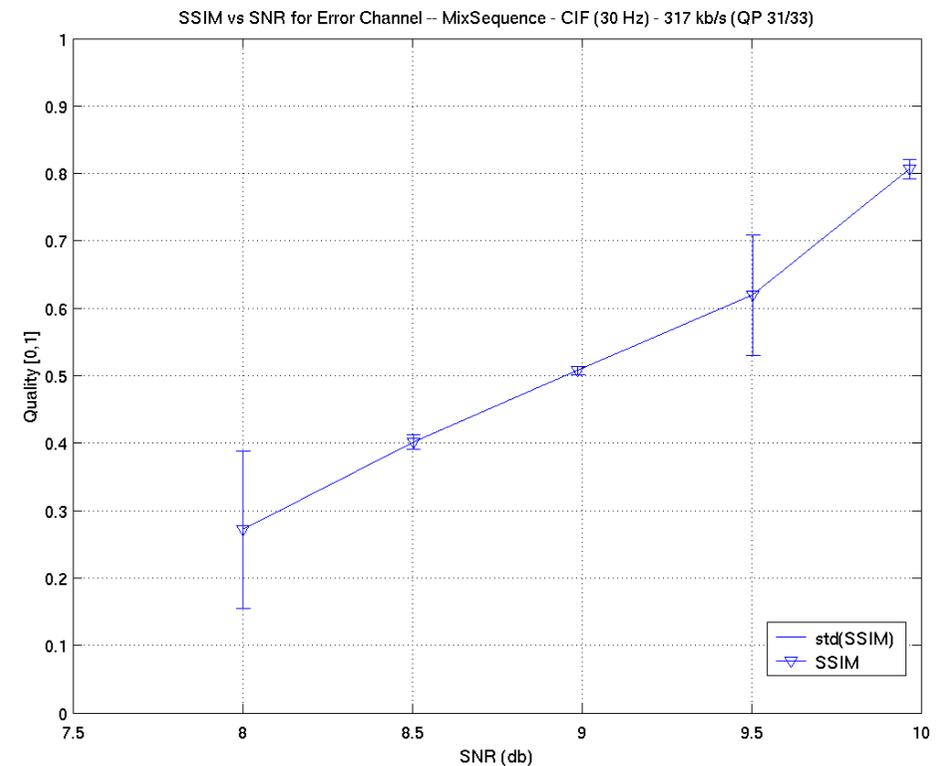
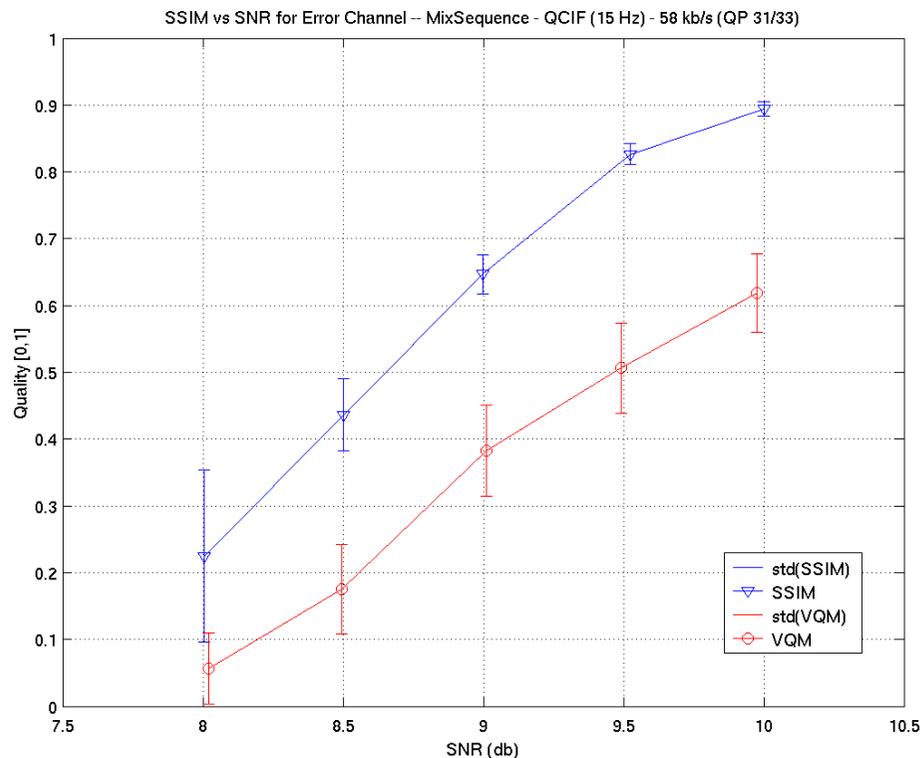
- Utilisation des métriques PSNR / EPSNR
 - Séquences composites QCIF 15 Hz et CIF 30 Hz



Extension : transmission sur canal imparfait (erreurs)



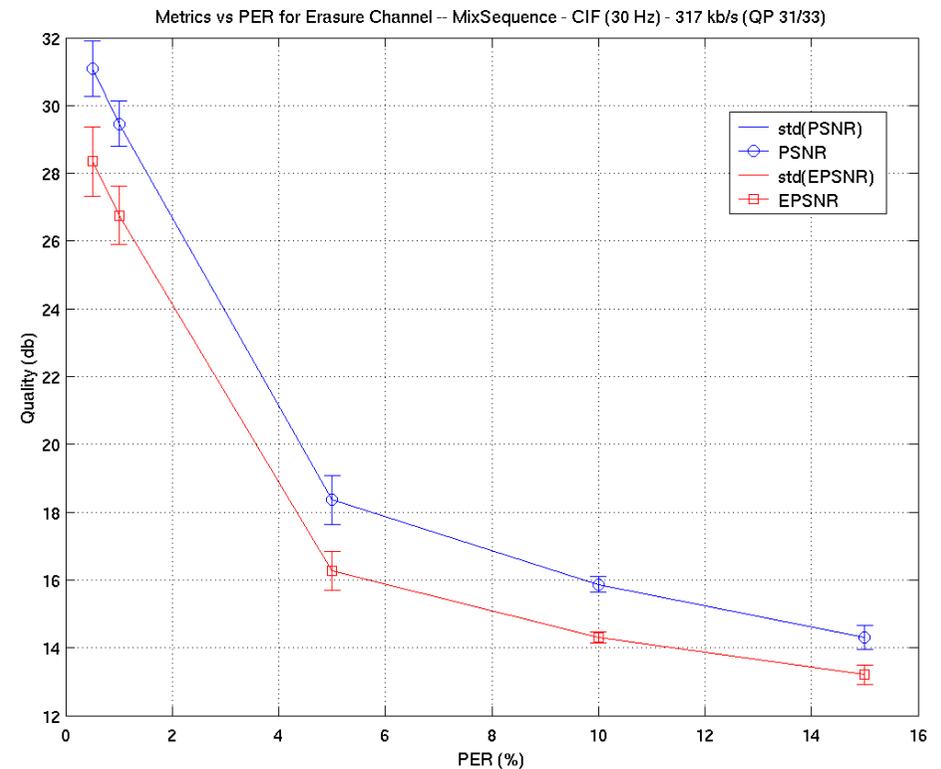
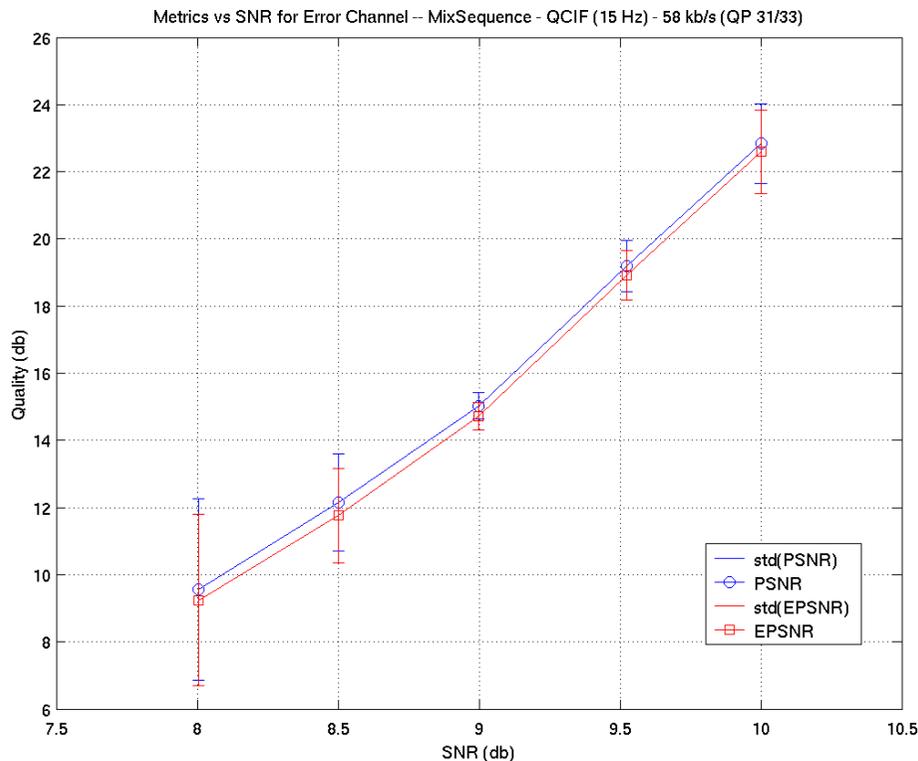
- Utilisation des métriques SSIM / VQM
 - Séquences composites QCIF 15 Hz et CIF 30 Hz



Extension : transmission sur canal imparfait (pertes)



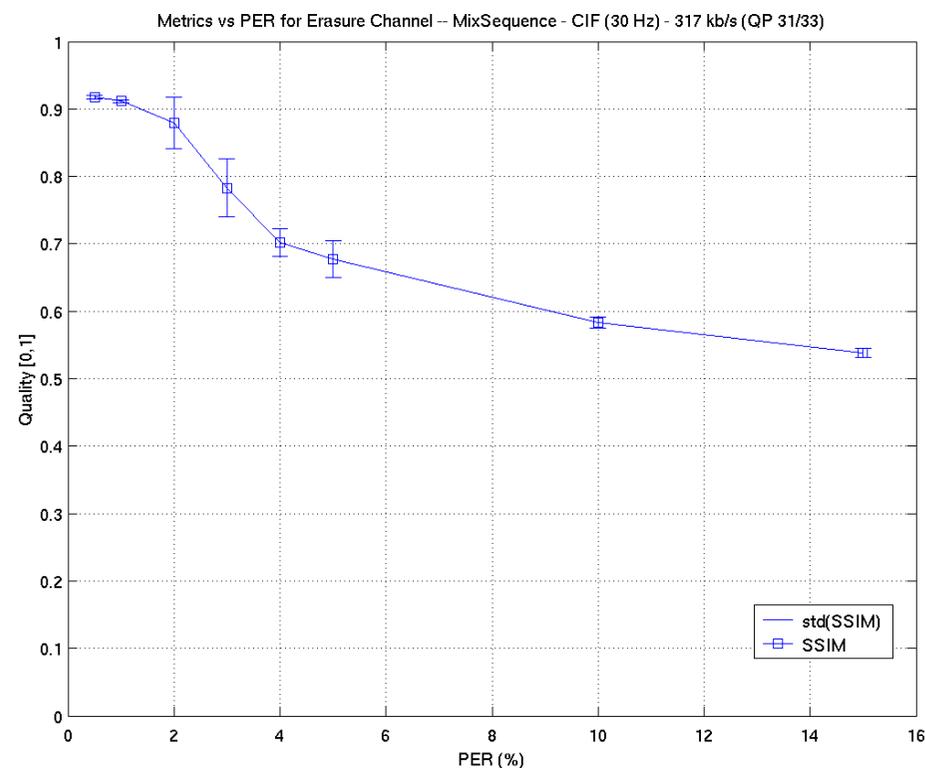
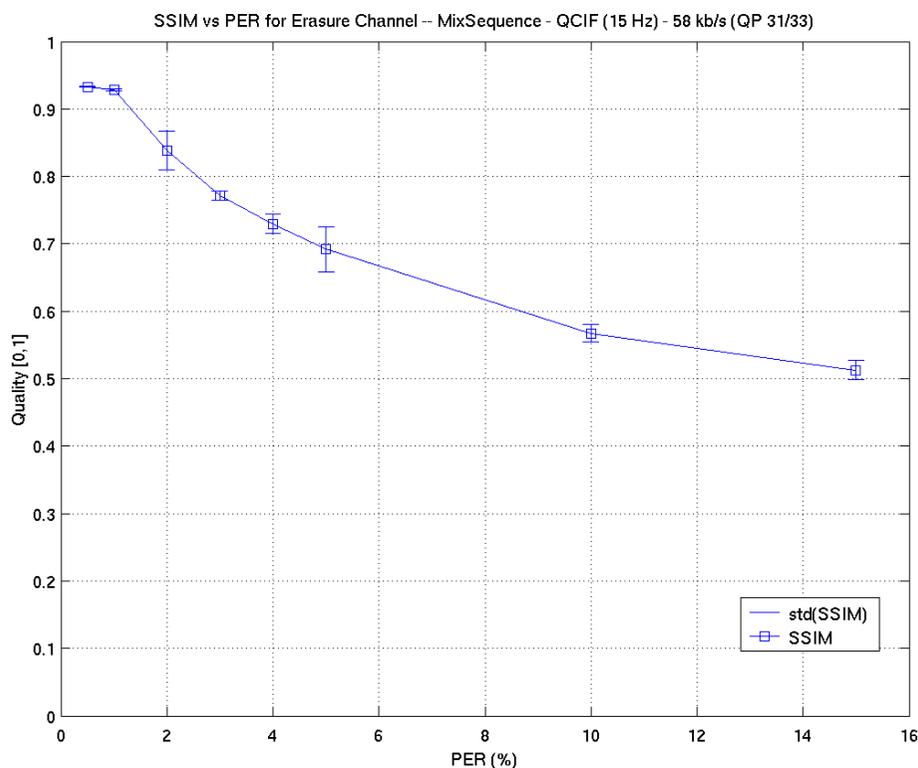
- Utilisation des métriques PSNR / EPSNR
 - Séquences composites QCIF 15 Hz et CIF 30 Hz



Extension : transmission sur canal imparfait (pertes)



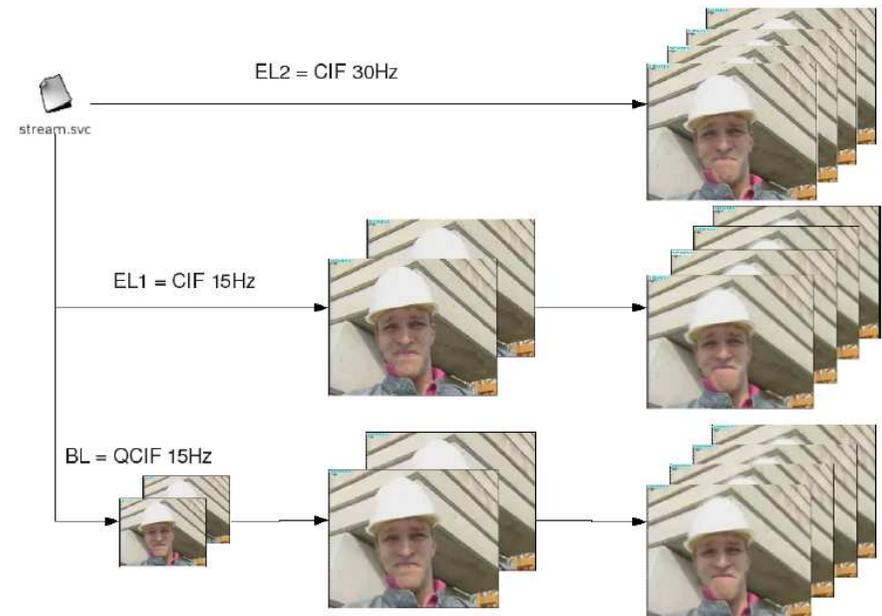
- Utilisation de la métrique SSIM
 - Séquences composites QCIF 15 Hz et CIF 30 Hz



Extension : comparaison de flux à différentes résolutions



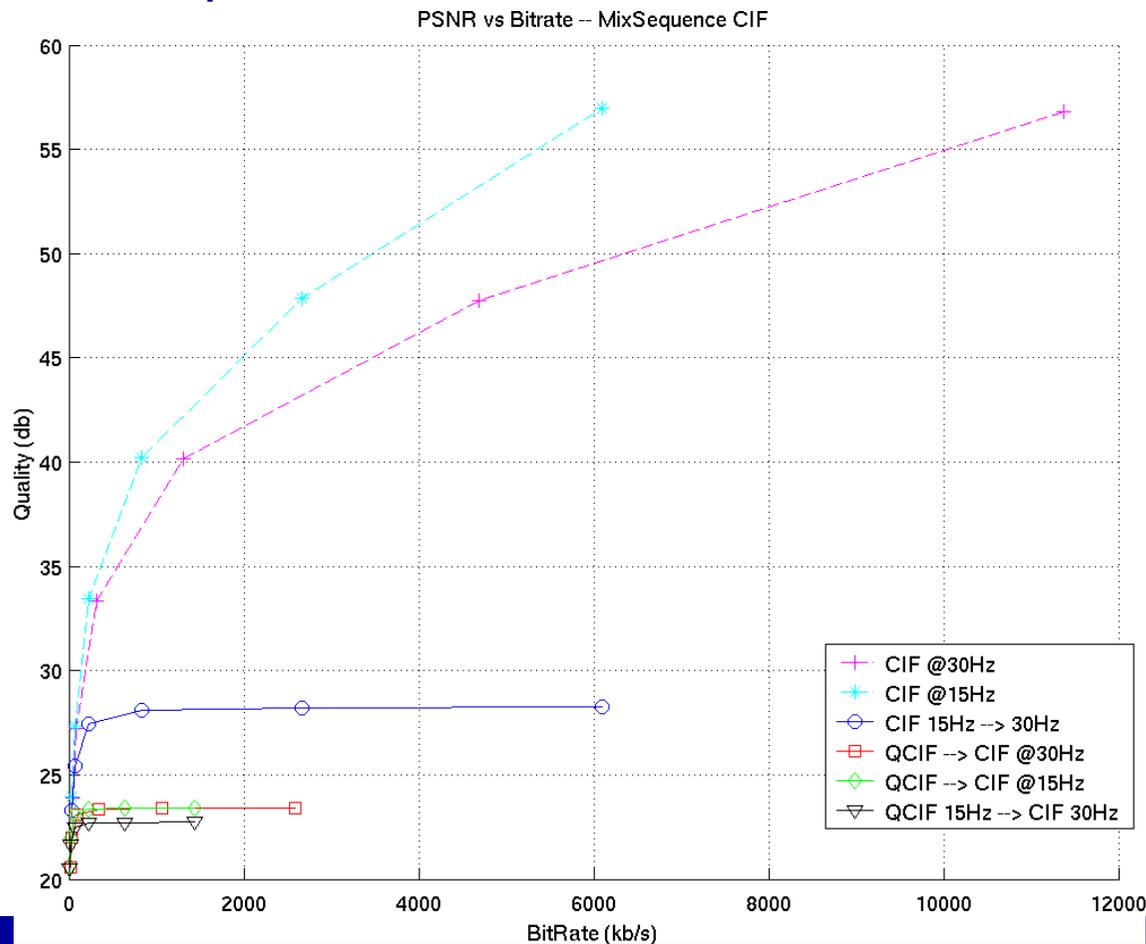
- Problématique : comment comparer des flux à des résolutions différentes
 - Pour des flux scalables ou pour décider de quelle résolution (spatiale et/ou temporelle) utiliser lorsque l'on doit émettre un flux
- Solution non satisfaisante : comparer chaque flux à sa propre référence de résolution !!
- La solution adoptée :
 - filtrage de chaque niveau à la résolution la plus haute
 - Calcul de la qualité de chaque niveau par rapport à la référence HR



Extension : comparaison de flux à différentes résolutions



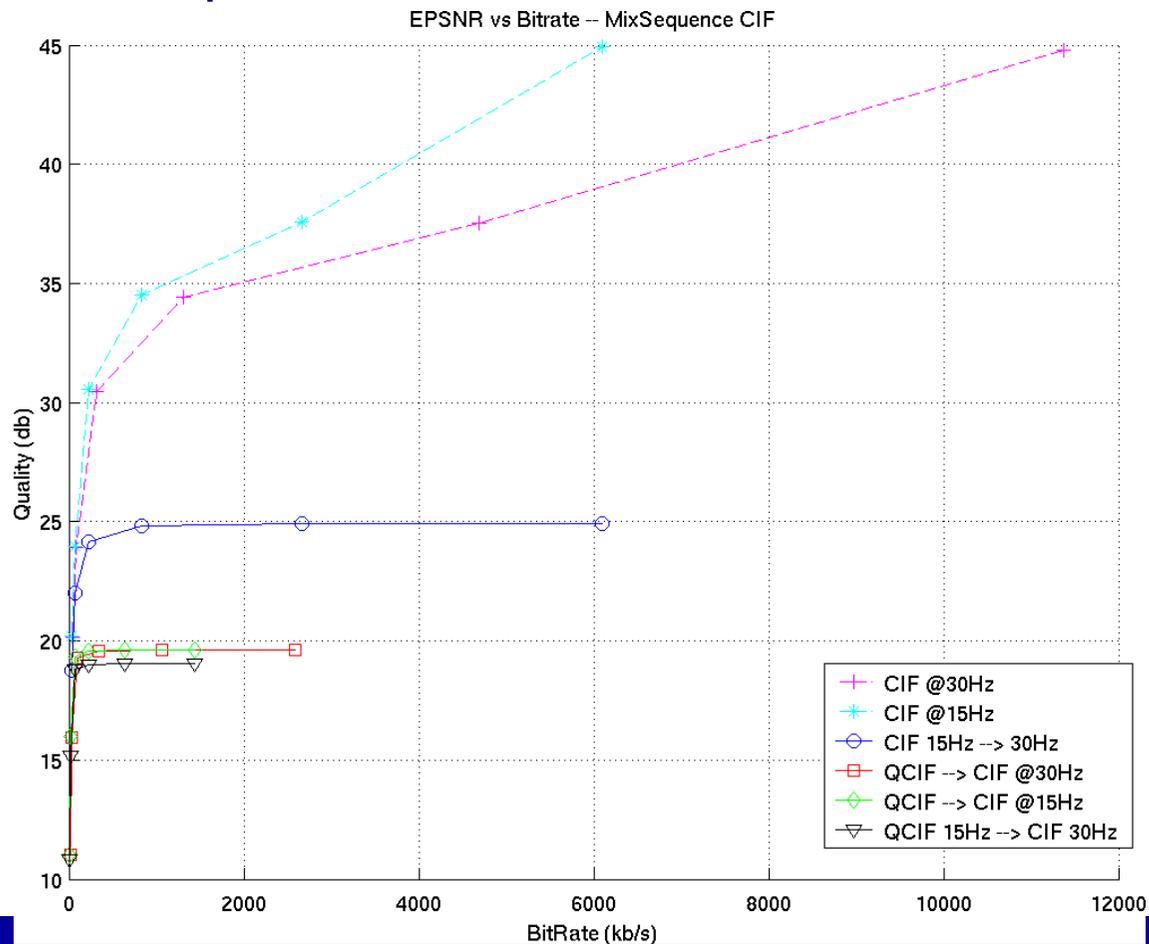
- Utilisation du PSNR pour comparer des flux à résolution différentes (en les filtrant)
 - Séquences composites



Extension : comparaison de flux à différentes résolutions



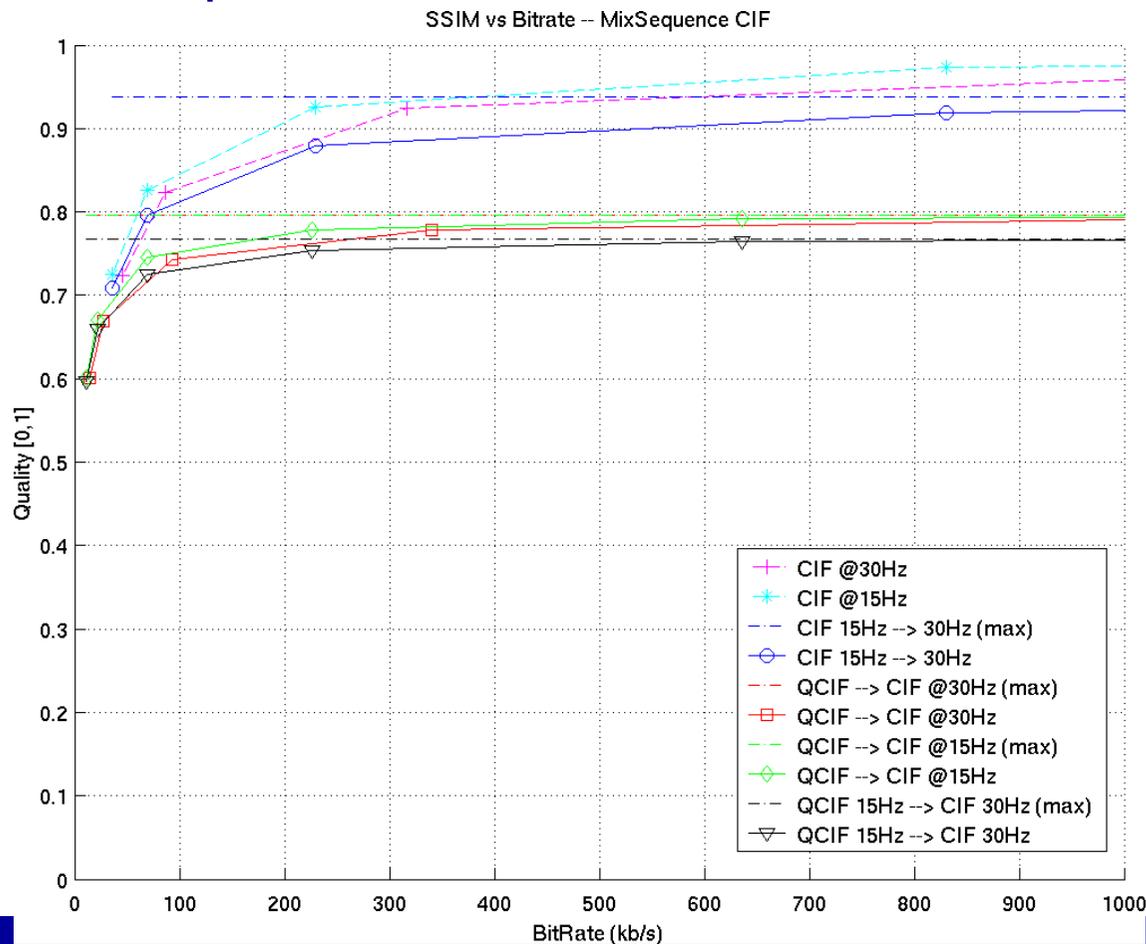
- Utilisation du EPSNR pour comparer des flux à résolution différentes (en les filtrant)
 - Séquences composites



Extension : comparaison de flux à différentes résolutions



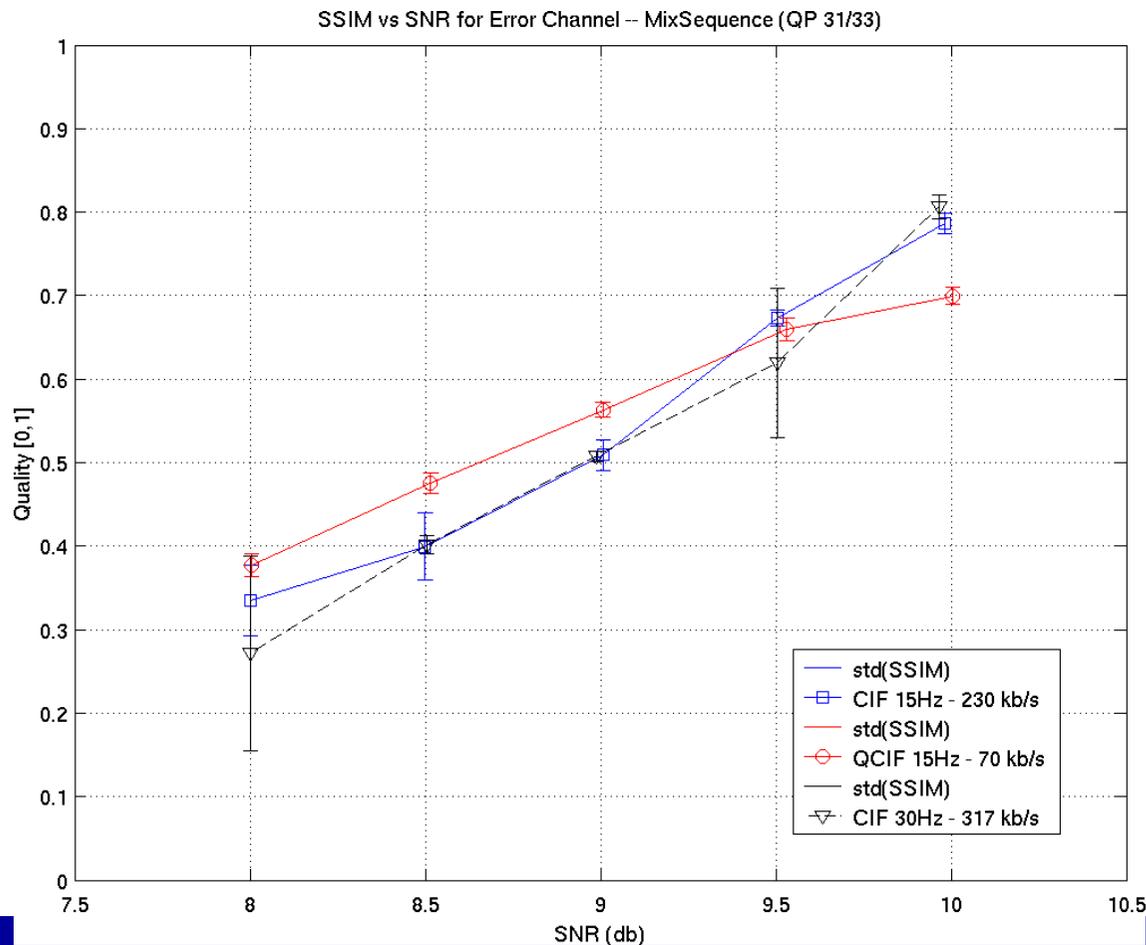
- Utilisation du SSIM pour comparer des flux à résolution différentes (en les filtrant)
 - Séquences composites



Extension : comparaison de flux à différentes résolutions en présence d'erreurs



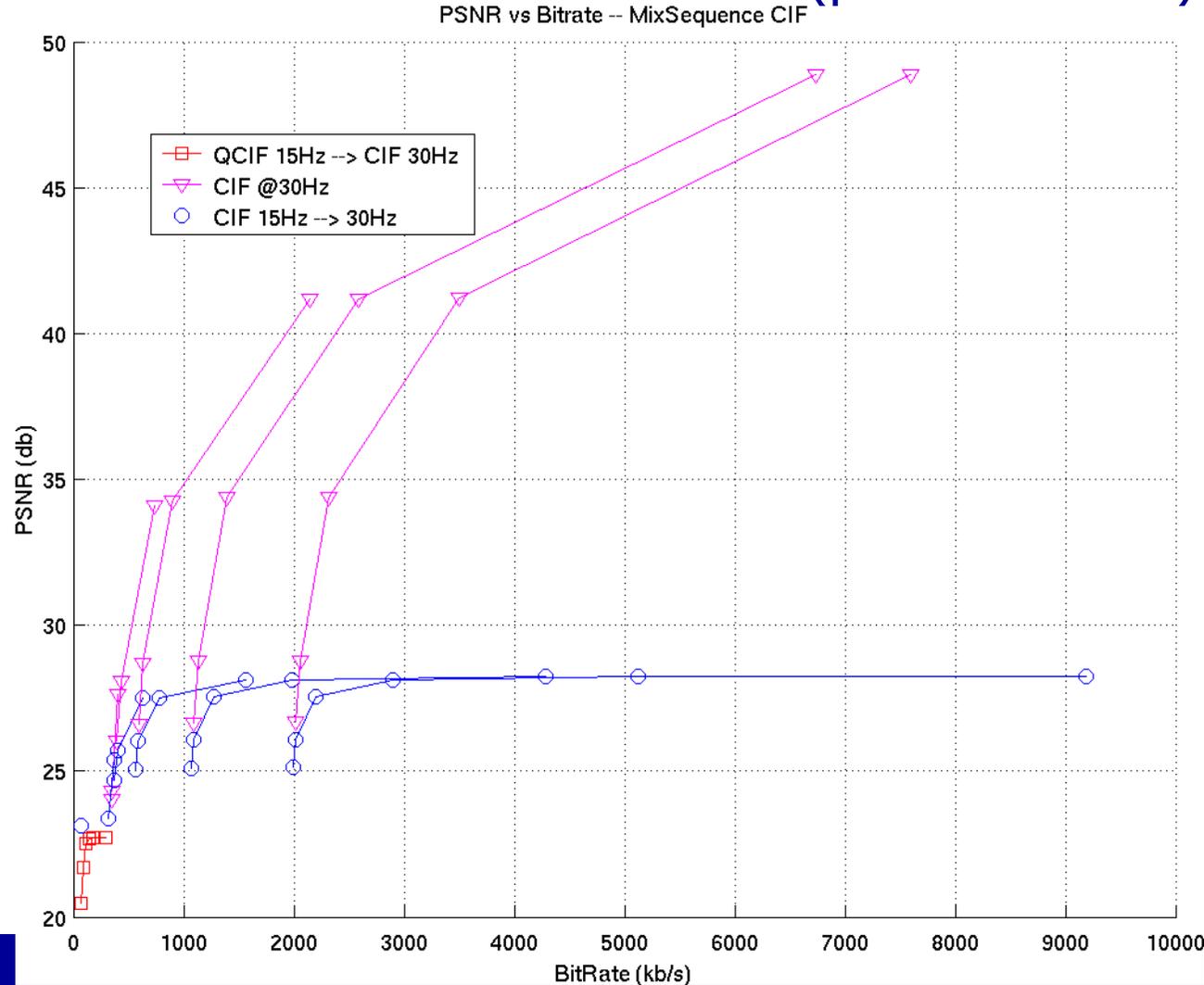
- Utilisation du SSIM pour comparer des flux à résolution différentes (en les filtrant) en présence d'erreurs
 - Séquences composites





Extension : cas d'un flux scalable

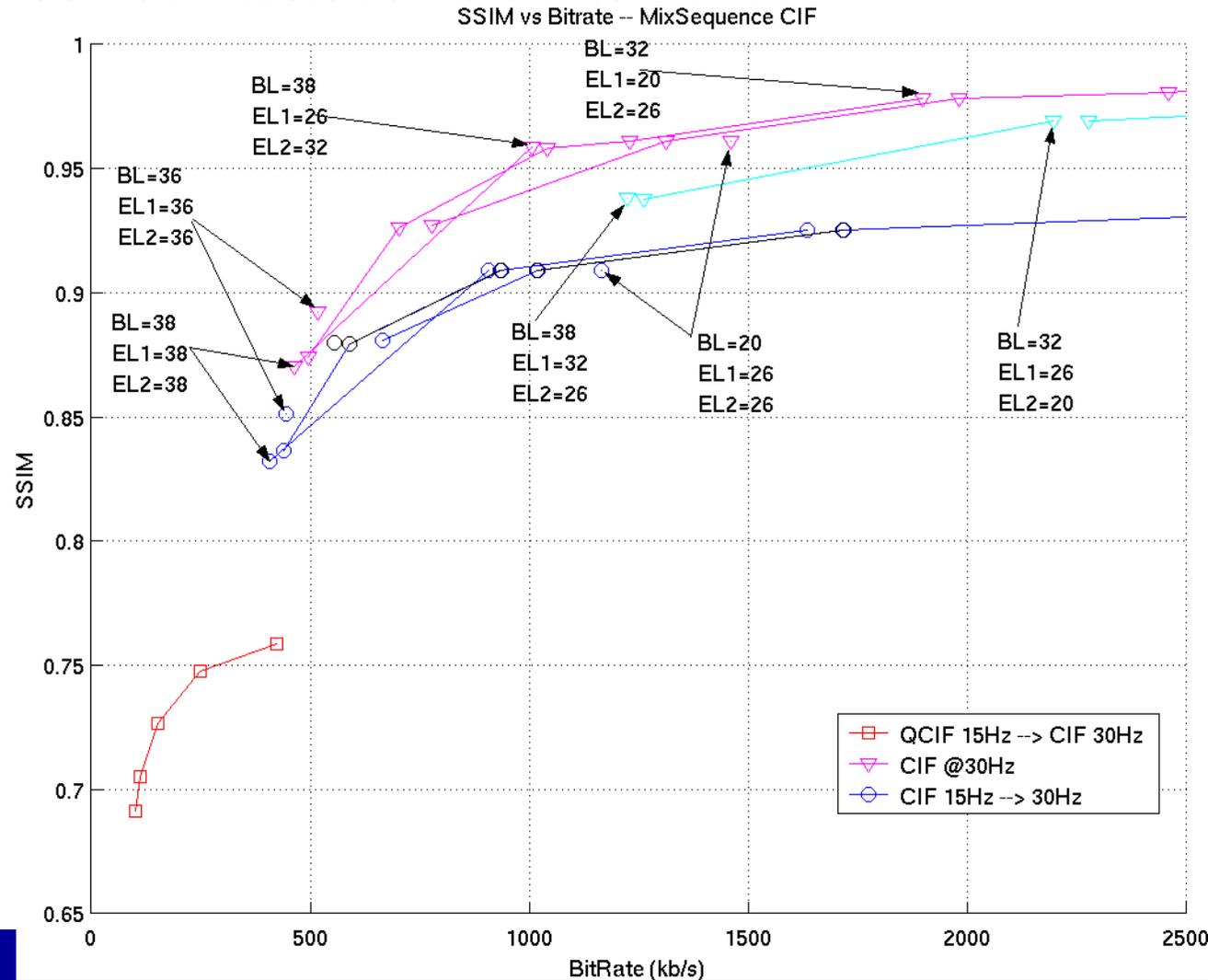
- Utilisation du PSNR pour comparer les qualités obtenues en décodant les différents niveaux de résolution d'un flux SVC (puis en filtrant)





Extension : cas d'un flux scalable

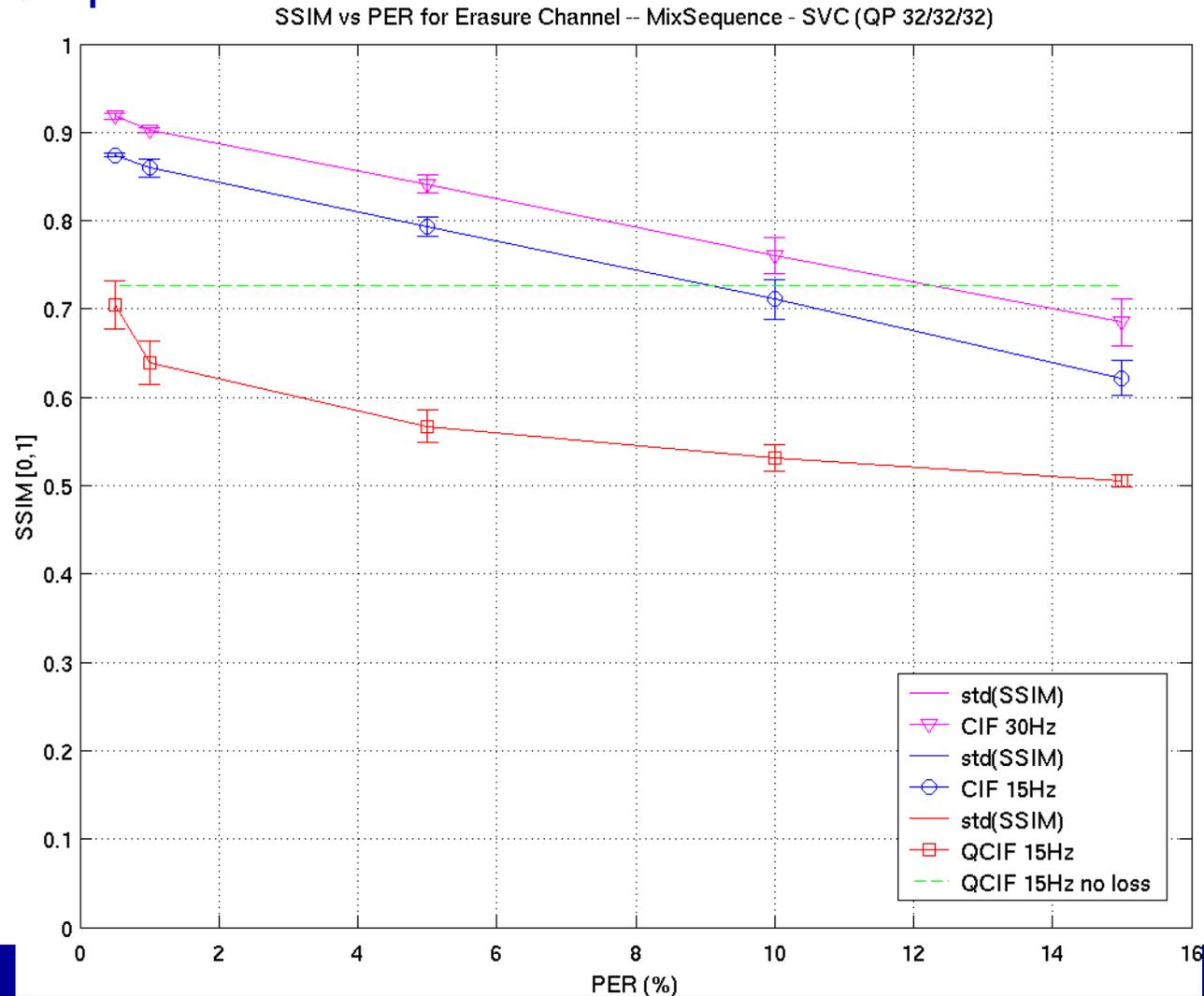
- Utilisation du SSIM pour comparer les qualités obtenues en décodant les différents niveaux de résolution d'un flux SVC



Extension : cas d'un flux scalable en présence de pertes



- Utilisation du SSIM pour comparer les différentes résolutions d'un flux SVC en présence de pertes



Transmission d'un signal vidéo numérique





La transmission d'un signal vidéo numérique

- Rappels et généralités sur la transmission de signaux numériques
- Mise en forme du signal au niveau applicatif
 - Multiplex standards applicatifs : DVB, MPEG, AVI
- La diffusion de type « broadcast »
 - Différents standards pour différents canaux : DVB-C, DVB-T, DVB-S, ...
- La diffusion de type « streaming »
 - De l'importance d'une voie de retour
 - Standards clefs : RTP/RTCP sur pile IP
- Principes de l'IMS

Transmission d'un signal vidéo numérique : littéralement

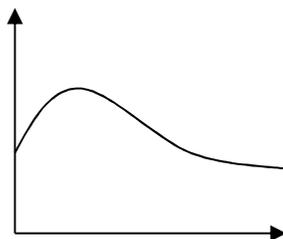


- Emission/réception :
 - Diffusion de type broadcast
 - Diffusion de type streaming
 - Communication point à point bidirectionnelle de type visiophonie
- Vidéo
 - La problématique de la partie audio reste valable mais écartée ici du fait de ses débits bien plus faibles
 - Codage de source : quelle limite de compression, reconstruction non parfaite
- Signal numérique
 - Le signal est numérisé et encapsulé dans un standard de diffusion/communication
 - Une approche protocolaire de type OSI est considérée

Transmission d'un signal vidéo numérique : littéralement



- Numérique, vous avez dit numérique ?
 - donnée numérique \Leftrightarrow représentée sous forme d'un ensemble de valeurs binaires, soit une suite de 0 et de 1
 - donnée analogique \Leftrightarrow représentée par la variation d'une grandeur physique continue



données analogiques



données numériques

- Meilleure qualité ?
 - Intégrité possible !
 - Compression !



Transmission d'un signal vidéo numérique

- Les différents types de flux de signal vidéo (multimédia) numérique
 - Téléphonie (plain old telephony)
 - Application vidéo avec exploitation immédiate (visiophonie, vidéo-conférence)
 - Application vidéo avec exploitation légèrement différée (video on demand, diffusion)
 - Echange de fichiers (vus comme un téléchargement)
 - Mises à jour récurrentes de bases de données (ex: traitements capteurs)
- Les différentes contraintes pour une transmission de signal vidéo numérique
 - Bande passante
 - Latence (capacité à offrir permettre les échanges en temps-réel)
 - Intégrité temporelle des flux
 - Intégrité du contenu : peu d'erreurs ou peu de pertes
 - Absorption de la sporadicité trafic



Transmission d'un signal vidéo numérique

- On distingue donc deux classes :
 - Services synchrones
 - Téléphonie, visio-phonie, visio-conférence, VoD, diffusion
 - Contraintes temps-réel, intégrité temporelle, peu de pertes, bande passante
 - Services asynchrones
 - Échanges de fichiers, mise à jour bases de données
 - Capacité à absorber la sporadicité du trafic, aucune erreur/perte



Transmission d'un signal vidéo numérique

- Quelle(s) offre(s) ?
 - On avait traditionnellement deux types d'offres, correspondants aux services synchrones classiques que sont la diffusion de télévision et de voix :
 - diffusion de télévision point à multi-points (approche « broadcast »)
 - diffusion de voix bi-directionnelle en point à point (approche « unicast »)
 - Approche de type FDM (Frequency Division Multiplexing) ou type TDM (Time Division Multiplexing)
 - Format de données initialement analogiques
- Mais
 - La bande passante hertzienne est limitée
 - Le RTC n'a pas la bande passante suffisante pour les flux multimédia hors voix
 - L'approche TDM/FDM avec réservation ne permet pas de gagner en efficacité grâce au multiplexage
 - Les standards analogiques sont loin d'être les plus efficaces



Transmission d'un signal vidéo numérique

- Quelle(s) offre(s) ? (cont.)
 - On est passé à deux nouvelles offres, capables d'offrir des services asynchrones grâce au gain d'efficacité apporté par la chaîne numérique (gain de compression, gain d'efficacité en émission) :
 - Diffusion de signaux multimédia globale et services ajoutés numériques (téléguide, VoD, ...) sur voie hertzienne/câble/satellite
 - Diffusion de services multimédia, voix, données sur réseau filaire/sans fil de type Internet
 - Les deux approches ne sont pas nécessairement antagonistes, mais reposent sur des modèles techniques et commerciaux assez différents
 - Approche 1 ⇔ Diffusion « broadcast » avec voie de retour possible mais limitée
 - Approche 2 ⇔ Diffusion « Internet » (filaire ou non)

Transmission d'un signal vidéo numérique

—

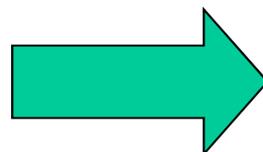
transmission sur liens dédiés *broadcast*





La diffusion de type « broadcast »

- Il était une fois la télévision analogique ... terrestre
 - Transmission des signaux SECAM, PAL ou NTSC avec éventuel multiplexage de données additionnelles (voix, télétexte, ...) sur voie hertzienne
- La diffusion analogique s'est arrêtée (en France) en 2011



NB: la télévision analogique existe toujours sur le réseau analogique câblé et pour quelques chaînes satellites ...



La diffusion de type « broadcast »

- Vive le numérique donc ... mais lequel ? câble, hertzien, satellite, mobile ?
- Différents consortiums, tel DVB en Europe, ont proposé des solutions plus ou moins communes pour ces différents médiums, avec selon le cas :
 - une largeur de bande adaptée (aux contraintes techniques et administratives)
 - des conditions de transmission (rapport signal/bruit, présence d'interférences, d'échos, ...) liées au canal de propagation
- Ainsi on a par exemple :
 - en réception satellite :
 - faible rapport C/N (en général de 4 à 8 dB),
 - Pratiquement aucun écho.
 - en réception câble :
 - rapport S/B relativement élevé (20 à 30 dB environ),
 - Signal pouvant être affecté d'échos courts dus à des désadaptations d'impédance de ligne.
 - en réception hertzienne terrestre (fixe ou mobile) :
 - échos aggravés, variations de signal importantes, interférences ...



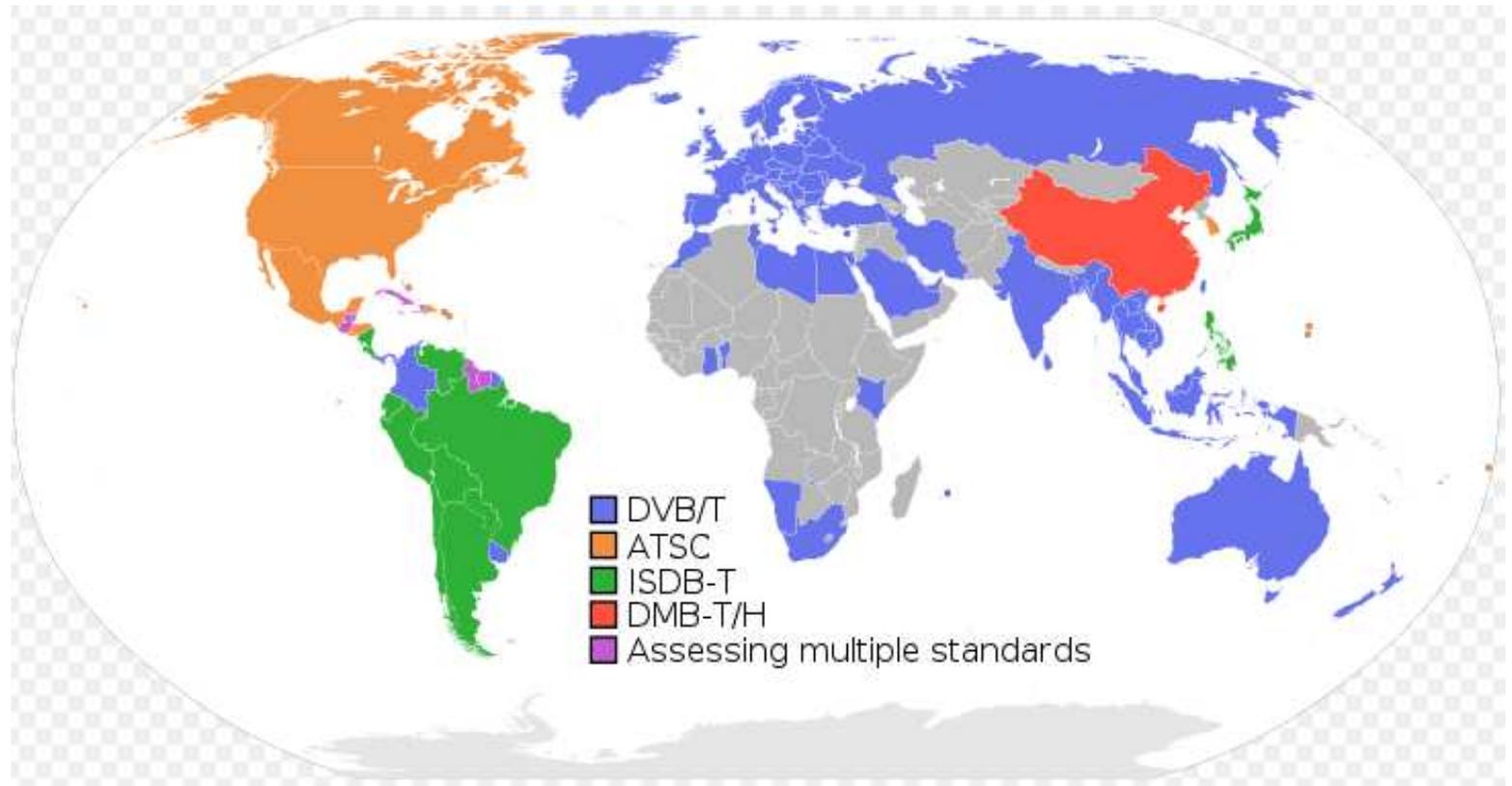
La diffusion de type « broadcast »

- Facteurs objectifs : pro/contra TNT
- Pour la diffusion numérique type TNT
 - Interactivité et nouveaux services : guide de programmes
 - Réduction de la bande passante moyenne par chaîne
 - Capacité HD (amélioration image et son dont intégration multi-lingue)
 - Utilisation plus rationnelle du spectre
 - Chaînes payantes
 - Fin des problèmes d'écho
- Contre la diffusion numérique TNT
 - Grosse dégradation du signal télévisé en cas de problème de transmission (images non regardables)
 - Lenteur au changement de chaîne
 - Nécessité d'avoir un récepteur numérique par téléviseur
 - Impossibilité de regarder une chaîne tout en enregistrant une autre pour les téléviseurs non équipés d'un deuxième tuner numérique.



La diffusion de type « broadcast »

- On parle de DVB ... mais est-ce déployé partout ?
 - DVB est principalement européen, un peu en Asie Pacifique et en Afrique
 - Des standards proches sont ATSC (Amérique du nord), ISDB (Japon et Amérique du sud) et DMB (Chine, Corée)

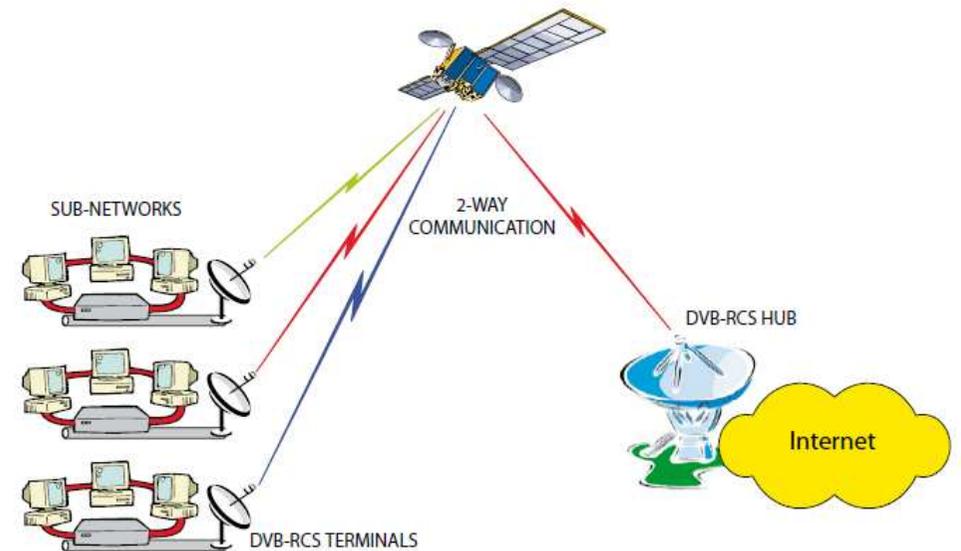


Source: wikipedia, 2010



La diffusion de type « broadcast »

- La famille des standards DVB :
 - DVB-C (-C2) : diffusion par câble
 - DVB-S (-S2) : diffusion satellite
 - DVB-T (-T2) : diffusion numérique terrestre (fixe)
 - DVB-H : diffusion numérique terrestre vers les mobiles
 - DVB-SH : diffusion satellite vers les mobiles (avec relais terrestres)
- Possibilité de voies de retour
 - DVB-RCS : voie de retour par satellite
 - DVB-RCT : voie de retour terrestre



Source: dvb.org, 2010



La diffusion de type « broadcast »

- Principe de la diffusion d'un signal DVB :
 - Mise en forme des données sources
 - capture/génération des données à transmettre (audio, vidéo, données additionnelles)
 - compression numérique audio et vidéo (réduction de la redondance)
 - multiplexage de l'ensemble des données
 - confidentialité éventuelle : chiffrement des données (ayants droits, vie privée ...)
 - Transmission du signal vers l'émetteur (satellite, pylône DVB-T, ...)
 - Diffusion par l'émetteur
 - Réception individuelle avec antenne adaptée
 - Extraction et décodage des données
 - déchiffrement éventuel
 - démultiplexage
 - décompression numérique
 - affichage sur l'écran



La diffusion de type « broadcast »

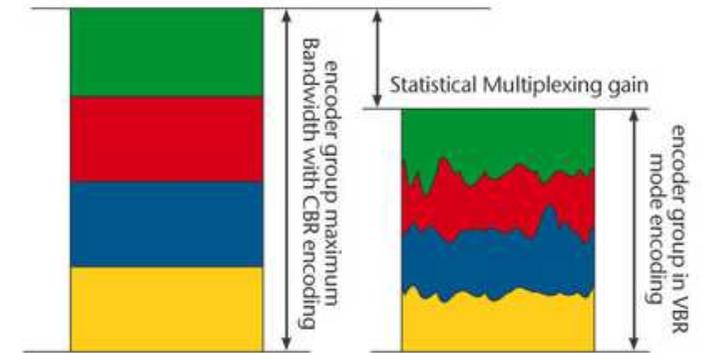
- Codage de source
 - MPEG-2
 - H.264 (MPEG-4 Part 10)
- Selon la résolution envisagée pour les écrans en réception, le taux de compression va varier
 - Ex: DVB-H passera ~15 à 25 chaînes par canal, alors que DVB-T en passe 6
- Nota : à côté de DVB-H/-SH, d'autres solutions de diffusion broadcast vers les mobiles ont aussi vu le jour, comme MBMS (Mobile Broadcast Multicast Service) sur UMTS



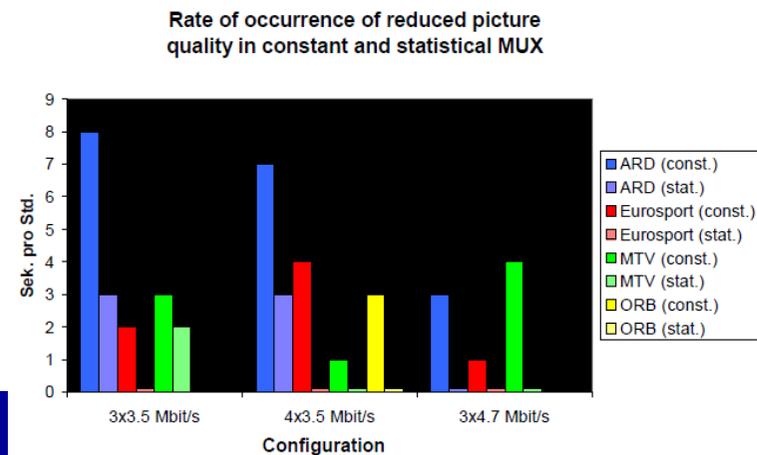
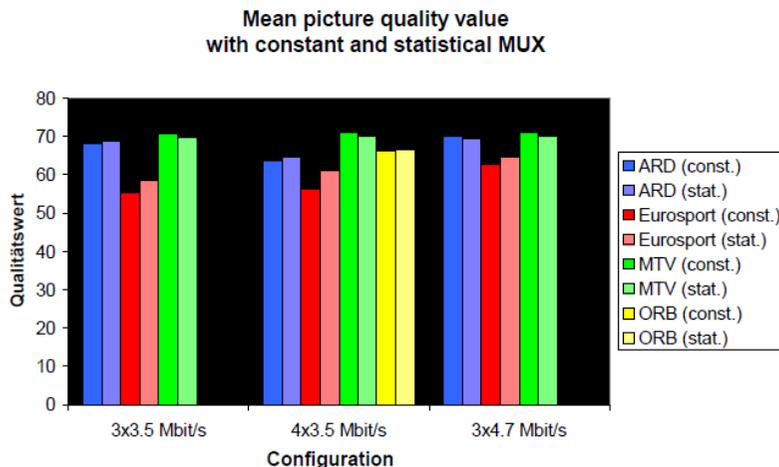
La diffusion de type « broadcast »

- Le multiplexage statistique : fin de pure division des ressources
 - Utilisé dans DVB-T, DVB-H

- Deux types de gain :
 - Réduction en débit total utilisé



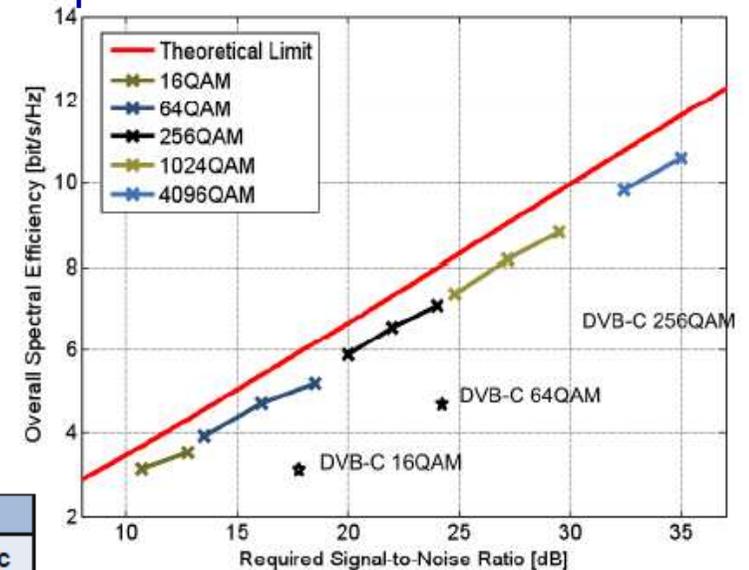
- Amélioration de la qualité des images (réduction des occurrences d'images dégradées) : l'utilisation possible de compression à débit variable (VBR) évite les dégradations liées à des changements de scènes, fort mouvement ...
- Illustration : tests Rohde-Schwarz 2000 sur DVB-T





La diffusion de type « broadcast »

- Modulation et codage canal
 - DVB-C(-C2)
 - Schémas de modulation capables de résister aux échos causés par les installation coaxiales à la maison et très robuste aux bruits impulsifs
 - Modulation QAM, COFDM
 - Code Reed-Solomon, code LDPC+BCH



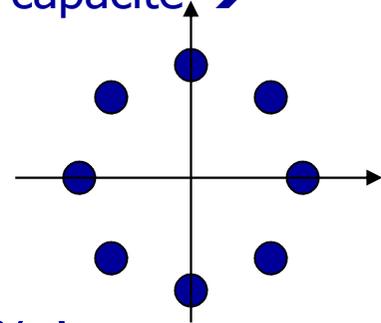
Source: dvb.org, 2010

	DVB-C	DVB-C2
Input Interface	Single Transport Stream (TS)	Multiple Transport Stream and Generic Stream Encapsulation (GSE)
Modes	Constant Coding & Modulation	Variable Coding & Modulation and Adaptive Coding & Modulation
FEC	Reed Solomon (RS)	LDPC + BCH
Interleaving	Bit-Interleaving	Bit- Time- and Frequency-Interleaving
Modulation	Single Carrier QAM	COFDM
Pilots	Not Applicable	Scattered and Continual Pilots
Guard Interval	Not Applicable	1/64 or 1/128
Modulation Schemes	16- to 256-QAM	16- to 4096-QAM



La diffusion de type « broadcast »

- Modulation et codage canal
 - DVB-S(-S2)
 - Bande S
 - Lien à très gros affaiblissement , amplificateurs au maximum de leur capacité → modulation peu sensible aux distorsions d'amplitude
 - Modulation QPSK, 8-PSK, APSK
 - Codes Reed-Solomon+convolutif, codes LDPC+BCH
- Gains introduits par la version -S2 et mesurés en pratique : > 20% !



Satellite EIRP (dBW)	51		53.7	
System	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulation & Coding	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Symbol Rate (Mbaud)	27.5 ($\alpha = 0.35$)	30.9 ($\alpha = 0.2$)	27.5 ($\alpha = 0.35$)	29.7 ($\alpha = 0.25$)
C/N (in 27.5MHz) (dB)	5.1	5.1	7.8	7.8
Useful Bitrate (Mbit/s)	33.8	46 (gain = 36%)	44.4	58.8 (gain = 32%)
Number of SDTV Programmes	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Number of HDTV Programmes	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

Figure 1. Example comparison between DVB-S and DVB-S2 for TV broadcasting (Source: EBU Technical Review 10/04)



La diffusion de type « broadcast »

- Modulation et codage canal
 - DVB-T(-T2)
 - Bandes VHF et UHF (bandes III : 174-230 MHz, IV et V : 470-862 MHz)
 - COFDM (coded OFDM) : très résistance aux multi-trajets
 - Évolutions : modulation hiérarchique, constellations tournées
 - Options :
 - tous les multiplex France n'utilisent pas les mêmes paramètres ...
 - Certains pays (p. ex. Espagne, R1 en France) utilisent le mode SFN

	DVB-T	DVB-T2 (new/different options in red)
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT Size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total

- Exemple de comparaison de l'efficacité des modes -T et -T2 :

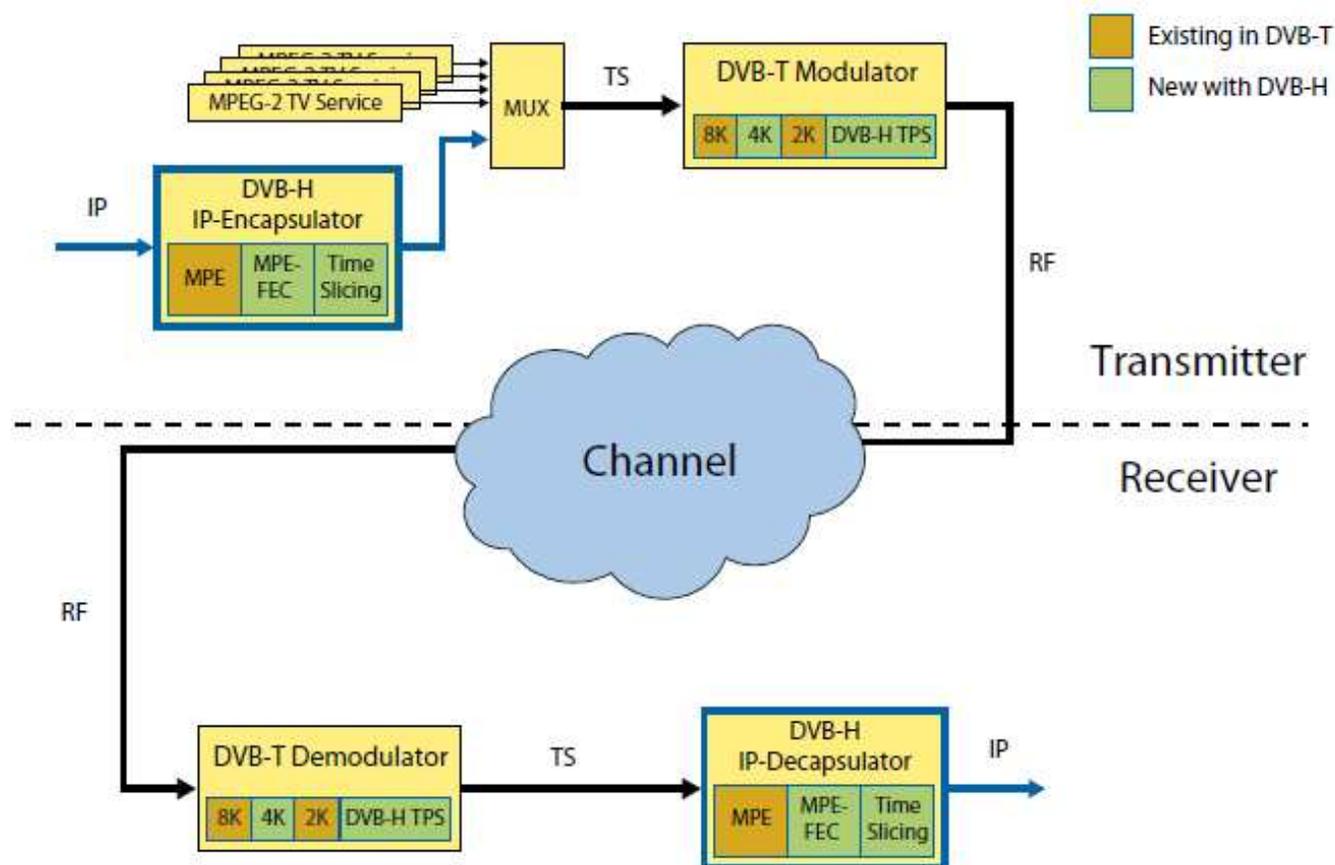
	Spectrum Efficiency		Robustness	
	Useful data rate at fixed C/N ratio		Required C/N ratio at fixed useful data rate	
	C/N (dB)	Data Rate (Mbit/s)	C/N (dB)	Data Rate (Mbit/s)
DVB-T	20.2	29.0	16.7	22.1
DVB-T2	20.5	47.8	8.9	21.3

dvb.org, 2010



La diffusion de type « broadcast »

- Modulation et codage canal
 - DVB-H : spécification de couche physique permettant la diffusion de data encapsulée IP sur des réseaux terrestres (*broadcasting to handhelds*)
 - Statistical multiplexing



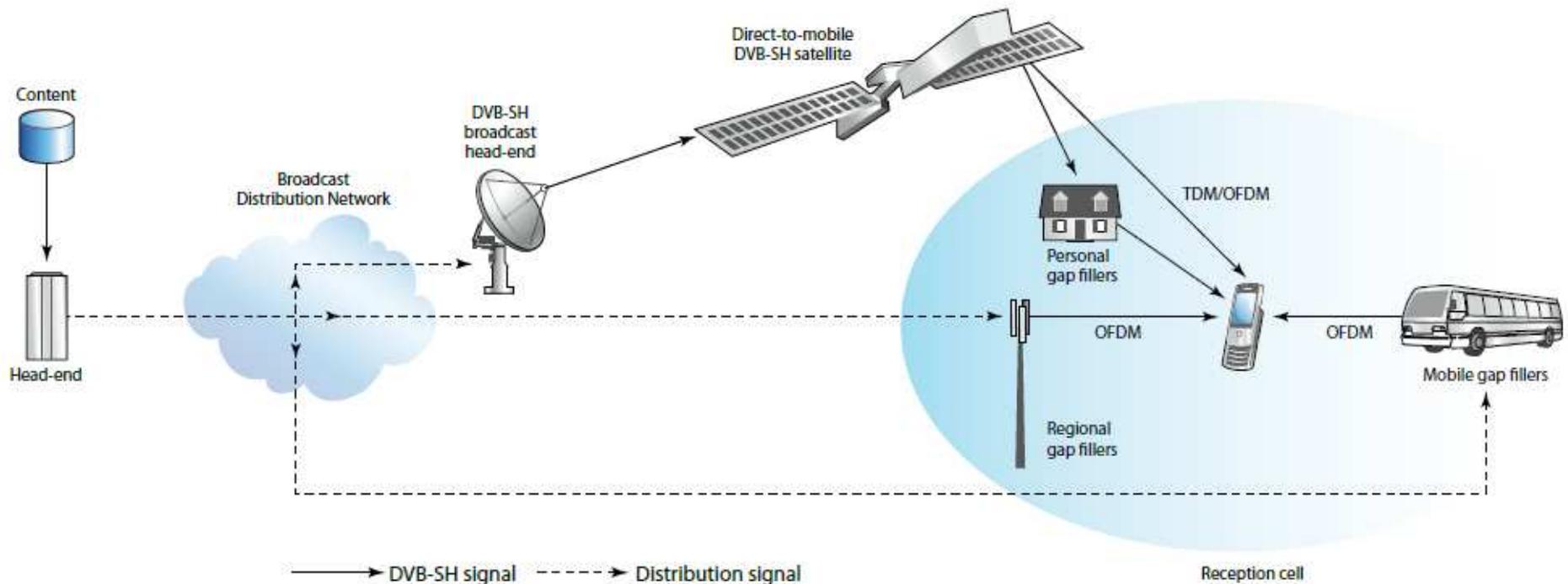


La diffusion de type « broadcast »

- Modulation et codage canal

- DVB-SH

- Bande VHF, UHF et L (bandes III, IV, V et 1452-1492 MHz)
 - Deux solutions possibles : SH-A (OFDM pour le lien satellite et le lien terrestre) ou mode SH-B (TDM pour le lien satellite et OFDM pour le lien terrestre)
 - Turbocode (3GPP2 turbocode)

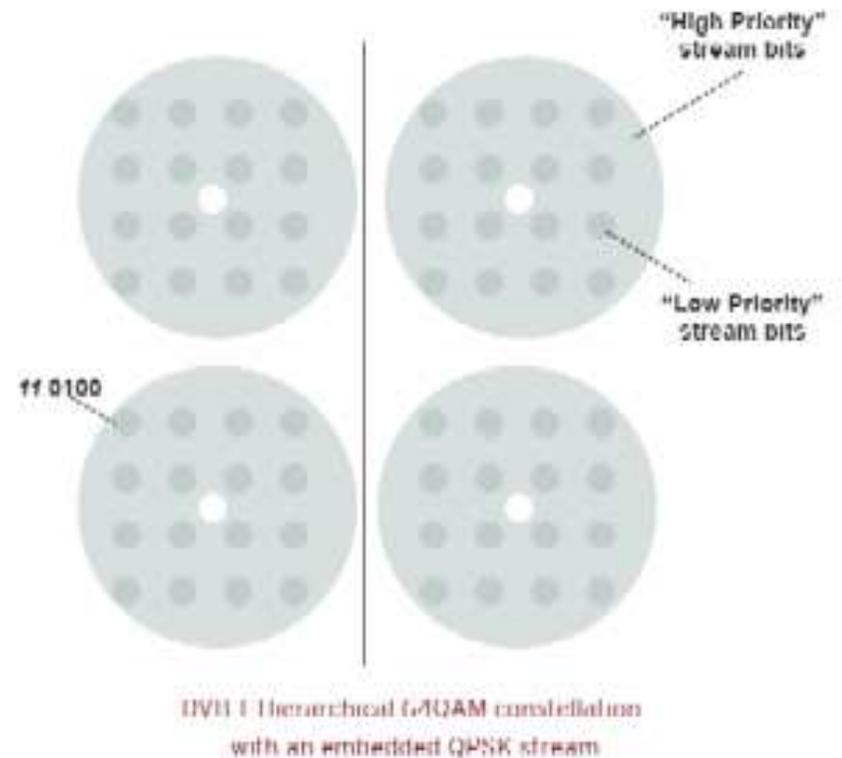


Source: dvb.org, 2010



La diffusion de type « broadcast »

- Focus : modulation hiérarchique (DVB-T)
 - Option permettant de séparer le le symbole modulé en deux services grâce à un étiquetage astucieux
- Exemple avec une 64-QAM : **110100**
 - 2 bits (MSB) pour le service robuste
 - 4 bits (LSB) complète le service total

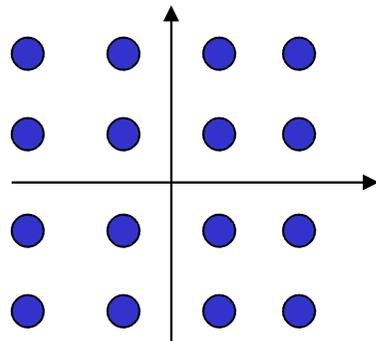




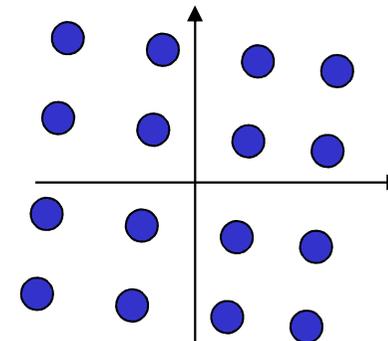
La diffusion de type « broadcast »

- Focus : constellation tournée (DVB-T2)
 - Option permettant de mieux résister aux effets des évanouissements
 - Gain en diversité
 - Démodulation un peu plus complexe

16-QAM



rotated
16-QAM





La diffusion de type « broadcast »

- Focus : la COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - Objectif : faire face aux multi-trajets existants en propagation terrestre (on n'est pas forcément en vue directe, et on peut avoir plusieurs trajets avec parfois même des recombinaisons destructives)



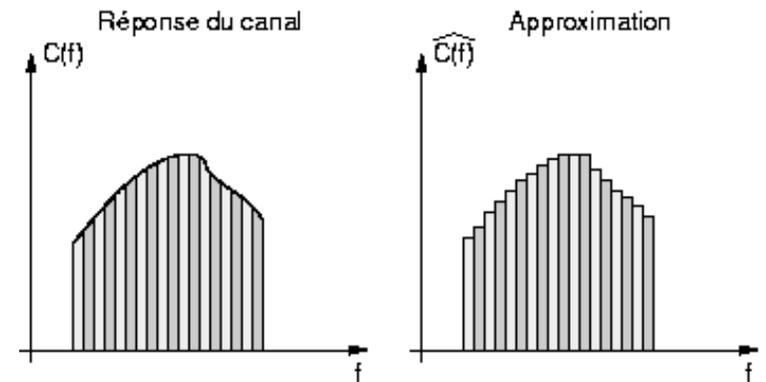
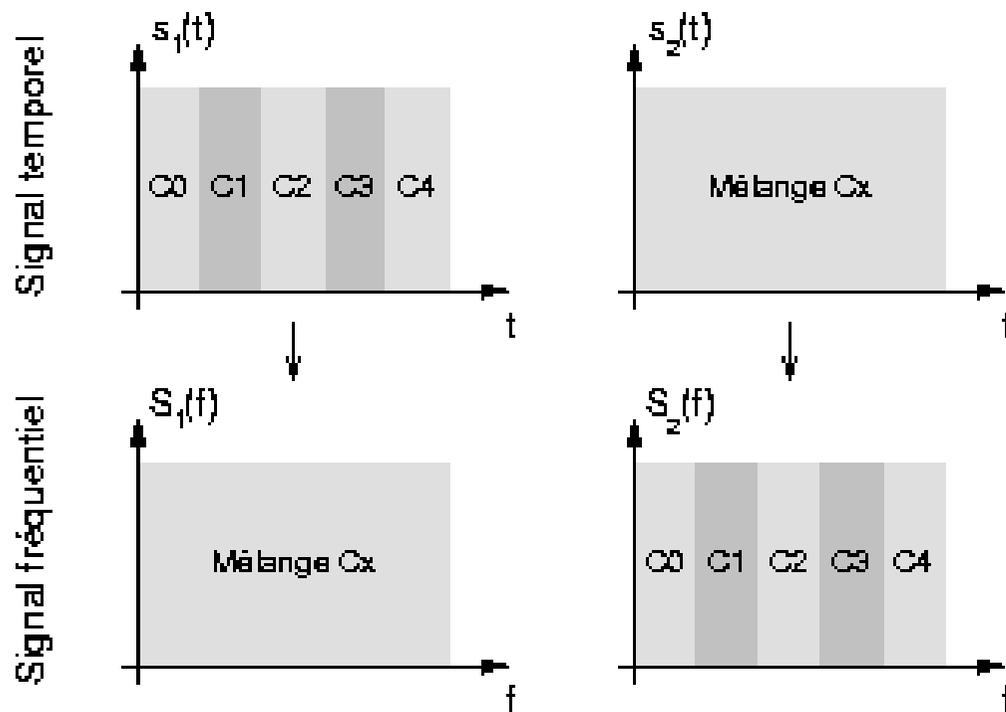


La diffusion de type « broadcast »

- Focus : la COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - Objectif : faire face aux multi-trajets existants en propagation terrestre (on n'est pas forcément en vue directe, et on peut avoir plusieurs trajets avec parfois même des recombinaisons destructives)

Modulation monoporteuse

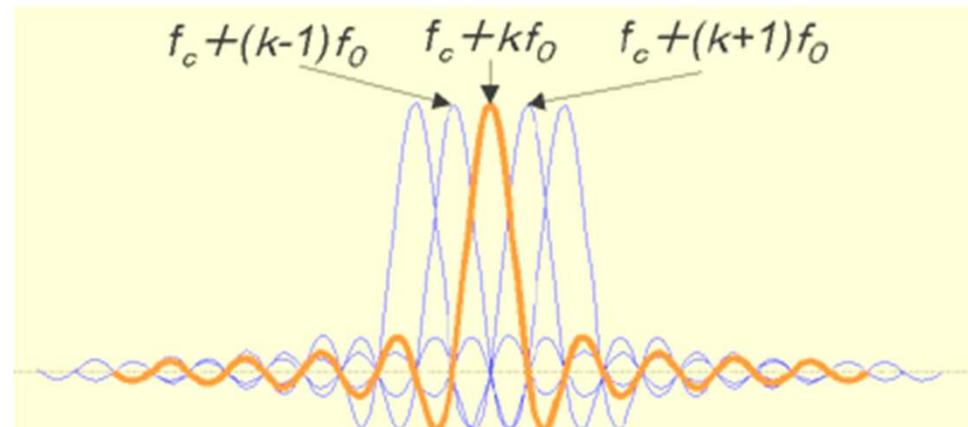
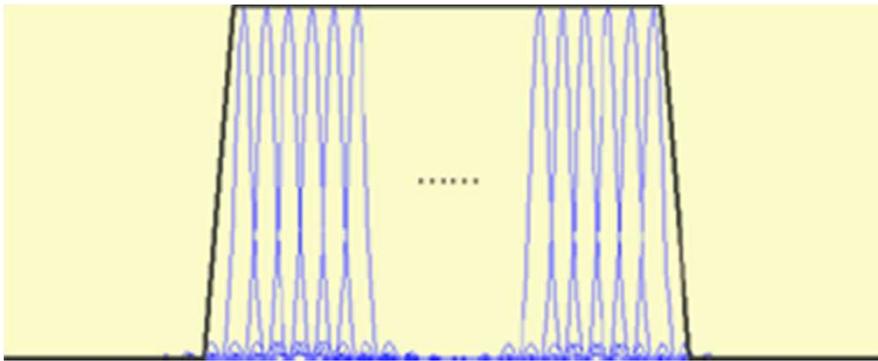
Modulation multiporteuses





La diffusion de type « broadcast »

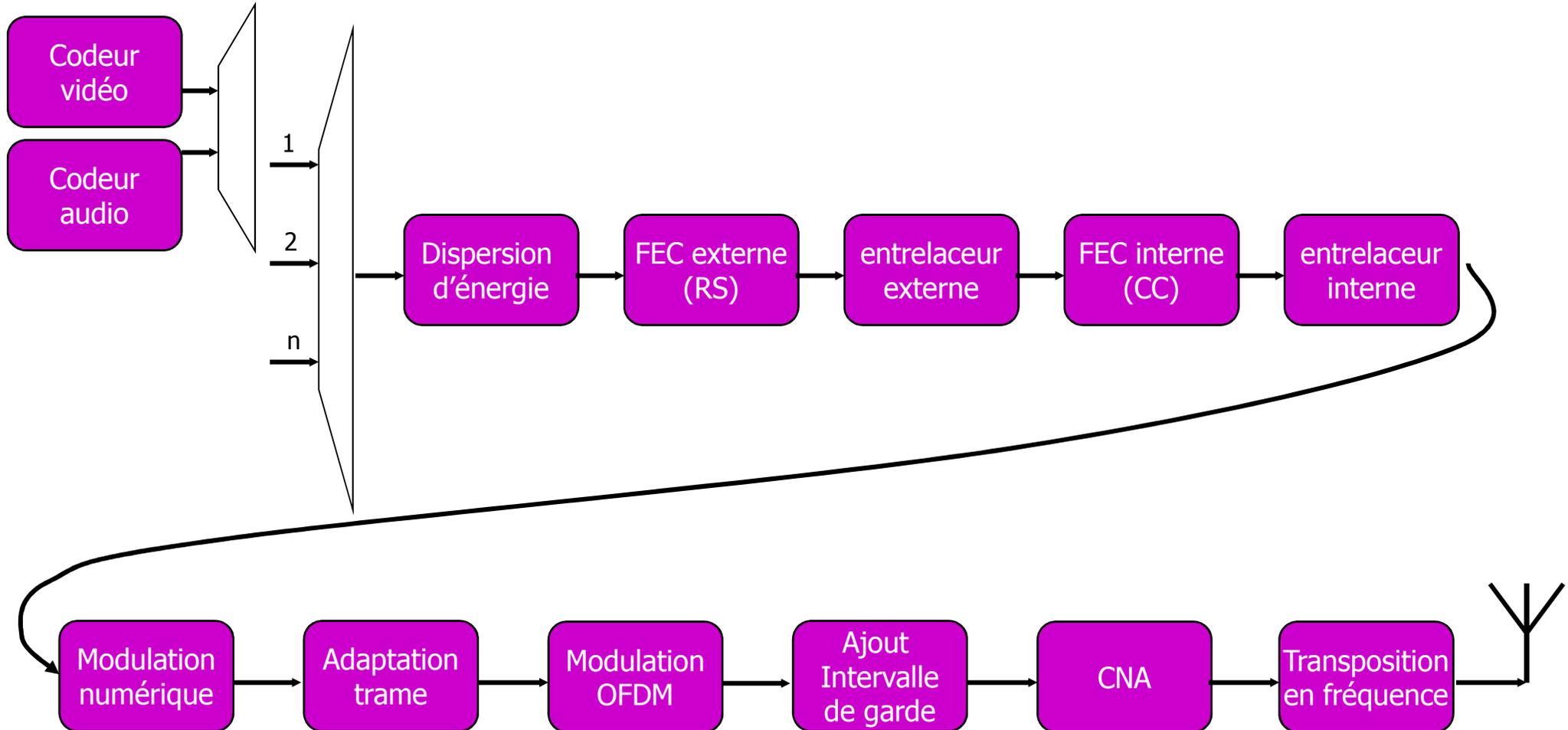
- Focus : la COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - Approche : utilisation d'une modulation OFDM + codage correcteur
 - Répartition de l'information sur l'ensemble des sous-porteuses (entrelacement) : **1k**, **2k** (1705 porteuses), **4k** ou **8k** (6817 porteuses) , **16k**, **32k** chacune modulée en QPSK, 16-QAM ou 64-QAM (ou **256-QAM**)
 - Sur chaque sous-canal la réponse fréquentielle du canal est constante
 - Porteuses orthogonales (au maximum d'une sous-porteuse, les autres sont nulles)
 - Ajout d'une redondance (codage correcteur CC+RS, **LDPC+BCH**)





La diffusion de type « broadcast »

- Focus : exemple de la chaîne complète DVB-T (émission)





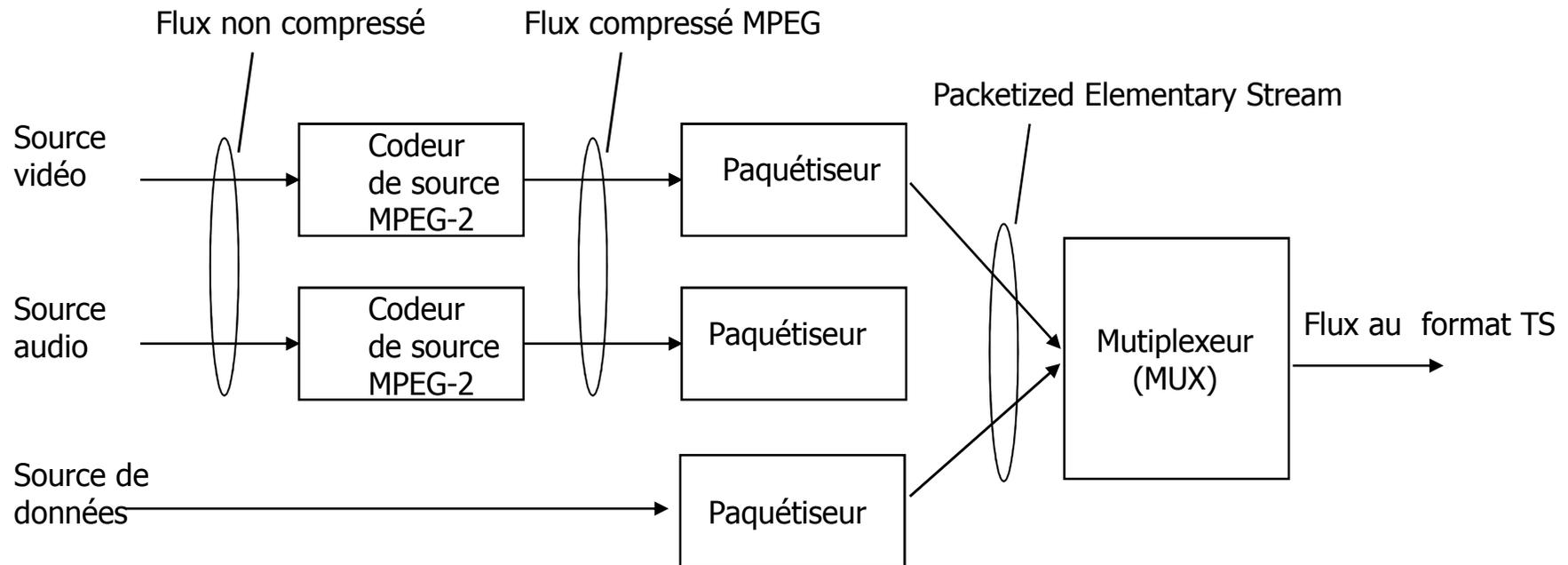
La diffusion de type « broadcast »

- Format MPEG-2 Transport Stream (MPEG-2 TS)
 - Utilisé notamment dans les standards DVB
- NB: le format MPEG-2 des DVD est du PS (Program Stream) pas du TS
- Permet le multiplexage de différents flux (audio et vidéo, mais aussi données) en un unique flux qui sera émis par le diffuseur
- Grands principes :
 - Taille fixe de paquet (188 octets)
 - Adapté à des transmissions imparfaites (détection de perte/erreur mais aussi masquage facilités)
 - Permet de détecter aisément Fixed length packet size
 - Deux types de paquets :
 - Données (PES)
 - Signalisation (PSI : program specific information) : information utilisée par le décodeur pour savoir ce qu'il y a dans le flux (e.g. liste des programmes multiplexés)



La diffusion de type « broadcast »

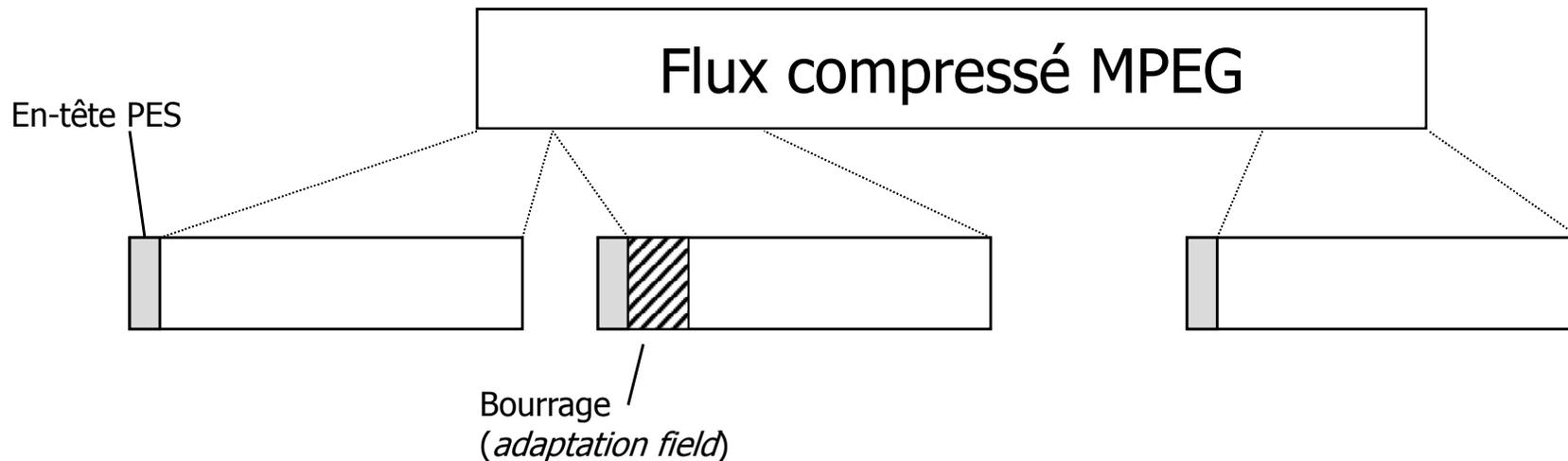
- Format MPEG-2 Transport Stream (MPEG-2 TS)
 - Compression au format MPEG-2 des données multimédia,
 - Paquetisation des données numériques en fragments de taille fixe dits PES (Packetized Elementary Stream)
 - Multiplexage et diffusion du flux





La diffusion de type « broadcast »

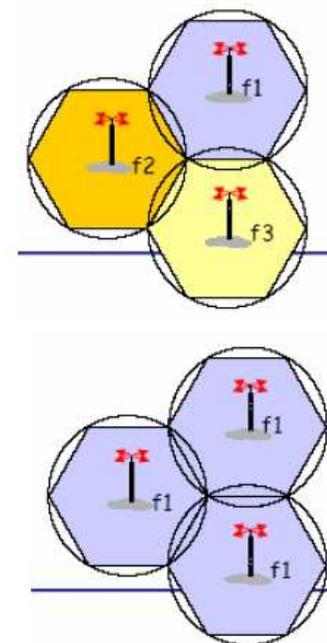
- Format MPEG-2 Transport Stream (MPEG-2 TS)
 - Réalisation de la paquetsation :
 - Données compressées découpées et placées séquentiellement en PES (les trames vidéos ne sont pas découpées entre deux PES)
 - Donc bourrage régulièrement
 - Les en-têtes de PES (4 octets) décrivent le flux et fournissent une étiquette temporelle (*timestamp*)
 - Les trames viUne trame vidéo entière est process





La diffusion de type « broadcast »

- Le passage au tout numérique s'est terminé en France au 30 novembre 2011 (métropole et Outremer) avec 6 multiplex SD ou partiellement HD
 - Moyens mis en œuvre
 - Insertion des multiplex TNT dans les canaux tabous
 - Réaménagement des fréquences
 - Extinction progressive par site, avec réaménagement entre sites éventuels
 - Couverture (2013)
 - ~97% de la population en TNT (~99% avec câble, satellite)
 - ~95% de la population Outremer
 - Type d'organisation des fréquences
 - Réseau MFN (Multi Frequency Network)
 - Réseau SFN (Single Frequency Network)
 - Synchronisation fine
 - Des déploiements toujours en cours : 2 multiplex HD
 - HD1, 6Ter, RMC Découverte ...



Transmission d'un signal vidéo numérique

—

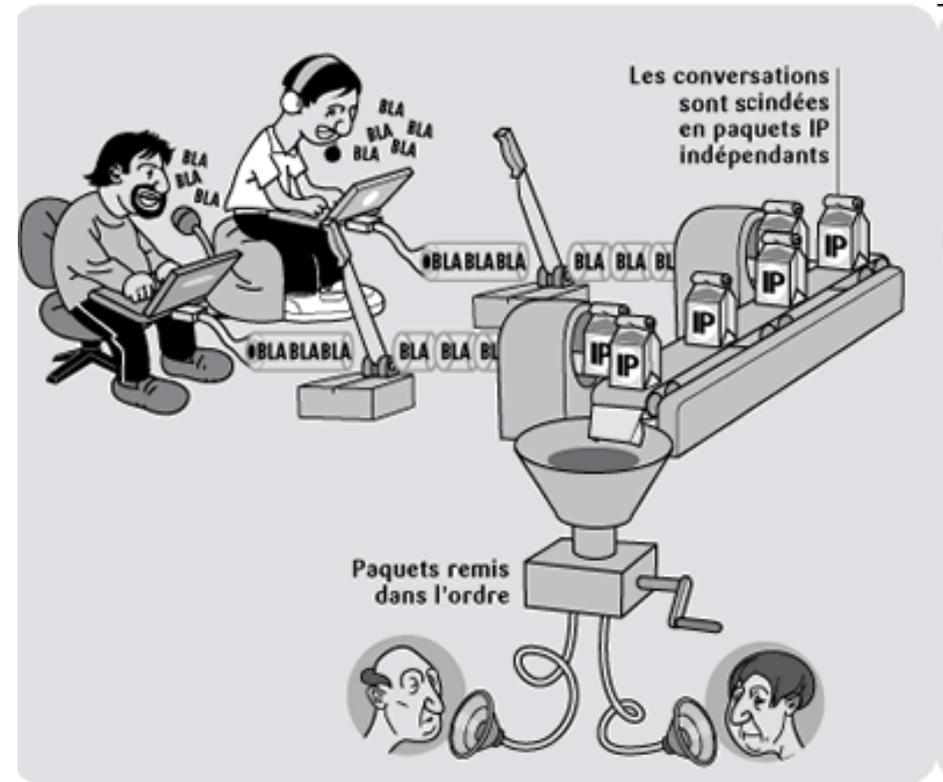
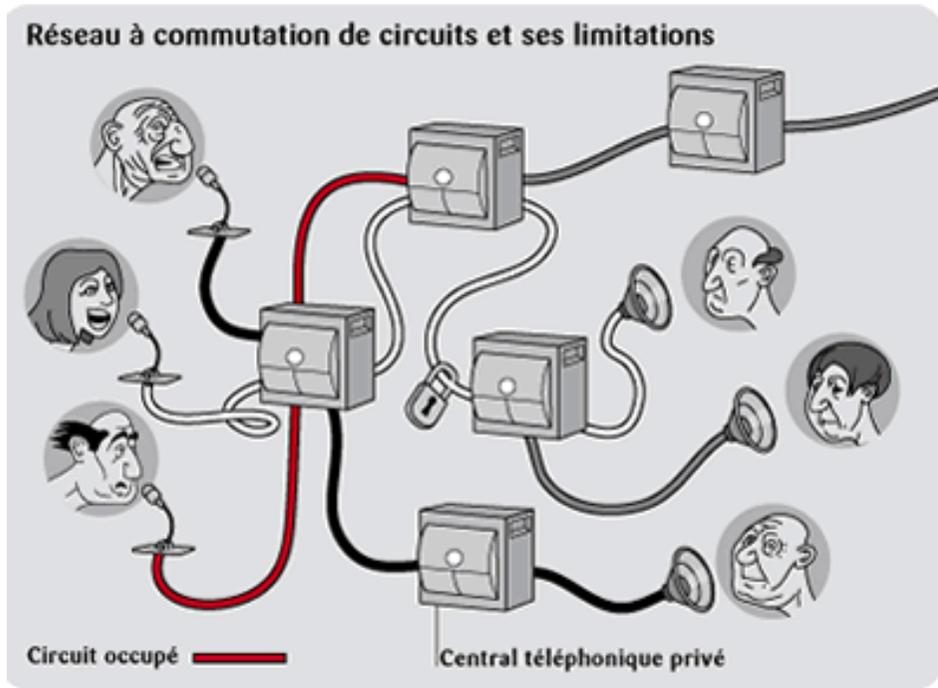
transmission sur réseau à commutation de paquet *streaming*





La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- Commutation de circuits vs. commutation de paquets : les bases



Source: Agence wallonne des télécommunications, 2010

La diffusion sur réseau à commutation de paquets



- Inconvénients de la commutation de circuits
 - Inconvénients de l'approche commutation de circuits pour les usagers :
 - Ressources de transports non partageables
 - Réservation de ressources tout au long du circuit
 - Facturation au temps et à la distance
 - Inconvénients de l'approche commutation de circuits pour les opérateurs :
 - Dimension du réseau
 - Dimensionnement en fonction des besoins des applications les plus exigeantes (flux synchrones) au moment des pics de connexion
 - Nécessité d'un réseau parallèle de synchronisation
 - Pas de paiements pour les moments de sous-charge



La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- Avantages de la commutation de paquets
 - Avantages de l'approche commutation de paquets pour les usagers :
 - Utilisation des ressources (mémoire, CPU, bande passante) uniquement en présence de flux
 - Facturation principalement au volume ou au forfait
 - Avantages de l'approche commutation de paquets pour les opérateurs :
 - Optimisation du dimensionnement du réseau
 - Dimensionnement en fonction de la somme des flux (à chaque moment de la journée) à véhiculer
 - Pas de réseau de synchronisation.
 - Les problèmes de la technique (délai, gigue, pertes de paquets, ...) sont gérés par des mécanismes de retransmission ou de masquage
 - Le prix des équipements de cœur de réseau est moindre car il s'agit de composants commun avec l'industrie informatique



La diffusion sur réseau à commutation de paquets

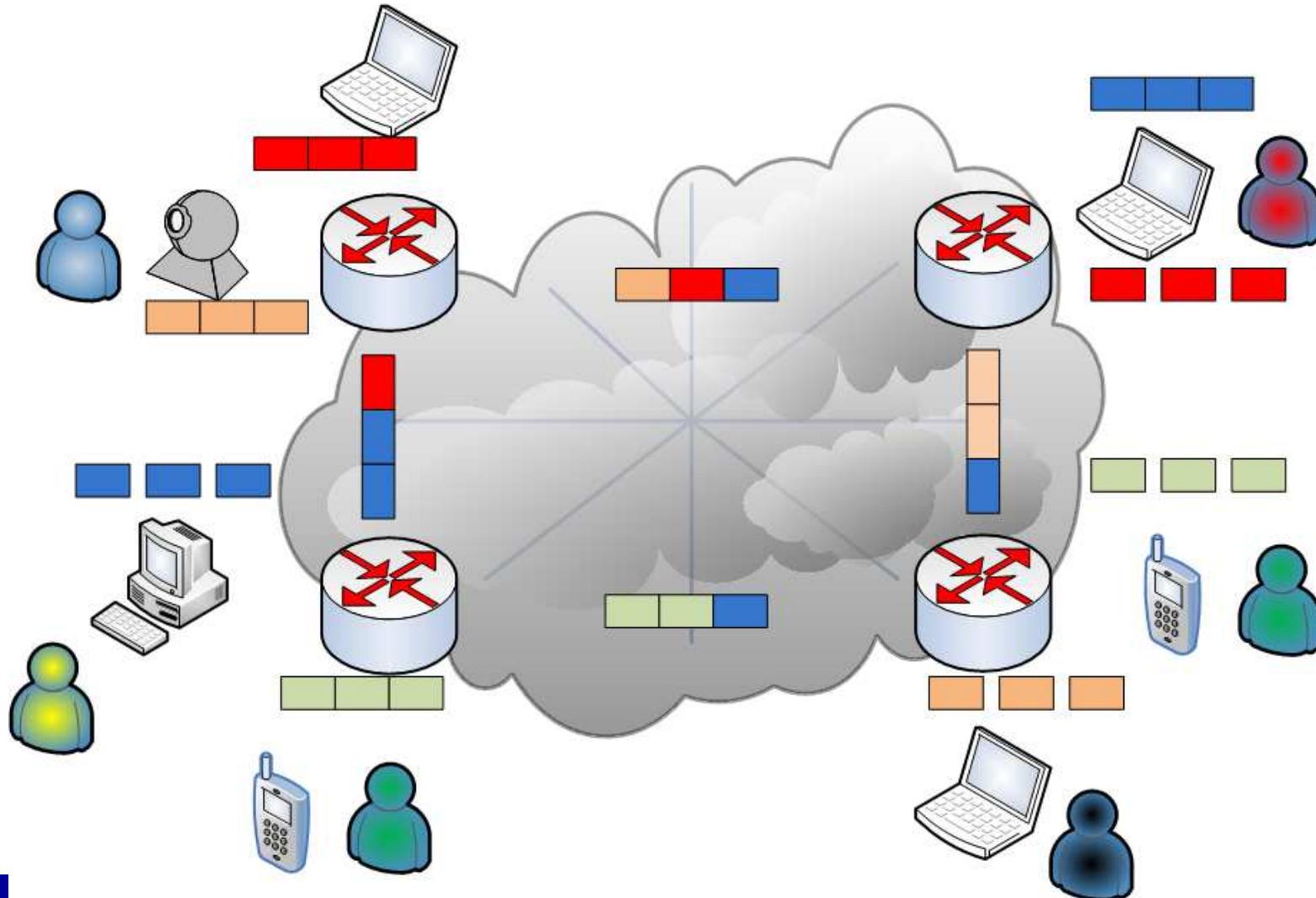
- Inconvénients de la commutation de paquets
 - La garantie de qualité de service n'est pas assurée intrinsèquement par le mécanisme de diffusion (comme il l'était en approche TDM)
 - Il est donc nécessaire d'introduire des mécanismes spécifiques de gestion de qualité de service pour garantir la qualité
 - Correction/masquage des pertes
 - Gestion des priorités
 - Possibilités de réservation pour les flux prioritaires
 - Re-isochronisation

NB: un des moyens d'améliorer les choses est aussi de sur-dimensionner un peu le réseau IP de transit, afin d'éviter les engorgements ...



La diffusion sur réseau à commutation de paquets

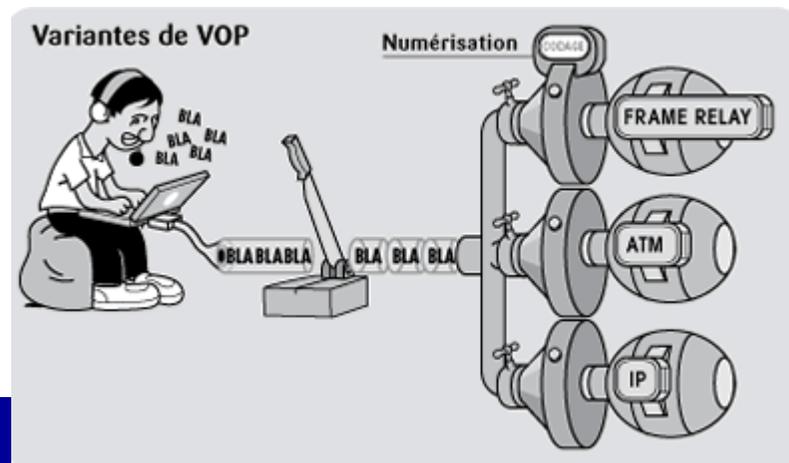
- Impacts de l'acheminement en mode paquet : besoin en QoS





La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- Impacts de l'acheminement en mode paquet :
 - Introduction de mécanismes de résorption de gigue
 - e.g. mémoires tampon, mécanismes de suivi de la variation débit/gigue, ...
 - Introduction de mécanismes de masquage de pertes
 - e.g.
 - Introduction de mécanismes de différenciation de QoS
 - e.g. marquage de flux (DiffServ), mécanismes de réservation (IntServ)
- Intérêt : les paquets peuvent être transportés, une fois numérisés, sur différents médias de manière transparente pour l'utilisateur





La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- Empilement protocolaire de référence
 - « Modèle ISO »
 - Chaque couche (N) ne voit que les couches voisines (N+1, N-1)
 - Indépendance des couches
 - Approche SDU/PDU d'une couche à la couche inférieure
 - Approche PDU/PDU d'une couche à la même couche en réception
 - Niveau 4 « transport »
 - Différents protocoles : TCP, UDP, ...
 - Niveau 3 « réseau »
 - Protocole IP
 - Paquets
 - Niveau 2 « liaison de données »
 - Différents protocoles
 - Trames, cellules
 - Niveau 1 « couche physique »
 - Différents protocoles
 - Octets transmis sur le médium

Application

Présentation

Session layer

Transport layer

Network layer

Data Link layer

PHY layer



Protocoles de transport : principe

- La couche Transport
 - Rôle : permettre à des applications tournant sur des machines distantes de communiquer
 - Moyen : communication des processus application via un champ d'identification, le numéro de port
 - NB: ceci fonctionne en théorie indépendamment des couches basses, mais bien entendu la couche réseau doit être la même (IPv4 OU IPv6)
- Deux protocoles principaux ont été établis depuis le commencement d'Internet :
 - UDP
 - TCP



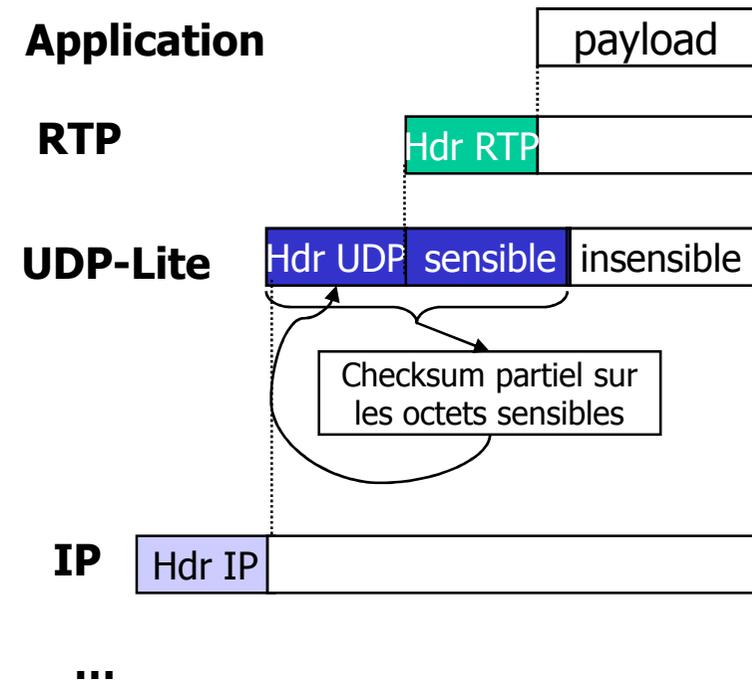
Protocoles de transport : principe

- UDP « User Datagram Protocol »
 - Il fournit un service de transport sans connexion, de type *best effort*, sans ordonnancement et sans garantie
 - Il est simple, mais n'offre pas de mécanismes de correction ni de suivi de qualité (taux d'erreur/pertes en particulier)
 - Pour véhiculer des données multimédias, on lui adjoint un second protocole : RTP (Real Time Transfer Protocol), et son pendant de contrôle RTCP
- TCP « Transmission Control Protocol »
 - Il fournit un service de transport orienté connexion, avec suivi de l'état de la connexion entre les deux machines distantes
 - Il est complexe, car il offre des mécanismes de correction, de suivi et de contrôle de congestion
 - NB: c'est le protocole « de référence », celui qui est implicitement utilisé pour une communication nécessitant un « 0 erreur »



Protocoles de transport : UDP-Lite

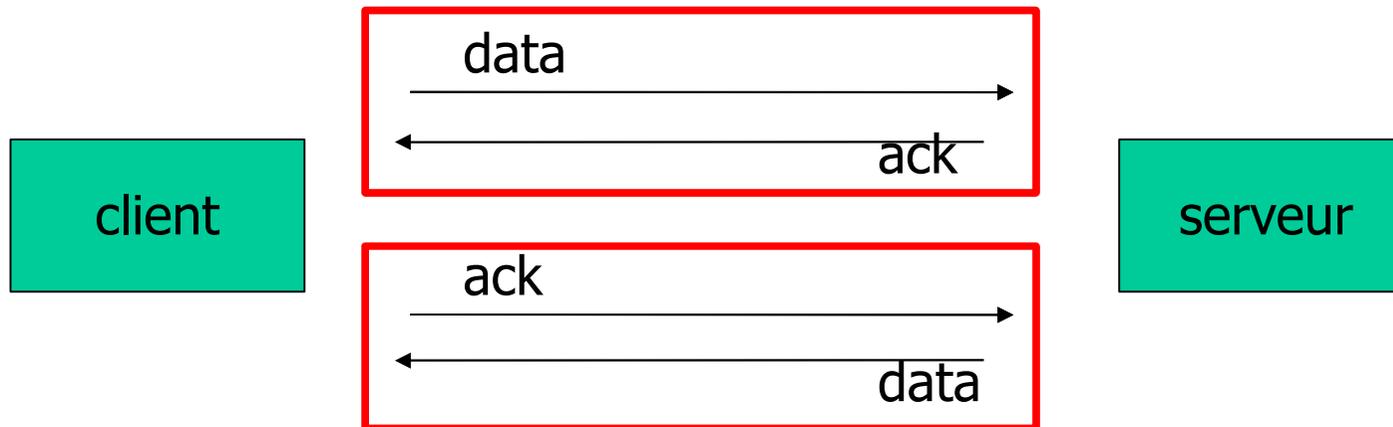
- UDP-Lite
 - Les applications multimédia préfèrent souvent les paquets erronés aux paquets perdus
 - Or le checksum d'UDP élimine tous les paquets corrompus
- Description du protocole UDP-lite:
 - Chaque paquet est divisé en deux parties: sensible (*e.g.* headers) et insensible (*e.g.* les bits moins importants perceptuellement)
 - Si il y a des erreurs sur les bits importants, le paquet est éliminé
 - Si il y a des erreurs sur les bits insensibles, le paquet est transmis tel quel
 - Un checksum partiel couvre seulement les octets les plus sensibles du paquet





Protocoles de transport : DCCP

- DCCP « Datagram Congestion Control Protocol »
 - Service de transport sans garantie de service, mais avec suivi de congestion et de qualité du lien (avec marquage des pertes, via ECN « Explicit Congestion Notification »)
 - Il propose différents mécanismes de contrôle de congestion, en particulier, celui de TCP (CCID 3)
 - DCCP travaille avec deux demi-connexions





Protocoles de transport : SCTP

- SCTP « Stream Control Transmission Protocol »
 - Il fournit des services similaires à TCP (contrôle de congestion, fiabilité du transfert)
 - Il est orienté message (et non octets), avec prise en compte de l'organisation du flux
 - Il permet de regrouper les communications entre plusieurs adresses des mêmes points finaux *multi-homing*
 - Il permet de subdiviser les communications en sous-flux qui sont traités indépendamment *multi-streaming*



Protocoles de transport : que de chemin depuis UDP

- Quelles leçons en tirer ?
 - Quel protocole utiliser ?
 - TCP/SCTP → uniquement si l'on veut une transmission « parfaite »
 - UDP-Lite → simple, paquets avec charge utile corrompue
 - DCCP → permet un suivi de la congestion, et ainsi une information de la raison de la perte : congestion/canal sans fil
- Ces protocoles ont-ils une chance face aux traditionnels UDP/TCP ?
 - Linux vs. Windows
 - Choix d'implémentations et de qualité de service souhaitée : *streaming* ou téléchargement





Protocoles de transport : que de chemin depuis UDP

- Exemple d'amélioration du débit applicatif reçu avec UDP-Lite
 - Pourcentage de bits reçus pour différents canaux (moyenne sur 50 tests)

Error pattern	UDP	UDP-Lite
DRM	95,75	99,70
WCDMA1	97,44	98,76
WCDMA2	98,76	99,68
BSC	64,88	96,90

- DRM : $BER=2,9.10^{-5}$
- WCDMA1 : UMTS channel, $BER=2.10^{-4}$
- WCDMA1 : UMTS channel, $BER=5.10^{-4}$
- BSC channel with $BER=10^{-4}$
- Charge utile: 550 octets max

- Le débit vidéo augmente de 4 à 30% !



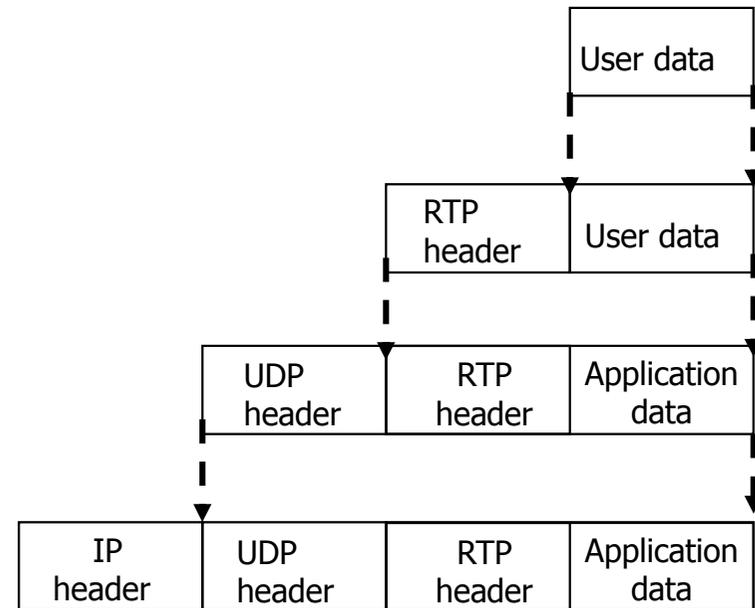
Protocole RTP : principe

- RTP (Real time Transport Protocol) permet d'offrir les fonctionnalités manquantes à UDP (UDP-Lite) en terme de gestion multimédia temps réel ou temps contraint
 - Informations sur pertes, gigue ... introduites par la transmission sur le réseau IP grâce aux messages du protocole de contrôle RTCP
 - Informations de pertes remontées vers l'application (pour solliciter des mécanismes de masquage de pertes par exemple)
 - Informations temporelles (*timestamp*) utilisées pour resynchroniser les flux (et délivrer à l'application un flux aussi isochrone que possible)
- Solution standardisée tant pour l'approche H.323 de l'UIT que pour l'approche SIP de l'IETF



Protocole réseau (IP) : principe

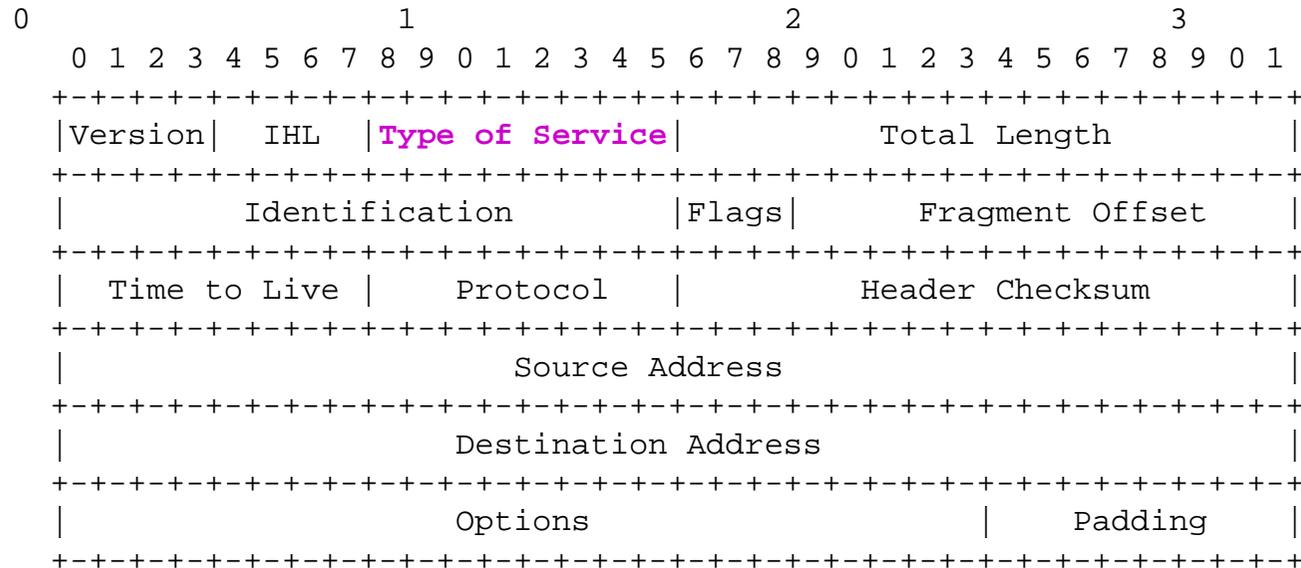
- La couche Réseau
 - Rôle : offrir une capacité de routage entre des machines distantes de communiquer
 - Encapsulation des données transport
 - Deux déclinaisons : v4 et v6





Protocole réseau (IP) : principe

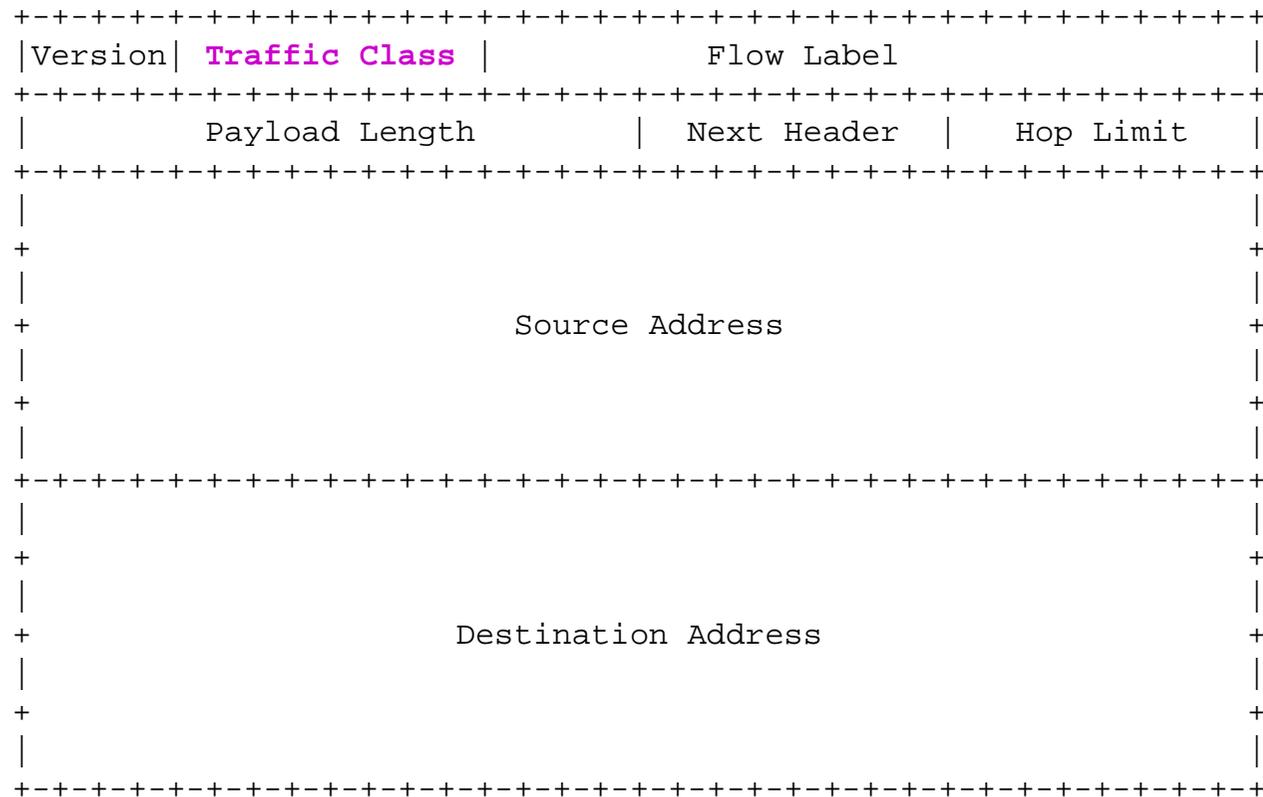
- La couche Réseau – en-tête IPv4





Protocole réseau (IP) : principe

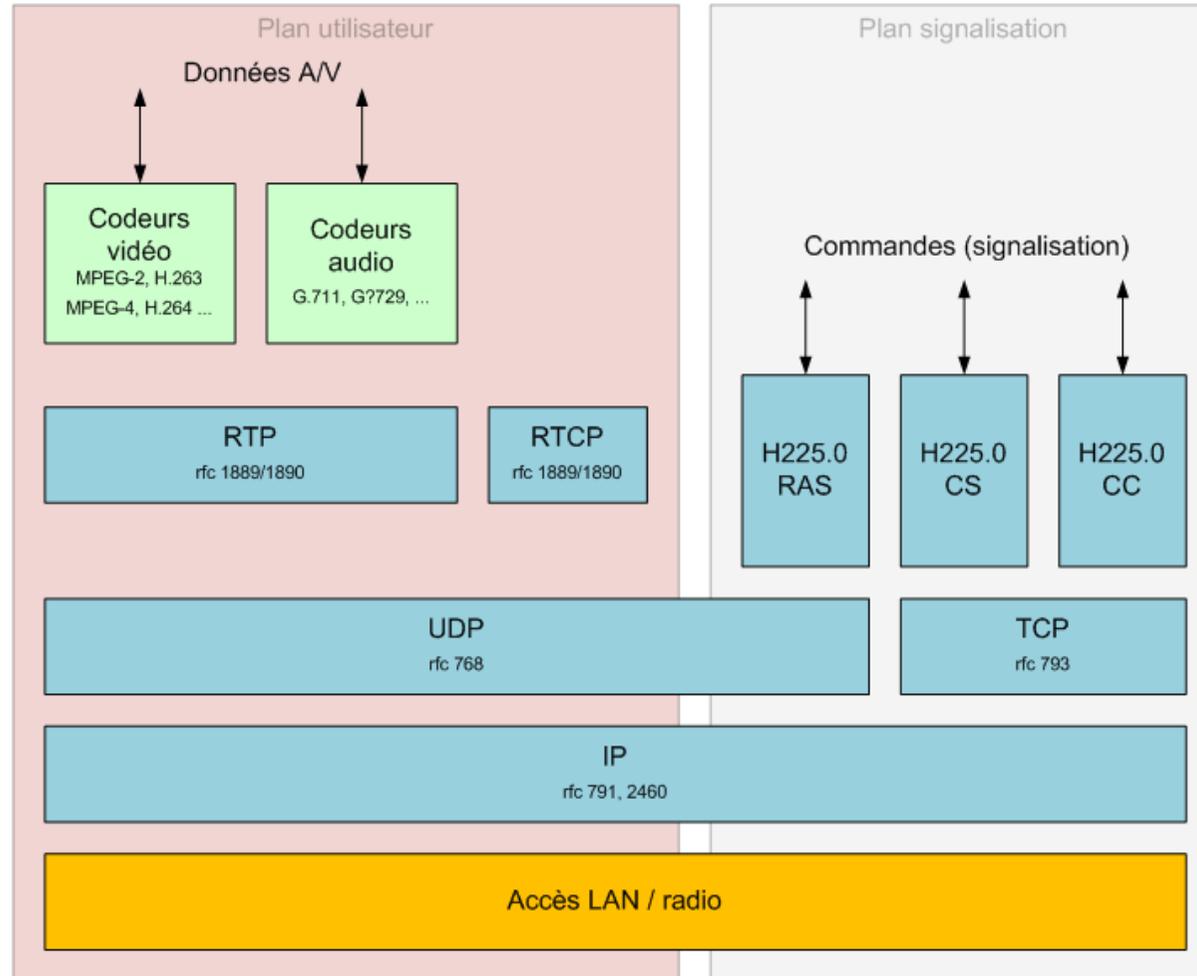
- La couche Réseau – en-tête IPv6





Architecture UIT : H.323

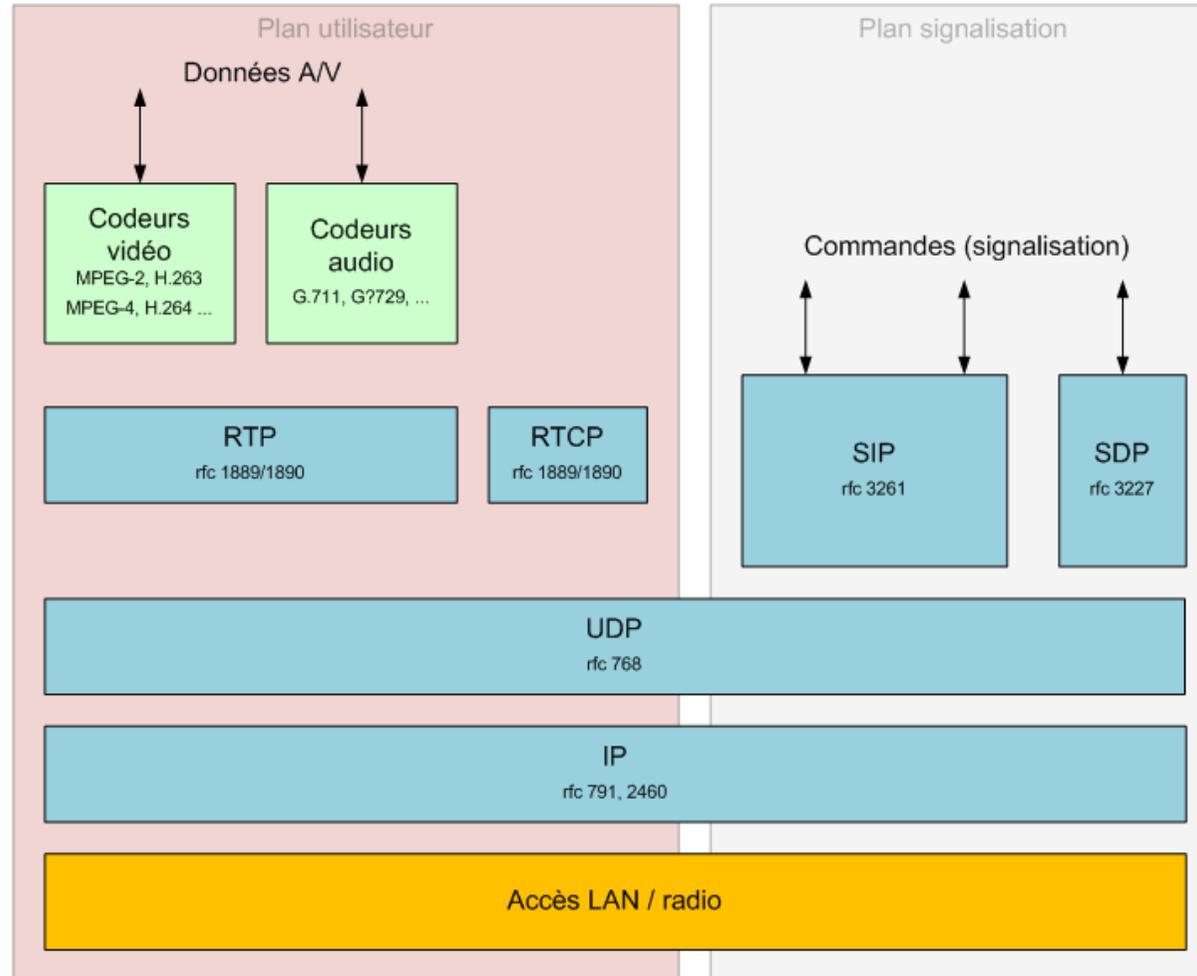
- Services multimédia (voix, vidéo, a/v) offert sur réseau à commutation de paquets





Architecture IETF : SIP

- Services multimédia (voix, vidéo, a/v) offert sur réseau à commutation de paquets





La diffusion sur réseau à commutation de paquets

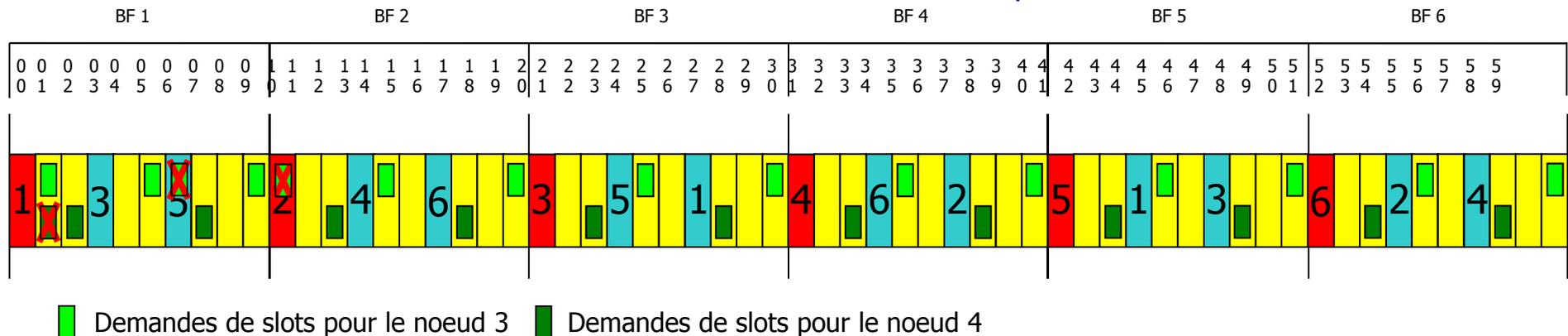
- L'approche IntServ (*Integrated Services*)
 - Mise en place d'un mécanisme de réservation de ressource de bout en bout
 - Bande passante réservée mais non dédiée (circuit virtuel)
 - Utilisation de la signalisation RSVP (reservation protocol) pour
 - Déterminer la route à suivre (RSVP PATH)
 - Réserver les ressources nécessaires le long de la route (RSVP RESV)

NB: le message RSVP-PATH a le double rôle de déterminer la route et d'informer le destinataire des demandes de l'émetteur
- NB: la QoS offerte par IntServ est garantie puisque les ressources sont réservées
 - Sauf pannes
 - Sauf mobilité (cas des réseaux adhoc par exemple)
- Evolution : RSVP-TE dans les réseaux MPLS (réservation avec routage explicite à la source pour éviter les zones congestionnées)



La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- L'approche IntServ avec déclinaison au cas d'un accès L2/L1 TDMA (projet EDA LARA)
 - Procédé heuristique d'allocation de slots libres tenant compte des contraintes de latence maximale (écartement entre deux slots) et de débit à minimiser (économie de bande passante)
 - Exemple de réservation pour un flux de voix sur IP (appel avec une contrainte de latence de 50 ms)
 - Nécessité de réserver 12 slots sur l'ensemble de la trame
 - La distance maximale entre deux slots réservés ne doit pas excéder 5 slots



■ Demandes de slots pour le noeud 3 ■ Demandes de slots pour le noeud 4

Slots alloués au noeud 3 : {1, 5, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49, 54, 59}

Slots alloués au noeud 4: {2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57}



La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- L'approche DiffServ (*Differentiated Services*)
 - Principe : modifier le comportement du routeur en fonction du type de flux
 - Classement lié à la classe de service (champs TOS, DSCP ...)
 - 5 octets définissant 6 classes de services et 4 priorités à l'élimination
 - L'objectif de cette méthode tend à privilégier l'acheminement de certains flux applicatifs par rapport aux autres :
 - Ex: un flux de type temps-réel passera prioritairement par rapport à des données best effort

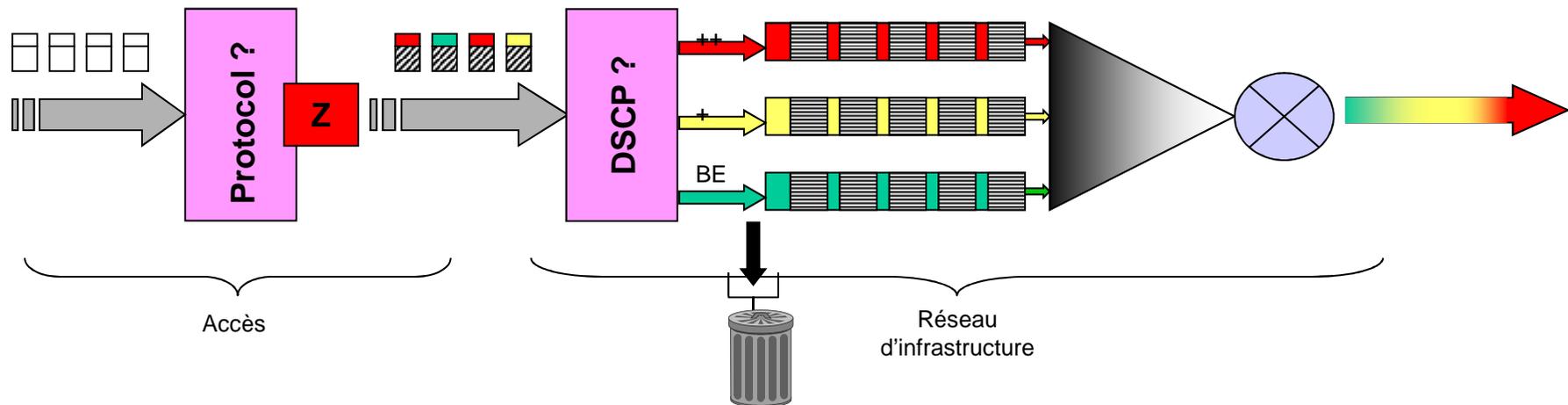
NB: la QoS offerte par DiffServ n'est pas garantie puisqu'elle impose « juste » une priorité par rapport aux autres flux !

- Evolution :

La diffusion sur réseau à commutation de paquets



- L'approche DiffServ (RIFAN programme)
 - Marquage des paquets en fonction de leur type de protocole (ou autre)
 - Compatible de l'utilisation de chiffreurs
 - Selon la classe de service, une priorité est donnée à l'émission des paquets
 - Les paquets moins importants peuvent même être éliminés (files d'attente saturées, délais d'acheminement expirés, ...)

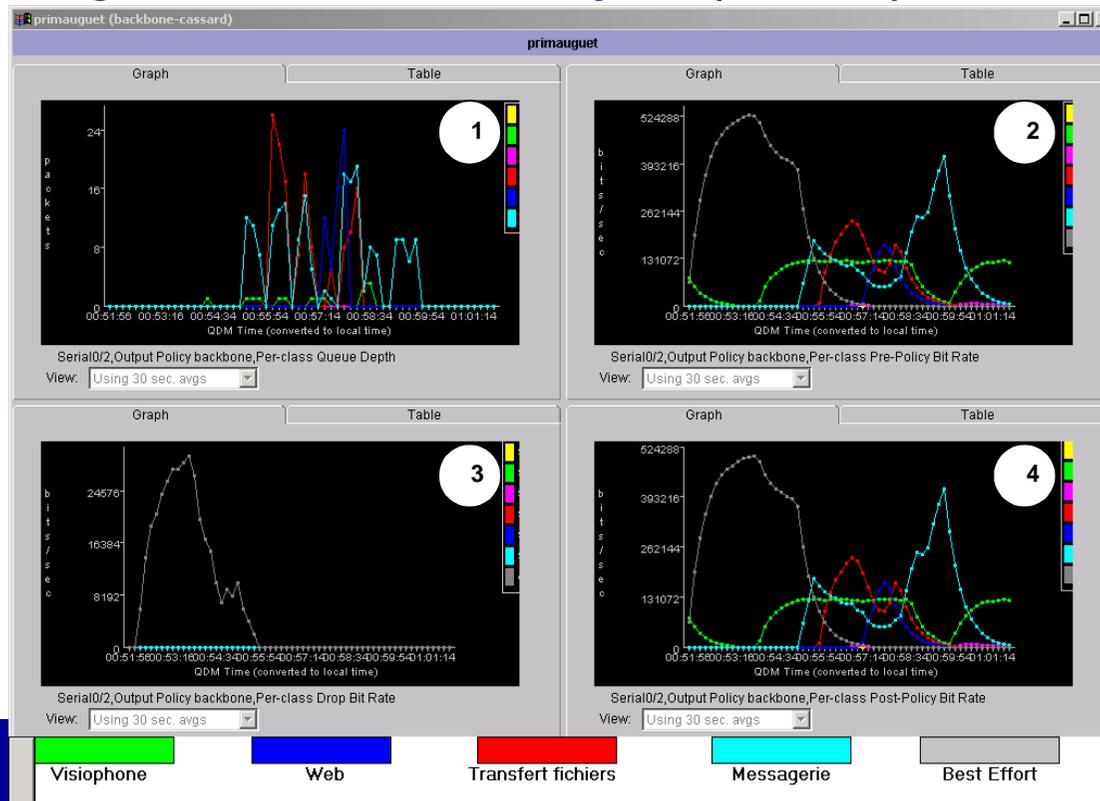




La diffusion sur réseau à commutation de paquets

- L'approche DiffServ : exemple de résultats (RIFAN programme)
 - Mécanisme d'ordonnancement : CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing)
 - Chaque classe de trafic a une allocation minimale de débit garantie en cas de congestion (ratios ajustables par l'utilisateur)
 - Le trafic est lissé grâce à la gestion des files d'attente
 - Certains datagrammes sont retardés/jetés pour respecter les débits alloués

Queue size vs applications



Flow in input per application

Discarded datagrams per applications

Outputed flow per application



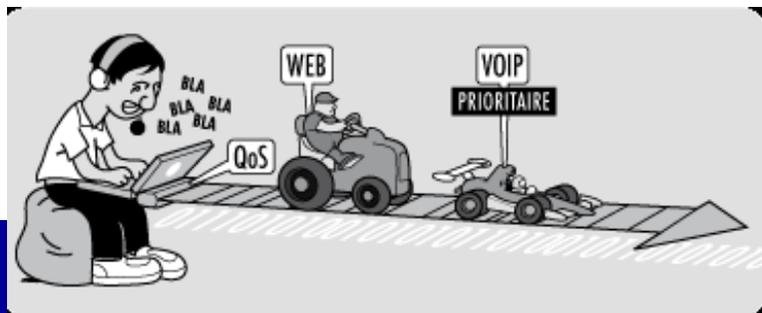
Introduction à l'IMS

- Concept de NGN (New Generation Network) – réflexion UIT
 - L'approche NGN offre un nouveau modèle de réseau pour passer de l'ancien système à commutation de circuit (RTC : réseau téléphonique commuté) vers une architecture à commutation de données (commutation de paquets IP, et offre de services data/multimédia correspondants)
- Objectifs du concept NGN :
 - Permettre la convergence voix/données des réseaux d'infrastructure
 - Permettre le transport, avec une offre de qualité de service, de flux voix, vidéo, données sur le réseau WAN unifié
 - Permettre le raccordement du réseau WAN unifié à différentes technologies de desserte (xDSL, satellite, FTTx, WiFi, WiMax, LTE...)
 - Permettre une transition douce avec les réseaux à commutation de circuits



Introduction à l'IMS

- Jusqu'où déployer le concept NGN :
 - Modèle 1 : maintient des commutateurs TDM de classe 5 et remplacement seulement de l'infrastructure TDM de transit.
 - Modèle 2 : remplacement complet du réseau d'infrastructure TDM, seul le réseau privé PABX et les terminaux restant en technologie TDM.
 - En parallèle de la réflexion NGN a eu lieu celle des réseaux radio-mobiles (3GPP1/2)
 - Évolution souhaitée 2G → 2.5G → 3G → 3.5G ...
 - Concept d'IMS (IMS = IP Multimedia Subsystem) introduit
- ➔ Les comités UIT et ETSI ont finalement décidé pour un scénario 3 de NGN qui est la proposition IMS de tout IP et convergence fixe / mobile





Introduction à l'IMS

- Comparaison objectifs NGN (de base)/IMS
 - bâtir les réseaux en technologie paquet
 - permettre le transport des flux multimédia
 - permettre le transport avec QoS
 - réaliser la convergence technologie fixe / technologie mobile
 - permettre le transport IP jusqu'au terminal (approche tout IP)
 - rendre les réseaux accès indépendants du transport
 - prévoir l'itinérance inter-opérateurs
 - supporter les anciens systèmes TDM et paquet sans QoS
 - pouvoir offrir aux usagers un service adapté à la qualité désirée
 - pouvoir facturer le service en fonction de la qualité désirée / fournie
 - faciliter le développement de nouveaux services aux usagers
 - pouvoir intégrer les services développés dans d'autres systèmes



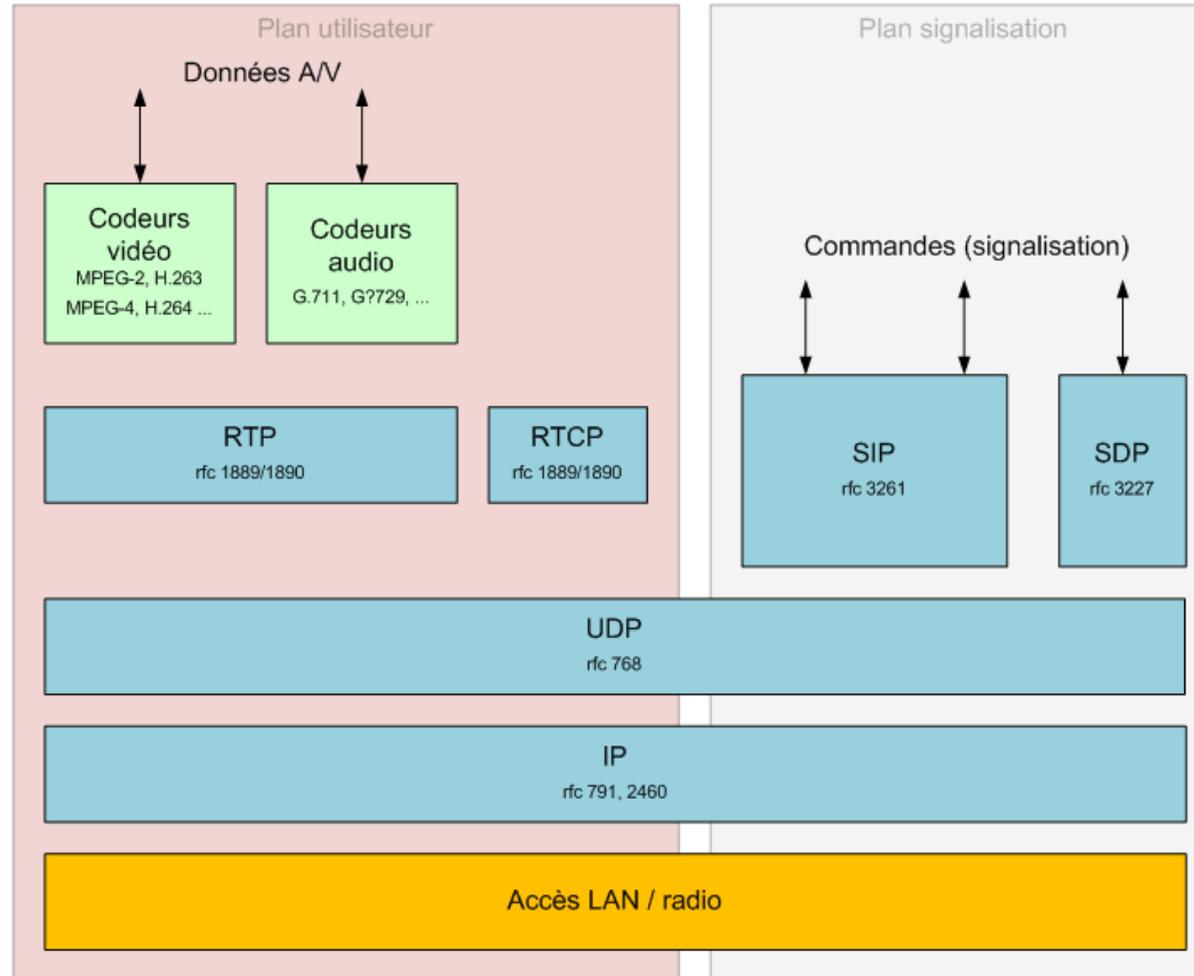
Introduction à l'IMS

- Pile IMS : plan contrôle, accès et organisation des services
 - Organisation via des serveurs spécialisés (CSCF) gérant les droits et divers aspects particuliers de la communication
 - Les CSCF gèrent les autorisations de communications et de services (avec vérification auprès de la base HSS (Home Subscriber Server) qui stocke les données usagers et les services auxquels ils ont souscrit) via les serveurs d'application (AS)
 - Protocoles utilisés :
 - SIP (pour les données, la signalisation)
 - Diameter (tous liens faisant intervenir la HSS)



Introduction à l'IMS

- Pile IMS : utilisation des protocoles SIP



Diffusion optimisée sur un canal radio- mobile

— Introduction





Diffusion de vidéo sur un canal radio-mobile

- Rappels et généralités
- Approche système
 - Pile protocolaire et ses contraintes
 - Approche « conjointe » vs. approche séparée
 - Contraintes et opportunités
- Améliorations brique par brique
 - Codeur vidéo H.264 AVC
 - Pompe de diffusion (RTP)
 - Protocoles de transport : que de chemin depuis UDP
 - Compression d'en-tête robuste (RoHC)
 - Couche accès radio : le problème de la QoS offerte
- Amélioration conjointe : optimisation de bout en bout
 - Savoir tirer parti d'une connaissance de l'ensemble du système
 - Contrainte : présence d'une voie de retour indispensable ?



Diffusion de vidéo sur un canal radio-mobile

- Quelques questions (et rappels) pour démarrer :
 - Pourquoi reste-t-il si difficile de transmettre des flux vidéo (multimédia) sur des liens sans fil type UMTS?
 - Et après tout, pourquoi continuer à se poser la question de l'optimisation alors que les capacités explosent (WiMAX, LTE, 802.11n ...)
 - Pourquoi faire un traitement spécifique de la vidéo (et la différencier des flux de données ?)
- Quelques limitations et points que l'on devra penser à garder en tête :
 - Les canaux sans fils ne sont pas parfaits
 - IP n'est pas une panacée
 - Ce qui compte, à la fin, c'est l'opinion des utilisateurs (et la QoE qu'ils obtiennent)



Diffusion de vidéo sur un canal radio-mobile : littéralement



- Diffusion
 - *Streaming* ou *download* ?
 - Ici nous allons nous intéresser au cas du *streaming*
- Vidéo
 - La problématique de la partie audio reste valable mais écartée ici du fait de ses débits bien plus faibles
 - Codage de source : quelle limite de compression, reconstruction non parfaite
- Canal radio-mobile
 - Canal sans fil
 - Problème de la mobilité
- IP
 - Nécessaire intégration des couches OSI et de leur impact (présence en-tête et sommes de contrôle, difficulté de communiquer entre les couches)

Diffusion optimisée sur un canal radio- mobile

—

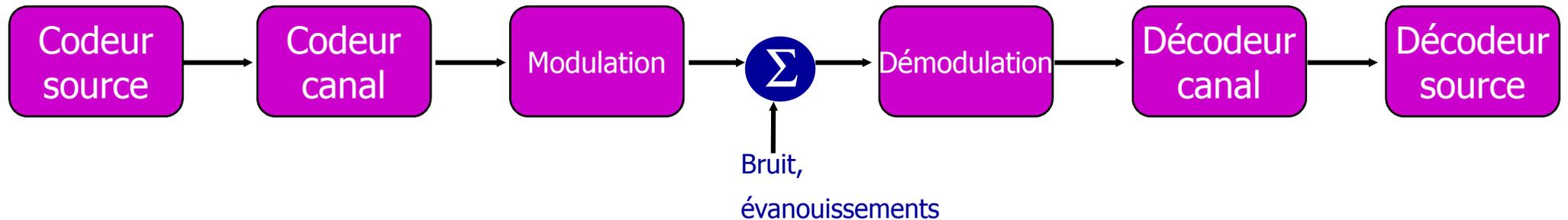
Approche système



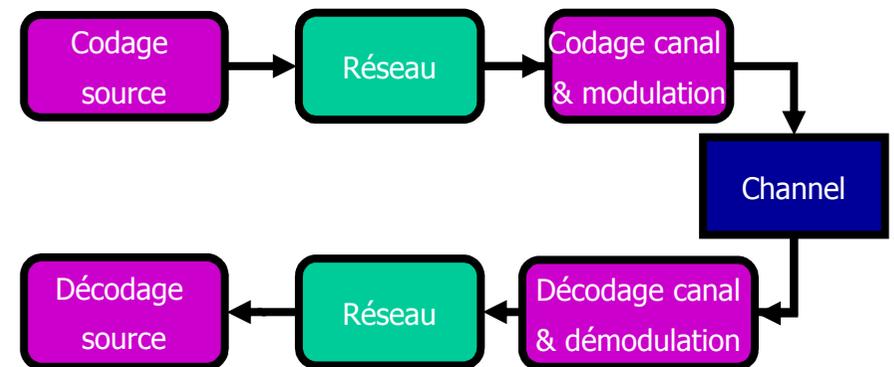


Un système simpliste

- Diffuser un contenu sur un canal sans fil :
 - Codeur de source (mise en forme du contenu pour limiter le débit)
 - Codeur de canal et modulateur (mise en forme pour lutter contre le canal)
 - Travailler conjointement ?



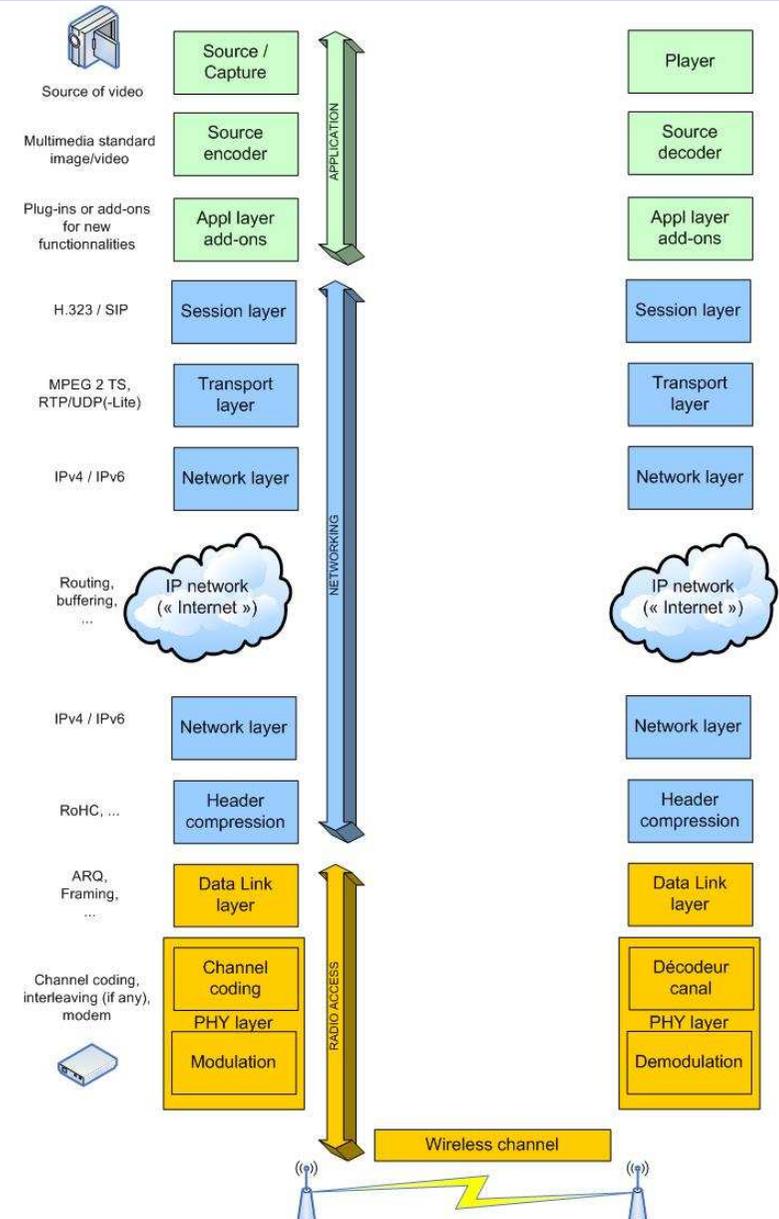
- Et la mise en réseau ?
 - L'inévitable « IP »
 - Plus de communication directe !





Pile protocolaire et ses contraintes

- Déclinaison du modèle OSI
 - Ex: scénario point à point
 - Trois « super couches »
 - Chaque couche (L) ne communique qu'avec (L+1) et (L-1)





Approche « conjointe » vs. approche séparée

- Approche conjointe : l'éternel retour
 - Depuis les débuts de la théorie de l'information, s'est posé la question de savoir s'il fallait concevoir séparément ou conjointement la partie codage de source et codage de canal
 - Shannon a prouvé (Théorème de séparation) qu'il n'était pas plus efficace d'adopter une approche conjointe
 - Le système complet introduit par ailleurs des couches intermédiaires
→ **"Mais que raconte-t-elle, Shannon a prouvé que l'approche séparée était la bonne ?"**
- En réalité, la preuve de Shannon est asymptotique, et de plus
 - Rien ne prouve que cette solution soit la seule
 - Rien ne prouve qu'elle soit la moins complexe
 - Rien ne prouve qu'elle soit la plus facile à déterminer
→ Selon l'application et le cas d'usage, il peut être intéressant d'adopter des techniques conjointes ou séparées !



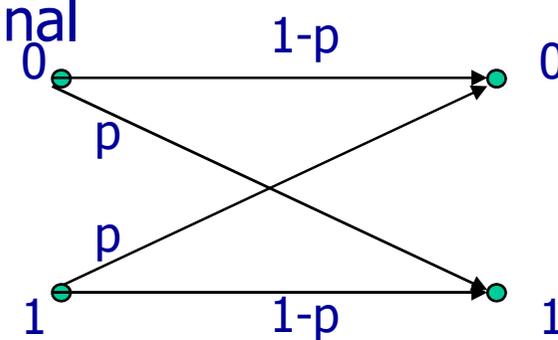


Un exemple facile (et classique)

Pour le plaisir, observons un cas où l'approche conjointe réussit mieux que l'approche séparée

- Prenons une source binaire symétrique (BSS) sur un canal binaire symétrique (BSC)

- On considère le cas simple d'une transmission avec $p=0.1$, et le cas où l'on veut transmettre la BSS sur ce canal avec une distorsion $D \geq 0.1$ et un rendement global $R=1$



- Approche séparée : créer un code source pour le BSS avec une distorsion moyenne autour de 0.1 puis le code de canal approprié au BSC avec une probabilité d'erreur très faible
- Approche tandem : le système le plus simple qui soit : transmettre directement le signal de la source sans aucun codage (ni compression, ni protection) sur le canal !



Un exemple moins simple (mais plus fréquent)

Plus fréquemment, il est intéressant de mesurer que dans la plupart des flux de données, tous les bits ne sont pas égaux



- Certains bits sont plus importants que d'autres
 - En-tête vs. Données
 - MSB vs. LSB
 - ...
- Un traitement efficace, si un taux d'erreur/perte résiduel est accepté, amène à mieux protéger certains bits que d'autres : protection inégale aux erreurs (UEP)





Un exemple moins simple (mais plus fréquent)

Impact d'une erreur : cas MPEG-4 Part 2
Soit dans la partie motion,
soit dans la partie texture



Trame P initiale



motion (bit #82387) => $PSNR_Y = 22.99$ dB



texture (bit #73000) => $PSNR_Y = 47.89$ dB



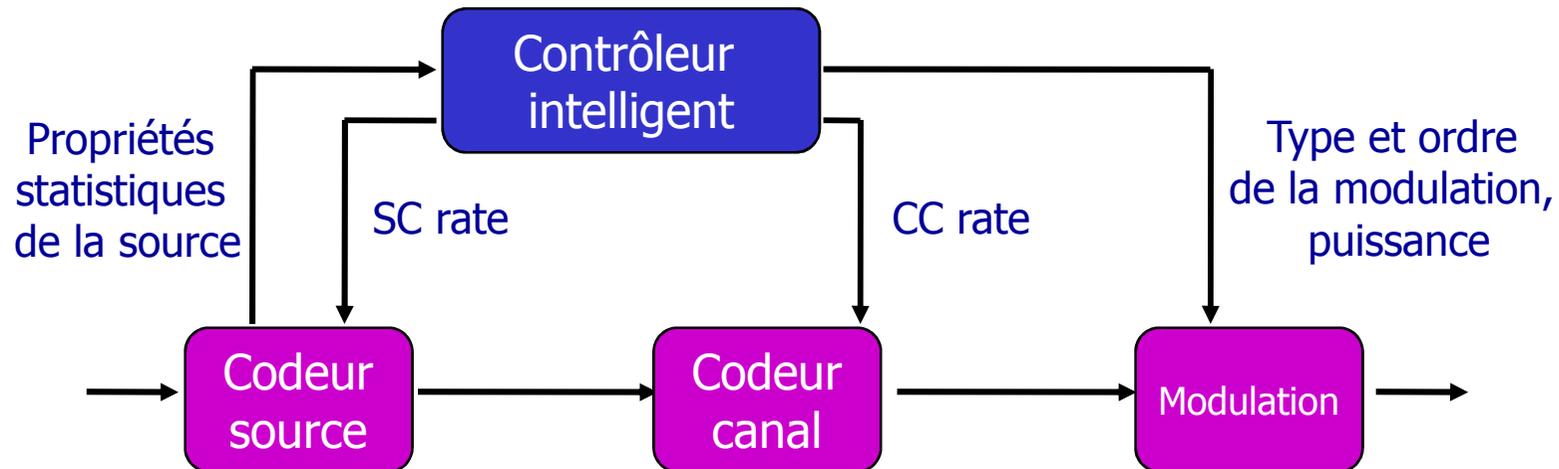
Un système optimisé conjointement ?

- Comment optimiser conjointement en tenant compte d'un minimum de limitations réalistes :
 - Standards existants (y compris interfaces)
 - Volonté/nécessité d'interopérabilité
 - Présence de couches protocolaires limitant les échanges
 - Coût de signalisation (informations supplémentaires)
 - Possible distance entre couches hautes et basses



Un système optimisé conjointement ?

- Prenons le cas de notre système simpliste :
- On peut proposer de choisir conjointement les paramètres de fonctionnement de chacun des modules, par le biais d'un « contrôleur intelligent »

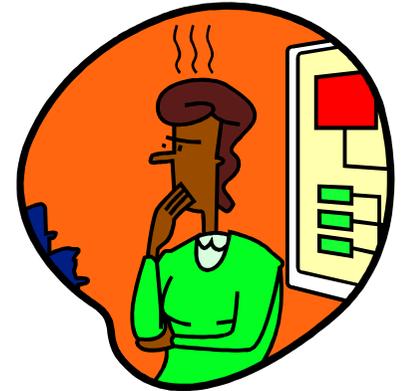


- Le problème qui reste est donc de déterminer les critères d'optimisation, et les possibles contraintes et marges de manœuvre



Un système optimisé conjointement ?

- Mais cela a-t-il un sens ou un intérêt ?
 - Tout l'objet des couches OSI est de permettre une interopérabilité aisée
 - Le gain que l'on peut obtenir est-il réel ?
 - Ce gain en vaut-il la peine ?
 - Peut-on aller vraiment contre le sens de l'histoire ?





Contraintes et opportunités

- En terme de contraintes et de besoins, apparaissent les points cruciaux suivants :
 - scalabilité pour adaptation à des utilisateurs différents ou ayant des capacités différentes (SVC, UEP...)
 - délai : selon les applications, un fort délai peu être acceptable ou au contraire un délai extrêmement court imposé
 - mobilité du récepteur (comment gérer la mobilité : IP mobility, HIP mobility, *handover* horizontal ou vertical, mobilité de session ...)
 - possible besoin de sécurité (niveau réseau, niveau application, niveau radio...)
 - influence du débit cible (scénarios haut débit, probable forte contrainte variance qualité, contrairement à des scénarios bas débit)

Diffusion optimisée sur un canal radio- mobile

—

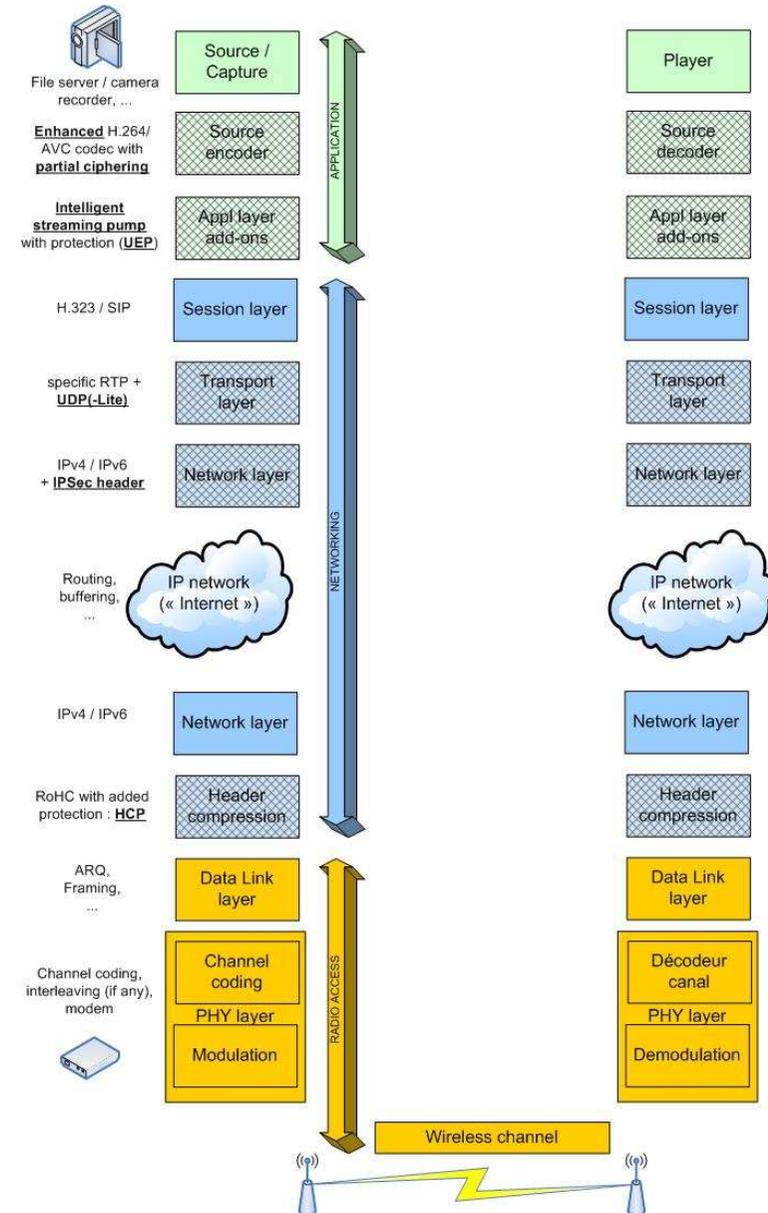
Améliorations brique par brique





Quelles briques optimiser/adapter ?

- Idéalement tout est à adapter et modifier
- En pratique, nous allons déjà regarder ici les éléments soit plus aisément modifiables, soit permettant des gains aisés/notables
 - Fonctionnalités au niveau « application » (source)
 - Fonctionnalités niveau de la distribution et mise en réseau
 - Fonctionnalités au niveau de l'accès radio [limités ici pour compatibilité maximale]

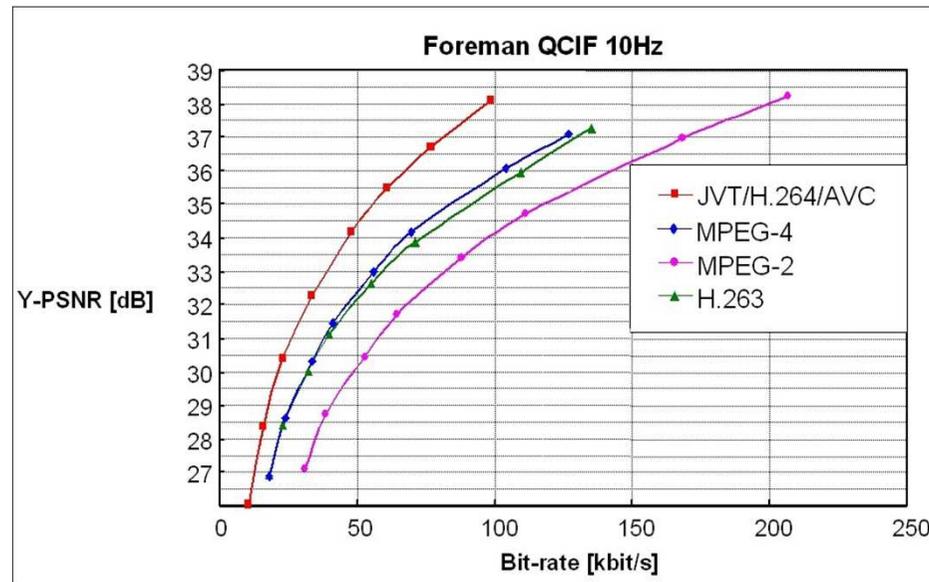




Codeur de source : exemple du codeur H.264 AVC

- H.264/AVC : généralités

- Standard de compression vidéo finalisé en 2003 par le JVT
- Vidéo codée par bloc facilitant l'intégration réseau : VCL/NAL
- Efficacité de compression nettement supérieure aux précédentes normes

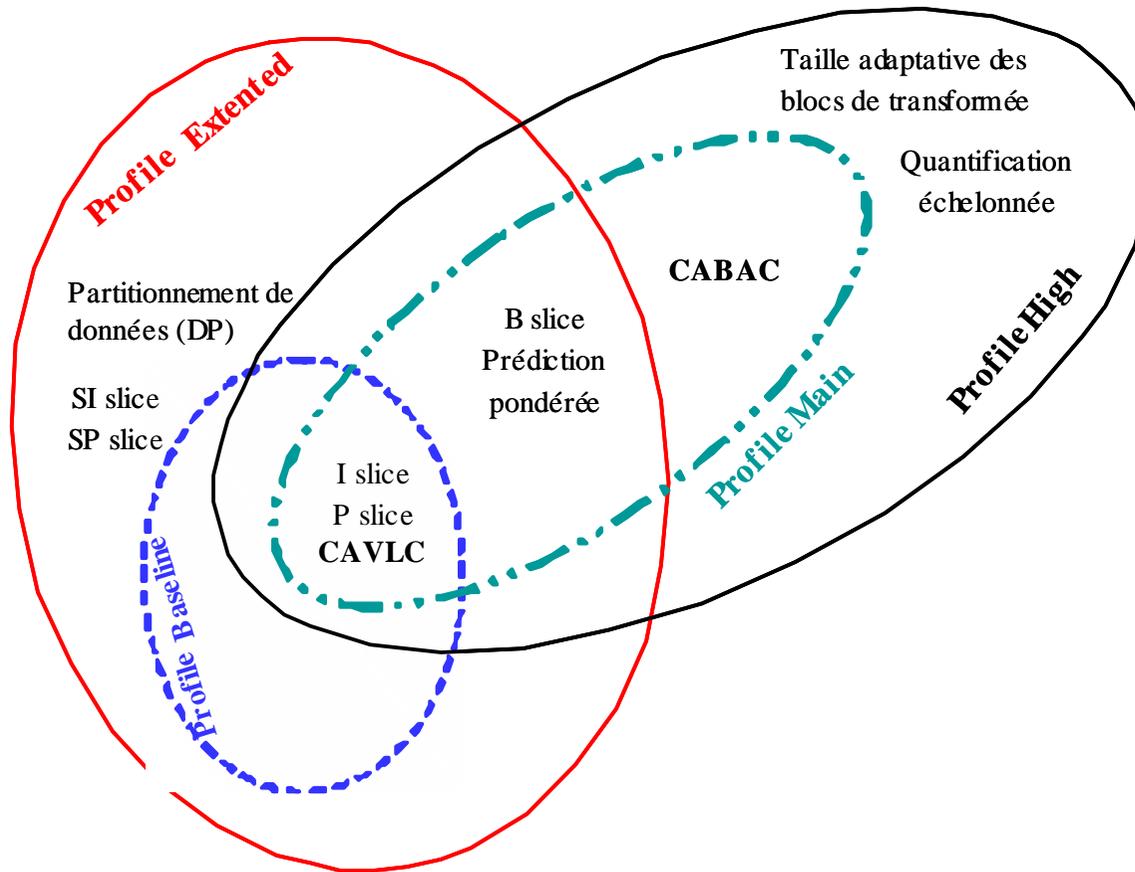


- Aujourd'hui largement déployé et utilisé, même si son remplacement est en cours de normalisation (HEVC)



Codeur vidéo H.264 AVC

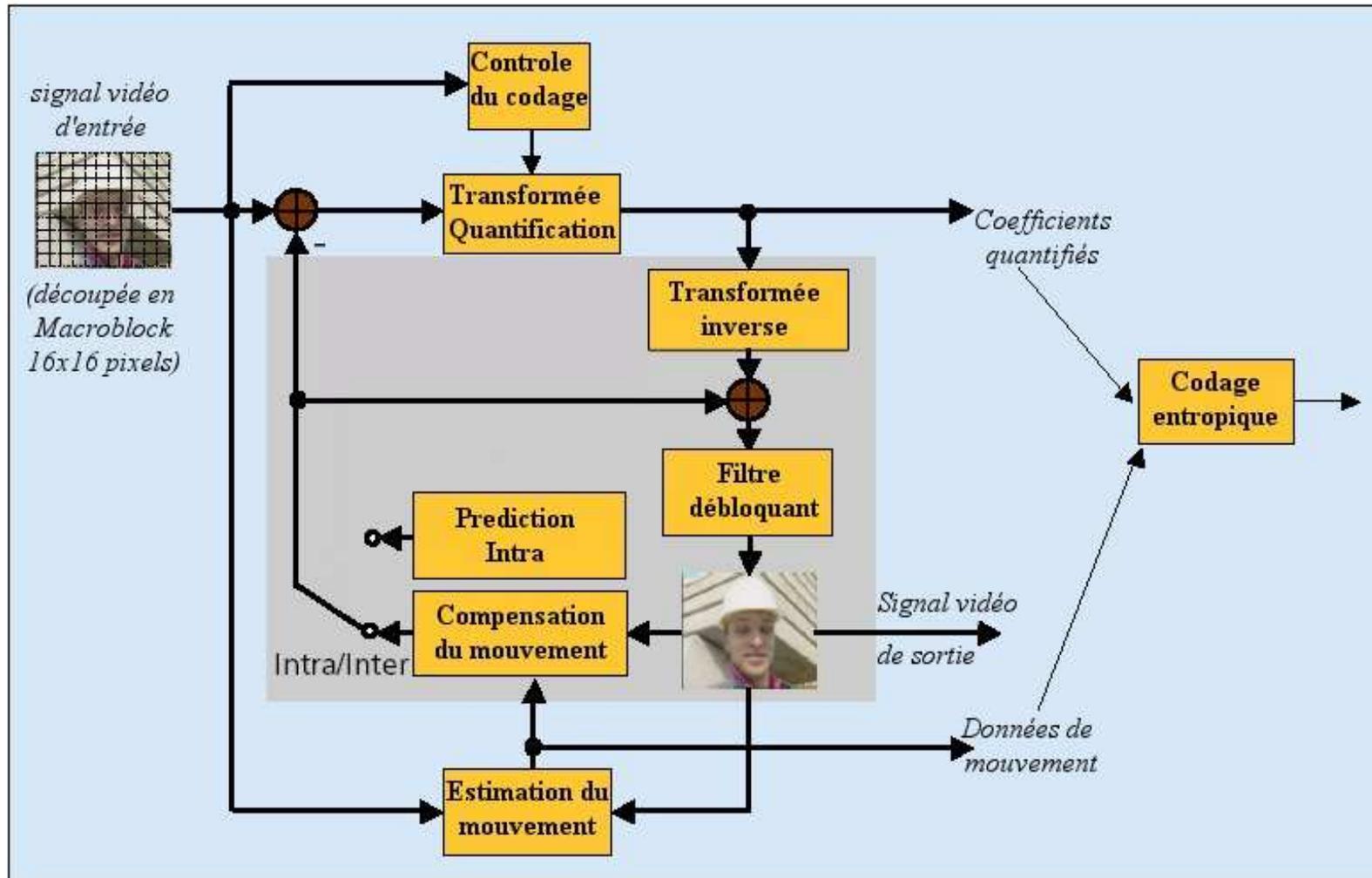
- H.264/AVC : généralités
 - Quatre profils pour différents types d'usage





Codeur vidéo H.264 AVC

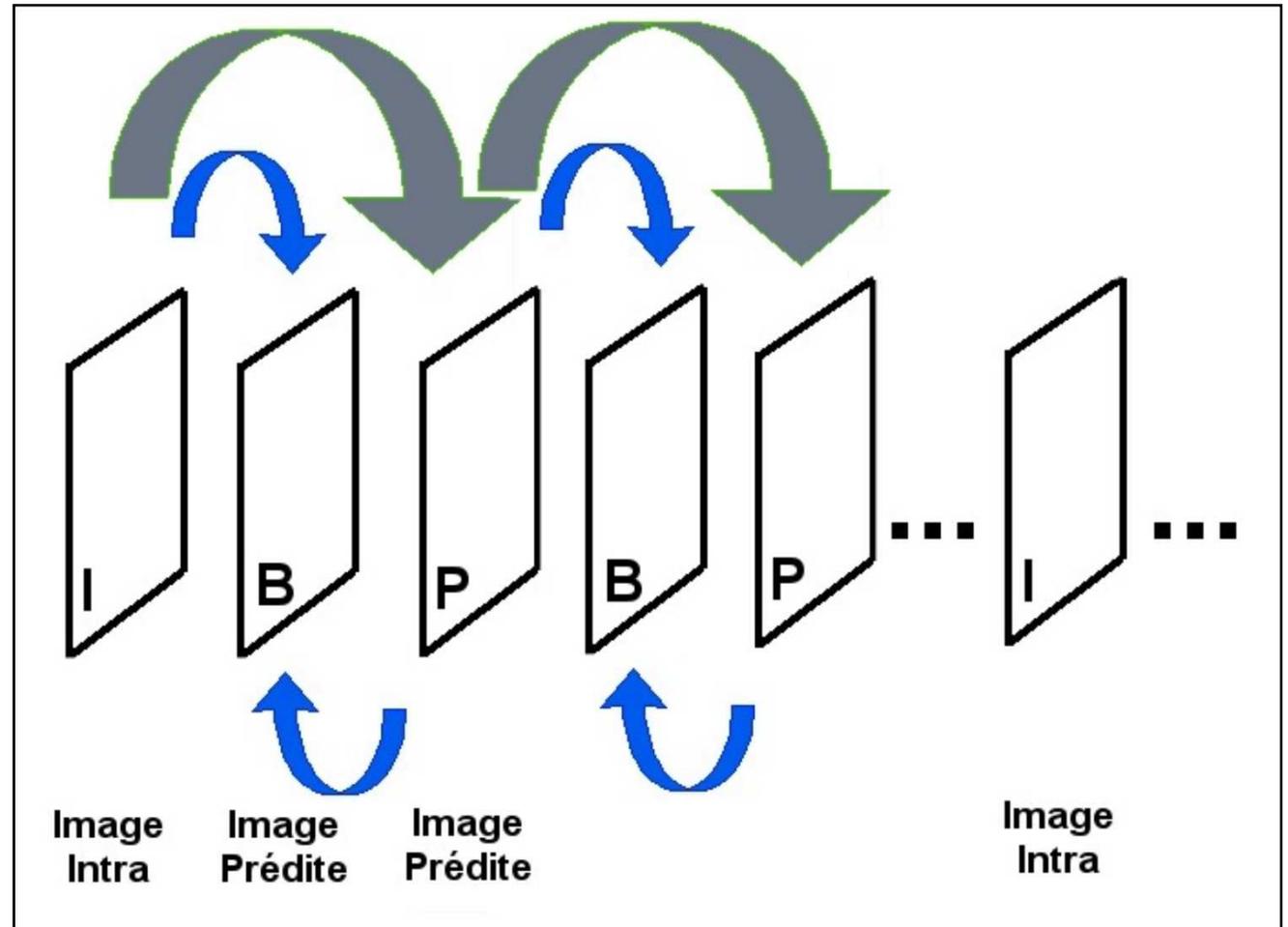
- H.264/AVC : le processus de codage





Codeur vidéo H.264 AVC

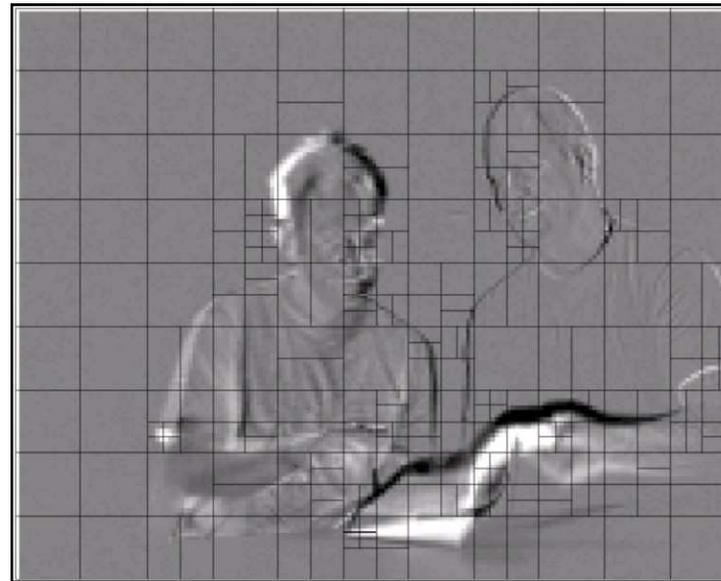
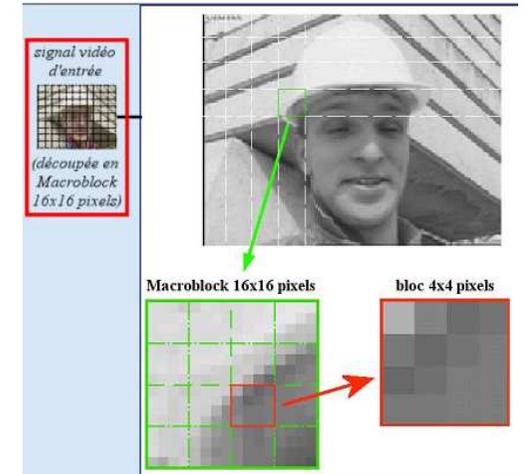
- H.264/AVC : les types d'image
 - Intra
 - Inter (Prédites)
 - Bidirectionnelles





Codeur vidéo H.264 AVC

- H.264/AVC : blocs, macro-blocs (MB) et leur codage
 - L'image est découpée en MB
 - Chaque MB est constitué de blocs
- Selon l'image et son contenu, le découpage est plus ou moins fin
 - prédiction Intra/Inter
 - transformée
 - quantification



Différentes partitions des MB



Codeur vidéo H.264 AVC

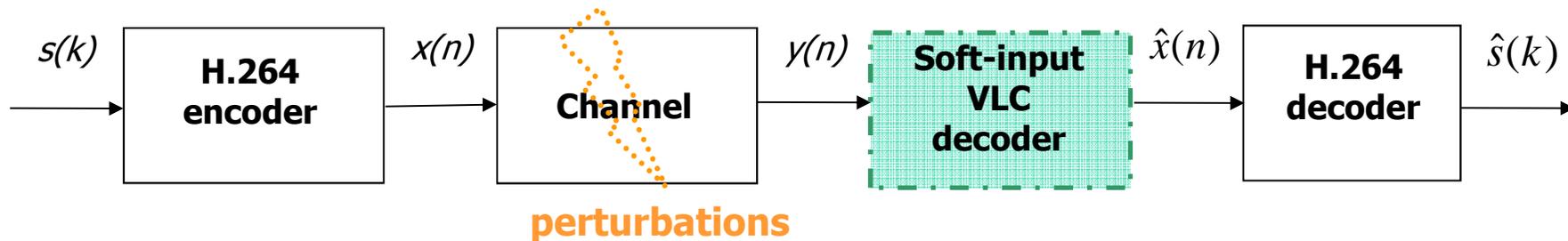
- H.264/AVC : codage entropique
 - CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding.
 - CAVLC: Context-based Adaptive Variable-Length Coding

<u>Code number</u>	<u>Codewords</u>
0	1
1	0 1 0
2	0 1 1
3	0 0 1 0 0
4	0 0 1 0 1
5	0 0 1 1 0
6	0 0 1 1 1
7	0 0 0 1 0 0 0
8	0 0 0 1 0 0 1
9	0 0 0 1 0 1 0
10	0 0 0 1 0 1 1
11	0 0 0 1 1 0 0
....	bits de préfixes de suffixes

Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / décodage SIHO



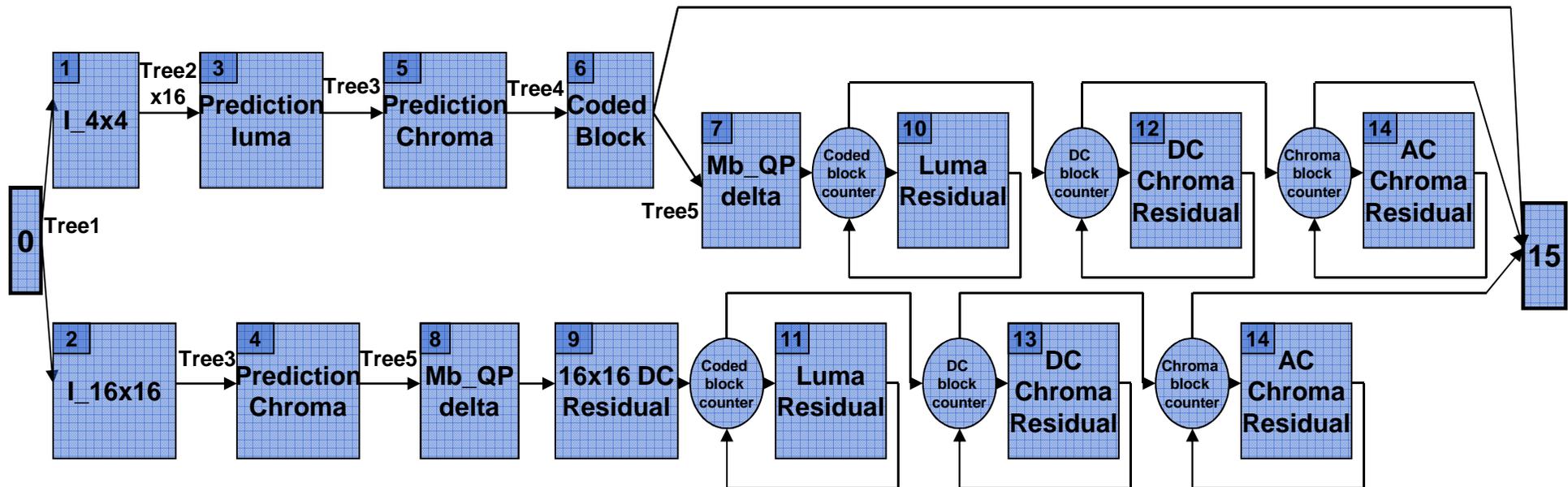
- Amélioration : décodage à entrées souples
- Intégration d'un décodeur MAP à entrées souples afin de tirer parti de la redondance inhérente à la syntaxe H.264





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / décodage SIHO

- Évolution des tables de codage au cours du processus de codage H.264

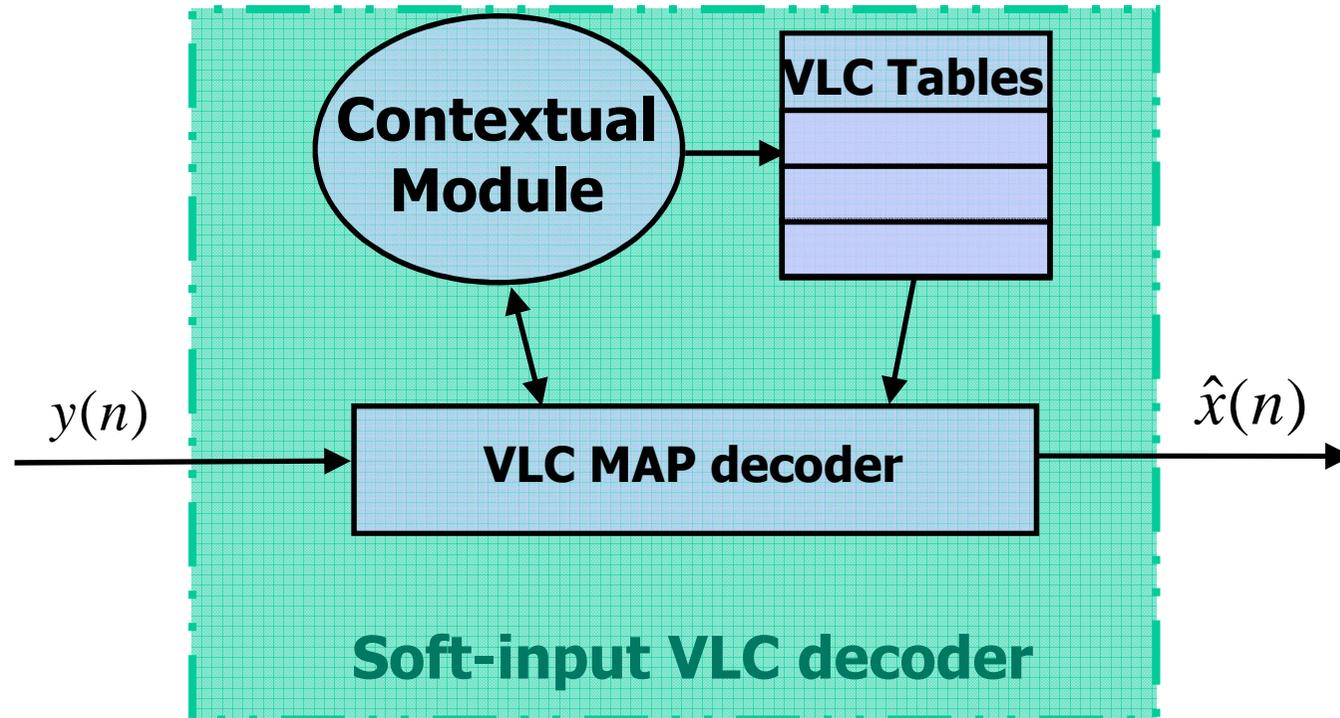


Exemple pour une trame I



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / décodage SIHO

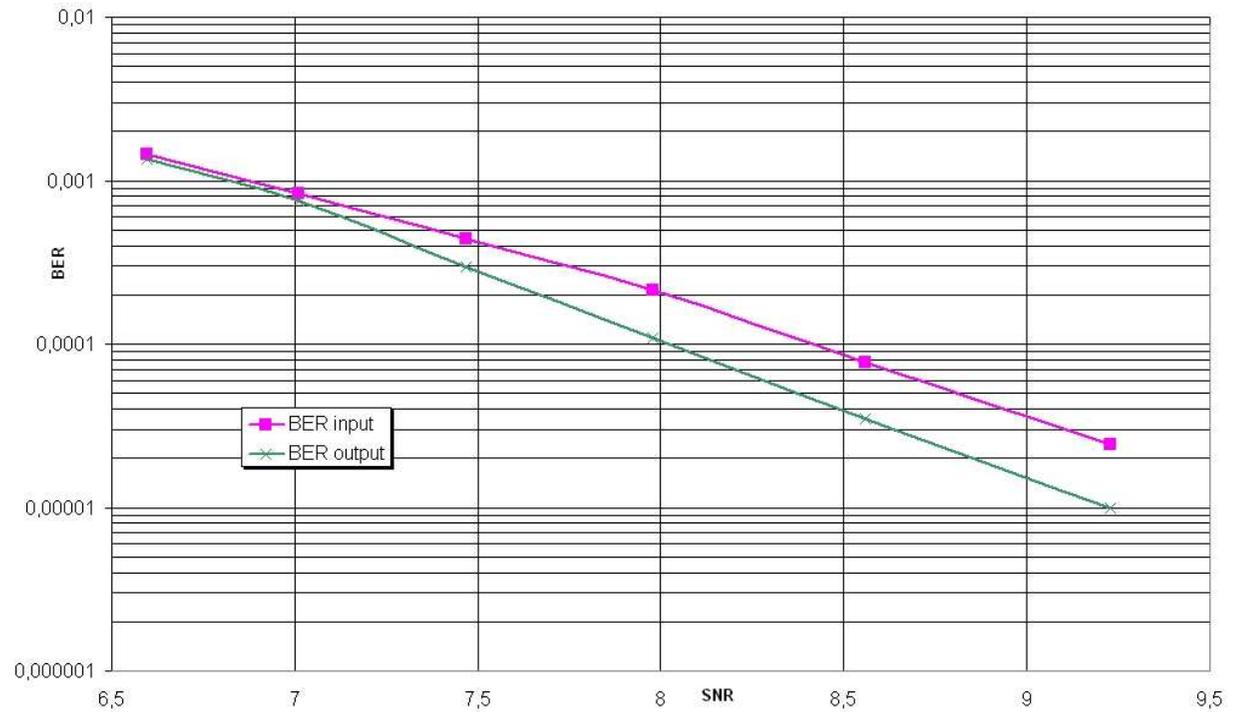
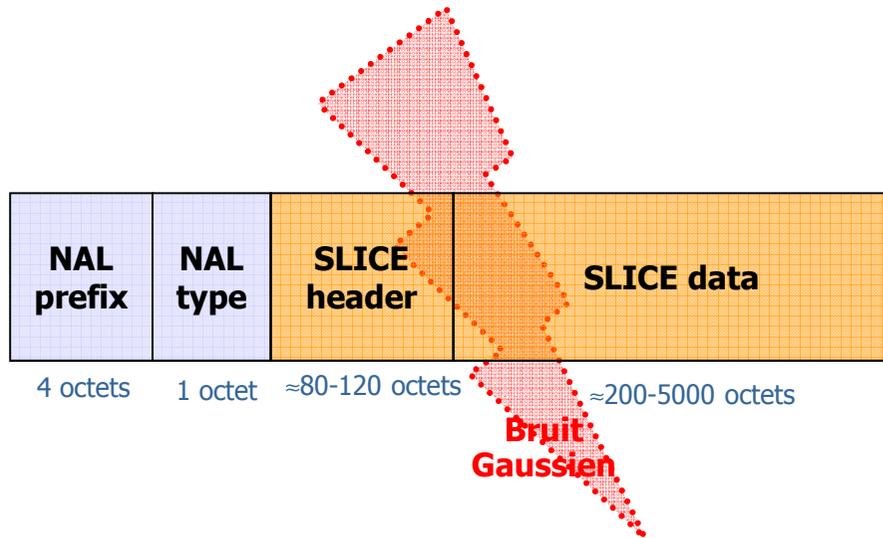
- Intégration du décodage SIHO grâce à un module contextuel permettant de sélectionner la bonne table VLC





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / décodage SIHO

- Quelles performances ? Impact en terme de taux d'erreur binaire

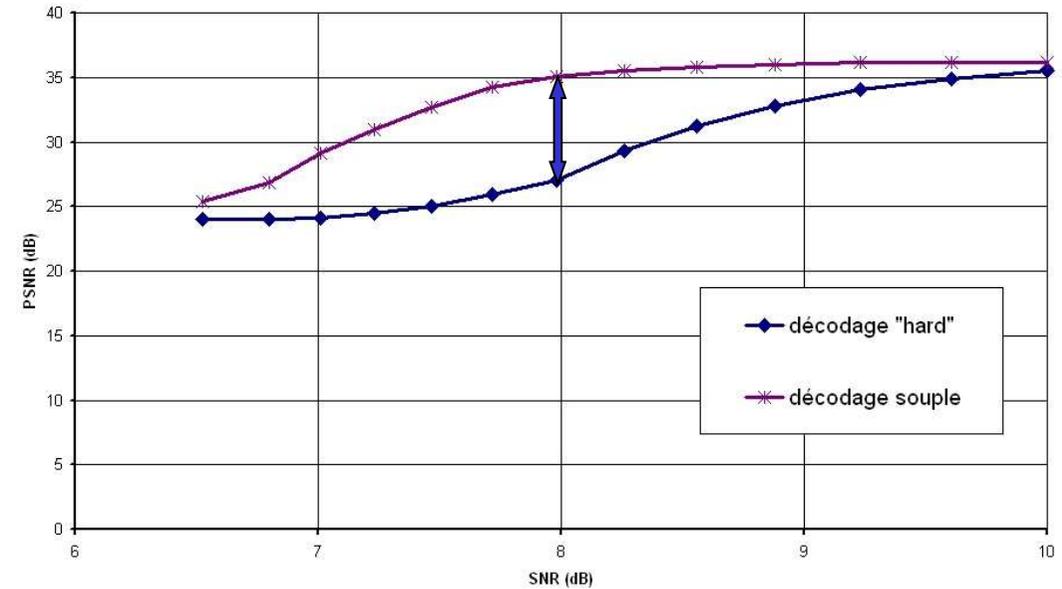
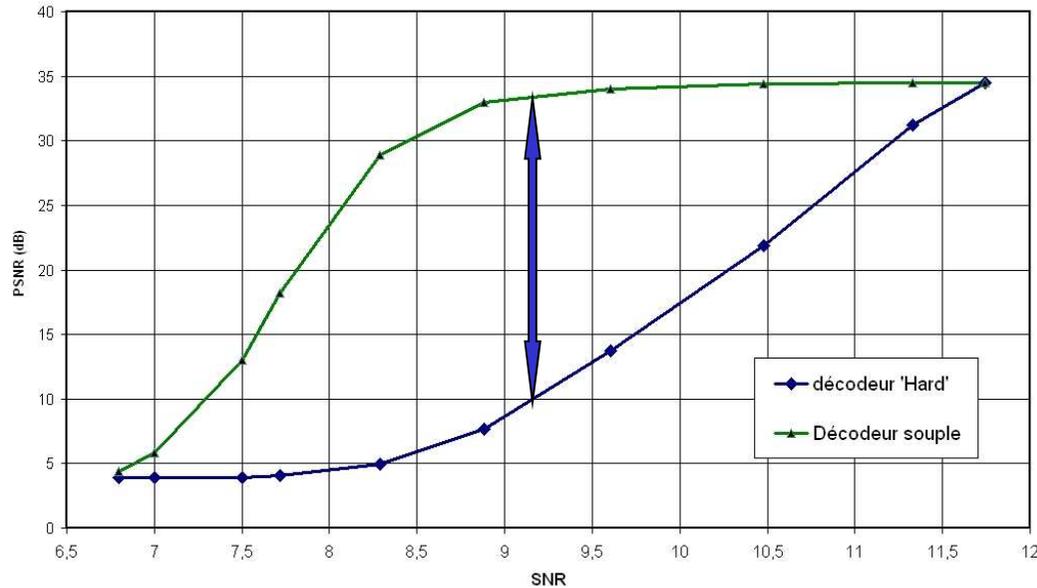


Tests sur Foreman QCIF, 1^{ère} Intra



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / décodage SIHO

- Quelles performances ? Impact en terme de qualité visuelle

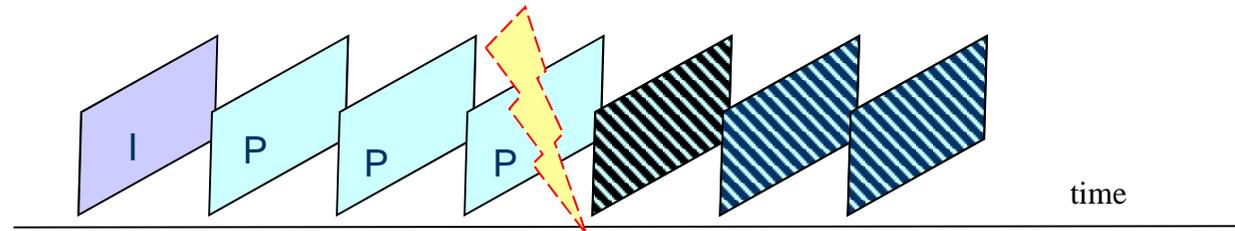


Tests sur Foreman QCIF, pour une Intra et une prédite (P)

Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



- Amélioration : introduction de scalabilité temporelle compatible
 - La perte ou la corruption de données amène traditionnellement un effet désastreux en codage avec prédiction et compensation de mouvement :

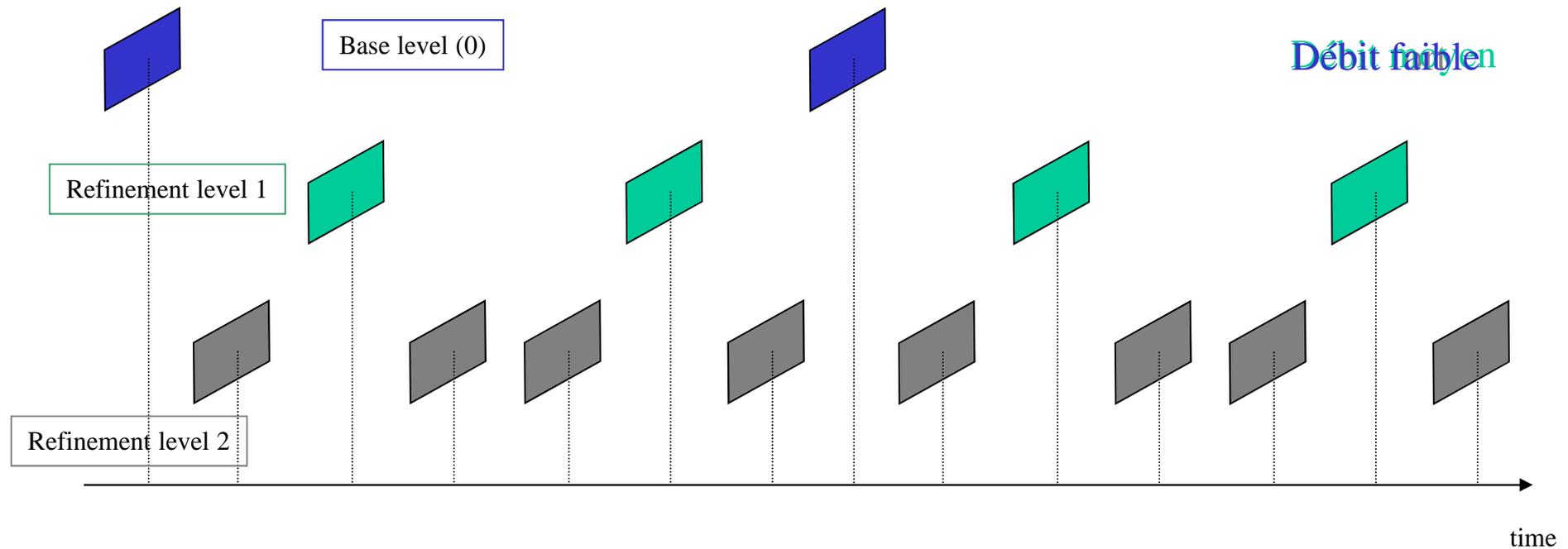


- Image « gelée » ou propagation d'erreur
- Pas de hiérarchie simple à faire apparaître pour permettre une approche UEP

Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



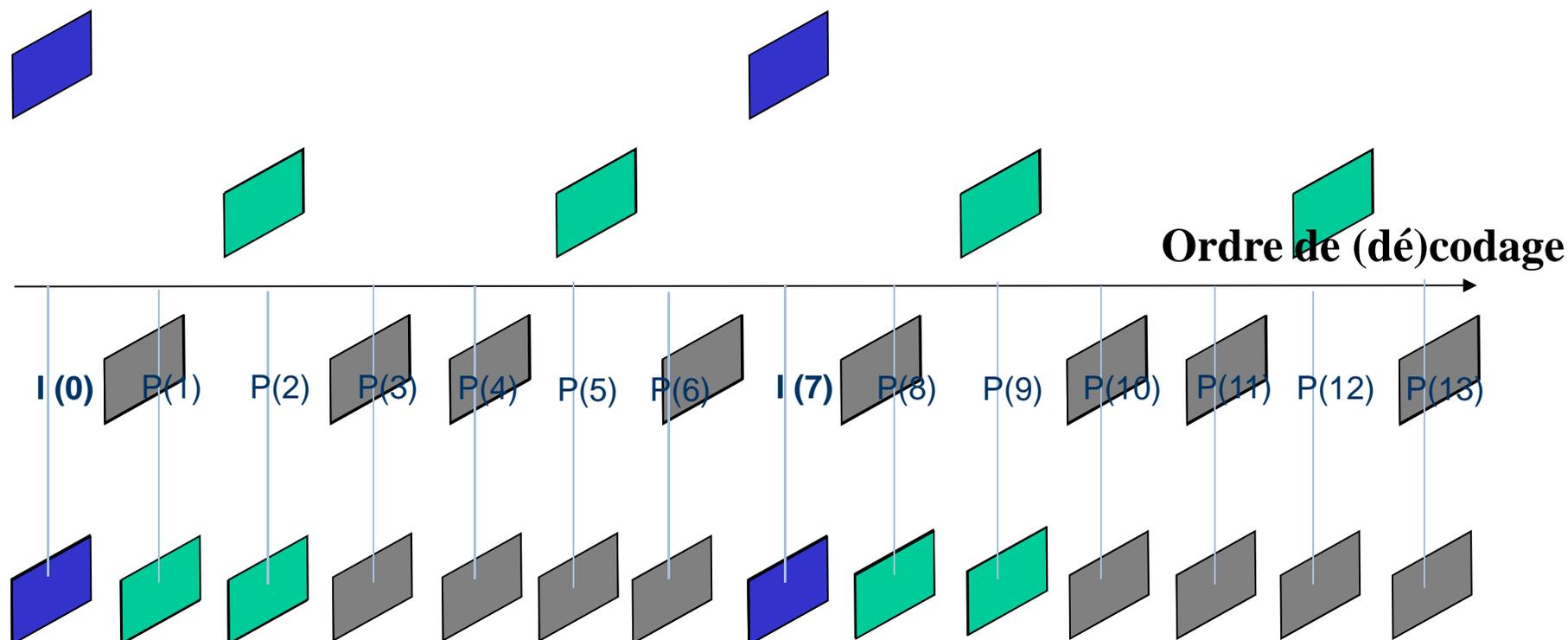
- Comment hiérarchiser ?
- L'approche classique des systèmes scalables est la suivante :



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



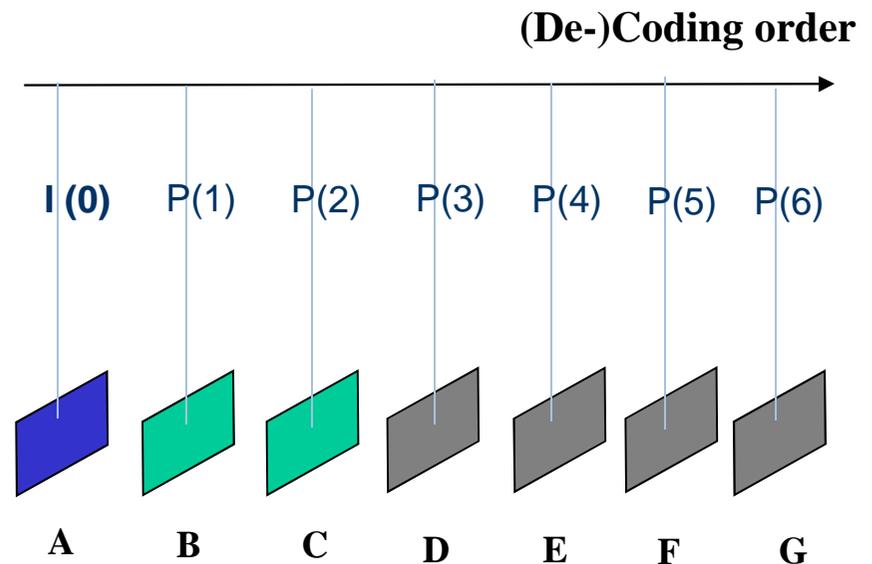
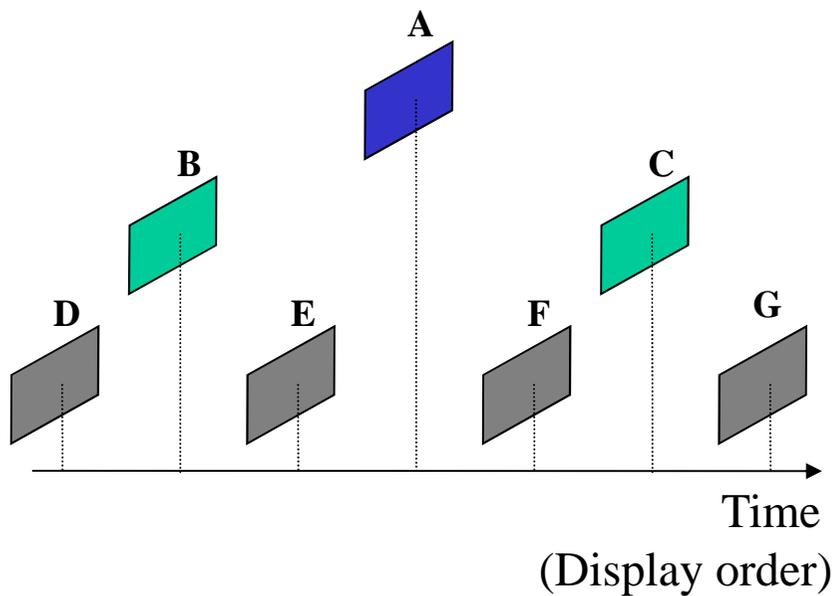
- L'idée est alors d'introduire de la scalabilité en tirant partie d'une fonctionnalité spécifique à H.264 : la double numérotation des trames
 - Picture Order Count (POC) pour l'ordre d'affichage
 - Frame_num pour l'ordre de décodage



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



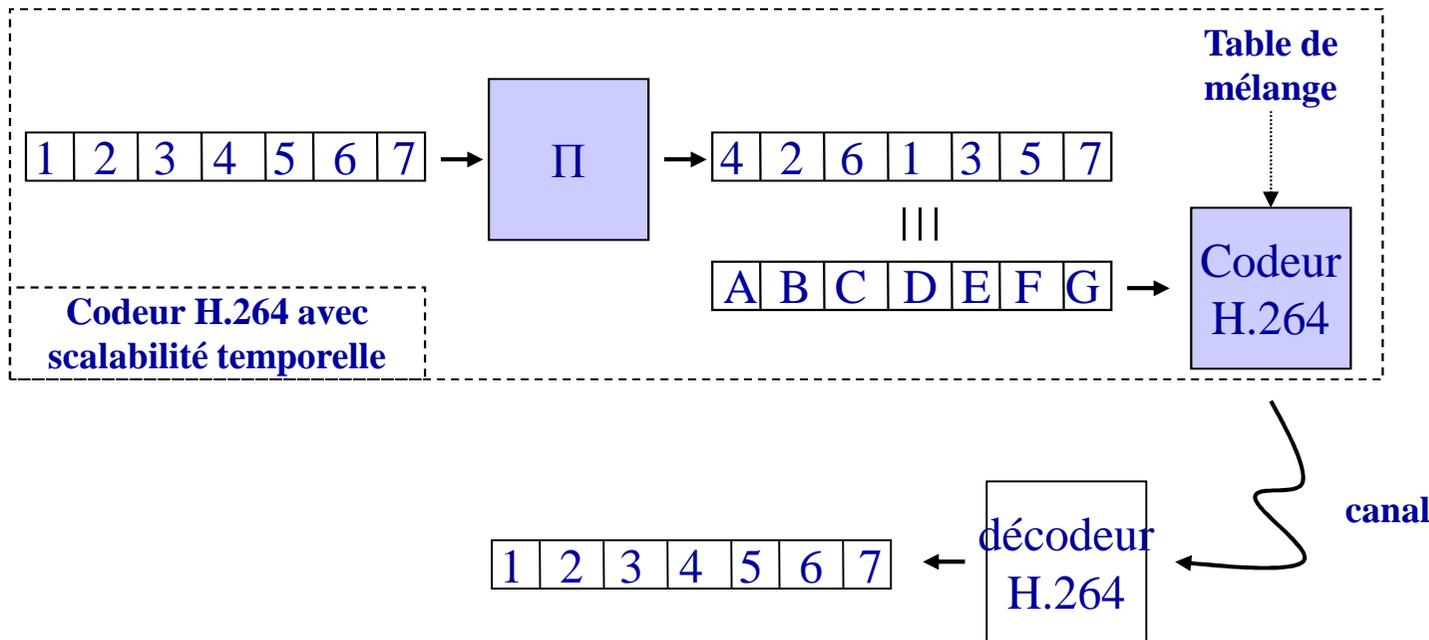
- On peut encore améliorer le système en disposant plus régulièrement les trames de basse résolution. Exemple : la configuration dite « Zigzag »



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



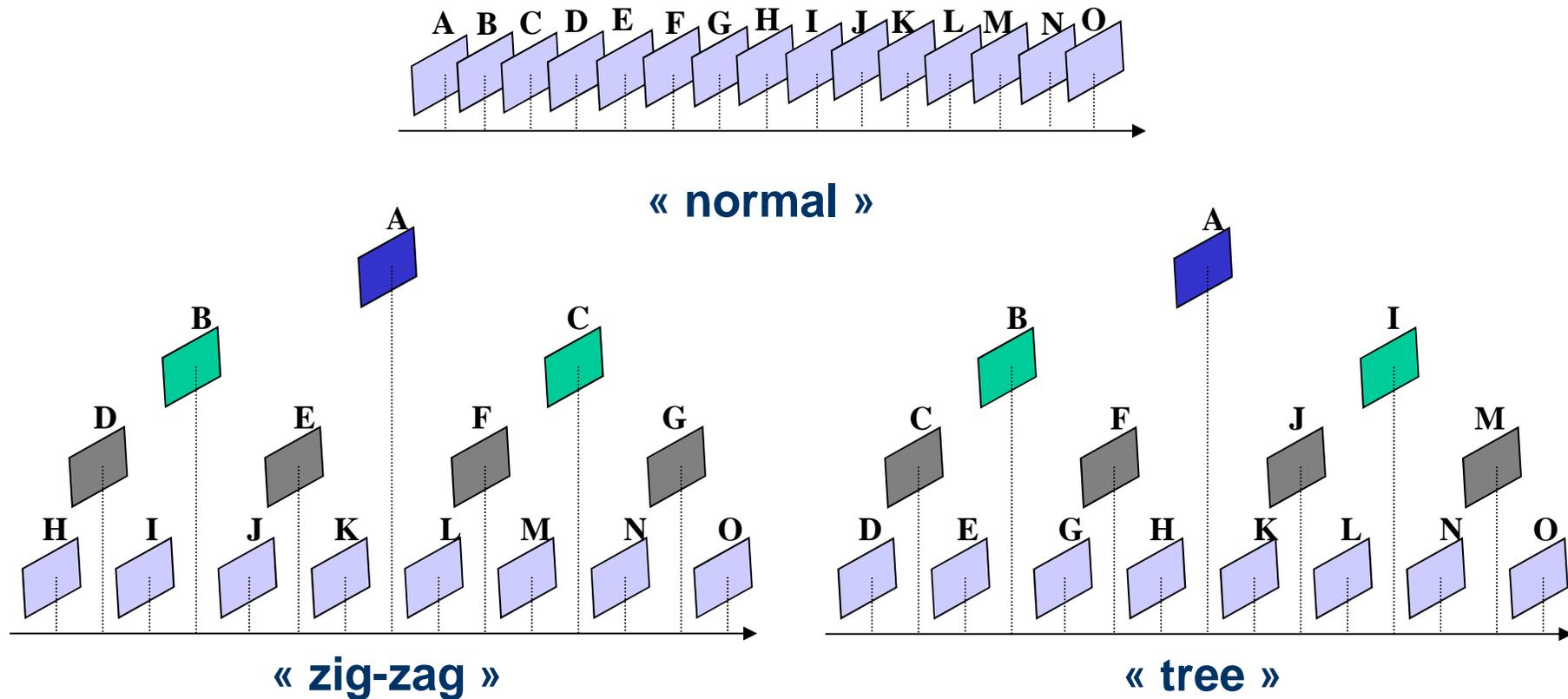
- Réalisation de l'opération de mélange de trames



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



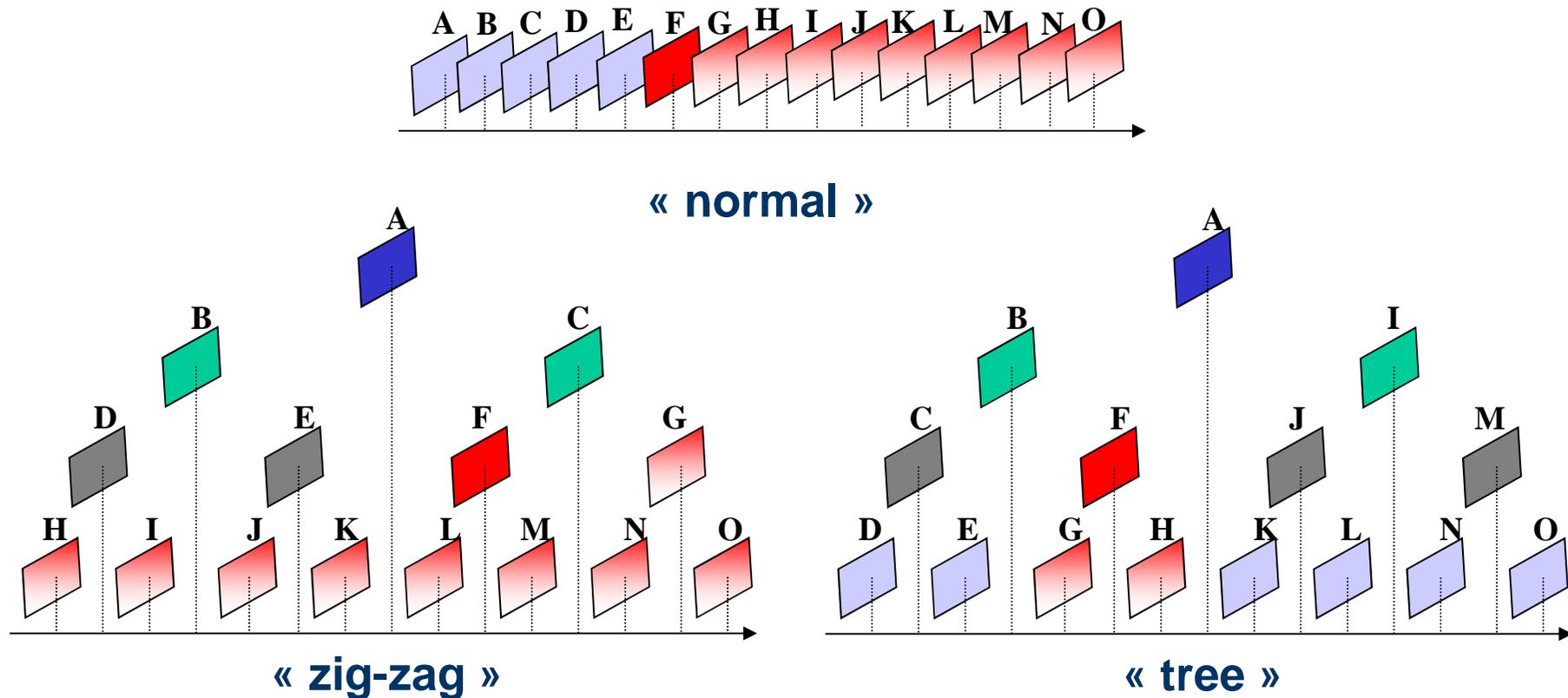
- Exemple de réalisation



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



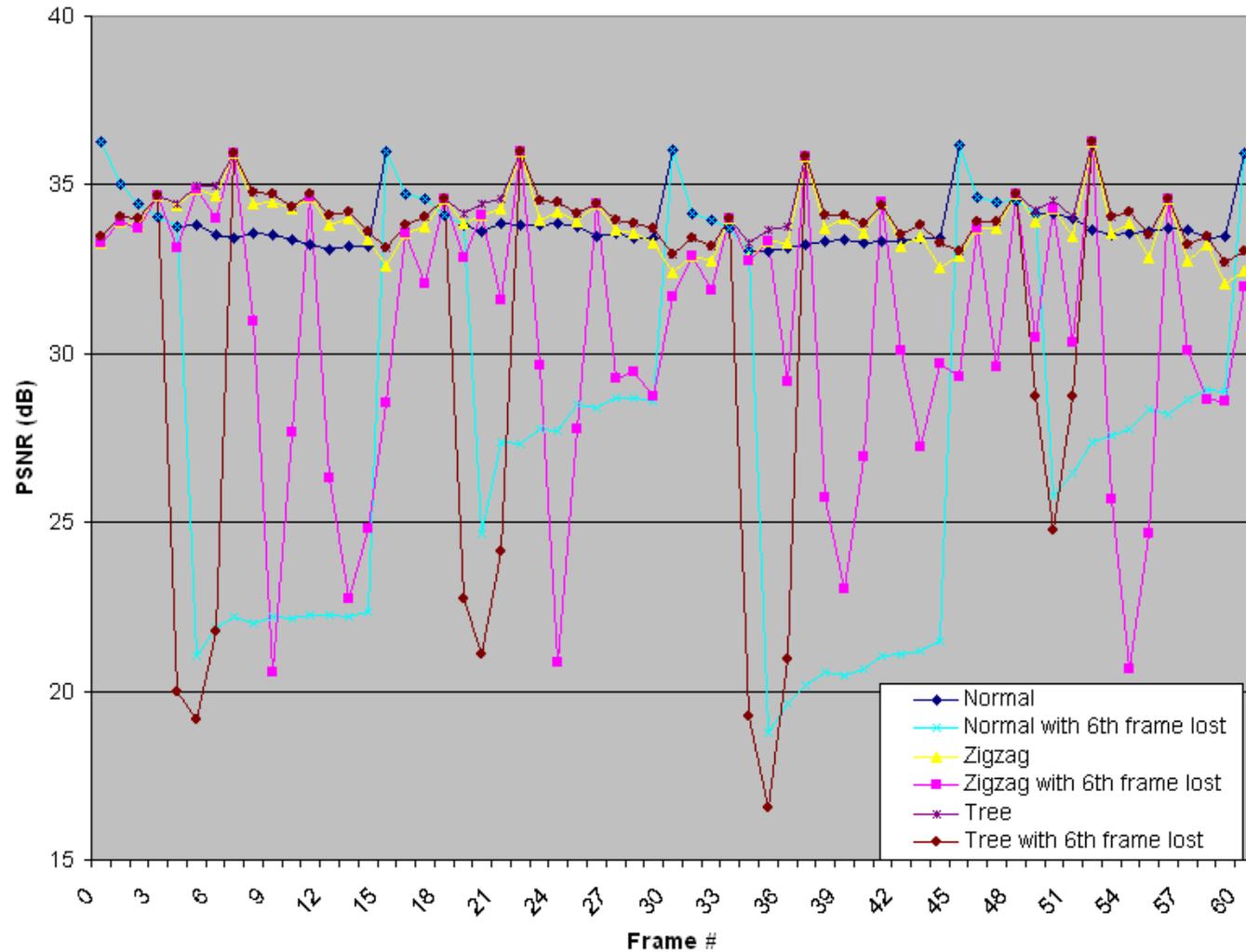
- Exemple de réalisation : impact d'une trame erronée



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / scalabilité



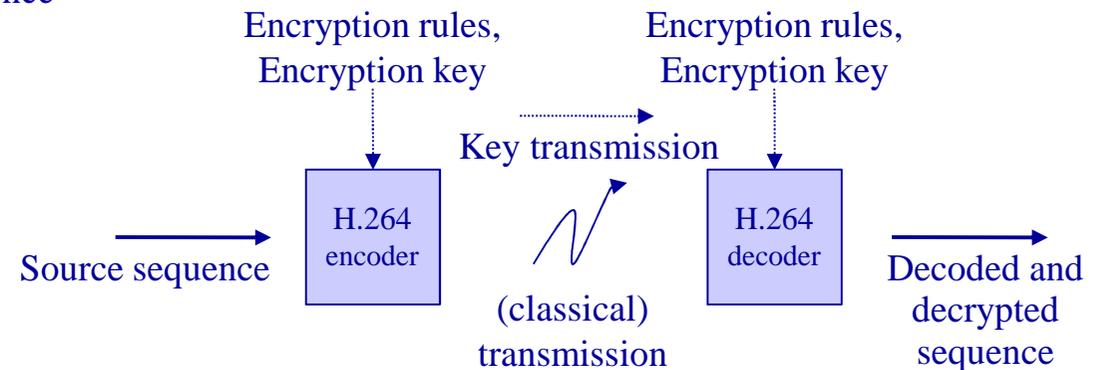
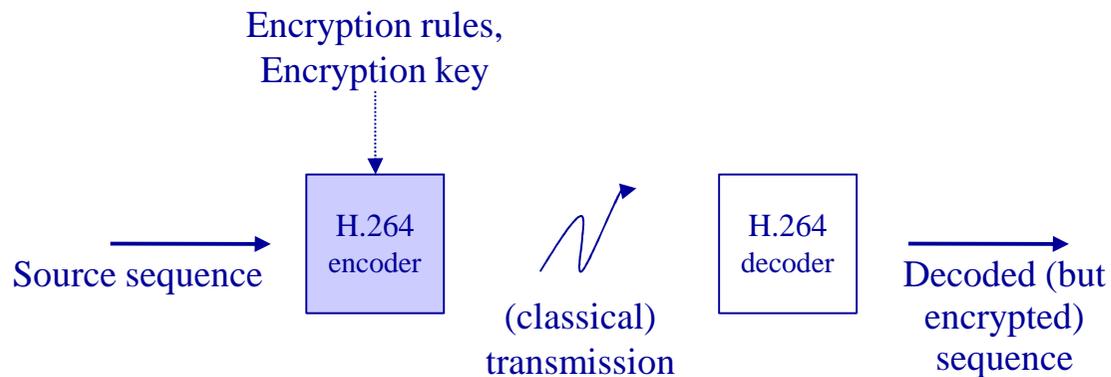
- Exemple de performances (sixième trame perdue, H.264 en GOP de format I_1P_{14})





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / chiffrement

- Amélioration : chiffrement partiel pour ajout de sécurité
- Le problème est de chiffrer de manière compatible donc :
 - Sans impact visible pour un décodeur standard
 - Sans biais introduit permettant de casser le code
- Le principe retenu : chiffrer les bits qui ne modifient pas la syntaxe H.264

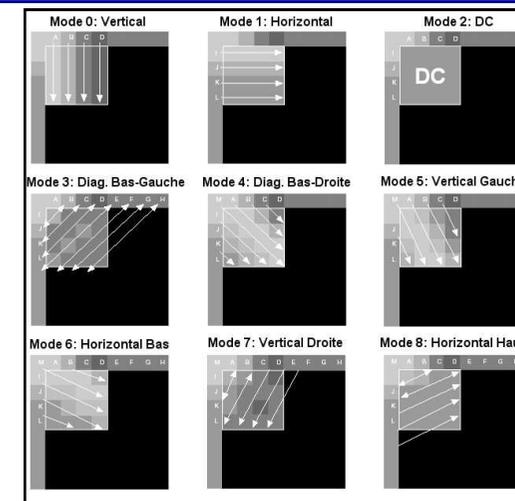




Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / chiffrement

- Exemple: chiffons le mode de prédiction Intra 4x4

0	Vertical	0
1	Horizontal	1
2	DC	X
3	Diag. Bas gauche	2
4	Diag. Bas droite	3
5	Diag. Vertical droit	4
6	Diag. Horizontal bas	5
7	Diag. Vertical gauche	6
8	Diag. Horizontal haut	7



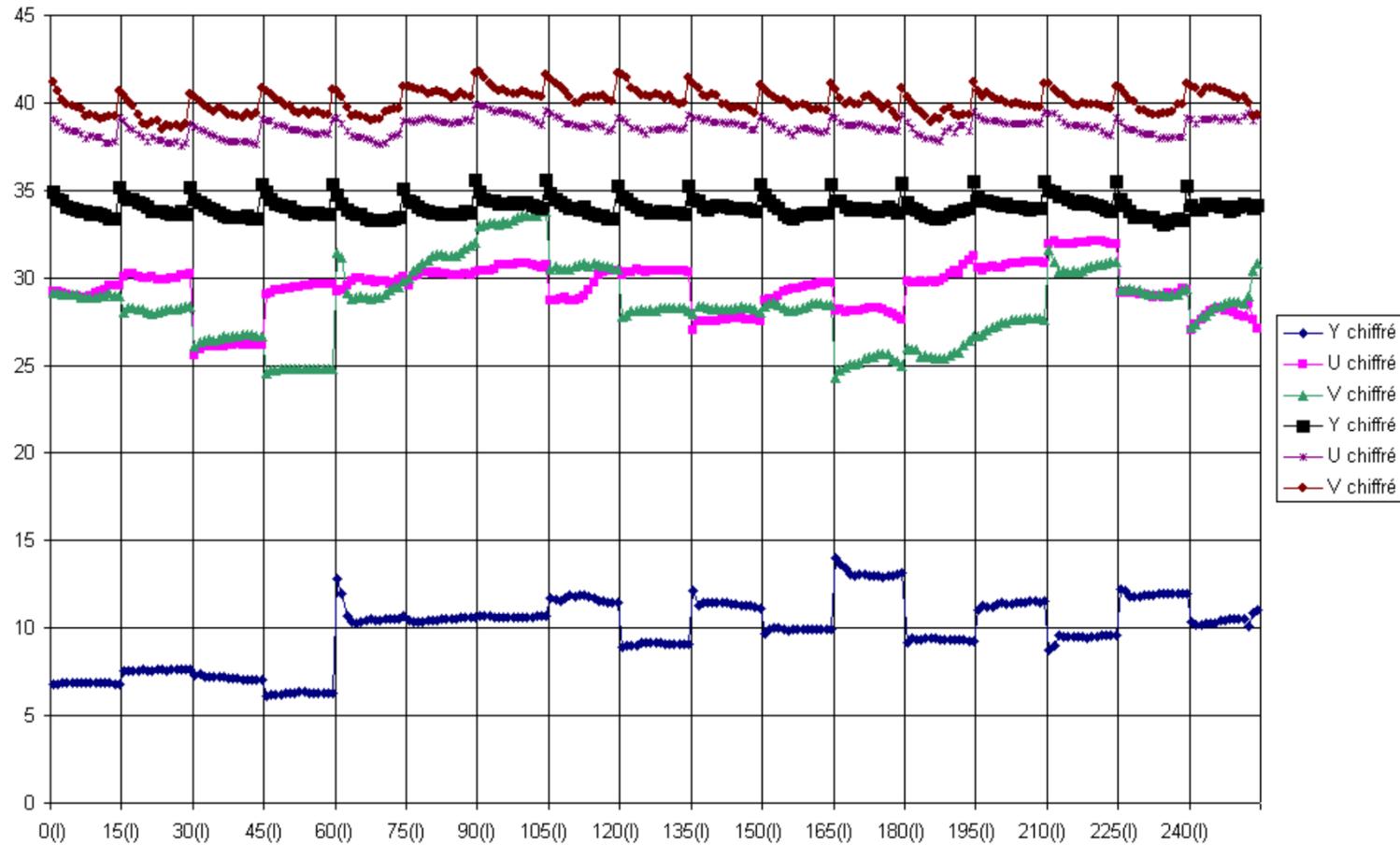
→ '0011'

- On peut chiffrer les trois derniers bits, soit 0011.
- Comme le mode de prédiction dépend aussi des précédentes prédiction (haut et gauche), l'impact du chiffrement se propage dans le quadrant en bas à droite



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / chiffrement

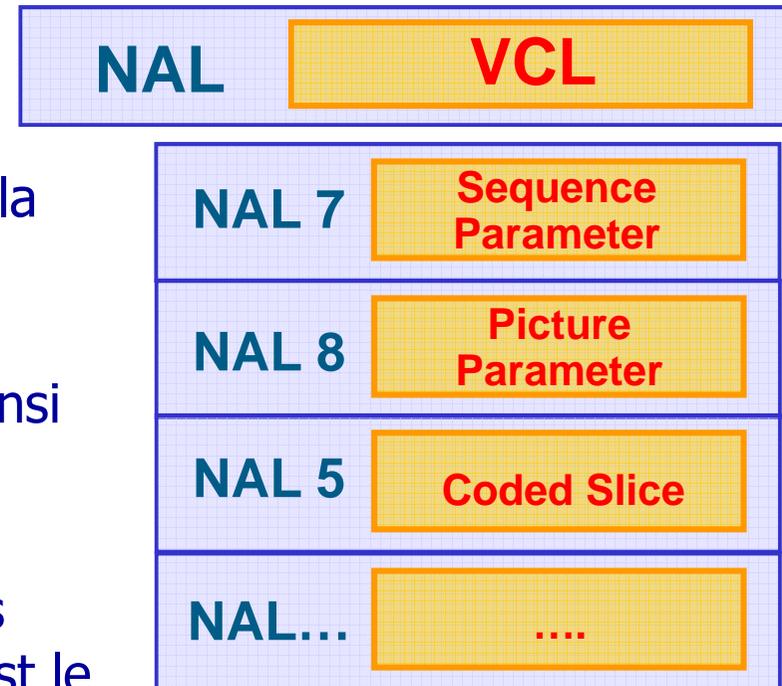
- Exemple de performance





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

- Amélioration : intégration de codage correcteur d'erreur
 - Le flux H.264 se découpe en unités NAL comprenant l'information proprement dite dans la partie VCL
 - Le partitionnement en-tête NAL/VCL, qui se subdivise du fait des différents VCL possibles, ainsi que le codage entropique rendent le flux très sensible aux erreurs et pertes
 - Les couches de transmission ne parviennent pas toujours à garantir un $P_e=0$, surtout lorsque c'est le réseau qui pêche (*bottleneck*)
- ➔ Intérêt de l'introduction de codage correcteur au niveau couche haute

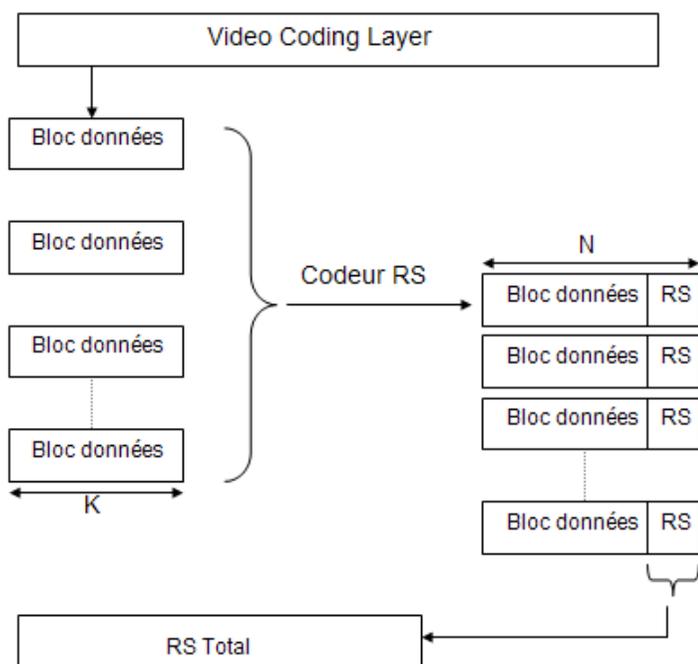




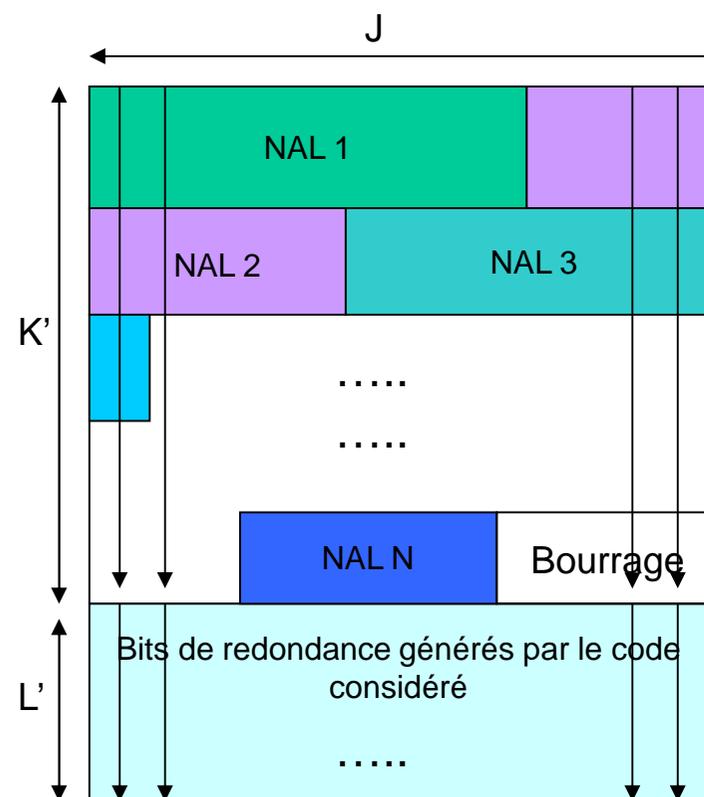
Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

- Deux cas sont envisageables

- Principe une NAL vidéo/ une NAL Redondance



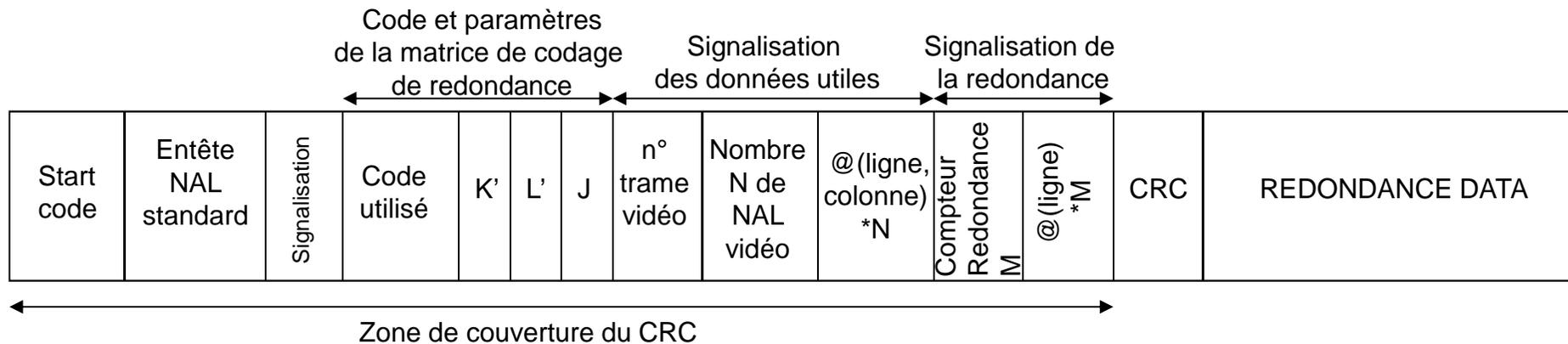
- Principe N NAL vidéo/ M NAL Redondance





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

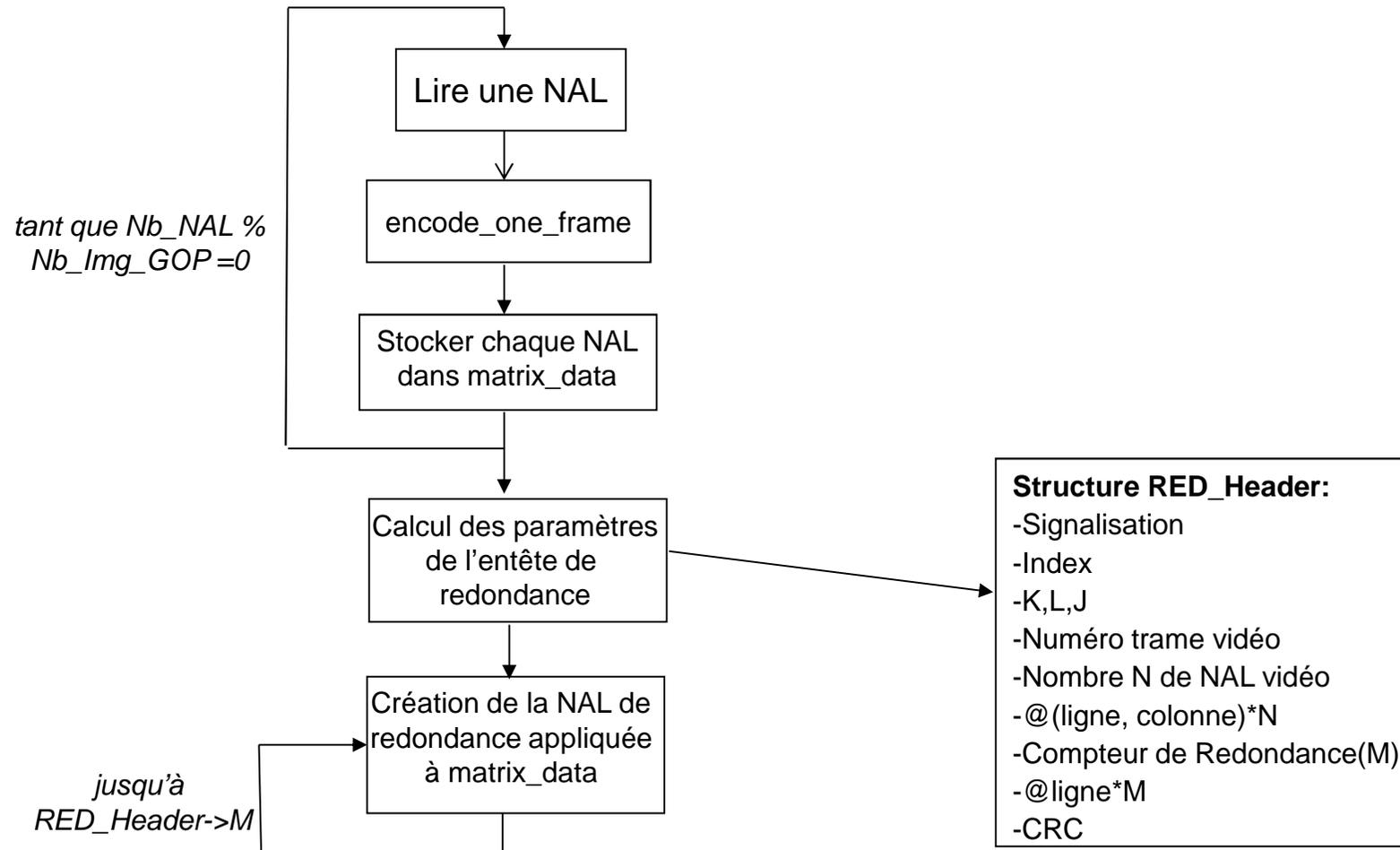
- Cas N/M : exemple d'en-tête possible





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

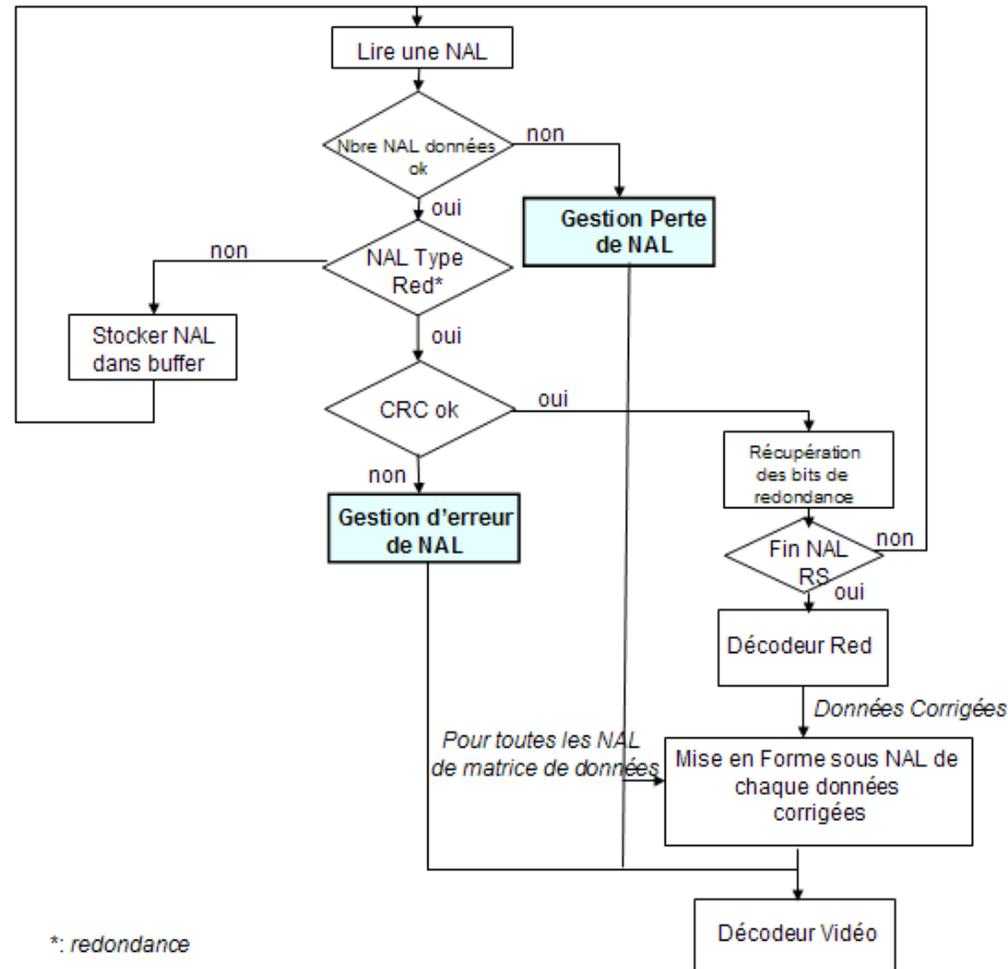
- Cas N/M : opération de codage





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

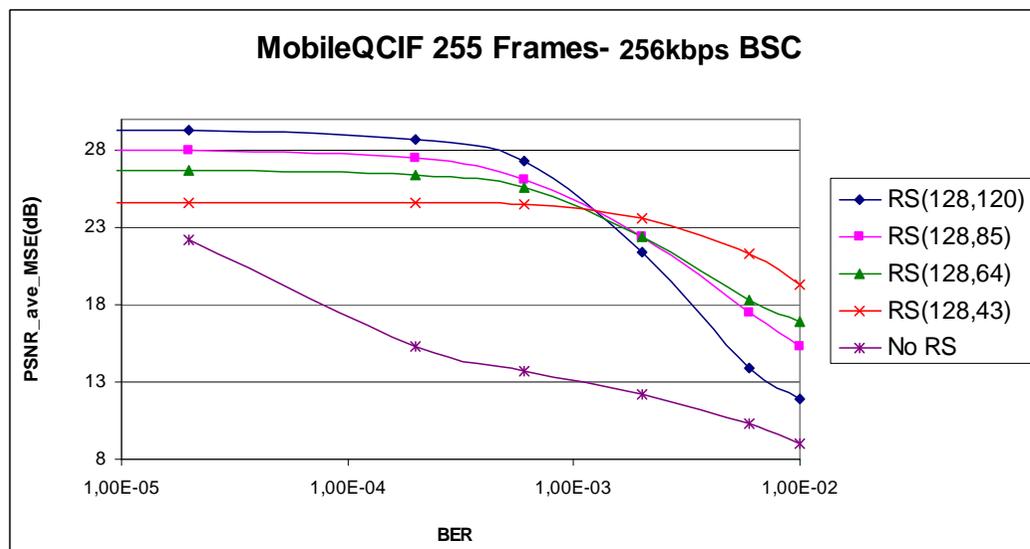
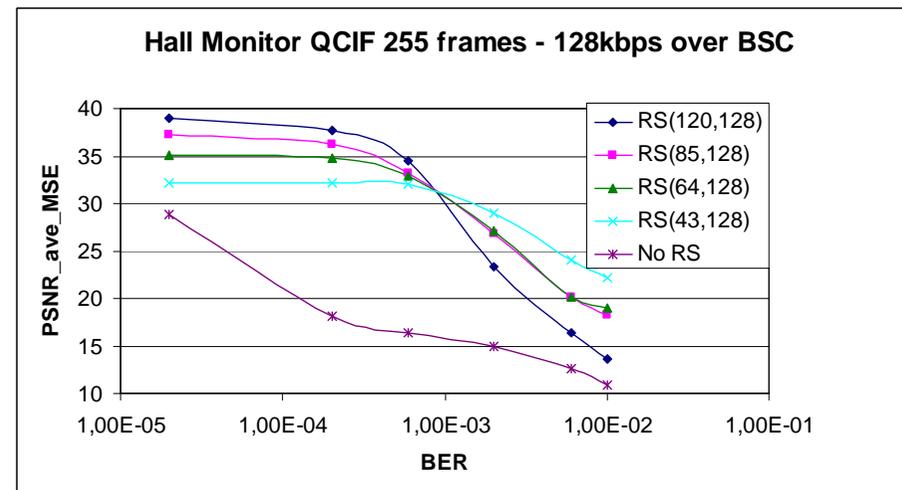
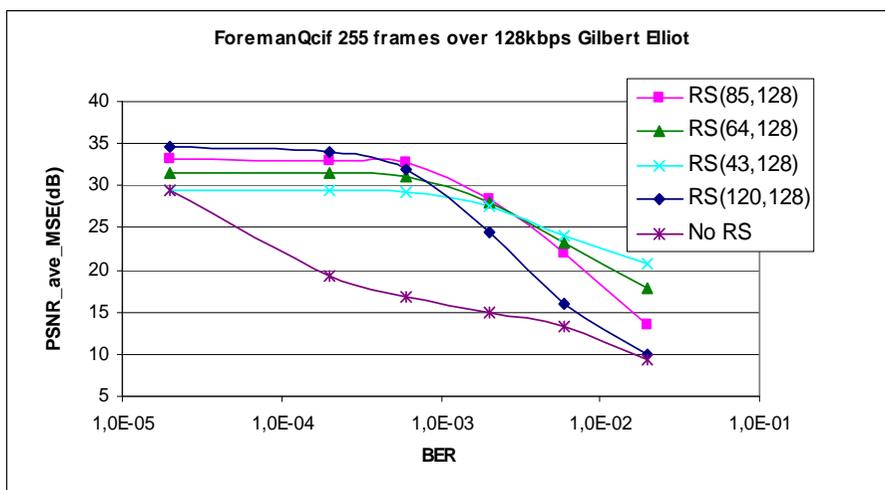
- Cas N/M : opération de décodage





Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

- Exemple de performances



- vidéos QCIF(176x144)
- Séquence de 255 images
- 30 images/s
- GOP de 15 images
- Ajout de redondance N/M



Codeur vidéo H.264 AVC amélioré / redondance

- Exemple de performances

Application lors du TP



Pompe de diffusion (RTP)

- Diffusion de flux vidéo temps réel : protocole RTP (*Real-time Transport Protocol*)
 - LE protocole pour la diffusion de données multimédia sur Internet
 - *Media on Demand* OU *Interactive Services* (visiophonie)
 - Différentes recommandations ont été publiées pour préciser des profils particuliers pour différents types de flux : audio, image, vidéo, ...
 - Grâce à RTP on a un moyen de marquer les paquets (*timestamp*) afin de lutter contre la gigue, les retards et de bien gérer les files d'attente
- Protocole associé : partie contrôle
 - RTCP (Real-time Transport Control Protocol) est le compagnon de RTP pour suivre la qualité de service offerte par la diffusion (grossièrement)



Pompe de diffusion (RTSP)

- Un moyen très efficace de télé-guider la pompe est d'utiliser RTSP (*Real-time Streaming Protocol*) en conjonction avec RTP
 - Commandes de type magnétoscopes : « play », « pause », « stop » ...
 - Moyen de transférer des données supplémentaires (metadata)
 - Capacité de définition de commandes spécifiques (e.g. choix de diffusion)

Client request:

```
SETUP rtsp://camera_ip_adress:camera_rtsp_port/camera_svc/video1 RTSP/1.0\r\nCSeq: 3\r\nTransport: RTP/AVP;unicast;client_port=1522\r\nDecoder-Limit :max-resolution=352x288; max-framerate=1500\r\n\r\n
```

Info capacité maximale :
flux vidéo format CIF 15 HZ



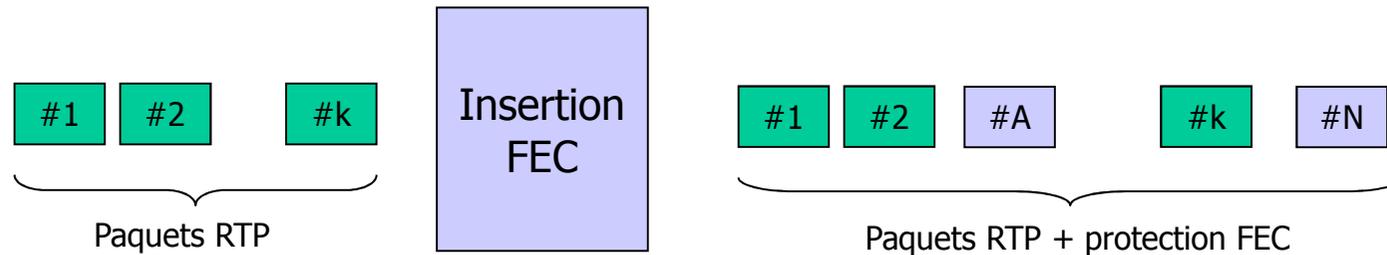
Pompe de diffusion (RTP)

- Amélioration : intégration de codage correcteur au niveau RTP
 - RFC RTP-FEC (IETF)
 - L'ajout de redondance peut se faire au niveau des paquets RTP
 - Cas 1 : protéger le flux puis faire l'encapsulation ☹ compatibilité -- ☹
 - Cas 2 : protéger le flux RTP lui-même en ajoutant des paquets RTP de redondance
- Intérêt de l'approche :
 - Formalisme des en-têtes reconnu par tous
 - Décodage si besoin/si souhaité seulement
 - Système générique



Pompe de diffusion intelligente (RTP)

- Amélioration possible : adaptabilité via transcodage au niveau RTP
 - On peut intégrer dans le nœud d'émission voire dans tout nœud du système une fonctionnalité de transcodage permettant d'introduire de l'intelligence dans la pompe de diffusion



- Plus dynamique que l'insertion au niveau application, mais moins souple puisque les paquets sont déjà pré-définis (RTP)



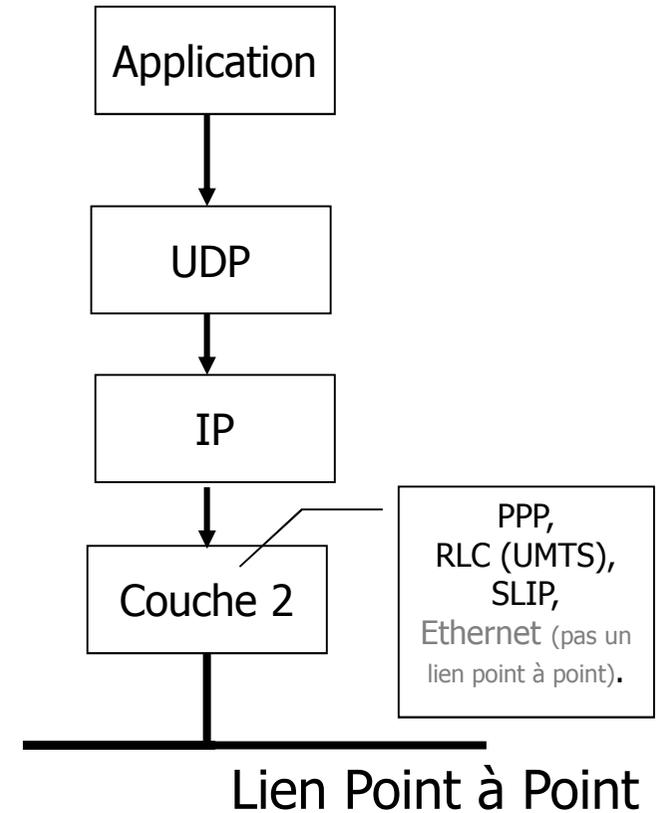
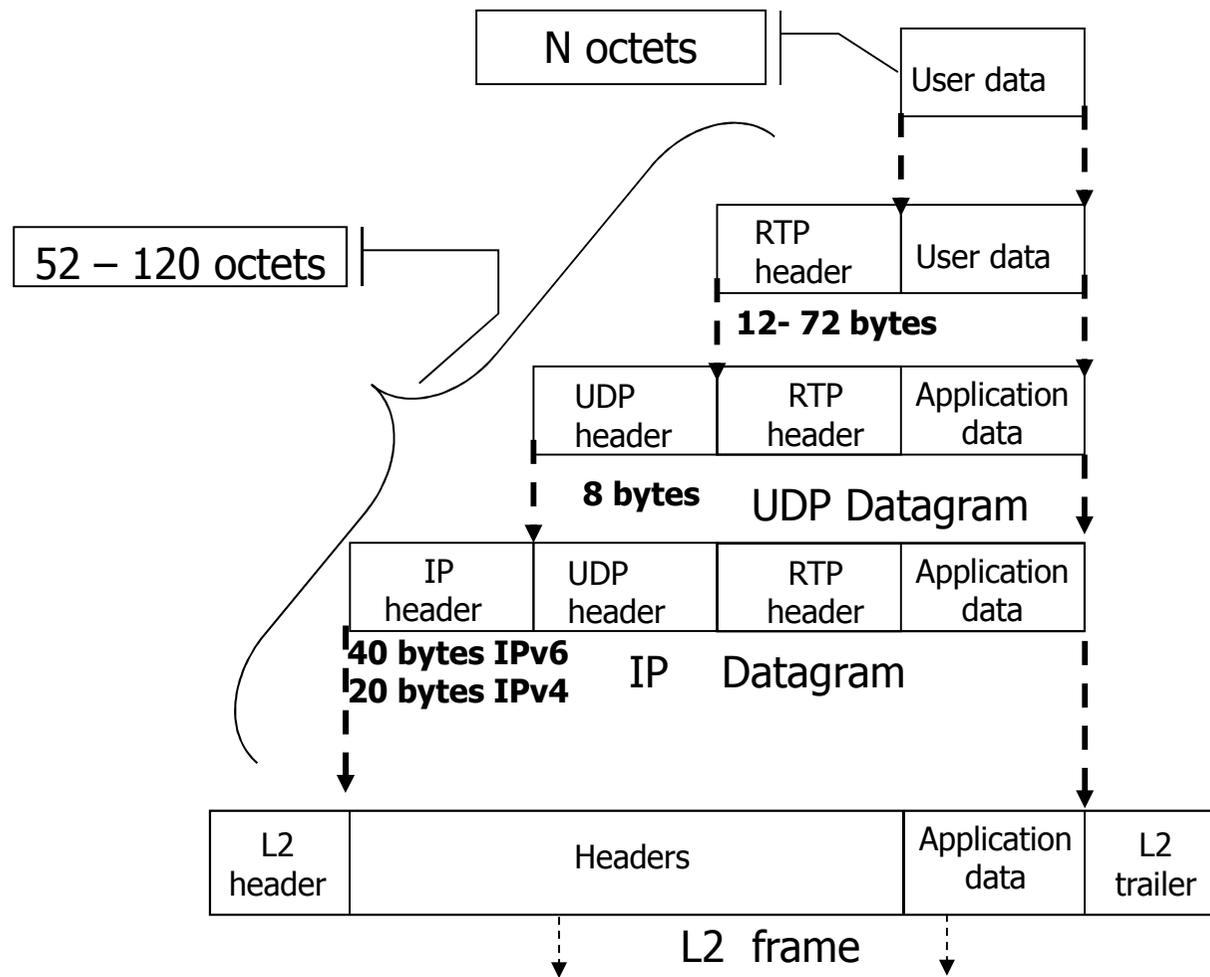
Protocoles de transport : rappels

- La couche Transport
 - Rôle : permettre à des applications tournant sur des machines distantes de communiquer
 - Moyen : communication des processus application via un champ d'identification, le numéro de port
 - NB: ceci fonctionne en théorie indépendamment des couches basses, mais bien entendu la couche réseau doit être la même (IPv4 OU IPv6)
- Les protocoles qui nous intéressent en mode streaming sont :
 - TCP (pour l'établissement de la communication, d'éventuels éléments de gestion)
 - UDP et ses évolutions type UDP-Lite ou DCCP pour leur flexibilité agrandie



L'intérêt de la compression d'en-tête

- Processus d'encapsulation de données multimédia classique





L'intérêt de la compression d'en-tête

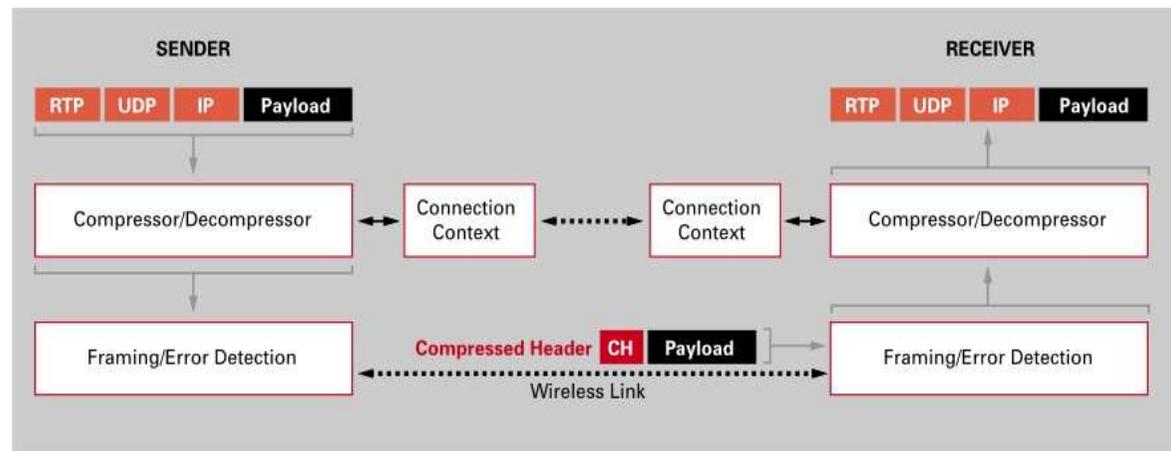
- Le coût des en-têtes :
 - Cas ultime : données audio temps réel (*e.g.* VoIP)
 - $N \sim 20$ octets → taille en-têtes \gg taille charge utile !!!
 - Cas plus optimal : données multimédia sur lien type Ethernet
 - $N \sim 1000$ octets → en-têtes peuvent tout de même représenter 10% du débit !
- Pourquoi, que faire ?
 - En-têtes conçues à l'époque pour les applications sans fil
 - En-têtes conçues pour des données de grande taille (*e.g.* MTU Ethernet)
 - Peu d'information utiles : répétitions, données sans intérêt
 - Grande fragilité du fait de la présence de sommes de contrôle (CRC)





Compression d'en-tête robuste (RoHC)

- RoHC: standard de compression d'en-tête standardisé par l'IETF
 - RFC 3095 : RObust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed
- Le principe de RoHC est d'appliquer une compression aux en-têtes de protocoles (RTP, UDP, IP, ...) qui ont tendance à utiliser une partie non négligeable du flux





Compression d'en-tête robuste (RoHC)

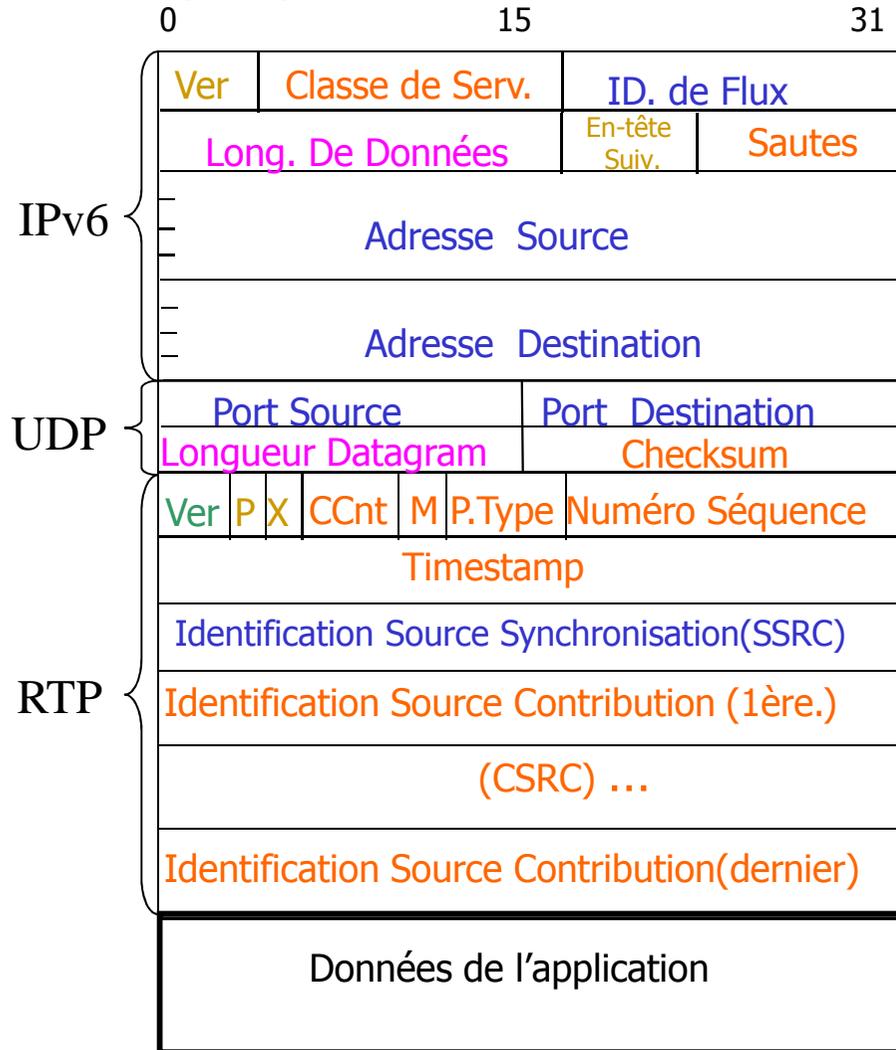


- RoHC repose sur la classification des différents champs d'en-tête, à partir d'une analyse des variations de ces champs au cours du temps
- **INFERRED** : champs contenant des valeurs qui peuvent être déduits d'autres champs
- **STATIC** : champs dont la valeur est supposée constante dans le même flux de donné
- **CHANGING** : champs qui peuvent varier aléatoirement. Ces champs doivent être transmis soit non compressés, soit compressés par un algorithme de codage de source
 - **SEMISTATIC** : champs qui changent occasionnellement mais reviennent à leur valeur originale après un nombre (connu) de paquets
 - **RARELY-CHANGING (RC)** : champs qui ne changent que très occasionnellement et alors gardent leur valeur acquise
 - **ALTERNATING** : champs qui changent dans un ensemble très restreint de valeurs
 - **IRREGULAR** : champs pour lesquels aucune modélisation ne peut être identifiée



Compression d'en-tête robuste (RoHC)

- Exemple pour un en-tête RTP/UDP/IPv6

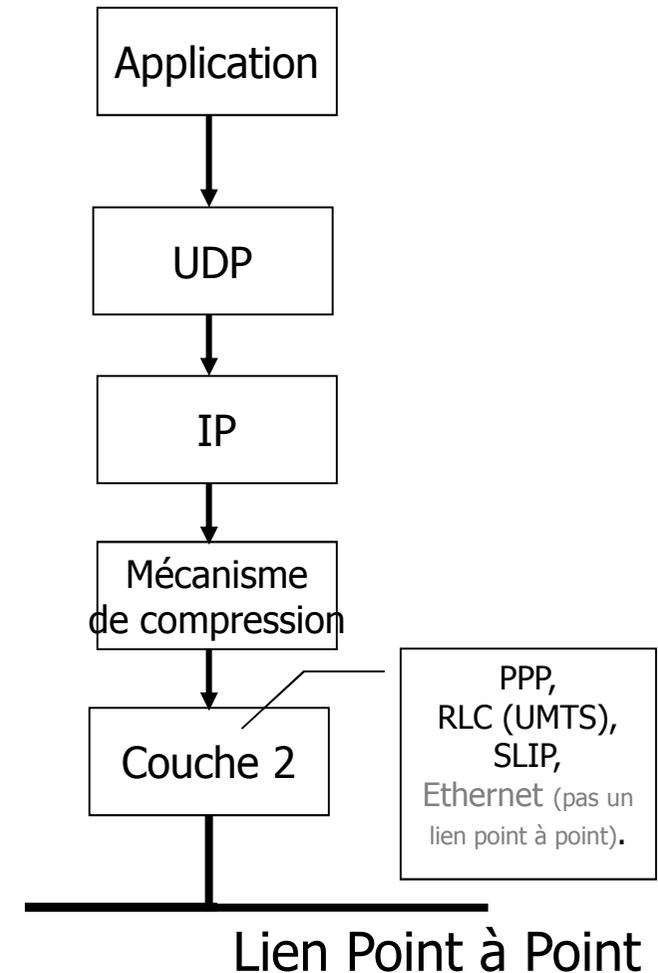
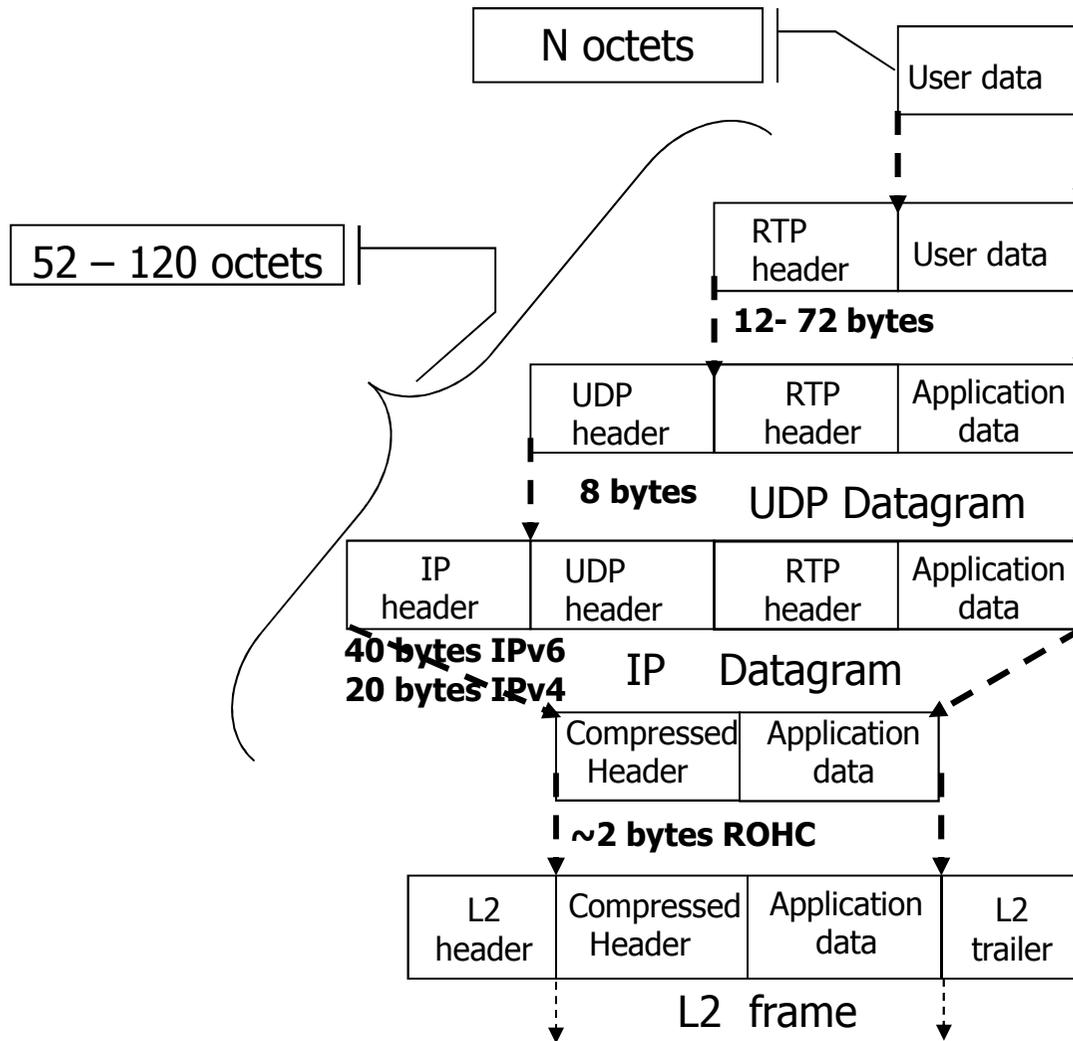


- INFERRED
- STATIC
- STATIC-DEF
- STATIC-KNOWN
- CHANGING



L'intérêt de la compression d'en-tête

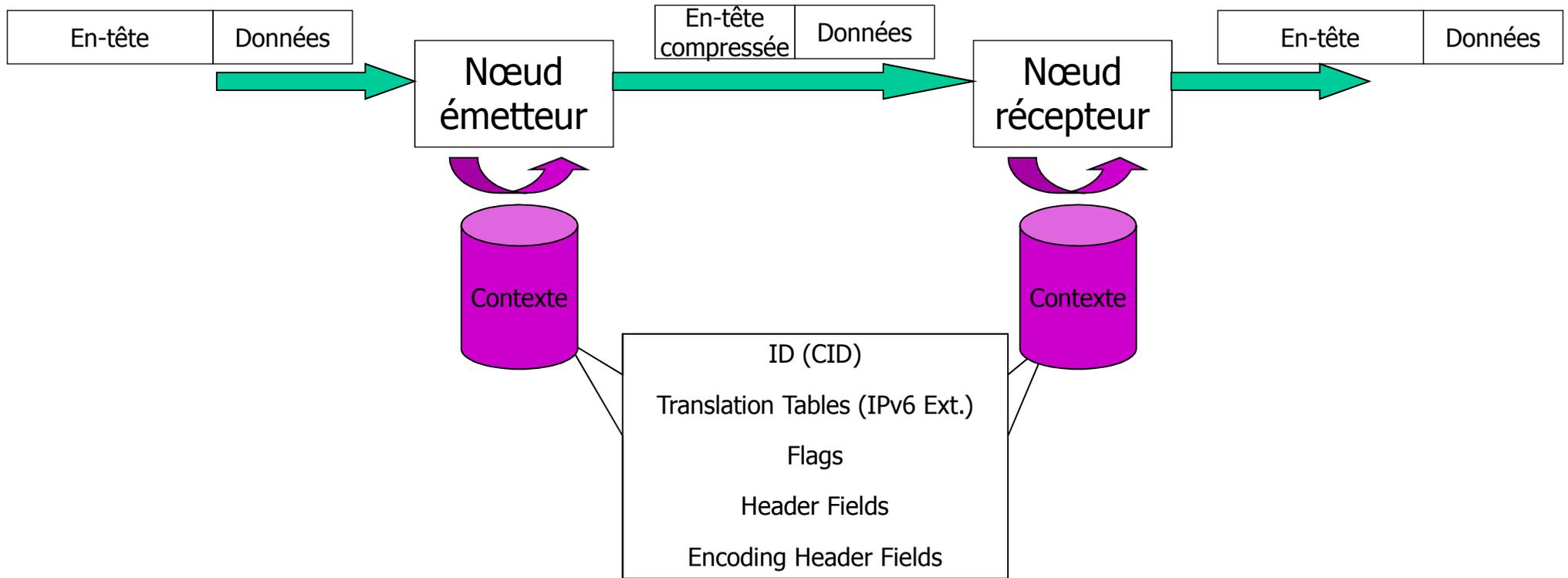
- Processus d'encapsulation avec introduction de compression type RoHC





Compression d'en-tête robuste (RoHC)

- Un processus point à point

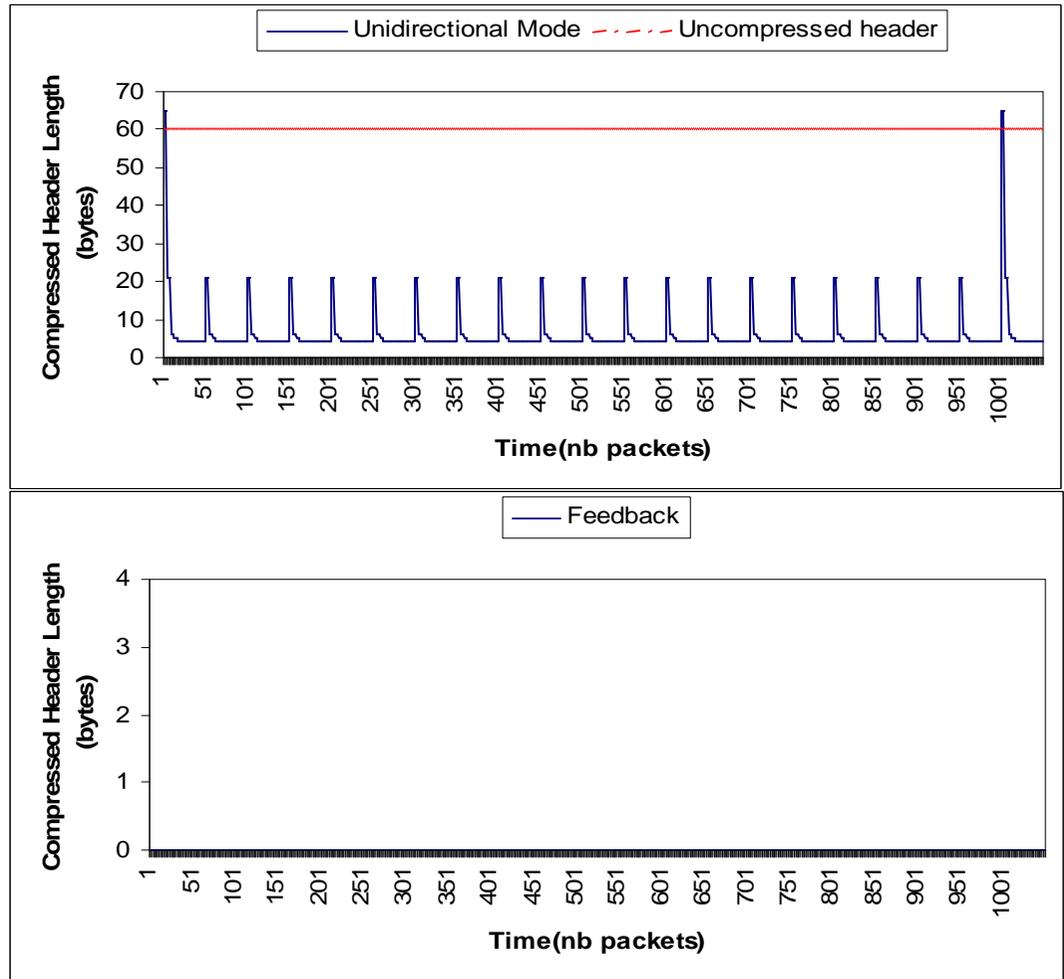


- Trois modes : U, O, R selon les applications visées



Compression d'en-tête robuste (RoHC)

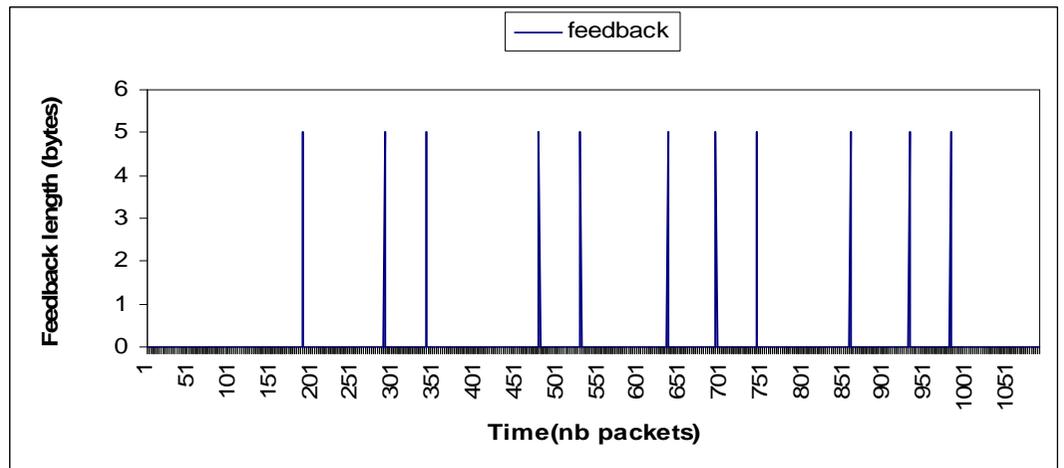
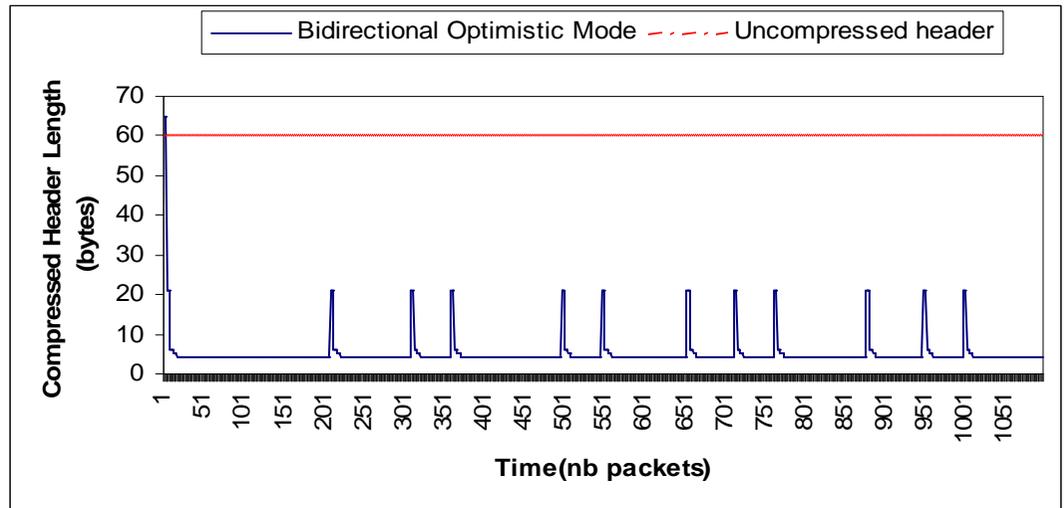
- Exemple de performance : profil de variation en **mode U** (unidirectionnel)
 - Pas de messages de retour
 - La taille des en-têtes est totalement déterminée par les paramètres du compresseur
 - $R_{rohc} = f(IR_T, FO_T, L)$





Compression d'en-tête robuste (RoHC)

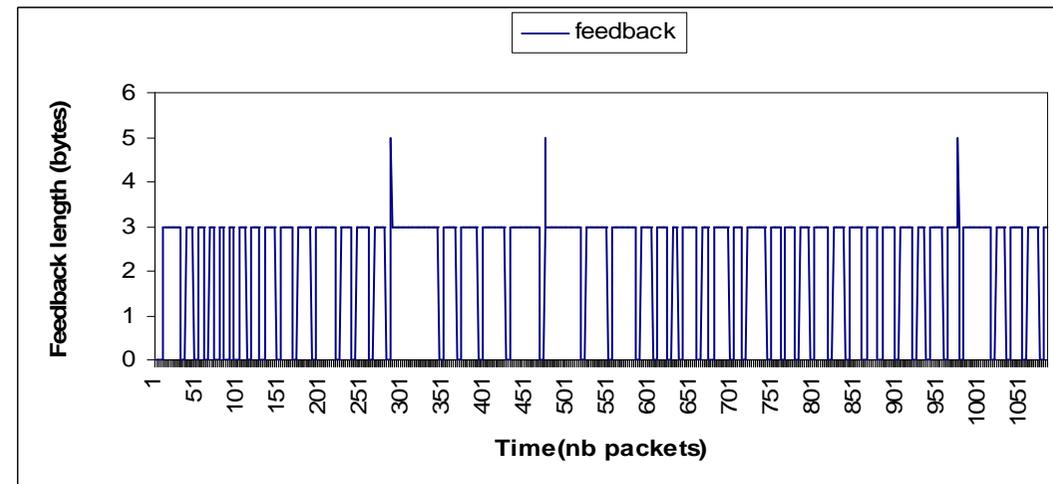
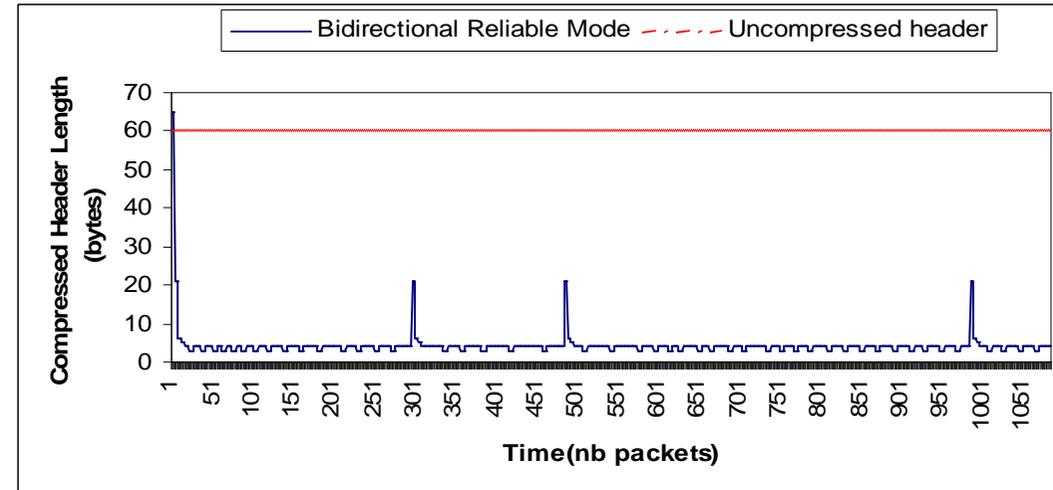
- Exemple de performance : profil de variation en **mode 0** (optimiste)
 - messages de retour négatifs (pour indiquer erreurs)
 - La taille des en-têtes dépend des paramètres du compresseur du décompresseur et du canal
 - $R_{rohc} = f(L, k_1, n_1, k_2, n_2, ber)$





Compression d'en-tête robuste (RoHC)

- Exemple de performance : profil de variation en **mode R** (fiable)
 - messages de retour positifs et négatifs
 - La taille des en-têtes dépend des paramètres du décompresseur et du canal
 - $R_{rohc} = f(k_1, n_1, k_2, n_2, ber)$

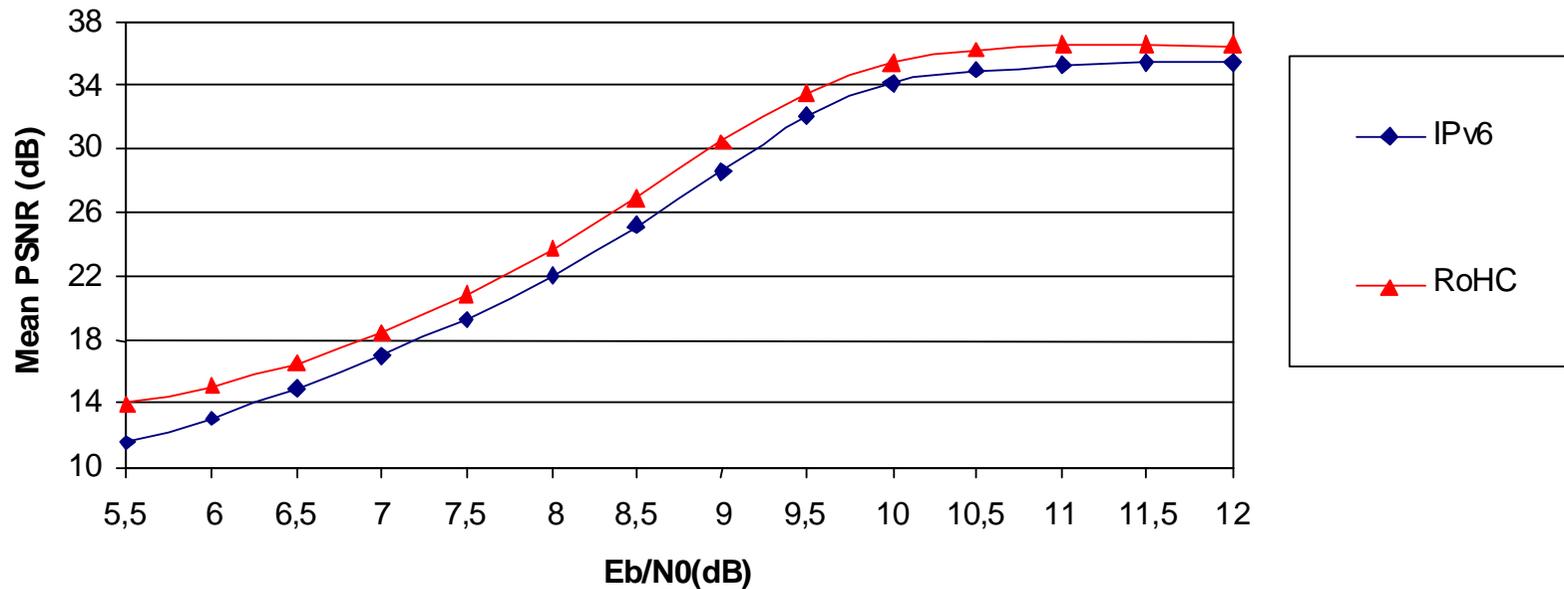




Compression d'en-tête robuste (RoHC)

- Exemple de performance : gain apporté par RoHC (diffusion de vidéo)

foreman qcif 15fps , throughput of 172kbps



Un gain de 2 à 3dB en PSNR est observé sur l'ensemble de la plage de TEB



Compression d'en-tête robuste (RoHC)

- Quelles leçons en tirer ?
 - « Robuste ? »
 - RoHC est « robuste » car moins de pertes de paquets
 - Mais les en-têtes compressés deviennent de fait encore plus sensibles face à des mécanismes intelligents en réception
 - Comment compresser, quels paramètres choisir
 - Les choix dépendent de l'application
 - Le processus est en partie adaptatif donc peut évoluer si le contexte change trop
 - De manière générale, le système marche de toute façon « assez bien » tout seul

Profils et modes RoHC	Taille paquets IP	Entête d'origine	Entête compressée moyenne	Taux de compression global	Taux de pertes paquets	
					Ber=5.10 ⁻⁴	ber=10 ⁻³
Profil RTP/UDP-lite/IPv6 Mode U	248 octets	60 octets	5 octets	22.2%	2%	7%
Profil RTP/UDP-lite/IPv6 Mode O	248 octets	60 octets	4 octets	22.6%	1.5%	5%
Profil RTP/UDP-lite/IPv6 Mode R	248 octets	60 octets	4 octets	22.6%	1%	4%



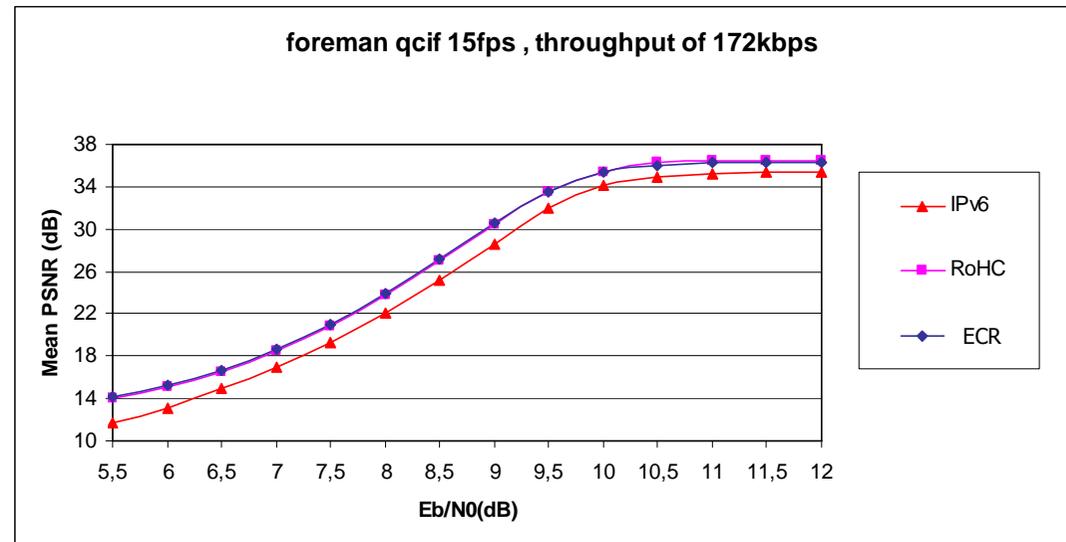
Compression d'en-tête robuste (RoHC) / mode ECR

- Mais dans le contexte d'une transmission avec somme de contrôle,
 - L'en-tête, désormais compressée, devient la partie la plus sensible du paquet IP
 - Une erreur dans l'en-tête ne pouvant plus être corrigée par un algorithme intelligent amène immédiatement la perte du paquet
- L'en-tête étant désormais de taille très réduite, on peut envisager de la protéger spécifiquement : ajoutons un code correcteur après la compression, de faible rendement
 - Cela sera-t-il suffisant ?
 - Cela a-t-il un sens ?



Compression d'en-tête robuste (RoHC) / mode ECR

- Dans un contexte « transmission de données »
 - 1 erreur = tout est perdu, donc intérêt limité
- Dans un contexte « multimédia » avec protection inégale aux erreurs,
 - l'en-tête compressée est la partie la plus sensible du paquet IP
 - mais rien ne sert qu'elle soit juste si la partie données est elle-même trop corrompue





Compression d'en-tête robuste (RoHC) / mode ECR

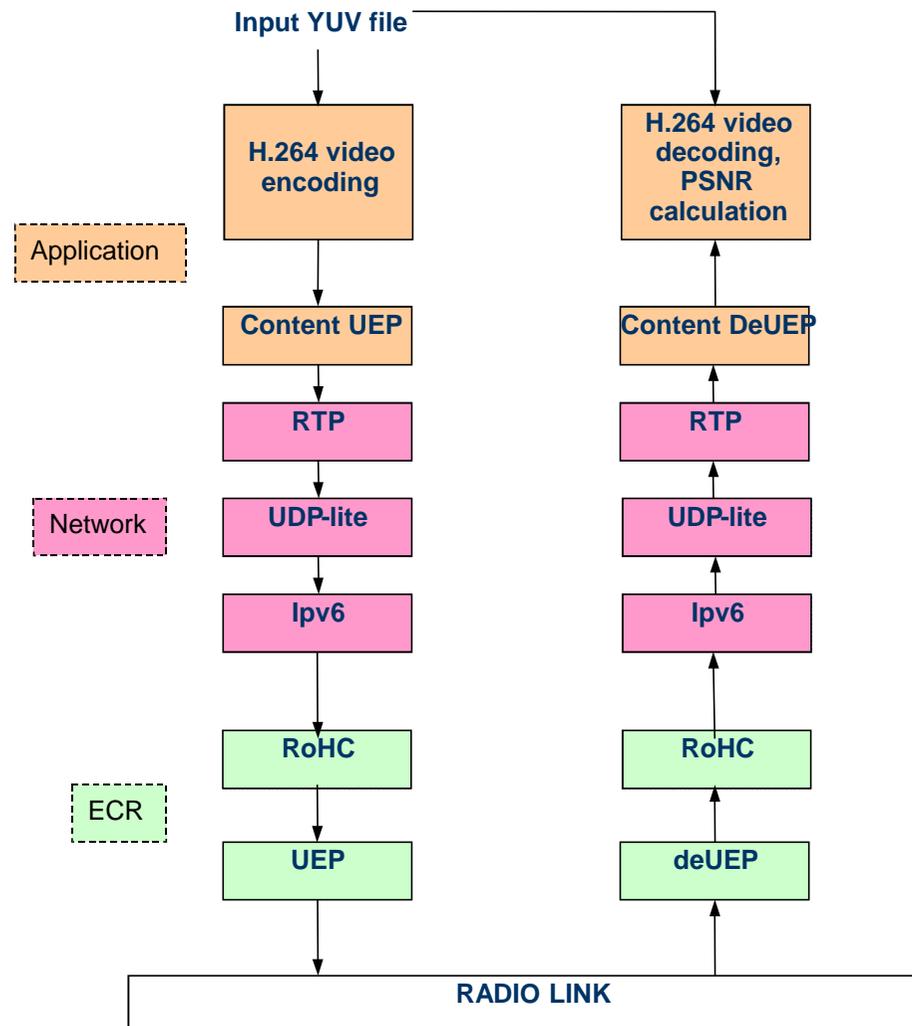
- Alors ?
- Reprenons : dans un contexte « multimédia » avec protection inégale aux erreurs,
 - l'en-tête compressée est la partie la plus sensible du paquet IP
 - mais rien ne sert qu'elle soit juste si la partie données est elle-même trop corrompue
- On peut alors envisager une double protection :
 - Pour les données elles-mêmes, au niveau source
 - Pour les en-têtes compressés, en utilisant un profil étendu RoHC : mode « En-tête Compressée Robuste (ECR) »





Compression d'en-tête robuste (RoHC) / mode ECR

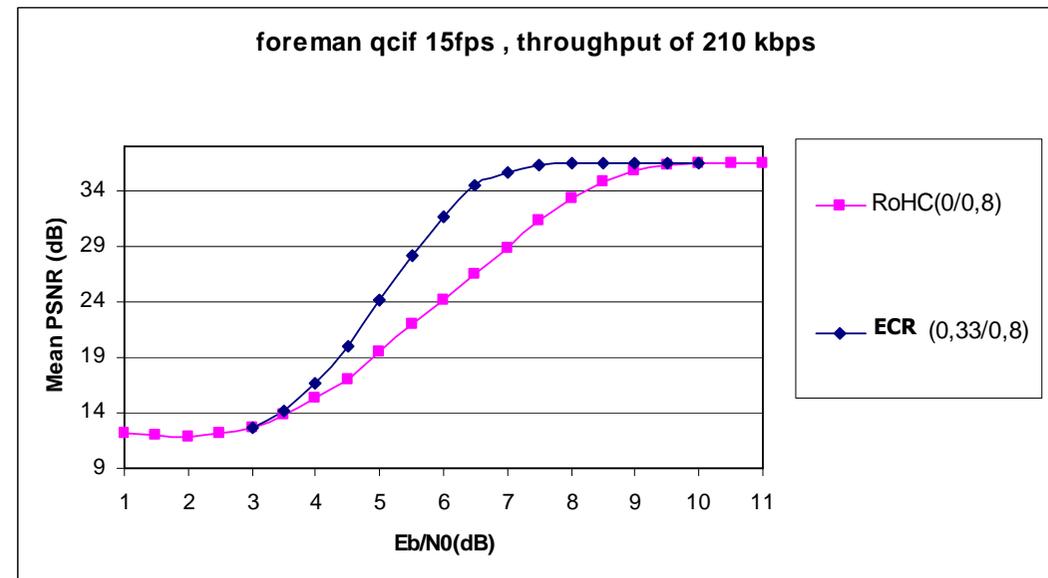
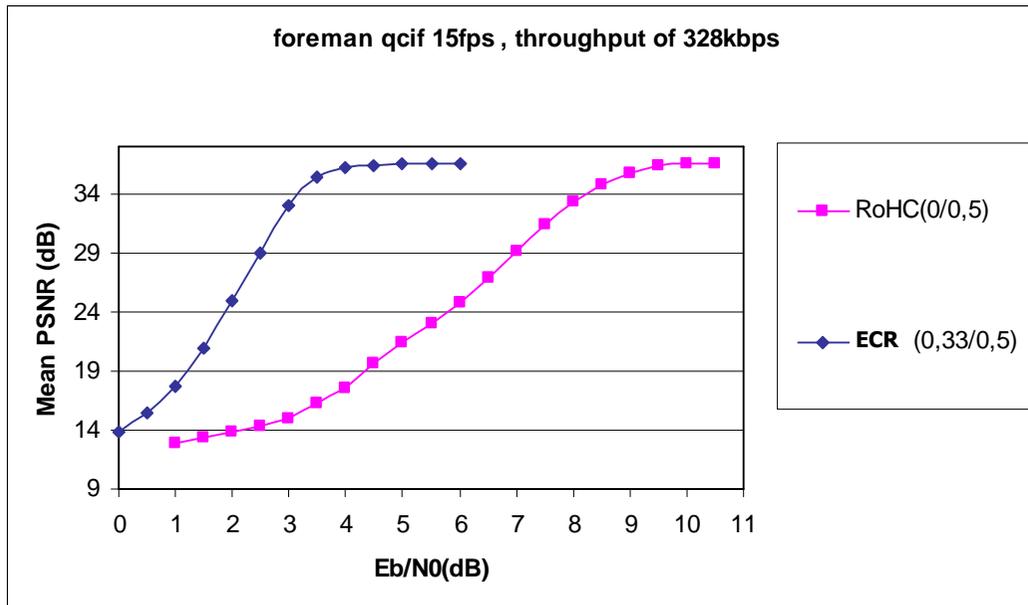
- Ceci donnera par exemple, dans le cas d'une transmission H.264





Compression d'en-tête robuste (RoHC) / mode ECR

- Résultats d'application :
 - même rendement de protection ($R_{app}=0.5$ ou $R_{app}=0.8$) à chaque fois
 - Comparaison entre mode RoHC et mode ECR ($R_{ECR}=0.33$)
- Le gain apporté devient notable !





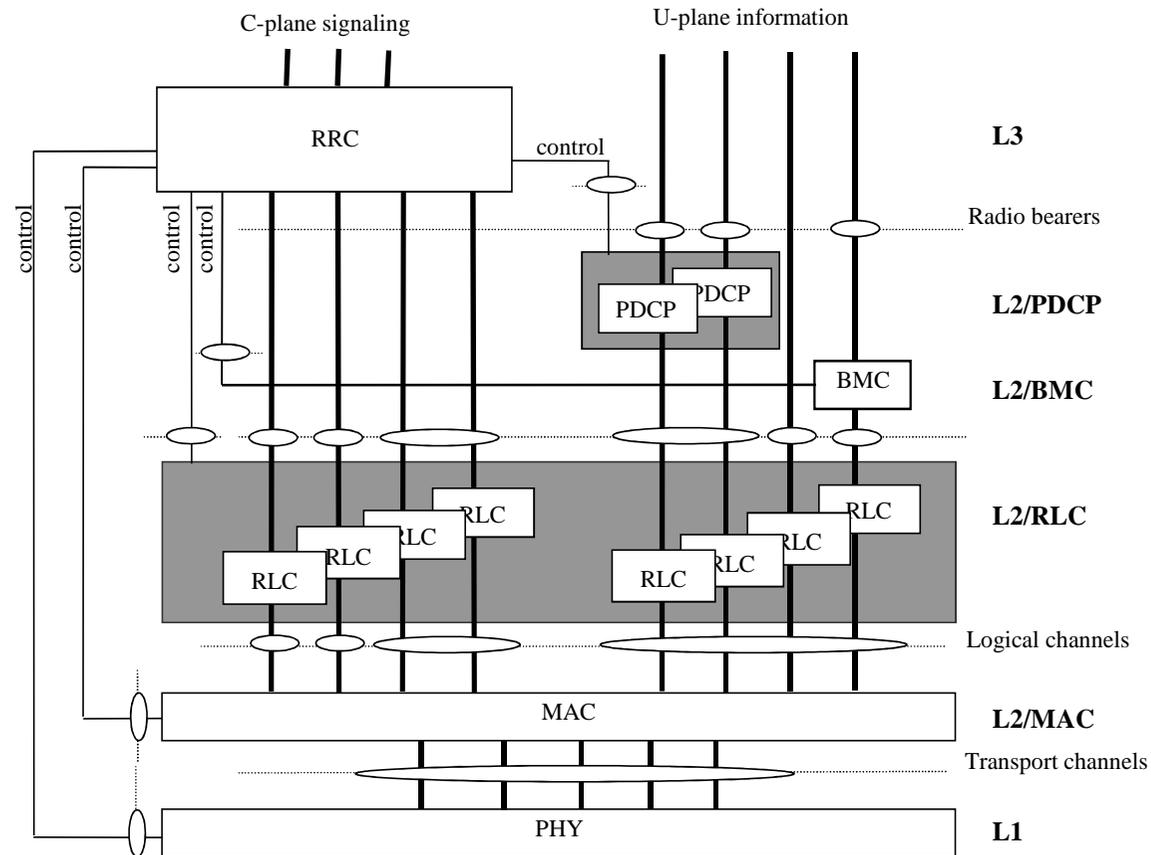
Couche accès radio

- La notion de couche accès radio regroupe :
 - La couche physique (PHY) qui traite de la mise en forme pour transmission proprement dite sur le canal : codage correcteur, entrelacement, modulation, émission, et les traitements divers (traitements d'antennes, démodulations, ...) potentiellement itératifs ou adaptatifs
 - La couche liaison (DL, improprement parfois appelée « MAC ») dont les tâches sont la gestion des erreurs, la gestion des files d'attente, fragmentation/réassemblage (éventuels), la réservation de ressources et détection de collision
 - Dans les réseaux cellulaires, ces couches ont vu une forte augmentation de leurs rôles et de leur complexité respective



Couche accès radio

- Exemple : architecture de référence 3GPP





Couche accès radio

- Comme pour toutes les couches, deux choix sont possibles :
 - Améliorer l'accès radio en tirant partie des particularités « multimédia », comme on l'a vu pour les couches hautes
 - Le garder tel quel (ou avec des modifications mineures)
 - Mais contrairement aux autres couches, l'accès radio repose en général sur des implémentations matérielles
 - Changer notablement les choses peut ne pas être si simple
 - Interopérer devient plus difficile car le temps de renouvellement s'allonge
- On va se poser ici la question du minimal à fournir aux couches hautes pour pouvoir travailler efficacement dans une approche tandem haut/bas





Couche accès radio : le problème de la QoS offerte

- Contraintes minimales pour permettre le travail « optimisé de bout en bout » des couches hautes
 - Remontée des paquets avec charge utile erronée
 - Fourniture d'informations de qualité de service (état du système)
 - Fourniture de modèles/capacités de service en terme QoS
 - Éventuellement, transmission des informations souples aux couches plus hautes (attention aux mécanismes de retransmission)



Couche accès radio : mais aussi ...

- De grands chantiers d'amélioration au niveau couche radio
 - Techniques modernes de modulation
 - Optimisation MAC/PHY *cross-layer*
 - HARQ
 - Adaptation de qualité en fonction du canal
 - Radio cognitive
 - Détection de bandes disponibles
- Ces améliorations fourniront du point de vue système une meilleure QoS (de meilleures possibilités de QoS) sans pour autant modifier l'architecture globale

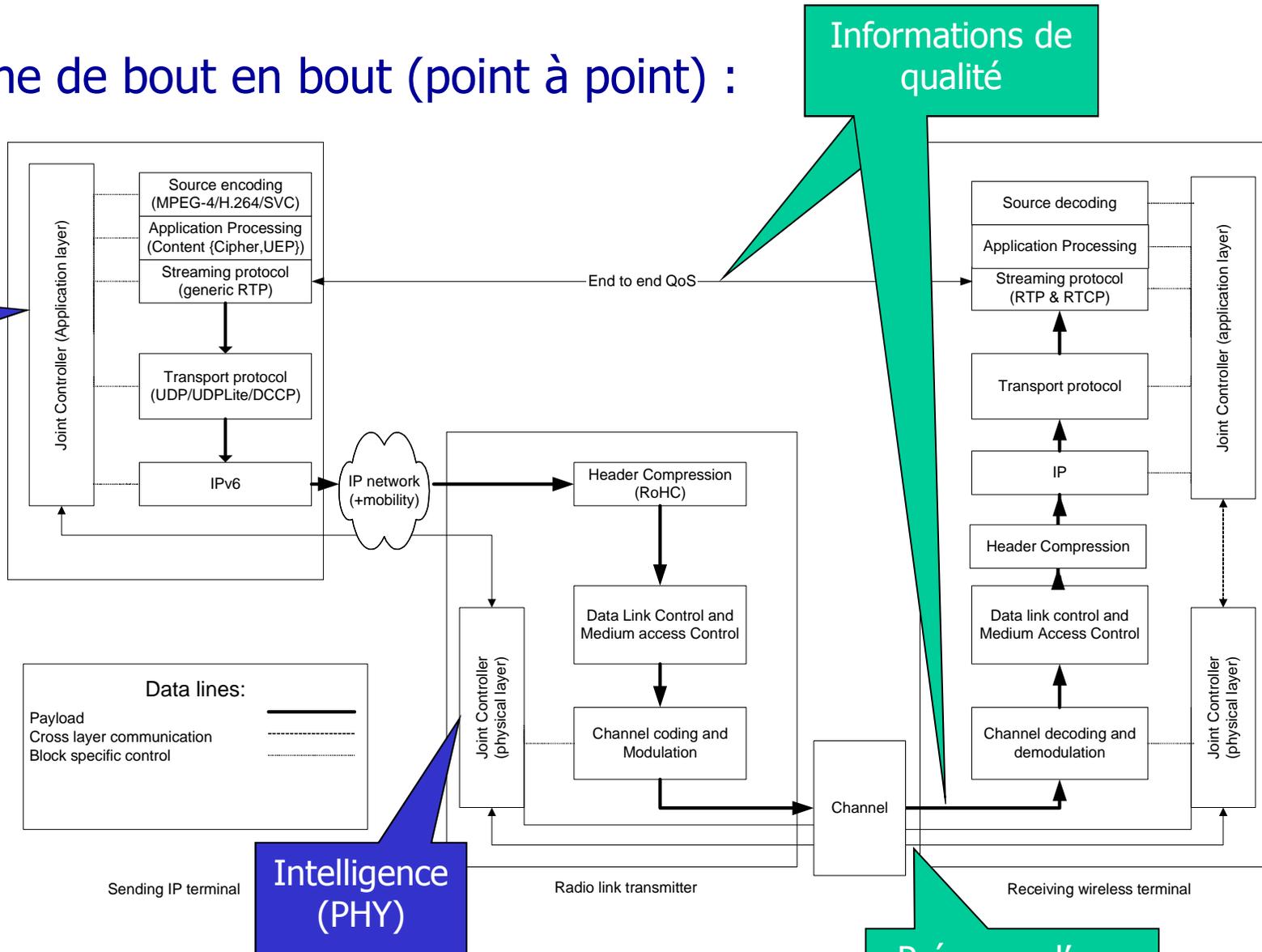
Amélioration conjointe : optimisation de bout en bout





Optimisation de bout en bout

- Chaîne de bout en bout (point à point) :



Intelligence (APP)

Intelligence (PHY)

Présence d'une voie de retour



Optimisation de bout en bout : travail au niveau APP



- Optimisation d'allocation compression/protection au niveau couche APP
- Principe : utiliser une modélisation semi-théorique de la distorsion d'un flux H.264/AVC sur canal erroné
- L'expression a une forme comme suit :
 - Trame unique (Intra ou Prédite)

$$\hat{D}_{Intra} = (1 - P_e)^{\beta_0 n} . D_o + (1 - (1 - P_e)^{\beta_0 n}) . D_{loss}$$

$$\hat{D}_{P_i} = (1 - P_e)^{\beta_i n_i} . D_{o_i} + (1 - (1 - P_e)^{\beta_i . n_i}) . D_{loss_i}$$

- Expression pour un GOP

$$\hat{D}_{gop} = \prod_{i=0}^N (1 - P_e)^{\beta_i n_i} . D_o + \sum_{i=0}^N \left[\prod_{j=0}^{i-1} (1 - P_e)^{\beta_j . n_j} . (1 - (1 - P_e)^{\beta_i n_i}) . D_{loss_i} \right]$$

- Expression pour un GOP en mode partition de données

$$\hat{D}_{gop_{DP}} = \prod_{i=0}^N \prod_{k=1}^3 (1 - P_e)^{\beta_{i,k} . n_{i,k}} . D_o + \sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^3 \left[\prod_{j=0}^N \prod_{\ell=1}^{k-1} (1 - P_e)^{\beta_{j,\ell} n_{j,\ell}} \prod_{j=0}^{i-1} (1 - P_e)^{\beta_{j,k} n_{j,k}} (1 - (1 - P_e)^{\beta_{i,k} . n_{i,k}}) D_{loss_{i,k}} \right]$$

Optimisation de bout en bout : travail au niveau APP



- Bien entendu il convient de déterminer P_e (probabilité d'apparition d'erreur)
 - Soit sans codage canal
 - Soit avec codage canal (et donc en tenant compte du rendement de codage et du type de code)
- Considérons l'usage de codes RCPC, on obtient

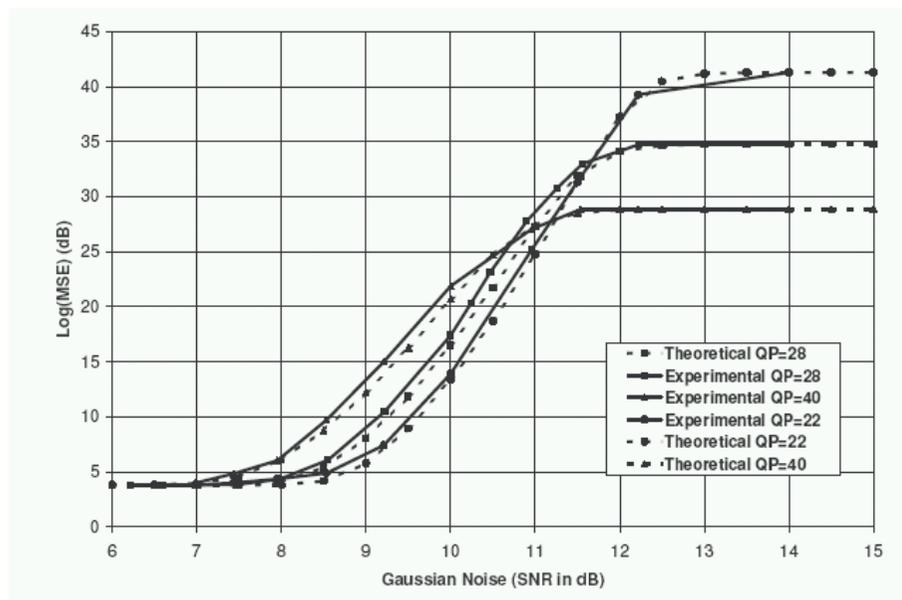
$$P_e \leq \frac{1}{P} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} a_d \cdot P_d \quad \text{avec} \quad P_d = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{d \cdot E_s}{N_o}} \right)$$



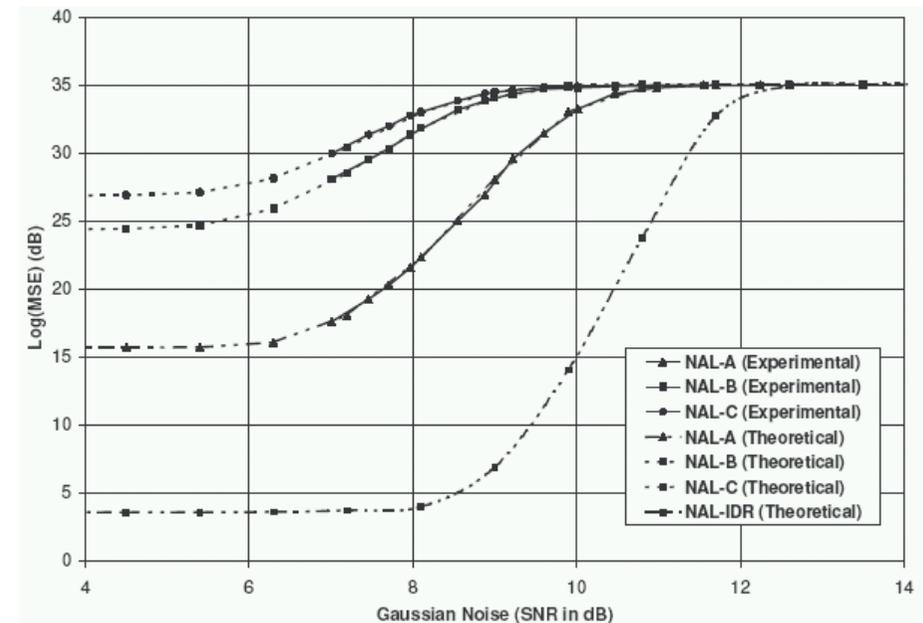
Optimisation de bout en bout : travail au niveau APP

- Validation de l'expression de la distorsion

- Sensibilité (MSE) d'une trame Intra, 1^{ère} trame de 'Foreman' pour différents pas de quantification



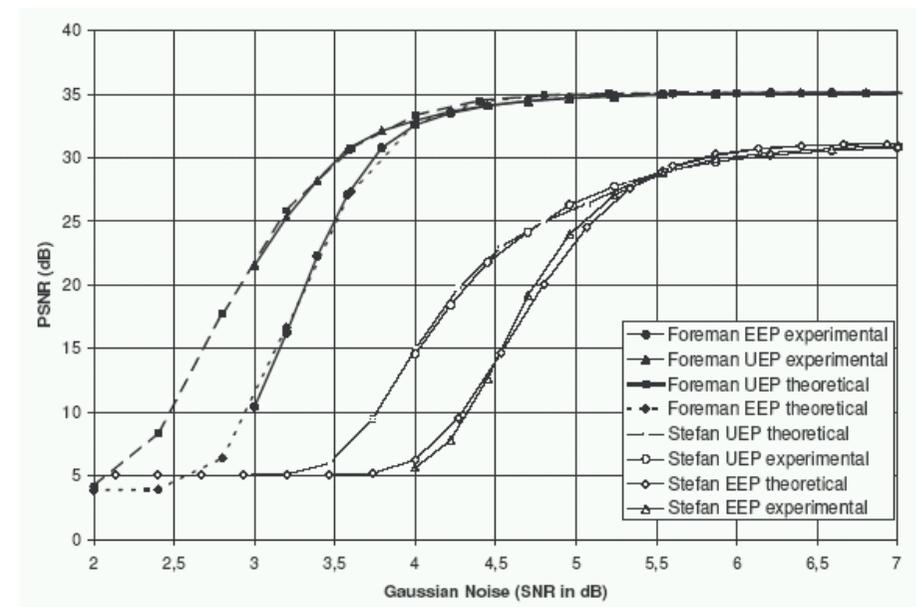
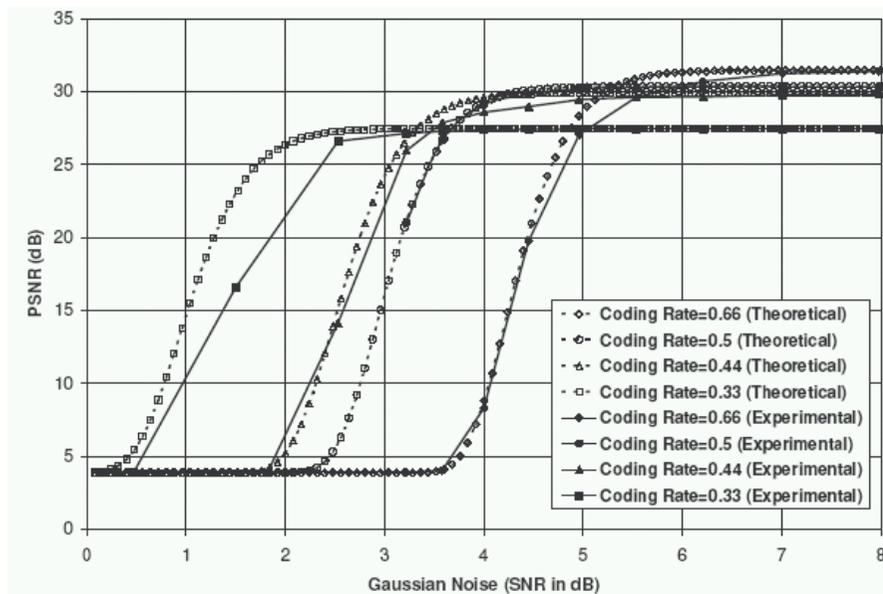
- Sensibilité (PSNR) pour un GOP, 1^{er} GOP (I₁P₁₄) de 'Foreman' en mode DP





Optimisation de bout en bout : travail au niveau APP

- Utilisation pour établir les performances à différents débits et protections (et validation)
- PSNR du 1^{er} GOP (I_1P_{14}) de 'Foreman' pour différentes configurations et un débit canal de 64 kbps
- PSNR du 1^{er} GOP (I_1P_{14}) de 'Foreman' et 'Stefan' en mode UEP et EEP





Optimisation de bout en bout : travail au niveau APP

- Exemple de résultats visuels
 - Séquence 'Akiyo' QCIF 15Hz, débit canal=128 kbps sur canal avec *slow fading*



EEP



UEP



original

Optimisation de bout en bout : travail combiné APP/PHY



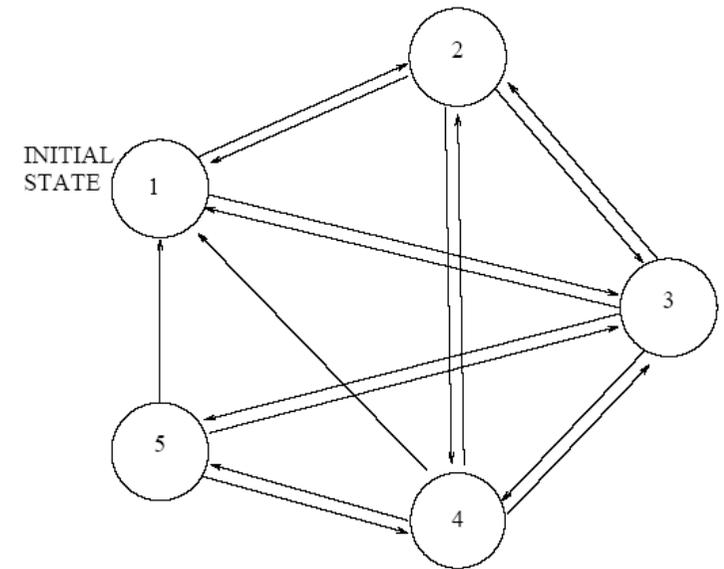
Intelligence
(APP/PHY)



- Optimisation d'allocation compression/protection combiné APP/PHY
 - Utilisation d'une machine à état « calée » sur le type de flux et de séquences
 - En fonction des valeurs de retour reçues,
 - Qualité vidéo (PSNR)
 - État du canal
 - État réseau

la machine à état décide :

- des paramètres du codeur de source
 - Nombre trames/sec
 - Taille GOP
 - Paramètres de quantification
- du rendement de codage correcteur à appliquer au niveau PHY (EEP ou UEP)



Optimisation de bout en bout : travail combiné APP/PHY



- Réalisation pratique : flux MPEG-4 part 2
 - États considérés

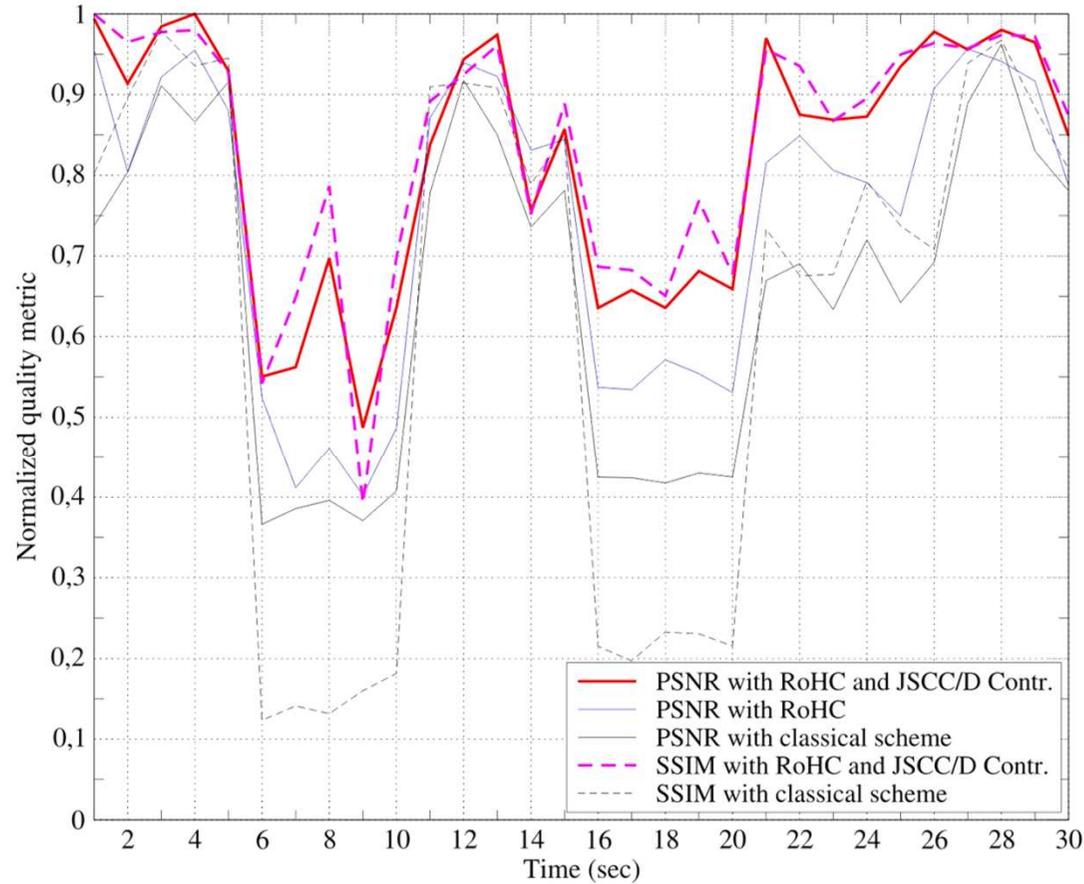
État	QP_I, QP_P	Débit trame	Taille GOP
1	14,16	7.5	8
2	14,16	15	15
3a	14,16	30	30
3b	14,16	30	15
4	8,12	15	15
5a	8,12	30	30
5b	8,12	30	15

- ETSI channel A + slow fading coherence time 5s (impact obstacles larges)
- $E_b/N_0=9.2$ dB



Optimisation de bout en bout : travail combiné APP/PHY

- Exemple de résultats (MPEG-4 part2)



Gain moyen observé : 5dB

Original



No JSCC/D



JSCC/D





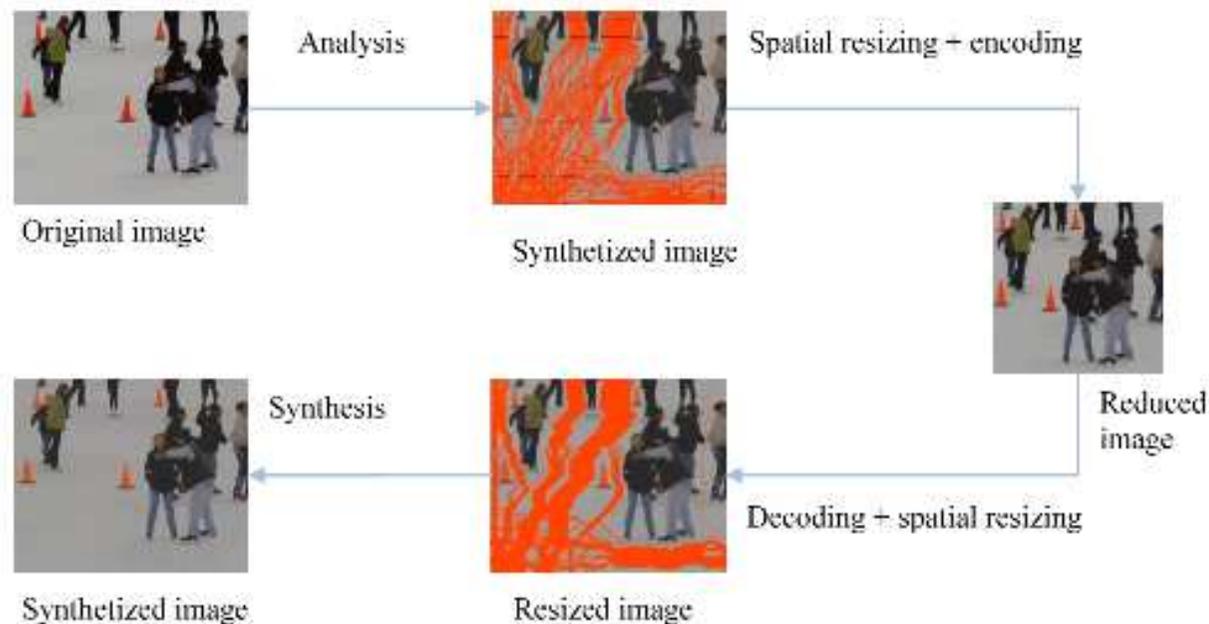
Optimisation de bout en bout : aller plus loin

- De nouvelles voies d'exploration
 - Des protocoles applicatifs tenant compte de l'aspect bout en bout
 - http adaptive streaming
 - Codage vidéo scalable (SVC)
 - Communications Point à multi-points (incluant réseaux adhoc)
 - Réseaux et récepteurs hétérogènes
 - L'accès radio fournisseur d'une qualité de service complète (et non seulement estimée à partir CSI+codage canal)
 - Approches de type H-ARQ
 - Approches de type IP intelligent proxy
- Le critère ultime : l'utilisateur et ce qu'il perçoit
 - La qualité perçue (PQoS, QoE) doit être le critère d'optimisation
 - La combinaison de plusieurs utilisateurs pose le problème du choix de l'opérateur et de qualités de services cumulées → seul le scénario peut en décider



Optimisation de bout en bout : aller plus loin

- Un exemple intéressant de réflexion orientée PQoE : le « carving »
 - Réduire dans l'image elle-même la quantité d'information, en retirant des « graines » et en les resynthétisant en réception

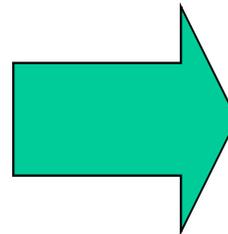


Source: Marc Décombas, Thales, 2012



Optimisation de bout en bout : aller plus loin

- Un exemple intéressant de réflexion orientée PQoE : le « carving »
 - Images obtenues après seam carving et synthèse à partir des graines transmises (seam coding)





Optimisation de bout en bout : aller plus loin

- Quelles contraintes ?
 - Présence d'une voie de retour et d'informations précises
 - Qualité vidéo ?
 - Informations niveau appl/transport (RTCP RR ou retours DCCP)
 - Informations niveau radio (QoS ou état du canal)
 - Résoudre le problème de l'optimisation en mode multi-utilisateurs
 - Multicast sans voie de retour ? (stratégie leader ?)
 - Critère à définir
 - Attention aux modifications transparentes
 - Toute optimisation transparente est invisible, donc peut fausser d'autres optimisations ...



Conclusions

- Les systèmes actuels évoluent entre
 - Toujours plus d'imbrication (réduction du nombre de « couches »)
 - Toujours plus d'options et de complexité
 - Nécessité de parler un langage commun : la qualité de service
- Une approche système devient la seule vraiment logique
 - Pour comparer des offres de service qui sont parfois très contradictoires en terme d'optimisation
 - Pour permettre des bilans de fonctionnement vraiment optimisés en dépassant un critère pur taux d'erreur couche par couche qui limite généralement les performances
- L'optimisation globale est possible même sur des systèmes existants
 - Seules quelques modifications mineures sont éventuellement à apporter
- Mais au fait, qui voudra payer ?