

4.3

Le problème du rendu de monnaie

NSI TLE - JB DUTHOIT

Le problème relativement simple du rendu de monnaie va nous permettre dans cette partie de bien appréhender tous les concepts de la programmation dynamique présentés auparavant.

On considère un système de pièces de monnaie.

La question est la suivante : quel est le nombre minimal de pièces à utiliser pour rendre une somme donnée ? De plus, quelle est la répartition des pièces correspondante ?

Savoir-Faire 4.2

Dans la zone euro, le système actuellement en circulation est $S = (1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500)$.
Quelle est la solution optimale pour rendre 6 euros (recherche déconnectée) ?

Demandons-nous ce qu'un humain ferait dans une telle situation. Il commencerait sans doute par rendre la plus grande pièce "possible", puis ferait de même avec le reste jusqu'à ce que la somme soit rendue. C'est d'ailleurs ce que font des millions de commerçants quotidiennement. D'un point de vue algorithmique cela donne :

- Choisir la plus grande pièce du système de monnaie inférieure ou égale à la somme à rendre.
- Déduire cette pièce de la somme.
- Si la somme n'est pas nulle recommencer à l'étape 1.

Savoir-Faire 4.3

- Écrire cet algorithme. On donne le prototype :

```
def rendu_glouton(liste, somme):  
    """  
    liste est un tableau d'entiers qui correspond à la liste des pié  
    ces ordonnées dans l'ordre croissant.  
    somme est un entier qui correspond à la somme à rendre  
    La fonction retourne un entier, qui correspond au nombre de pièces  
    à rendre.  
    """
```

- L'implémenter en python
- Valider les tests unitaires suivants :
 - `rendu_glouton([1,2,5,10,50,100], 177) == 6`
 - `rendu_glouton([1,3,4], 6) == 3`

Remarque

Ce type d'algorithme s'appelle **algorithme glouton**, il a été étudié en première !

Mais cet algorithme n'est pas toujours optimal dans un cas général !

☛ Ceci dit, dans notre système monétaire, avec des euros (1,2,5,10,20,50,100,200), l'algorithme glouton va toujours donner la meilleure solution :-)



Savoir-Faire 4.4

On doit rendre 6 euros avec le système de billet suivant : (1,3,4).

- Proposer la solution obtenue par un algorithme glouton
- Est-ce la solution optimale ?

4.3.1 Approche naïve

Dans un premier temps, on va s'intéresser uniquement au nombre minimal de pièces à rendre. On reconstituera la répartition correspondante plus tard.

Formalisons un peu ce problème avec quelques notations mathématiques :

- Le système de pièces de monnaie peut être modélisé par un n-uplet d'entiers naturels $S = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, où p_i représente la valeur de la pièce i .
- On suppose que $p_1 = 1$ et que $p_1 < p_2 < \dots < p_n$.
- Une somme à rendre est un entier naturel X .
- Une répartition de pièces est un n-uplet d'entiers naturels (x_1, x_2, \dots, x_n) , où x_1 représente le nombre de pièces p_1 , x_2 le nombre de pièces p_2 , etc.
- Le nombre total de pièces d'une telle répartition est donc $\sum_{i=1}^n x_i$

Pour une somme X , on va noter $C[X]$ le nombre minimal de pièces.

On peut se demander quelles sont les sommes inférieures à X obtenables à partir de X .

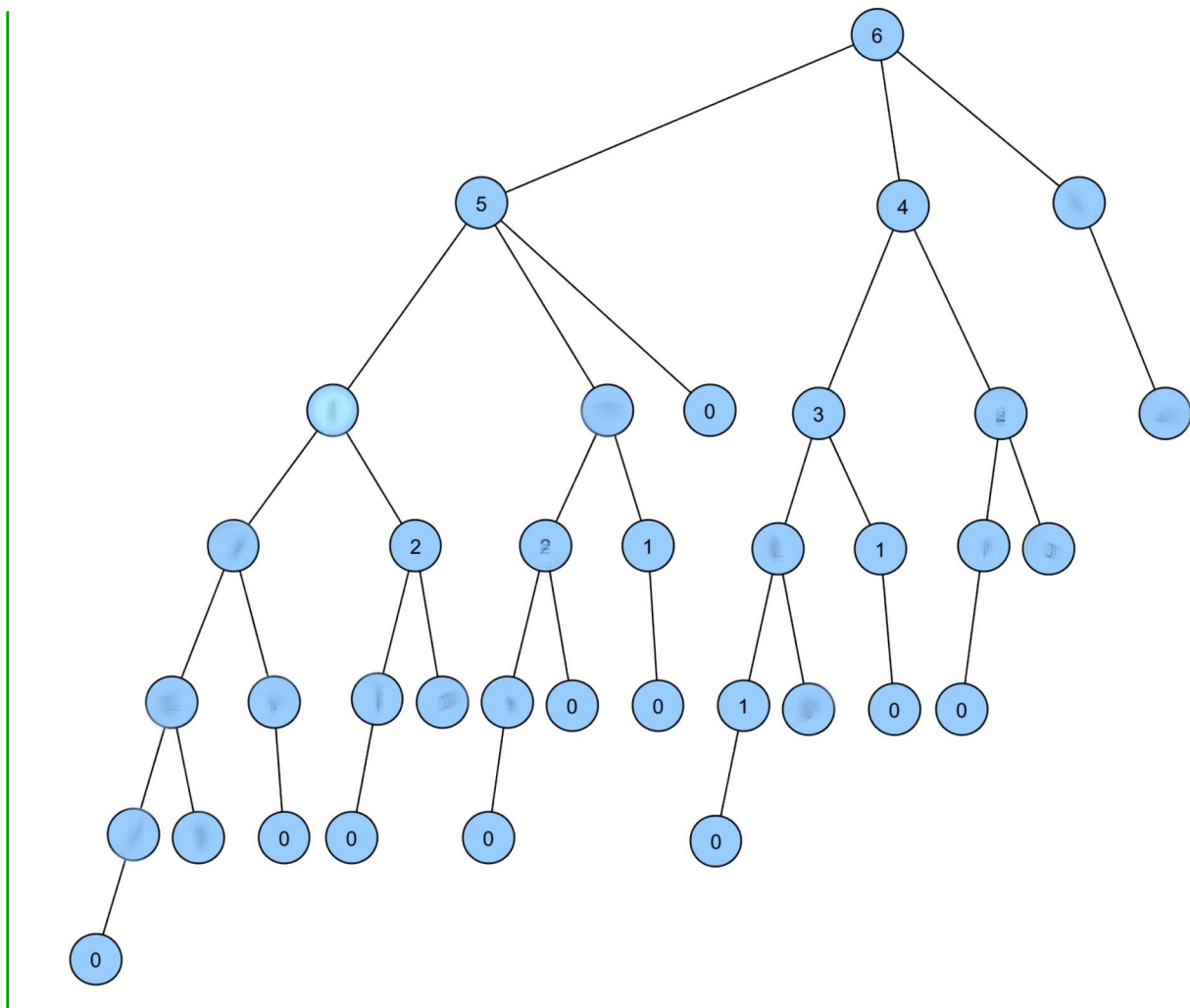
On peut choisir de rendre d'abord p_1 , ou p_2 , ou p_3 , etc. Ces sommes sont donc $X - p_1$, $X - p_2$, ..., $X - p_n$.



Exercice 4.32

Considérons l'arbre suivant qui matérialise ce rendu de monnaie. Les valeurs indiquées dans les noeuds correspondent à la somme restant à rendre.

Compléter cet arbre en sachant que le système de pièce utilisées est (1,2,5) :



Si l'on sait comment rendre chacune de ces sommes de façon optimale, on saura le faire également pour X . Il suffira de prendre la meilleure de ces possibilités, i.e. celle correspondant à un plus petit nombre de pièces, et de rajouter 1.

Ce +1 correspondant au choix de la première pièce.

La condition d'arrêt à la récursivité sera bien sûr l'obtention d'une somme nulle.

Grâce aux éléments précédents, nous pouvons maintenant présenter cette formule de récurrence :

$$C[X] = \begin{cases} 0 & \text{si } X = 0 \\ 1 + \min_{\substack{1 \leq i \leq n \\ p_i < X}} C[X - p_i] \end{cases}$$

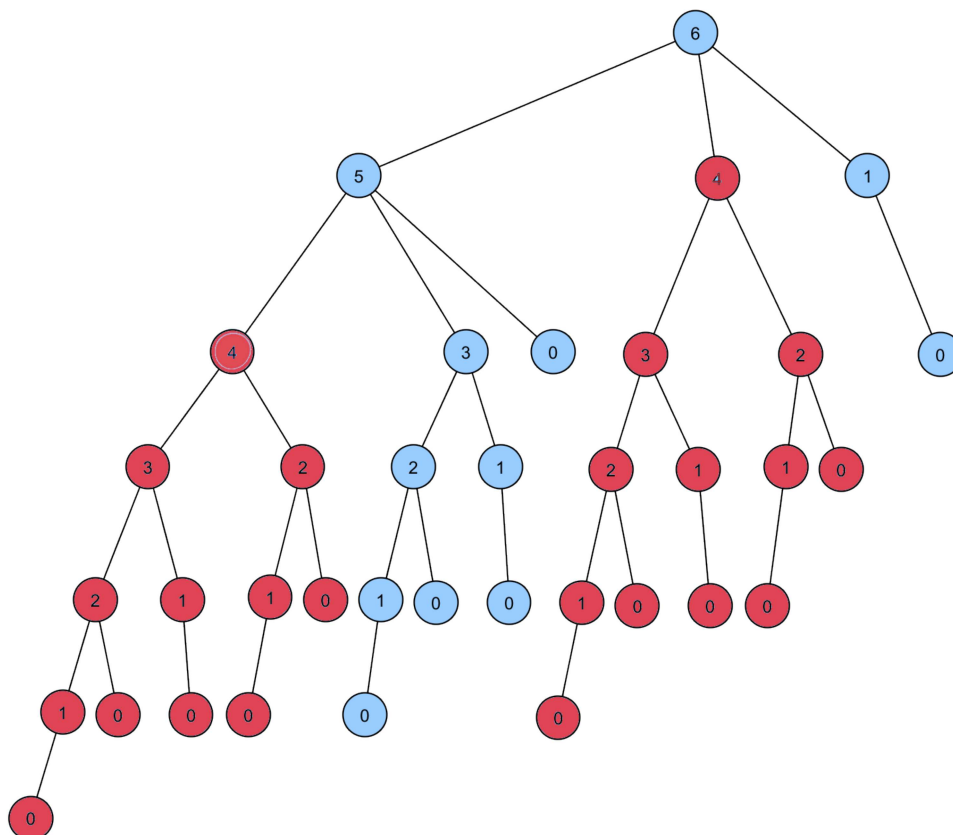
Voici l'algorithme :

```

1 VARIABLE
2 X : entier : la somme à rendre
3 S : tableau d'entiers de longueur l : liste des pièces dispos
4 DEBUT
5 Function rendu__monnaie__recursif (S,X)
6     if X == 0 then
7         | retourner 0
8     else
9         | mini ← X + 1
10        for i de 0 à l-1 do
11            | if S[i] ≤ X then
12                | nb ← 1 + rendu__monnaie__recursif(S,X - S[i])
13            | end
14            | if nb < mini then
15                | mini ← nb
16            | end
17        end
18        Retourner mini
19    end
20 end

```

On remarque donc de multiples appels redondants (un appel redondant en rouge sur l'image suivante), et ce même si notre paramètre initial était petit.



4.3.2 Approche dynamique Top Down

On va adopter dans cette sous-partie une technique de mémorisation.

Rappelons-en brièvement le principe : au lieu de recalculer plusieurs fois les solutions des mêmes sous-problèmes, on va les mémoriser dans une mémoire cache

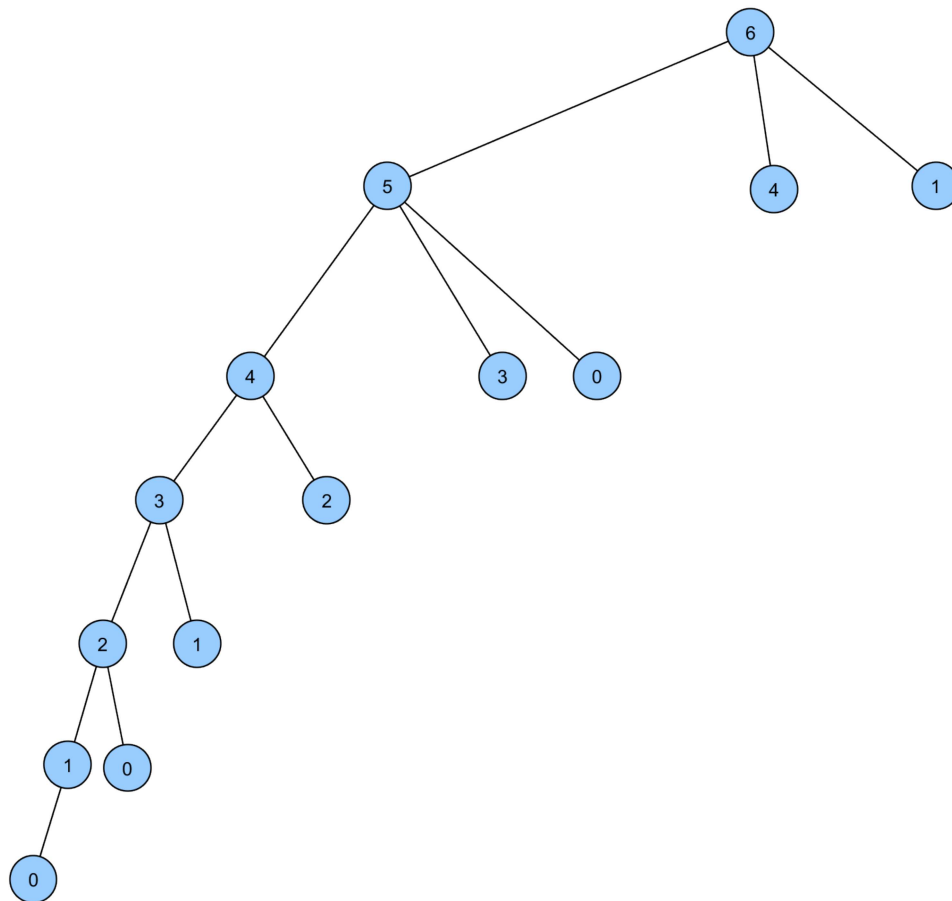
Pour une somme X , il va ainsi falloir enregistrer les résultats pour les sommes $0, 1, \dots, X - 1$. La mémoire cache, que l'on notera *table*, sera donc une liste unidimensionnelle à $X + 1$ éléments. Pour $0 \leq x \leq X$, *table*[$x+1$] sera donc égal au nombre de pièces minimal que l'on doit utiliser pour rendre une somme x . La solution à notre problème initial étant alors *table*[$X+1$]. Avec une approche Top Down, on va construire cette liste *table* de façon récursive en partant de notre somme initiale X . Cette fonction sera donc très proche de la version naïve et peu efficace présentée dans la sous-partie précédente. La seule différence est que lors d'un appel récursif qui n'est pas terminal, on va se demander si la valeur en question n'a pas déjà été calculée en regardant dans notre mémoire cache. Si oui on la retourne, sinon on la calcule par récursivité et on met à jour notre mémoire cache pour ne pas avoir à effectuer de nouveau ce calcul lors d'un appel postérieur.

```

1 VARIABLE
2 X : entier : la somme à rendre
3 S : tableau d'entiers de longueur l : liste des pièces dispos
4 table : tableau
5 DEBUT
6 Function rendu__monnaie__top__down (S,X)
7   | table ← [0] * (n+1)
8   | Retourner (S,X,table)
9 end
10 Function rendu__monnaie__table (S,X,table)
11   | if X=0 then
12   |   | Retourner 0
13   | else
14   |   | if table[X]>0 then
15   |   |   | Retourner table[X]
16   |   | else
17   |   |   | mini ← x+1
18   |   |   | for i de 0 à l-1 do
19   |   |   |   | if S[i]<X then
20   |   |   |   |   | nb = 1 + rendu__monnaie__table(S,X-S[i],table)
21   |   |   |   |   | if nb < mini then
22   |   |   |   |   |   | mini ← nb
23   |   |   |   |   |   | table[X] ← mini
24   |   |   |   |   | end
25   |   |   |   | end
26   |   |   | end
27   |   | end
28   | end
29 end

```

Voici l'arbre construit avec l'algorithme précédent. On voit bien que les redondances ont disparu !



Savoir-Faire 4.5

Compléter ce tableau, qui correspond à notre table, pour $S = 11$.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

4.3.3 Approche dynamique Bottom Up

Pour une somme de X , notre mémoire cache sera comme dans le cas Top Down une liste à $X+1$ éléments.

La différence est qu'avec une approche Bottom Up, on va remplir cette fois notre liste de façon itérative en partant de la plus petite valeur possible à rendre

Le calcul des différents éléments de table provenant lui toujours de la formule de récurrence.

Comme précédemment, la solution à notre problème initial sera $\text{table}[X]$.

Voici la fonction adoptant cette approche Bottom Up :

```
1 VARIABLE
2 X : entier : la somme à rendre
3 S : tableau d'entiers de longueur l : liste des pièces dispos
4 table : tableau
5 DEBUT
6 Function rendu_monnaie_bottom_up (S,X)
7   table  $\leftarrow$  [0] * (n+1)
8   for i de 1 à X do
9     mini  $\leftarrow$  X
10    for i de 1 à l-1 do
11      if  $S[i] \leq X$  and  $(1+table[X-S[i]]) < mini$  then
12        mini = 1 + table[X - S[i]]
13      end
14    end
15    table[X]  $\leftarrow$  mini
16  end
17  Retourner table[X]
18 end
```