Justification de paragraphe : le Knuth-Plass

Exposé GUTenberg, 11 Janvier 2024

Didier Verna

didier@didierverna.net

didierverna.info @didierverna didier.verna in/didierverna

Introduction

- TEX : standard *de facto* en matière de qualité typographique
- En particulier : l'algorithme de mise en forme de paragraphe
  N.b. « paragraphe » vs. « alinéa » hors sujet ici ; cf. [Savary1, 2023] et [Savary2, 2023]
- Le « Knuth-Plass »
  - Développé entre 1977 et 1982
  - « Probablement l'algorithme le plus intéressant de TEX »
    — *Donald Knuth*

Le Knuth-Plass fait peur...

Pourquoi ?

- Littérature de référence
  - Breaking Paragraphs into Lines [Knuth, 1981] : 66 pages
    Première mouture, avec formalisation algébrique, exemples et applications
  - TEX : the Program [Knuth, 1986] : 28 pages (+ césure = 58)
    À jour, entrelacée avec le reste de TEX
- L'algorithme de Knuth-Plass n'est pas... un algorithme !

✔ 1. Un problème de « plus court chemin » *single-pair* dans un graphe orienté acyclique [Dijkstra, 1959] (1956), A* [Hart, 1968], *etc.*

✔ 2. Une optimisation de type « programmation dynamique » (1950) [Bellman, 1954]

✔ 3. Un critère de qualité (fonction de coût) spécifique à TEX
Compatible avec la programmation dynamique !

✘ 4. Une implémentation (documentée) très impérative, truffée de petites optimisations de très bas niveau

Au Programme

Généralités : Coupure de Ligne, Tolérance, Passes

Représentation : Graphe des Solutions

Qualité : Pénalités, Démérites, Fonction de Coût

Optimisation : Programmation Dynamique

Mise en Forme de Paragraphe : Ingrédients

- Coupure de ligne
  - ✔ Implicite : espaces inter-mot et points de césure [Liang, 1983]
  - ✘ Explicite : « pénalités » (`\penalty`)
  - ✘ Remarque : césures + ligatures = « discrétionnaires » `\discretionary{-}{}{}`, `\discretionary{f-}{fi}{ffi}`
- Largeur de ligne
  - ✔ « Glue » élastique inter-mot : dépend de la police utilisée
  - ✘ Micro-typographie : crénage élastique (tracking), saillie (crénage de marge), chasse élastique, *etc.*
- Remarque : boîtes + glue + pénalités = modèle très expressif
  - ✔ Justification
  - ✘ Autres dispositions, saillie rudimentaire, code, *etc. Cf.* [Knuth, 1981]

Notion de « Tolérance »

- Complexité théorique exponentielle
  - Pour n points de coupures possibles, 2^n solutions
  - La plupart sont absurdes
- Élasticité sous contrôle : $1/3$ *corps de police* $+1/2$ $-1/3$
  - Exemple : police 18pt $\Rightarrow$ 6pt, max 9pt $(6+3)$, min 4pt $(6-2)$
  - Réduit considérablement le nombre de solutions *raisonnables*
  - Critères esthétiques $\Rightarrow$ *recommandations*
  - Cependant, limite stricte en compression
- Tolérance selon TEX (« badness »)
  - $100 * |\%\ d'élasticité\ utilisée|^3$
  - $+\infty$ si compression maximale ou étirement $\geq$ 465% (10 000)
  - Dans l'exemple précédent : $6 + 4.65 * 3 \approx$ 20pt, soit plus de trois fois l'espacement normal
- Remarque : TEX peut être *infiniment* tolérant...

Le Knuth-Plass en Trois Passes (max)

1. Sans césure, avec `\pretolerance`
   - Plain/LaTeX : 100 par défaut (*i.e.* 100% de l'élasticité disponible)
   - `\pretolerance=-1` pour court-circuiter la passe 1
2. Avec césure et `\tolerance`
   - Plain/LaTeX : 200 par défaut (*i.e.* 126% de l'élasticité disponible)
   - Dans l'exemple précédent : `6pt`, max `9,78pt` (9), min `3,48pt` (4)
3. Seulement si `\emergencystretch` > 0
   - Toujours avec césure et `\tolerance`

- Quand ça se passe mal
  - TeX produit des lignes débordantes (*overfull box*)
  - `\sloppy` (LaTeX) : `\tolerance=9999 \emergencystretch=3em`
  - Toujours préférer `\emergencystretch` à `\tolerance=10000` ($+\infty$)

Au Programme

Généralités : Coupure de Ligne, Tolérance, Passes

Représentation : Graphe des Solutions

Qualité : Pénalités, Démérites, Fonction de Coût

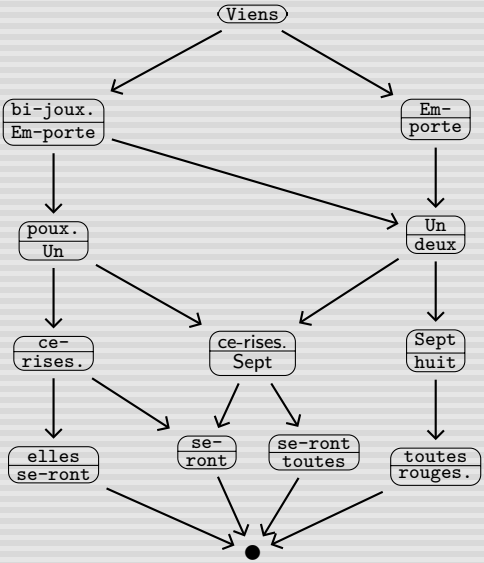
Optimisation : Programmation Dynamique

Graphe des Solutions

Exemple

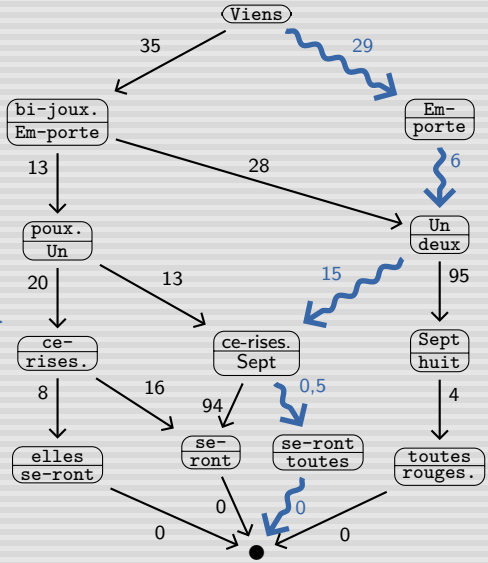
Viens mon chou sur mes ge-noux avec tes jou-joux et tes bi-joux. Em-porte des cailloux pour lan-cer sur les hi-boux pleins de poux. Un deux trois nous irons au bois. Quat' cinq six cueillir des ce-rises. Sept huit neuf dans mon pa-nier neuf. Dix onze douze elles se-ront toutes rouges.

- Largeur : 288pt (10,12cm)
- 2e passe (\pretolerance=-1)
- Espacement recommandé seulement (\tolerance=100)



Remarques

- Graphe *vs.* arbre (partage de noeuds)
  - Paragraphe rectangulaire
  - Ou conserver le numéro de ligne
- Branches mortes / arbre mort
  - Importance d'une tolérance ajustable
- Algorithmes gloutons : ligne par ligne
  - First-Fit, Last-Fit
  - Best-Fit (mais *define « best »*…)
    - *min*(% élasticité ou *badness*)
    - Nombreux autres choix possibles
  - Avantages
    - rapides
    - peu coûteux
  - Inconvénients
    - Pas de notion de qualité globale
    - Sensibles aux branches mortes



Au Programme

Généralités : Coupure de Ligne, Tolérance, Passes

Représentation : Graphe des Solutions

Qualité : Pénalités, Démérites, Fonction de Coût

Optimisation : Programmation Dynamique

Pénalités Locales

Même localement, l'élasticité n'est pas le seul critère esthétique

- Quatre types de « pénalités » locales
  1. Rappel : `\penalty` (explicite)
  2. $0 \leq$ `\linepenalty` (10) ≤ 100 : jouer sur le nombre de lignes
  3. $-10\,000 \leq$ `\hyphenpenalty` (50) $\leq 10\,000$
  4. $-10\,000 \leq$ `\exhyphenpenalty` (50) $\leq 10\,000$: jouer sur la césure
- Remarques
  - $\pm 10\,000 \iff \pm\infty$ (coupures interdites ou obligatoires)
  - Rappel : césure $\implies$ discrétionnaires
    `ge-noux` $\rightarrow$ `"ge" \discretionary{-}{}{} "noux"` $\rightarrow$ `\hyphenpenalty`
    `ef-ficace` $\rightarrow$ `"e" \discretionary{f-}{fi}{ffi} "cace"` $\rightarrow$ `\hyphenpenalty`
    `plate-bande` $\rightarrow$ `"plate-" \discretionary{}{}{} "bande"` $\rightarrow$ `\exhyphenpenalty`

Démérites Locaux

Élasticité (*badness*) + pénalités locales $\Longrightarrow$ « démérites » locaux

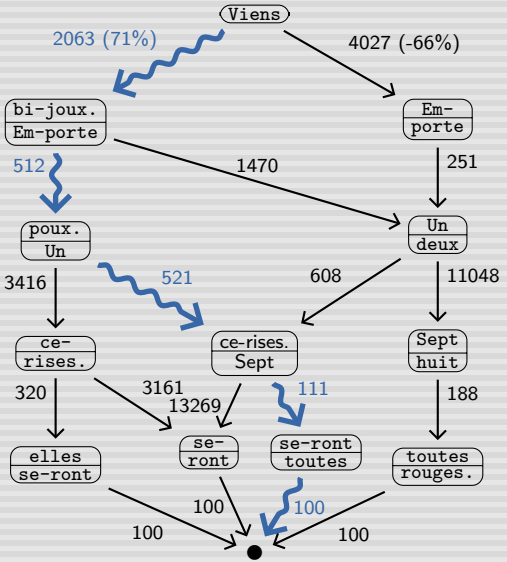
1. Coupure interdite (ou *badness* $>$ tolérance) : n/a
2. Coupure pénalisante : $(\textit{pénalité de ligne} + \textit{badness})^2 + \textit{pénalité}^{\,2}$
3. Coupure souhaitée : $(\textit{pénalité de ligne} + \textit{badness})^2 - \textit{pénalité}^{\,2}$
4. Coupure obligatoire : $(\textit{pénalité de ligne} + \textit{badness})^2$

- Remarques
  - Compromis élasticité / césure : $\sqrt[3]{(\sqrt{10^2+50^2}-10)/100} = 74\%$
  - Pénalité (infinie) non prise en compte en cas de coupure obligatoire

Application au Best-Fit

- *min*(démérites locaux)

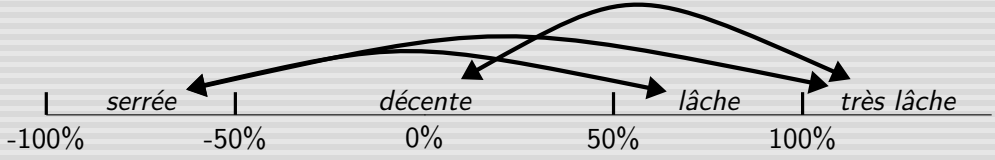
La césure est plus pénalisante que l'étirement ici (71% < 74%)



Démérites Globaux

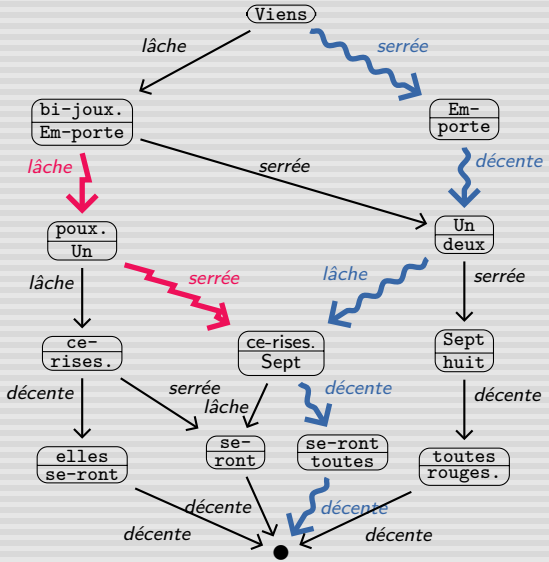
Ajoutés aux démérites locaux d'une ligne à la suivante

- Jouer sur la césure
  - $0 \leq$ `\doublehyphendemerits` (10 000) $\leq$ 10 000 : échelles de césure
  - $0 \leq$ `\finalhyphendemerits` (5 000) $\leq$ 10 000 : césure finale (avant-dernière ligne)
- Jouer sur la différence d'étalement
  - Quatre classes d'étalement (« *fitness classes* »)
  - $0 \leq$ `\adjdemerits` (10 000) $\leq$ 10 000 : démérites d'adjacence



Application

- Knuth-Plass
  Note : ≡ Best-Fit / *badness*
- Chemin problématique
- Ainsi que plusieurs autres...



Remarques Finales

- Démérites
  - locaux : esthétique horizontale
  - globaux : esthétique verticale
- Paramétrage
  - local (horizontal) en termes de *pénalités*
  - global (vertical) en termes de *démérites* (pénalité / *badness* au carré)
- Approche « globale » de TEX
  En réalité, basée uniquement sur des comparaisons de lignes adjacentes...

Au Programme

Généralités : Coupure de Ligne, Tolérance, Passes

Représentation : Graphe des Solutions

Qualité : Pénalités, Démérites, Fonction de Coût

Optimisation : Programmation Dynamique

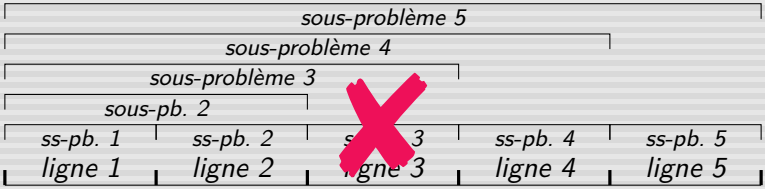
Contexte

Rappel : programmation dynamique (1950) [Bellman, 1954]

- Principe général
  1. Découpage du problème global en (plus petits) sous-problèmes
  2. Résolution des sous-problèmes pour arriver à la solution globale
- Remarque : « Diviser pour Régner » (*divide and conquer*)
  - Sous-problèmes indépendants les uns des autres.
  - Inapplicable ! Justifier la fin d'un paragraphe nécessite d'avoir justifié le début…
- Caractéristiques
  1. Les sous-problèmes dépendent *séquentiellement* les uns des autres
     - *Les sous-problèmes sont définis récursivement les uns en fonction des autres*
  2. Le processus de résolution suit nécessairement cette séquence
     - *La solution globale contient la séquence des sous-solutions*
- Complexité : $2^n \Longrightarrow n^2 \Longrightarrow nw$

Qu'appelle-t-on « Sous-Problème » ?

- Sous-problème n = s'occuper de la n^{e} ligne ? Non !
  - Le « meilleur » choix pour une ligne ne l'est pas nécessairement pour l'ensemble
  - Aucune décision définitive, mais un *ensemble* de solutions possibles
- Sous-problème n = s'occuper des n *premières* lignes
  - trouver *des* solutions pour la ligne n en fonction *des* solutions trouvées pour les précédentes

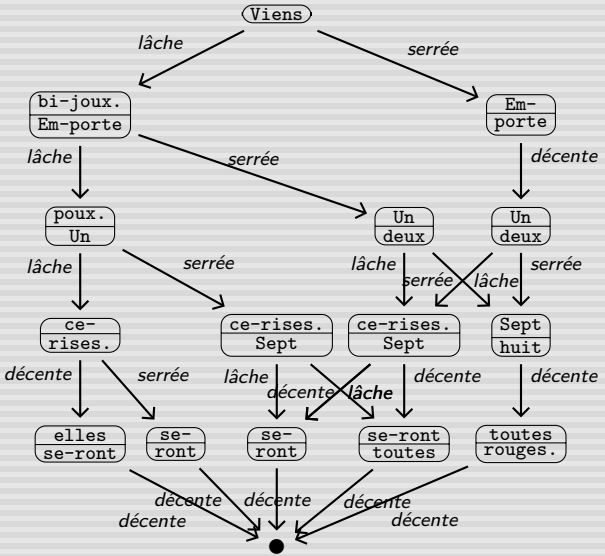


Conséquences sur le Graphe des Solutions

1. Résolution séquentielle des sous-problèmes
   - Construction du graphe progressive plutôt que préalable
   - $=$ *algorithmes gloutons*
2. Aucune décision intermédiaire définitive
   - Conservation des meilleures branches jusqu'au bout
   - $\neq$ *algorithmes gloutons*
3. Cependant : suppression des moins bons chemins
   - « Moins bons » avec certitude absolue !

Élagage du Graphe

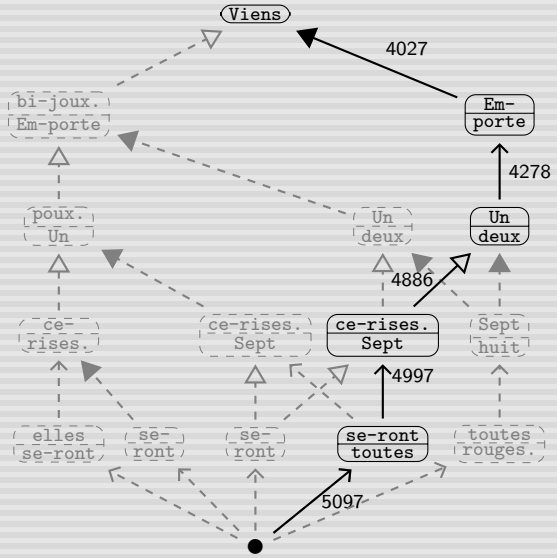
- Conserver un seul accès, *le meilleur*, à chaque noeud
- Problème : les classes d'étalement empêchent de définir « meilleur »
- Solution : des noeuds différents par classe d'étalement entrante
- Nouveau graphe ☛
- Rappel : problème identique (solution identique) pour des paragraphes non rectangulaires



Version Optimisée

Exemple

Viens mon chou sur mes ge-noux avec tes jou-joux et tes bi-joux. Em-porte des cailloux pour lan-cer sur les hi-boux pleins de poux. Un deux trois nous irons au bois. Quat' cinq six cueillir des ce-rises. Sept huit neuf dans mon pa-nier neuf. Dix onze douze elles se-ront toutes rouges.



⟶ ligne décente

⟶▷ ligne lâche

⟶▶ ligne serrée

- **CQFD !**

Bibliographie

- Anéantir Michel (pour en Finir avec les Livres Moches)
  Thomas Savary, Blog, 2023.
- Le package `lua-typo`
  Thomas Savary, exposé GUTenberg, 2023.
- Breaking Paragraphs into Lines
  Donald E. Knuth, Michael F. Plass.
  Software – Practice and Experience, 11:1119–1184, 1981.
- TEX: the Program
  Donald E. Knuth.
  Computers and Typsetting, Volume 2, Addison-Wesley, 1986.

Bibliographie (cont.)

- Word Hy-phen-a-tion by Com-put-er
  Franklin M. Liang.
  Stanford University Ph.D, STAN-CS-83-977, 1983.
- The theory of dynamic programming
  Richard Bellman.
  Bulletin of the American Mathematical Society, 60 (6): 503–516, 1954.
- A Note on Two Problems in Connexion with Graphs
  Edsger W. Dijkstra.
  Numerische Mathematik, 1:269–271, 1959.
- A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths
  Peter Hart, Nils Nilsson, and Bertram Raphael
  IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 4 (2): 100–7, 1968.

Bibliographie (cont.)

- ETAP
  Didier Verna.
  `github/didierverna/etap`.
- Interactive and Real-Time Typesetting for Demonstration and Experimentation: ETAP
  Didier Verna.
  TUGboat, 44 (2):242–248, 2023.
- ETAP: Experimental Typesetting Algorithms Platform
  Didier Verna.
  15th European Lisp Symposium, pp. 48–52, 2022.