TS226
-
Codes convolutifs et codes concaténés associés

Romain Tajan

8 novembre 2019

Plan

1. Previously on TS226 . . .

2. Code convolutif comme machine à états
   - ▷ Diagramme d'état des codes convolutifs
   - ▷ Treillis des codes convolutifs

3. Décodage ML des codes convolutifs
   - ▷ Décodage ar maximum de vrasemblance (ML)

Exemple de QCM

Comment allez vous aujourd'hui ?

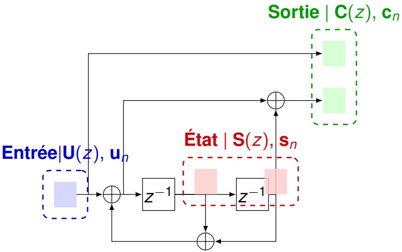
- A Très bien
- B Bien
- C Mal
- D Très mal

#QDLE#S#ABCD#30#

Plan

1. Previously on TS226 . . .
2. Code convolutif comme machine à états
3. Décodage ML des codes convolutifs

Rappels / définitions



- **Entrée** : $\mathbf{U}(z) = [U^{(0)}(z),\ U^{(1)}(z)\ \dots\ U^{(n_b-1)}(z)]$

$\rightarrow$ dans ce cours $n_b = 1 \Rightarrow \mathbf{U}(z) \rightarrow U(z)$

- **État** : $\mathbf{S}(z) = [S^{(0)}(z),\ S^{(1)}(z)\ \dots\ S^{(m-1)}(z)]$

$\rightarrow$ m est appelé "mémoire du code"

$\rightarrow$ $\nu = m + 1$ est appelé "longueur de contrainte"

$\rightarrow$ dans l'exemple $m = 2$

$\rightarrow$ 2^m : nombre d'états

- **Sortie** : $\mathbf{C}(z) = [C^{(0)}(z),\ C^{(1)}(z)\ \dots\ C^{(m-1)}(z)]$

$\rightarrow$ n_s nombre de sorties

$\rightarrow$ dans l'exemple $n_s = 2$

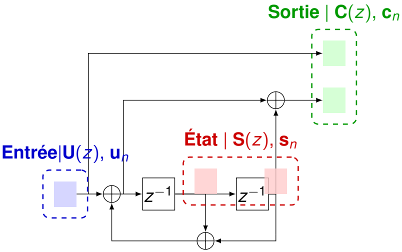
$\rightarrow$ De façon générale : $\mathbf{C}(z) = U(z)\mathbf{G}(z)$

$\rightarrow$ où $\mathbf{G}(z) = [\frac{A^{(1)}(z)}{B^{(1)}(z)}\ \dots\ \frac{A^{(n_s)}(z)}{B^{(n_s)}(z)}]$

- **Rendement du code** : $R = \frac{\#\text{bits d'info. en entrée}}{\#\text{bits codés en sortie}}$

$\rightarrow$ Ici : $R = \frac{n_b}{n_s} = \frac{1}{2}$

Rappels / définitions



- **Code linéaire**

$\rightarrow$ Si $\mathbf{C}_1(z)$ et $\mathbf{C}_2(z)$ sont deux mots de codes, alors $\mathbf{C}_3(z) = \mathbf{C}_2(z) + \mathbf{C}_1(z)$ est aussi un mot de code.

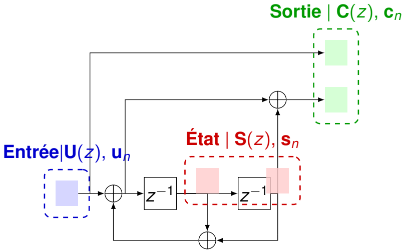
- **Encodeur récursif / non récursif**

- **Encodeur systématique / non systématique**

- **Notation octale**

Sortez vos téléphones...

Quizz

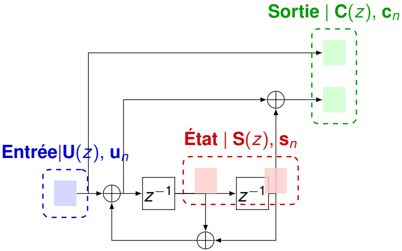


Cet encodeur est récursif :

- Ⓐ Vrai
- Ⓑ Faux

#QDLE#Q#A*B#20#

Quizz

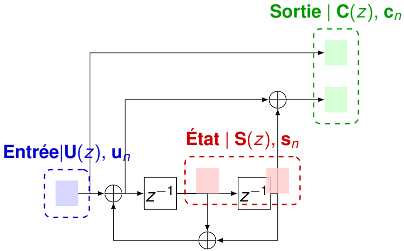


Cet encodeur est systématique :

- Ⓐ Vrai
- Ⓑ Faux

#QDLE#Q#A*B#20#

Quizz



La notation octale de cet encodeur est :

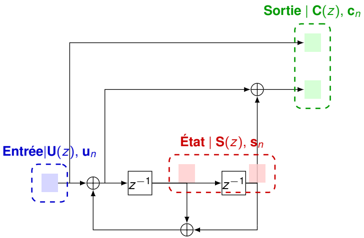
- A $(7,5)_8$
- B $(1,\frac{5}{7})_8$
- C $(1,\frac{7}{5})_8$
- D $(5,7)_8$

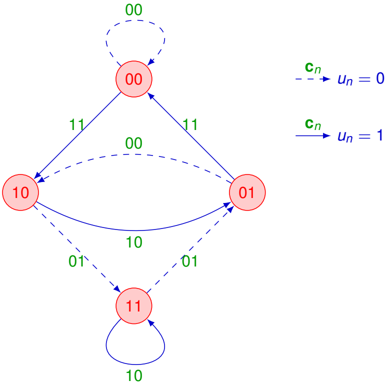
#QDLE#Q#ABC*D#20#

Plan

1. Previously on TS226 . . .
2. Code convolutif comme machine à états
   - ▷ Diagramme d'état des codes convolutifs
   - ▷ Treillis des codes convolutifs
3. Décodage ML des codes convolutifs

Rappels / définitions

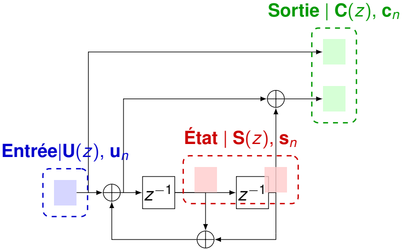


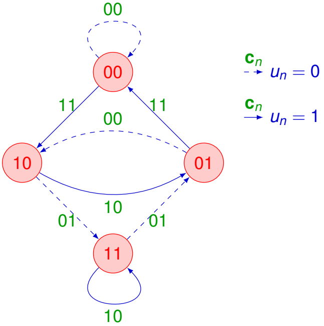


- Message ⇔ chemin dans le graphe
- Mot de code ⇔ étiquettes le long du chemin dans le graphe
- Nécessité de définir (au moins) un état initial

Sortez vos téléphones...

Rappels / définitions



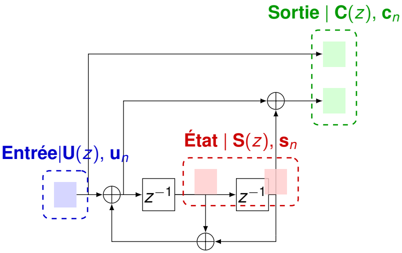


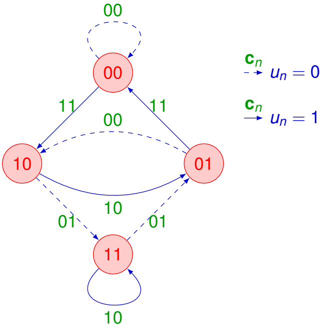
Si $\mathbf{u} = [0,\ 1,\ 1,\ 0]$, en supposant que $\mathbf{s}_0 = [0,\ 0]$ quelle sera la sortie de l'encodeur :

- **A** $\mathbf{c} = [0,0,\ 0,1,\ 0,1,\ 1,1]$
- **B** $\mathbf{c} = [0,0,\ 1,1,\ 0,1,\ 1,1]$
- **C** $\mathbf{c} = [1,0,\ 1,1,\ 1,0,\ 0,1]$
- **D** $\mathbf{c} = [0,0,\ 1,1,\ 1,0,\ 0,0]$

#QDLE#Q#ABCD*#30#

Rappels / définitions

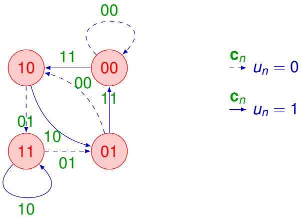




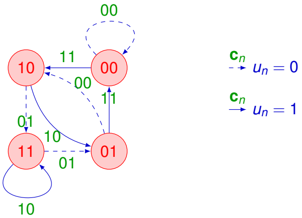
Quel est le poids de Hamming minimal pour un mot de code $\mathbf{c} \neq \mathbf{0}$?

- A 2
- B 3
- C 4
- D 5
- E 6

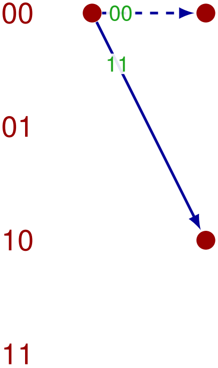
#QDLE#Q#ABCD*E#60#

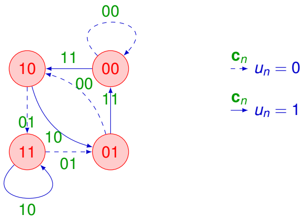


Treillis : représentation de la machine à états faisant explicitement apparaître le temps.

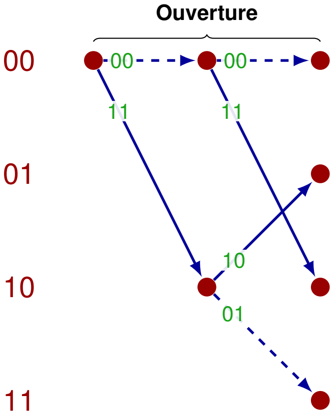


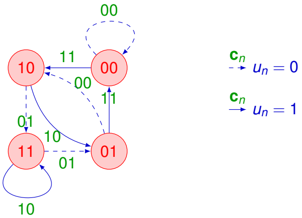
Treillis : représentation de la machine à états faisant explicitement apparaître le temps.



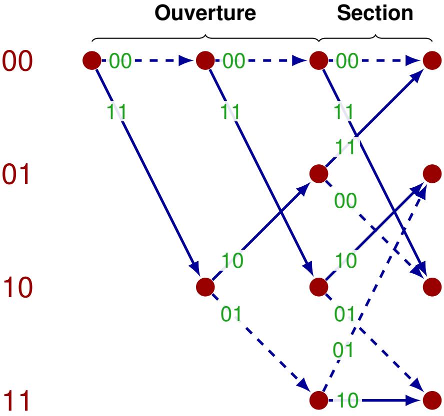


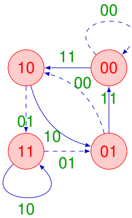
Treillis : représentation de la machine à états faisant explicitement apparaître le temps.

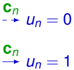




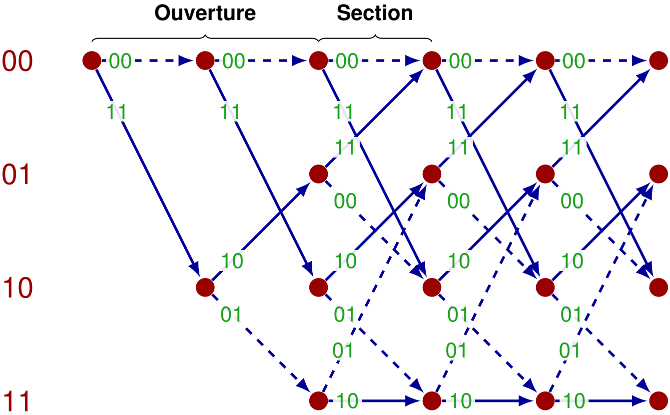
Treillis : représentation de la machine à états faisant explicitement apparaître le temps.

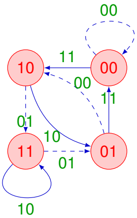






Treillis : représentation de la machine à états faisant explicitement apparaître le temps.

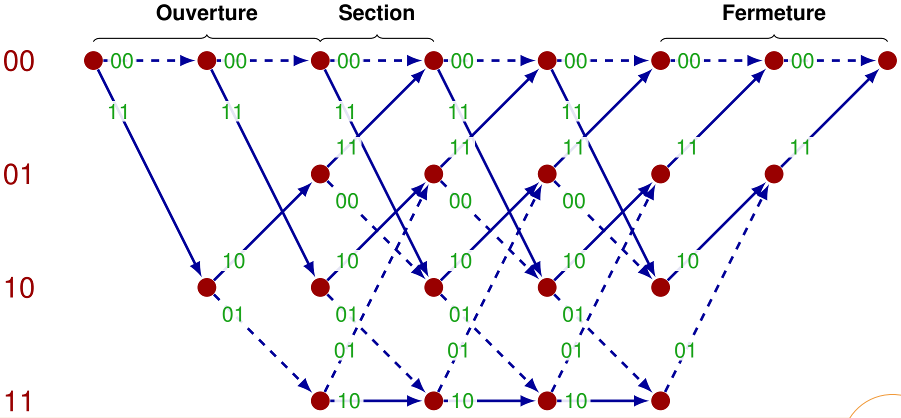


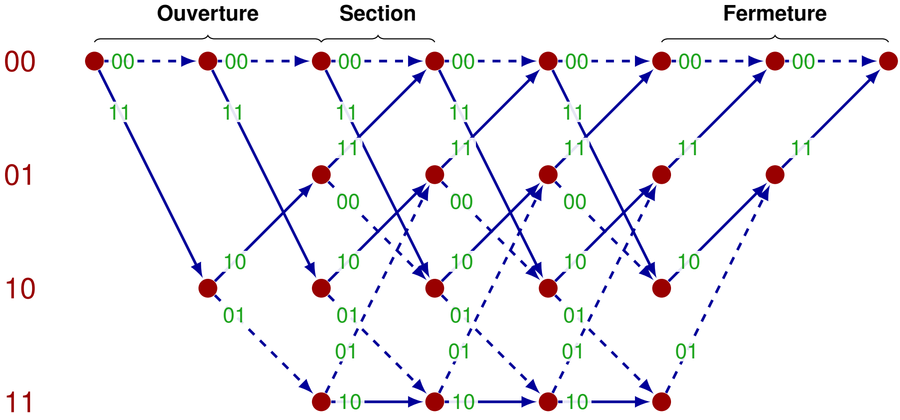


$\mathbf{c}_n$ $u_n = 0$

$\mathbf{c}_n$ $u_n = 1$

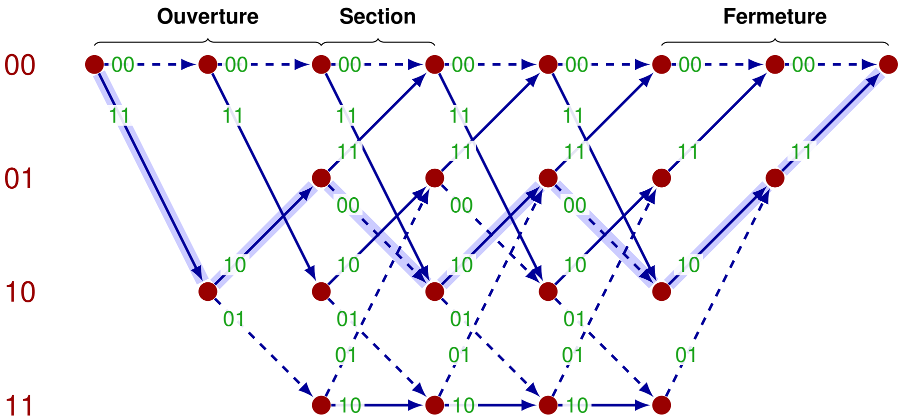
Treillis : représentation de la machine à états faisant explicitement apparaître le temps.





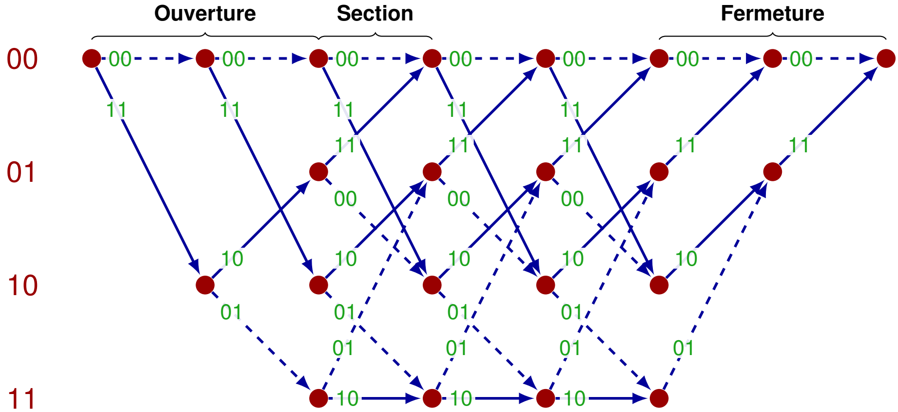
Remarques

- Fermer $\Rightarrow N = n_s(m+K) \Rightarrow R = \dfrac{K}{n_s(m+K)} \leq \dfrac{1}{n_s}$
- Tout chemin dans ce graphe représente un mot de code



- On souhaite envoyer le message : $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$
- On calcule le mot de code : $\mathbf{c} = [1\ 1,\ 1\ 0,\ 0\ 0,\ 1\ 0,\ 0\ 0,\ \underline{1\ 0},\ \underline{1\ 1}]$
- On envoie le signal : $\mathbf{x} = [-1\ -1,\ -1\ 1,\ 1\ 1,\ -1\ 1,\ 1\ 1,\ \underline{-1\ 1},\ \underline{-1\ -1}]$

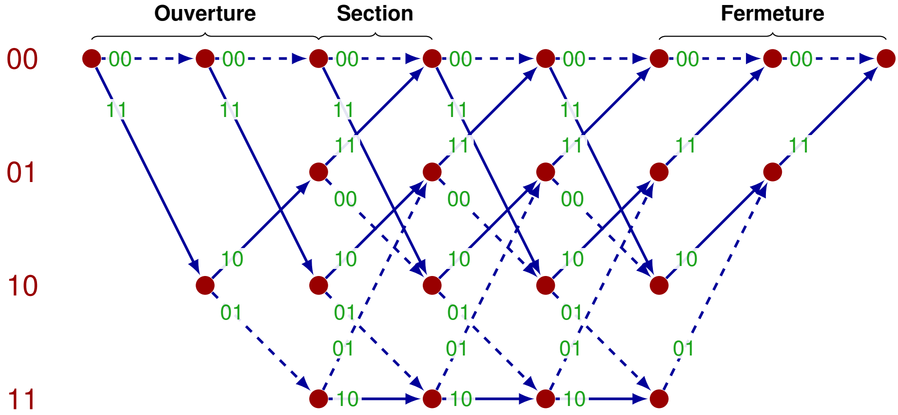
Sortez vos téléphones...



Sur ce treillis, quel est le poids de Hamming minimum pour les mots de codes $\mathbf{c} \neq \mathbf{0}$?

- A 4
- B 5
- C 6
- D 7

#QDLE#Q#AB*CD#60#



Sur ce treillis, combien de mots de codes $\mathbf{c} \neq \mathbf{0}$ ont un poids de Hamming de 5 ?

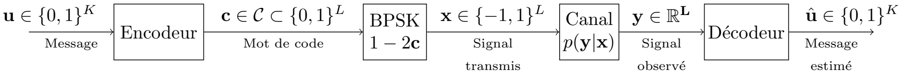
- Ⓐ 4
- Ⓑ 5
- Ⓒ 6
- Ⓓ 7

#QDLE#Q#AB*CD#60#

Plan

1. Previously on TS226 . . .
2. Code convolutif comme machine à états
3. Décodage ML des codes convolutifs
   - ▷ Décodage ar maximum de vrasemblance (ML)

Décodage du Maximum de Vraisemblance (ML)



$\mathbf{u} \in \{0,1\}^K$ Message

Encodeur

$\mathbf{c} \in \mathcal{C} \subset \{0,1\}^L$ Mot de code

BPSK $1 - 2\mathbf{c}$

$\mathbf{x} \in \{-1,1\}^L$ Signal transmis

Canal $p(\mathbf{y}|\mathbf{x})$

$\mathbf{y} \in \mathbb{R}^{\mathbf{L}}$ Signal observé

Décodeur

$\hat{\mathbf{u}} \in \{0,1\}^K$ Message estimé

Définition

- Le **décodeur** du **Maximum de vraisemblance** (**ML**) est la fonction de **y** définie par :

$$\Psi_{ML}(\mathbf{y}) = \underset{\mathbf{u}\in\{0,1\}^K}{\text{argmax}}\ p(\mathbf{y}|\mathbf{u})$$

- **Le décodeur ML est équivalent au décodeur MAP si les messages sont équiprobables.**
- **Sur le canal AWGN sans mémoire, le décodeur ML est équivalent à** :

$$\hat{\mathbf{u}} = \Psi_{ML}(\mathbf{y}) = \Phi^{-1}(\hat{\mathbf{c}}) \text{ où } \hat{\mathbf{c}} = \underset{\mathbf{c}\in\mathcal{C}}{\text{argmin}} \sum_{\ell=0}^{L-1} \mathbf{c}_\ell \mathbf{y}_\ell^T$$

- Nombre de bits dans le message : K
- Taille message + fermeture : $L = K + m$
- Le message envoyé : $\mathbf{u} = [u_0,\ u_1,\ \ldots,\ u_{K-1}]$
- Le mot de code émis : $\mathbf{c} = [\mathbf{c}_0,\ \mathbf{c}_1,\ \ldots,\ \mathbf{c}_{L-1}]$, où $\mathbf{c}_\ell = [c_\ell^{(0)}, c_\ell^{(1)}]$
- Le signal observé : $\mathbf{y} = [\mathbf{y}_0,\ \mathbf{y}_1,\ \ldots,\ \mathbf{y}_{L-1}]$, où $\mathbf{y}_\ell = [y_\ell^{(0)}, y_\ell^{(1)}]$
- **Décodeur ML** : $\hat{\mathbf{c}} = \underset{\mathbf{c}\in\mathcal{C}}{\operatorname{argmin}} \sum_{\ell=0}^{L-1} \mathbf{c}_\ell \mathbf{y}_\ell^T$
- Le message reçu : $\hat{\mathbf{u}} = [\hat{u}_0,\ \hat{u}_1,\ \ldots,\ \hat{u}_{K-1}] = \phi^{-1}(\hat{\mathbf{c}})$

- **Solution 1** : explorer tous les messages (eq. tous les mots de codes)

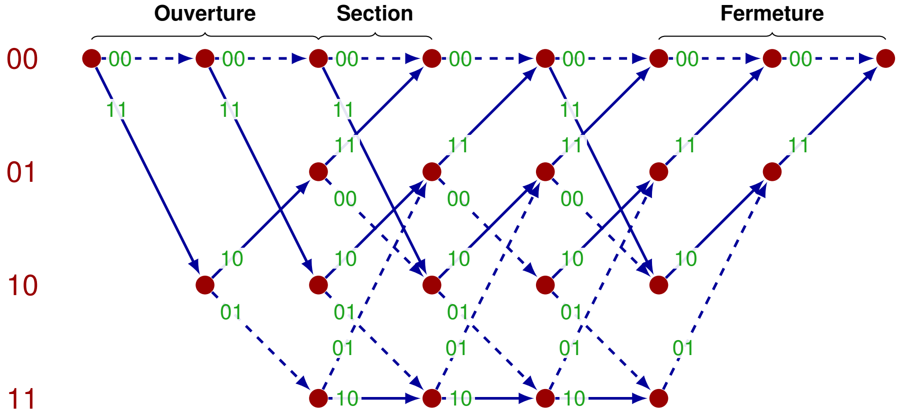
- Nombre de bits dans le message : K
- Taille message + fermeture : $L = K + m$
- Le message envoyé : $\mathbf{u} = [u_0,\ u_1,\ \ldots,\ u_{K-1}]$
- Le mot de code émis : $\mathbf{c} = [\mathbf{c}_0,\ \mathbf{c}_1,\ \ldots,\ \mathbf{c}_{L-1}]$, où $\mathbf{c}_\ell = [c_\ell^{(0)}, c_\ell^{(1)}]$
- Le signal observé : $\mathbf{y} = [\mathbf{y}_0,\ \mathbf{y}_1,\ \ldots,\ \mathbf{y}_{L-1}]$, où $\mathbf{y}_\ell = [y_\ell^{(0)}, y_\ell^{(1)}]$
- **Décodeur ML** : $\hat{\mathbf{c}} = \underset{\mathbf{c}\in\mathcal{C}}{\mathrm{argmin}} \sum_{\ell=0}^{L-1} \mathbf{c}_\ell \mathbf{y}_\ell^T$
- Le message reçu : $\hat{\mathbf{u}} = [\hat{u}_0,\ \hat{u}_1,\ \ldots,\ \hat{u}_{K-1}] = \phi^{-1}(\hat{\mathbf{c}})$

- **Solution 1** : explorer tous les messages (eq. tous les mots de codes) → **il y en a** 2^K...

- Nombre de bits dans le message : K
- Taille message + fermeture : $L = K + m$
- Le message envoyé : $\mathbf{u} = [u_0,\ u_1,\ \dots,\ u_{K-1}]$
- Le mot de code émis : $\mathbf{c} = [\mathbf{c}_0,\ \mathbf{c}_1,\ \dots,\ \mathbf{c}_{L-1}]$, où $\mathbf{c}_\ell = [c_\ell^{(0)}, c_\ell^{(1)}]$
- Le signal observé : $\mathbf{y} = [\mathbf{y}_0,\ \mathbf{y}_1,\ \dots,\ \mathbf{y}_{L-1}]$, où $\mathbf{y}_\ell = [y_\ell^{(0)}, y_\ell^{(1)}]$
- **Décodeur ML** : $\hat{\mathbf{c}} = \underset{\mathbf{c}\in\mathcal{C}}{\operatorname{argmin}} \sum_{\ell=0}^{L-1} \mathbf{c}_\ell \mathbf{y}_\ell^T$
- Le message reçu : $\hat{\mathbf{u}} = [\hat{u}_0,\ \hat{u}_1,\ \dots,\ \hat{u}_{K-1}] = \phi^{-1}(\hat{\mathbf{c}})$

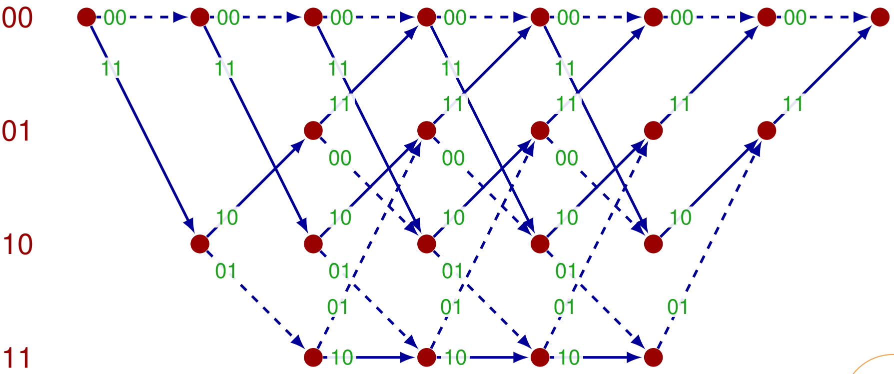
- **Solution 1** : explorer tous les messages (eq. tous les mots de codes) → **il y en a** 2^K...
- **Solution 2** : utiliser le treillis + la forme de la fonction de coût → **algorithme de Viterbi**

- Soit $J_n(s_n) = \min_{\mathbf{c}\in\mathcal{C}(s_0\to s_n)} \sum_{\ell=0}^{n-1} \mathbf{c}_\ell \mathbf{y}_\ell^T$
- Le décodage ML est équivalent à trouver l'antécédent de $J_L(s_L)$ où $s_0 = s_L = 0$



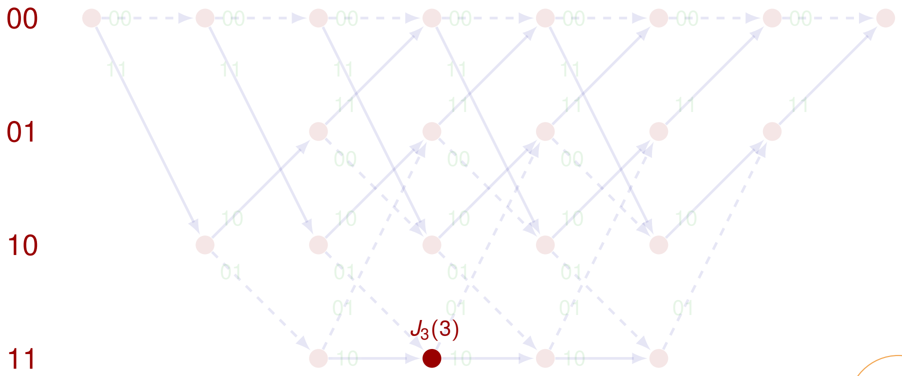
- $\mathcal{P}(s_n)$: **parents de l'état** s_n, i.e. ensemble des s_{n-1} tels que $s_{n-1} \rightarrow s_n$ existe
- **Algotithme de Viterbi** : pour chaque $n \in [0, L-1]$ et chaque $s_n \in \mathcal{S}_n$ calculer
  $J_n(s_n) = \min_{s_{n-1} \in \mathcal{P}(s_n)} \left[J_{n-1}(s_{n-1}) + \mathbf{c}_{n-1}(s_{n-1} \rightarrow s_n)\mathbf{y}_{n-1}^T \right]$
- **û : chemin survivant minimisant** $J_L(s_L)$

$\mathbf{y} = [\ \mathbf{y}_0,\ \mathbf{y}_1,\ \mathbf{y}_2,\ \mathbf{y}_3,\ \mathbf{y}_4,\ \mathbf{y}_5,\ \mathbf{y}_6\ ]$



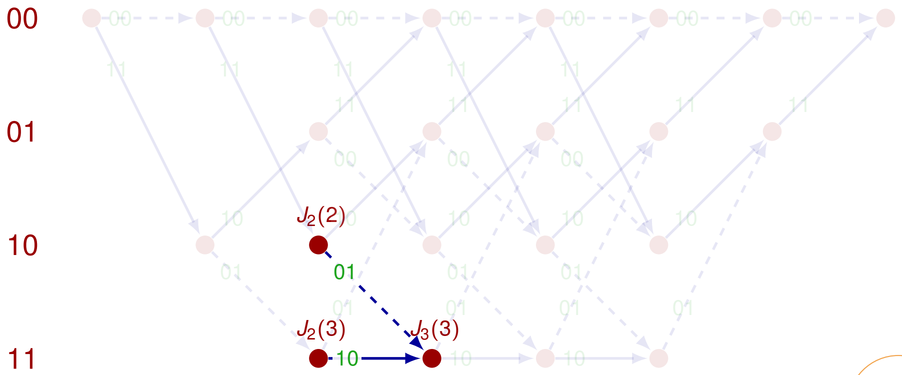
- $\mathcal{P}(s_n)$: **parents de l'état** s_n, i.e. ensemble des s_{n-1} tels que $s_{n-1} \to s_n$ existe
- **Algotithme de Viterbi** : pour chaque $n \in [0, L-1]$ et chaque $s_n \in \mathcal{S}_n$ calculer $J_n(s_n) = \min\limits_{s_{n-1} \in \mathcal{P}(s_n)} \left[J_{n-1}(s_{n-1}) + \mathbf{c}_{n-1}(s_{n-1} \to s_n)\mathbf{y}_{n-1}^T \right]$
- **û : chemin survivant minimisant** $J_L(s_L)$

$$\mathbf{y} = [\quad \mathbf{y}_0, \quad \mathbf{y}_1, \quad \mathbf{y}_2, \quad \mathbf{y}_3, \quad \mathbf{y}_4, \quad \mathbf{y}_5, \quad \mathbf{y}_6 \quad]$$



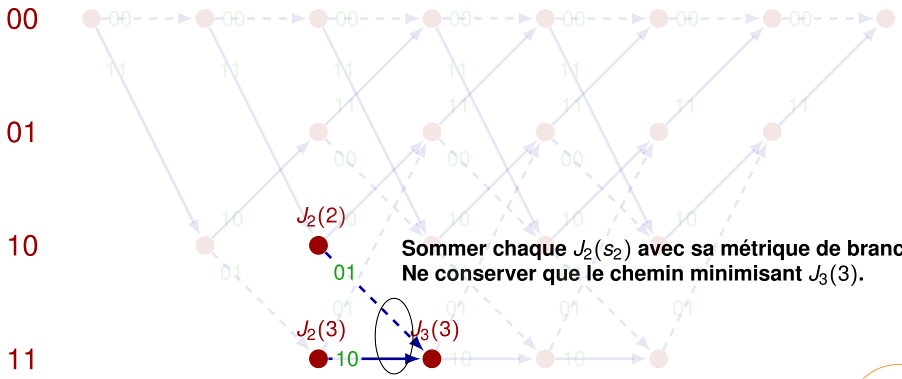
- $\mathcal{P}(s_n)$: **parents de l'état** s_n, i.e. ensemble des s_{n-1} tels que $s_{n-1} \to s_n$ existe
- **Algotithme de Viterbi** : pour chaque $n \in [0, L-1]$ et chaque $s_n \in \mathcal{S}_n$ calculer $J_n(s_n) = \min_{s_{n-1} \in \mathcal{P}(s_n)} \left[J_{n-1}(s_{n-1}) + \mathbf{c}_{n-1}(s_{n-1} \to s_n)\mathbf{y}_{n-1}^T \right]$
- **û : chemin survivant minimisant** $J_L(s_L)$

$\mathbf{y} = [\quad \mathbf{y_0}, \quad \mathbf{y_1}, \quad \mathbf{y_2}, \quad \mathbf{y_3}, \quad \mathbf{y_4}, \quad \mathbf{y_5}, \quad \mathbf{y_6} \quad]$



- $\mathcal{P}(s_n)$: **parents de l'état** s_n, i.e. ensemble des s_{n-1} tels que $s_{n-1} \to s_n$ existe
- **Algotithme de Viterbi** : pour chaque $n \in [0, L-1]$ et chaque $s_n \in \mathcal{S}_n$ calculer
  $$J_n(s_n) = \min_{s_{n-1} \in \mathcal{P}(s_n)} \left[J_{n-1}(s_{n-1}) + \mathbf{c}_{n-1}(s_{n-1} \to s_n)\mathbf{y}_{n-1}^T \right]$$
- **û : chemin survivant minimisant** $J_L(s_L)$

$$\mathbf{y} = [\quad \mathbf{y}_0, \quad \mathbf{y}_1, \quad \mathbf{y}_2, \quad \mathbf{y}_3, \quad \mathbf{y}_4, \quad \mathbf{y}_5, \quad \mathbf{y}_6 \quad]$$

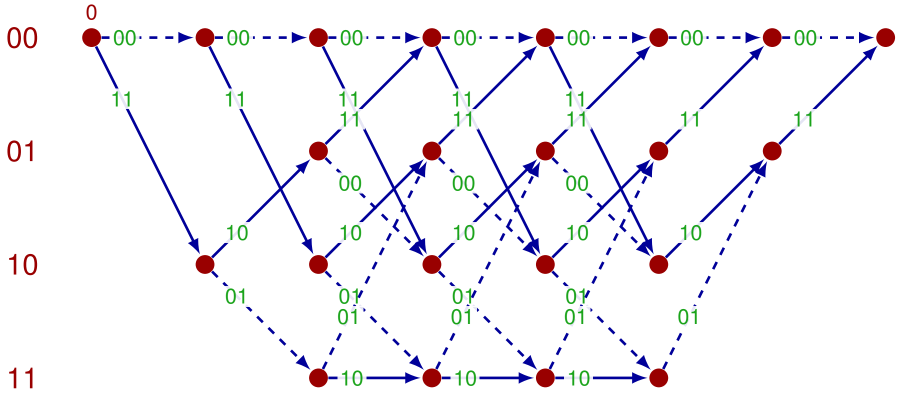


Sommer chaque $J_2(s_2)$ avec sa métrique de branche.
Ne conserver que le chemin minimisant $J_3(3)$.

Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

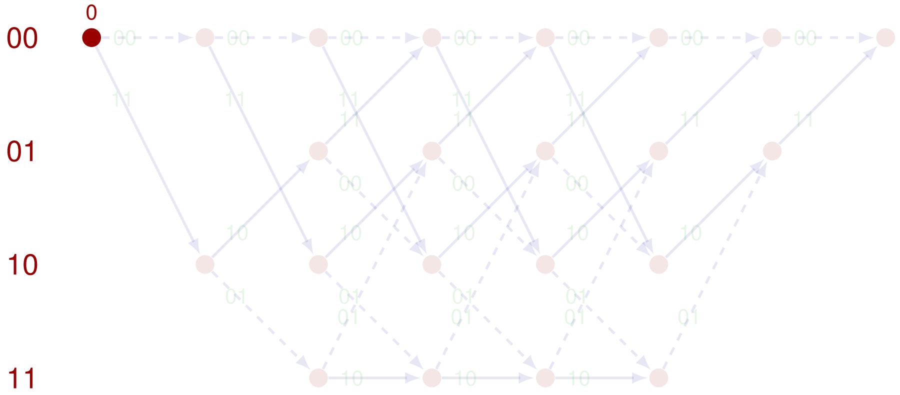
$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

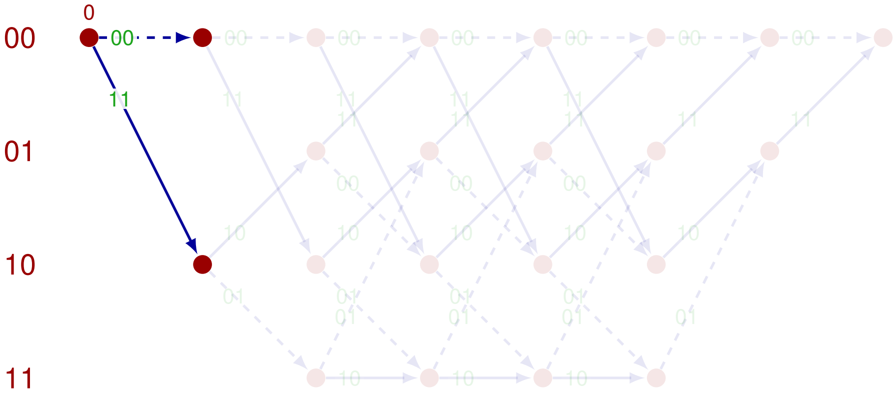
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

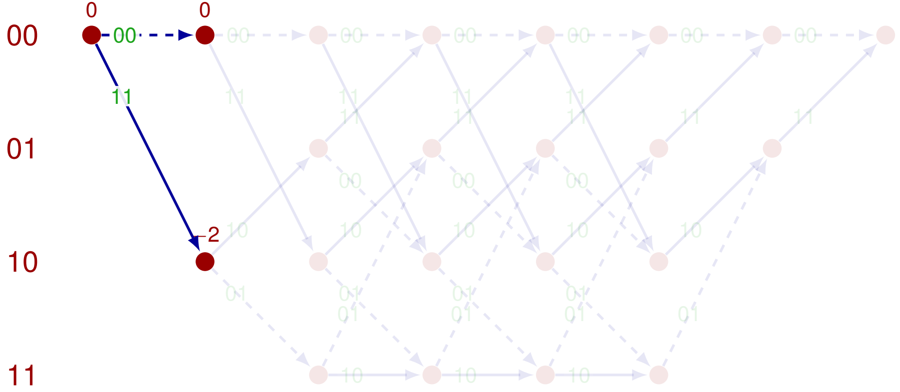
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

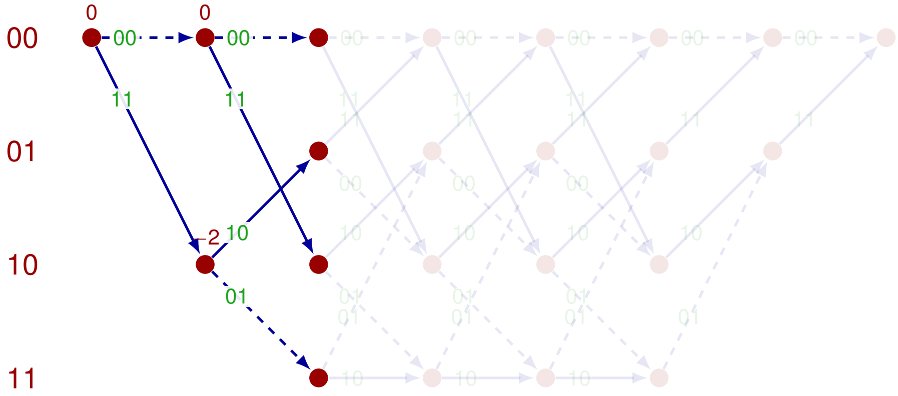
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

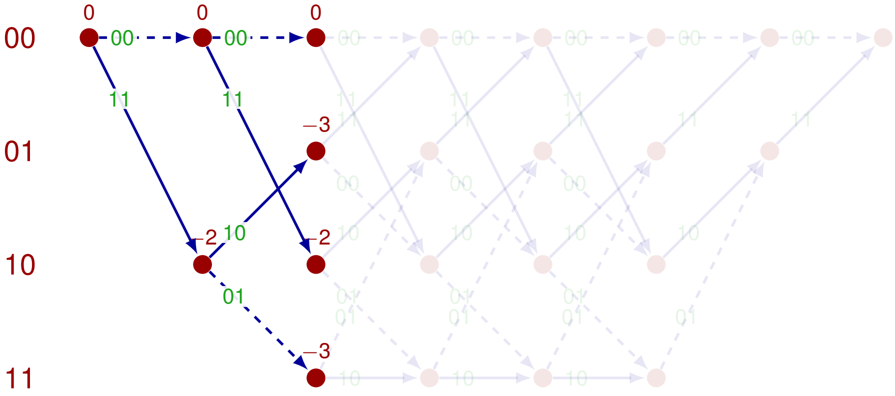
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

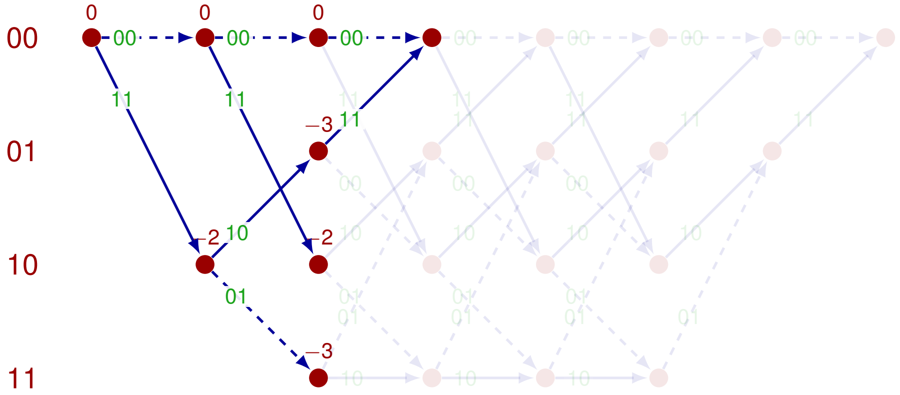
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

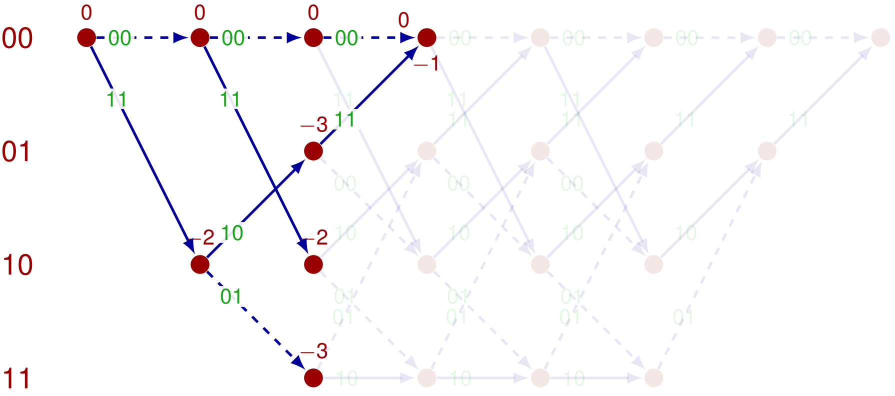
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

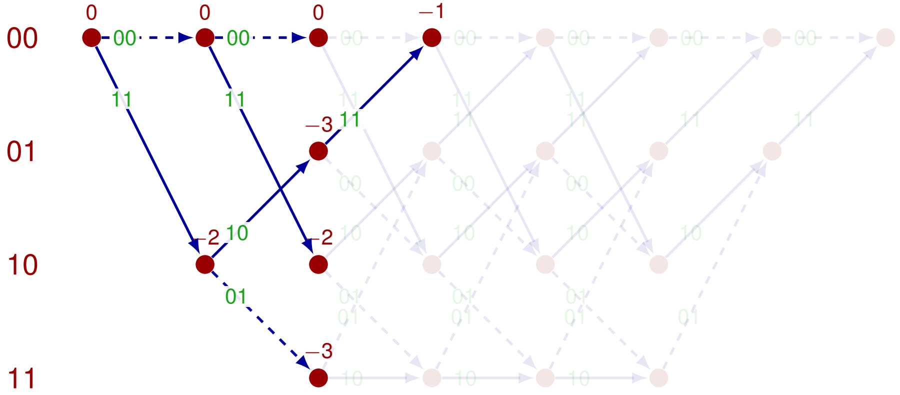
$\mathbf{y} = [\ -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\ ]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

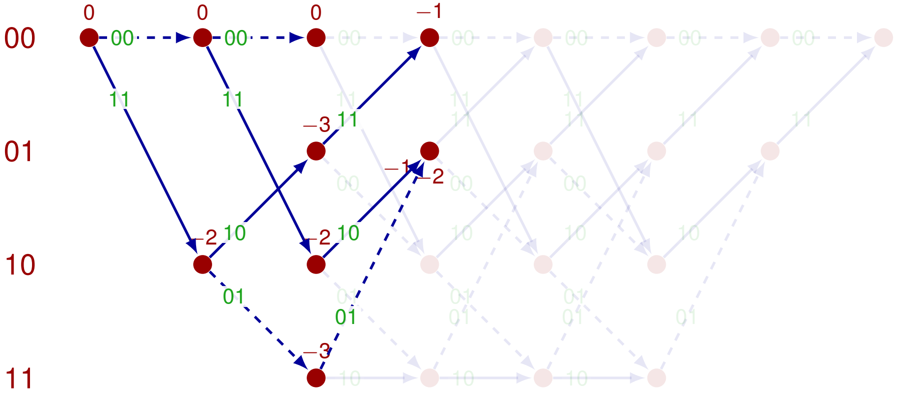
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1 \quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

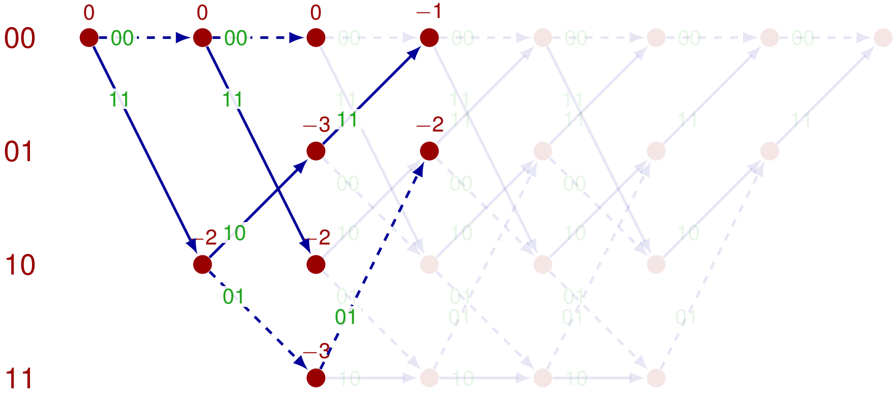
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

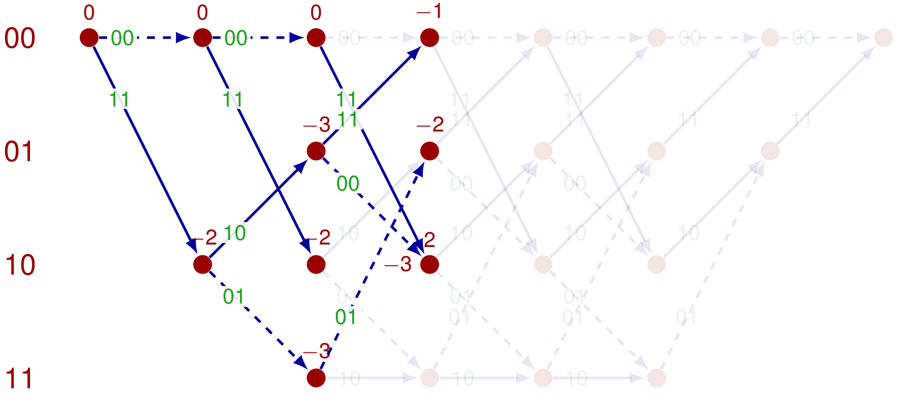
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

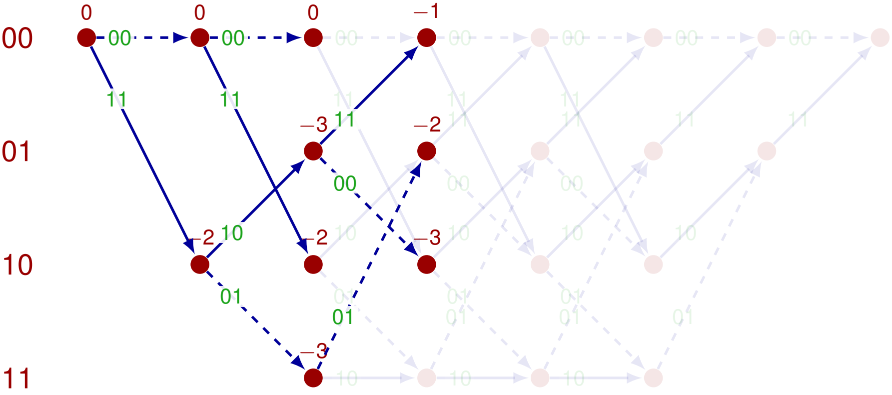
$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

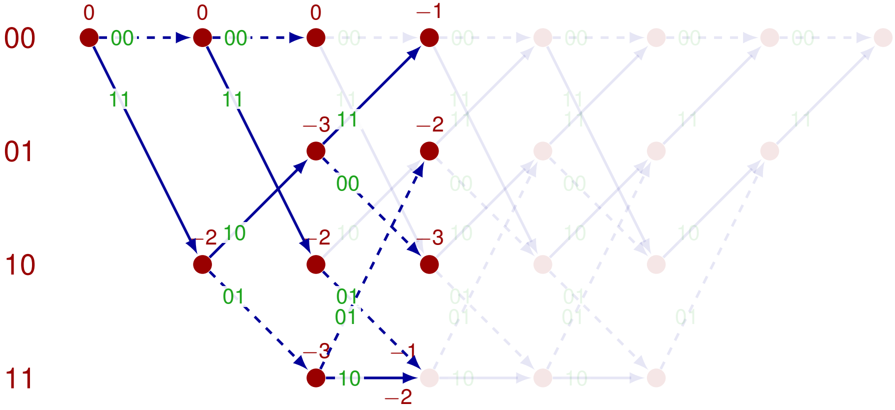
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

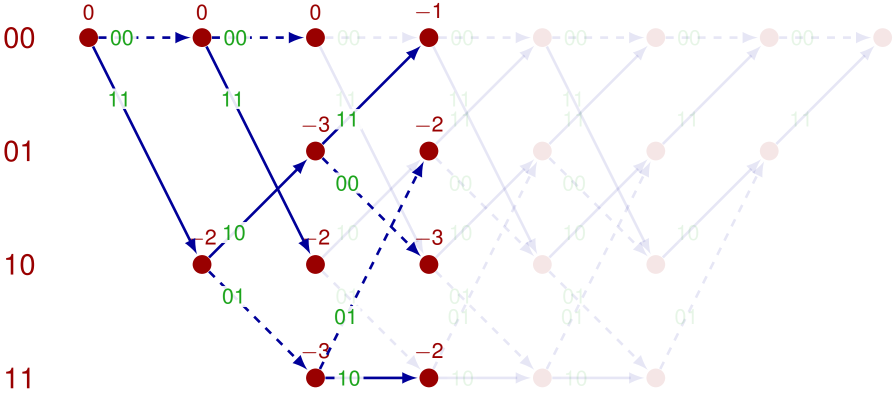
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

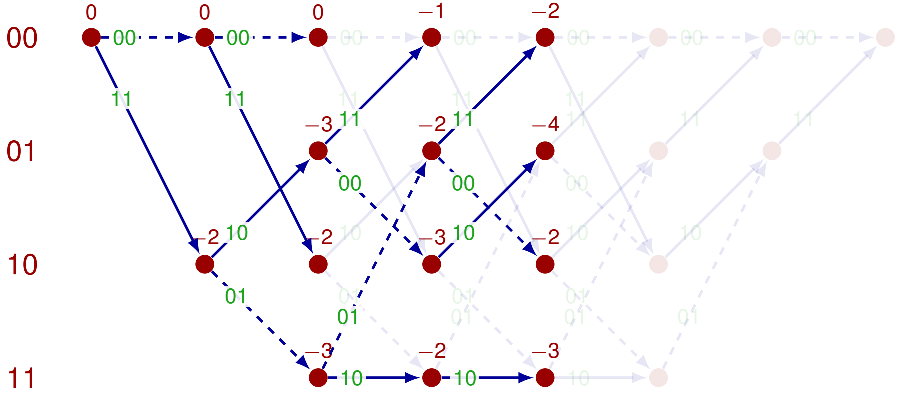
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

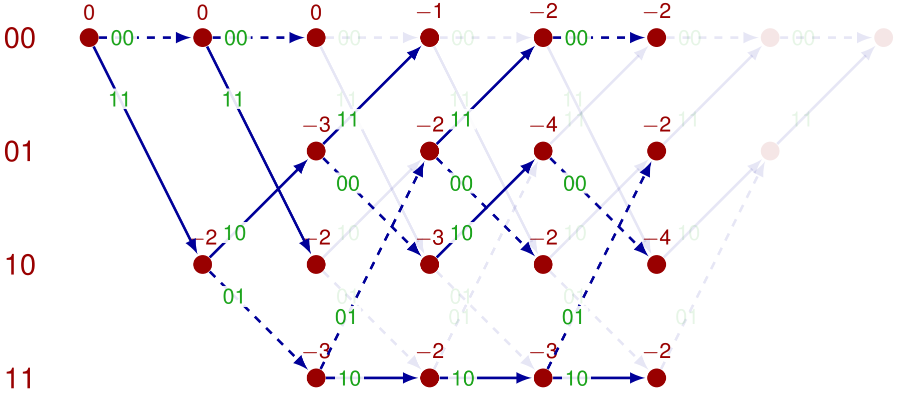
$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

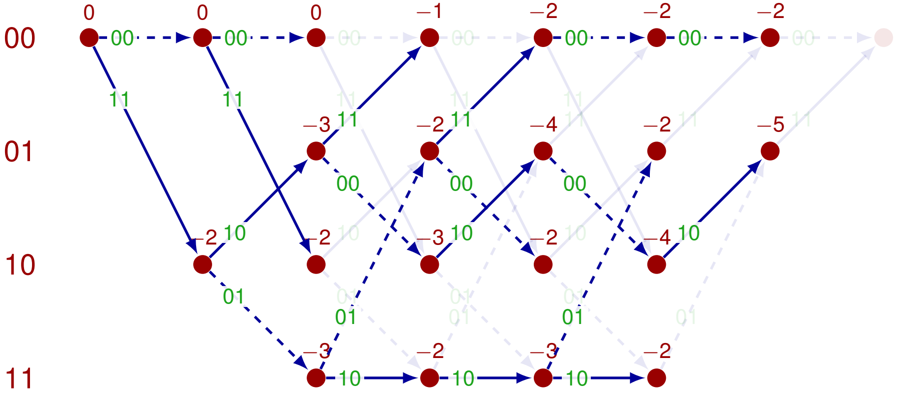
$\mathbf{y} = [\ \ -1,\ -1,\ \ \ -1,\ -1,\ \ \ 1,\ 1,\ \ \ -1,\ 1,\ \ \ 1,\ 1,\ \ \ -1,\ 1,\ \ \ -1,\ -1\ \ ]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

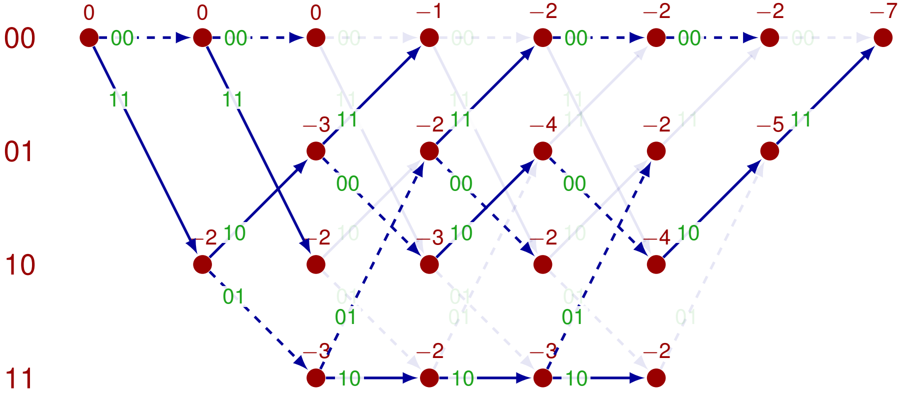
$\mathbf{y} = [\ \ -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\ \ ]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

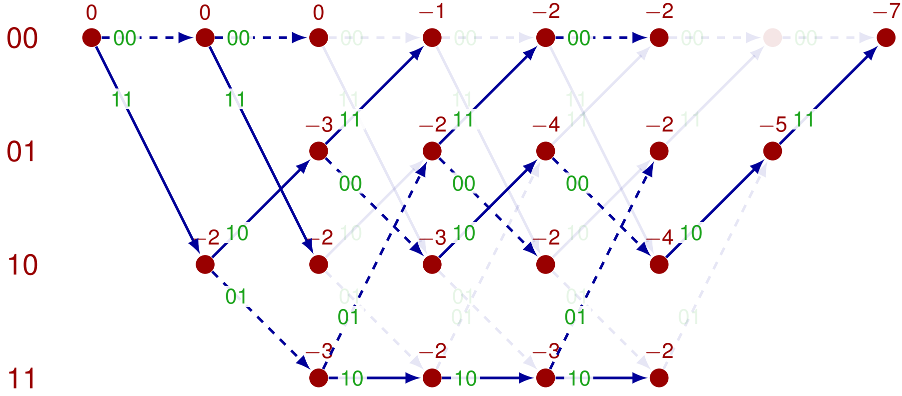
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

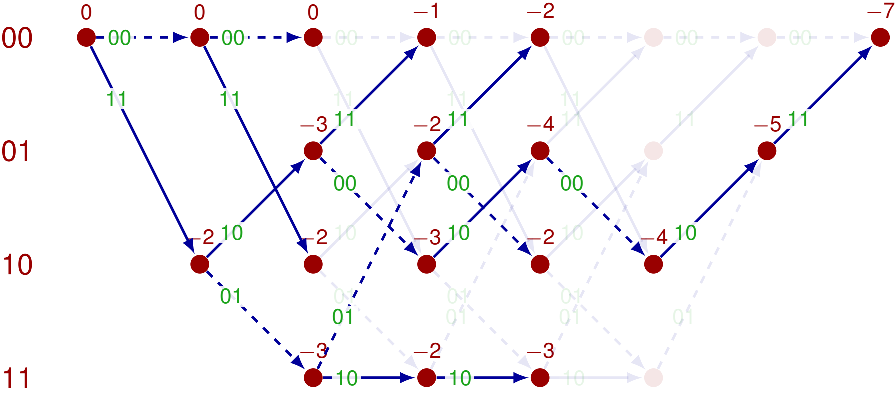
$\mathbf{y} = [\ \ -1,\ -1,\ \ -1,\ -1,\ \ 1,\ 1,\ \ -1,\ 1,\ \ 1,\ 1,\ \ -1,\ 1,\ \ -1,\ -1\ \ ]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

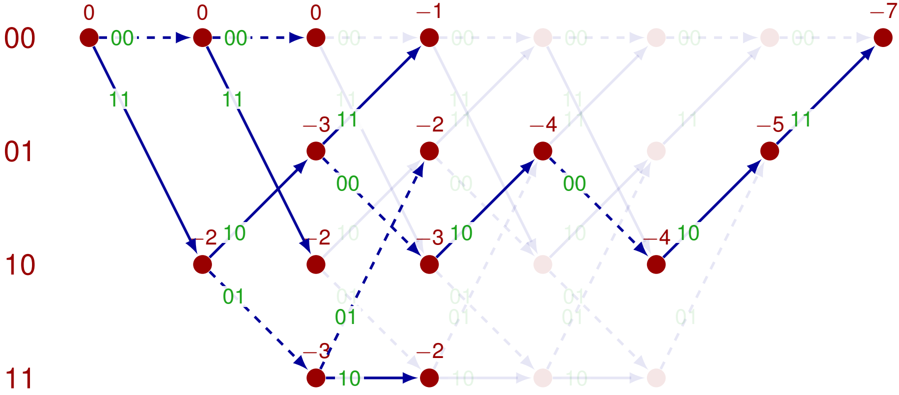
$\mathbf{y} = [\ \ -1,\ -1,\ \ -1,\ -1,\ \ 1,\ 1,\ \ -1,\ 1,\ \ 1,\ 1,\ \ -1,\ 1,\ \ -1,\ -1\ \ ]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

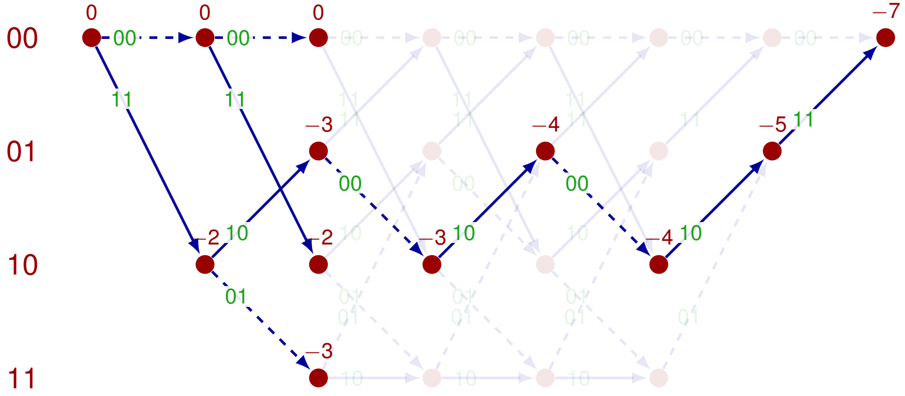
$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

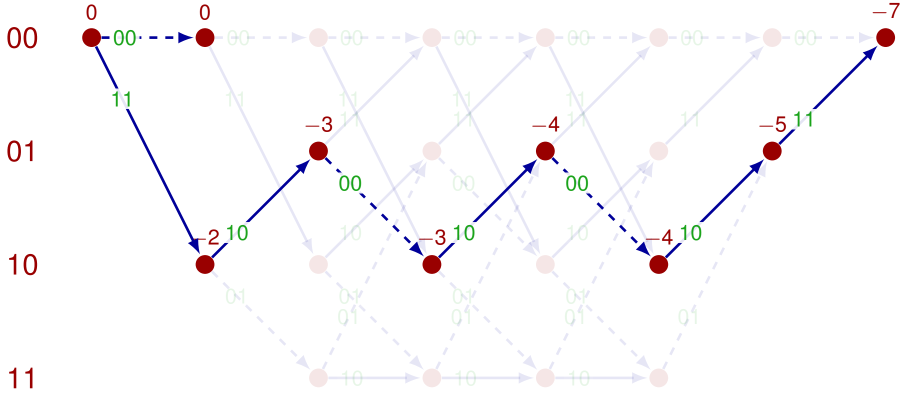
$$\mathbf{y} = [\ \ -1,\ -1,\ \ -1,\ -1,\ \ 1,\ 1,\ \ -1,\ 1,\ \ 1,\ 1,\ \ -1,\ 1,\ \ -1,\ -1\ \ ]$$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

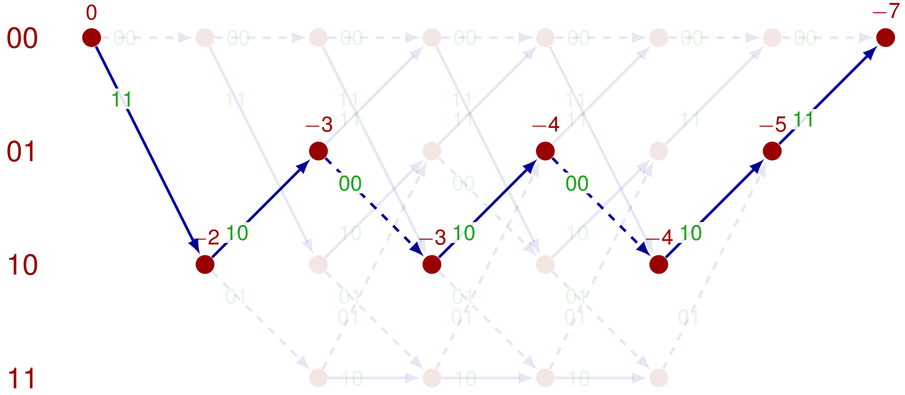
$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$



Exemple de question...

Soit le signal observé $\mathbf{y} = [-1,\ -1,\ -1,\ -1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ 1,\ 1,\ -1,\ 1,\ -1,\ -1]$, sachant que $\mathbf{u} = [1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0]$, reçoit-on le message sans erreur ?

$$\mathbf{y} = [\quad -1,\ -1,\quad -1,\ -1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad 1,\ 1,\quad -1,\ 1,\quad -1,\ -1\quad]$$



Dernier QCM

Comment avez-vous trouvé ce cours ?

- A Très difficile
- B Difficile
- C Moyen
- D Simple
- E Très simple

#QDLE#S#ABCDE#30#