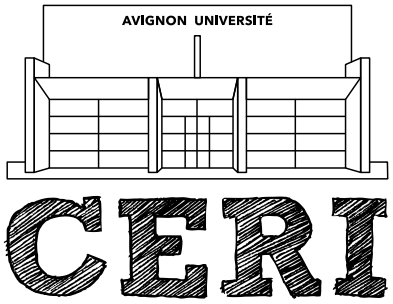


Centre d'Enseignement et de Recherche en Informatique

Partie 8
Évaluation des performances

Vincent Labatut

Laboratoire Informatique d'Avignon – LIA EA 4128

vincent.labatut@univ-avignon.fr

2019/20

M2 ILSEN

UE Ingénierie du document et de l'information

UCE3 Indexation & Recherche d'information

AVIGNON UNIVERSITÉ

Plan de la séance

Section 1

Ressources et notion de pertinence

AVIGNON
UNIVERSITÉ

Évaluation en recherche d'information
Ressources

- Ressources nécessaires
  - Collection de documents
  - Besoins informationnels
    - À convertir en requêtes
    - Ex. : Information sur l'hypothèse que boire du vin rouge réduit plus le risque d'attaque cardiaque que boire du vin blanc.

      → $\mathbf{vin} \wedge \mathbf{rouge} \wedge \mathbf{blanc} \wedge \mathbf{cœur} \wedge \mathbf{attaque} \wedge \mathbf{efficace}$
    - On note $\mathcal{Q} = \{q_1, ..., q_Q\}$ l'ensemble des Q requêtes d'évaluation
  - Pertinence de chaque document
    - = vérité terrain (eng : Golden standard, ground-truth)
- Taille des données
  - Taille D du corpus de documents
  - Nombre Q de besoins informationnels considérés

  → Les deux affectent la fiabilité des résultats

Évaluation en recherche d'information
Notion de pertinence

- Pertinence
  - Évaluée par rapport aux besoins, et non pas aux requêtes
  - But = satisfaction de l'utilisateur final
  - Ex. python = animal ou langage de programmation ?
- Besoins partagés en plusieurs ensembles
  - Ensemble de développement
    - Utilisé seulement pour affiner les réglages du système
  - Ensemble de test
    - Utilisé pour obtenir la performance générale du système
  - Ne pas développer et tester un système sur les mêmes données
- Exemples de données de test :
  - TREC, CLEF, etc. (cf. [MRS08] Section 8.2)

Section 2

Évaluation de résultats non-ordonnés

AVIGNON
UNIVERSITÉ

Évaluation de résultats non-ordonnés
Types de résultats

Vrais positifs (eng : True Positives)

Nombre TP de documents pertinents **correctement renvoyés** par le moteur de recherche.

Vrais négatifs (eng : True Negatives)

Nombre TN de documents non-pertinents **correctement ignorés** par le moteur de recherche.

Faux positifs (eng : False Positives)

Nombre FP de documents non-pertinents **incorrectement renvoyés** par le moteur de recherche.

Faux négatifs (eng : False Negatives)

Nombre FN de documents pertinents **incorrectement ignorés** par le moteur de recherche.

Évaluation de résultats non-ordonnés
Taux de succès

Matrice de confusion :

	Pertinent	**Non-pertinent**
Renvoyé	TP	FP
Ignoré	FN	TN

Taux de succès (eng : Accuracy)

Proportion de documents **correctement classifiés** :

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{TP + TN}{D}$$

- Utilisé en classification (générale)
- Pas adapté à RI en raison du nombre élevé de négatifs
- Ex. : rejet systématique de tous les documents

Évaluation de résultats non-ordonnés
Précision et rappel

Matrice de confusion :

	Pertinent	Non-pertinent
Renvoyé	TP	FP
Ignoré	FN	TN

Précision (eng : Precision)

Proportion de documents **pertinents** parmi les documents **renvoyés** par le moteur de recherche (erreur de type I) :

$$Pre = \frac{TP}{TP+FP}$$

Rappel (eng : Recall)

Proportion de documents **renvoyés** par le moteur de recherche parmi les documents **pertinents** du corpus (erreur de type II) :

$$Rec = \frac{TP}{TP+FN}$$

- Ces trois mesures sont définies sur $[0;1]$

Évaluation de résultats non-ordonnés
Exemple pour Précision et Rappel

On considère un corpus de $D = 100$ documents, dont on sait que 20 sont pertinents pour une requête donnée.

Le moteur évalué renvoie les 10 documents suivants pour cette même requête :

DocId	105	695	23	8	87	147	694	3691	68	9999
Pertinent	·	✓	✓	✓	·	·	✓	✓	·	✓

Mesures obtenues :

- $TP = 6$
- $FP = 4$
- $FN = 14$
- $TN = 76$
- $Acc = (TP + TN)/D = (6 + 76)/100 = 82/100 = 0{,}82$
- $Pre = TP/(TP+FP) = 6/(6+4) = 6/10 = 0{,}6$
- $Rec = TP/(TP+FN) = 6/(6+14) = 6/20 = 0{,}3$

Évaluation de résultats non-ordonnés
Précision vs. Rappel

- Ces mesures sont complémentaires
- Perspective utilisateur : l'une est généralement prioritaire
  - Ex. : Utilisateur Web → préfère une précision élevée
  - Ex. : Expert légal → préfère un rappel élevé
- Ces mesures sont liées :
  - Sélectionner tous les documents :
    → $Pre \approx 0$, $Rec = 1$
  - Rejeter tous les document sauf un (vrai) positif
    → $Pre = 1$, $Rec \approx 0$
- Si augmentation du nombre de documents retournés :
  - Rappel ne peut pas décroître
    - Nombre de TN ne peut pas augmenter
  - Précision décroît généralement
    - Si augmentation du nombre de FP

Évaluation de résultats non-ordonnés
Définition de la F-mesure

Moyenne harmonique

La moyenne harmonique M_H est l'**inverse** de la moyenne **arithmétique** M_A des **inverses** des valeurs $x_1, ...x_n$ moyennées :

$$M_H(x_1, ..., x_n) = \frac{1}{M_A(x_1, ..., x_n)} = \frac{1}{\frac{1}{n} \times (\frac{1}{x_1} + ... + \frac{1}{x_n})} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + ... + \frac{1}{x_n}}.$$

- Propriétés :
  - Toujours $<$ à moyennes géométrique et arithmétique
  - Plus proche de min que de moyenne arithmétique

F-mesure (eng : F-measure)

Il s'agit de la **moyenne harmonique** de la précision Pre et du rappel Rec :

$$F = \frac{2}{\frac{1}{Pre} + \frac{1}{Rec}} = 2\frac{Pre \cdot Rec}{Pre + Rec}$$

- Pourquoi moyenne harmonique :
  - $\rightarrow$ Faire ressortir une Pre ou un Rec exagérément bas
  - Ex. : $Pre = 1$ et $Rec = 0 \rightarrow$ moy. arithm. de 0,5 mais $F \approx 0$.

Évaluation de résultats non-ordonnés
Généralisation de la F-mesure

F-mesure généralisée

Version **pondérée** utilisant un **paramètre** β pour contrôler l'**importance relative** de la précision Pre et du rappel Rec :

$$F_\beta = \frac{1}{\frac{\alpha}{P} + \frac{1-\alpha}{R}} = \frac{(\beta^2+1)\cdot Pre \cdot Rec}{\beta^2 \cdot Pre + Rec},$$

où $\alpha \in [0;1]$ et $\beta^2 = (1-\alpha)/\alpha$.

- Comportement :
  - $\beta = 1 \rightarrow$ équilibre entre Pre et Rec
  - $\beta < 1 \rightarrow Pre$ a plus d'importance
  - $\beta > 1 \rightarrow Rec$ a plus d'importance
- Utilisée quand on veut favoriser l'une des deux mesures (ex. cas d'utilisation p.11)

Évaluation de résultats non-ordonnés
Exemple de F-mesure

Même exemple que précédemment (p.10) : on considère un corpus de 100 documents, dont on sait que 15 sont pertinents pour une requête donnée.

Le moteur évalué renvoie les 10 documents suivants pour cette même requête :

DocId	105	695	23	8	87	147	694	3691	68	9999
Pertinent	·	✓	✓	✓	·	·	✓	✓	·	✓

Mesures obtenues :

- $TP = 6$; $FP = 4$; $FN = 9$; $TN = 81$
- $Pre = 0{,}6$; $Rec = 0{,}3$; $Acc = 0{,}82$
- $F = 2\dfrac{Pre \cdot Rec}{Pre + Rec} = 2\dfrac{0{,}6 \cdot 0{,}3}{0{,}6 + 0{,}3} = 2\dfrac{0{,}18}{0{,}9} = 0{,}4$

Section 3

Évaluation de résultats ordonnés

AVIGNON
UNIVERSITÉ

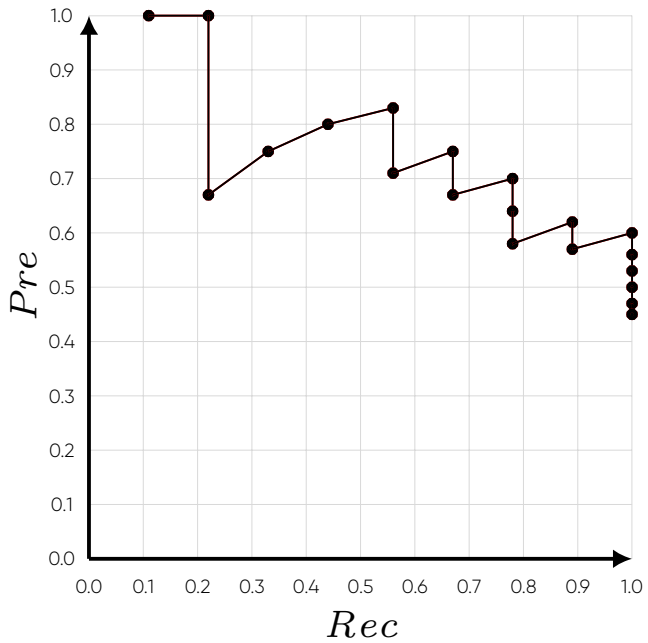
Évaluation de résultats ordonnés
Définition de la courbe Précision-Rappel

- Notations :
  - $Pre(k)$: précision obtenue en considérant les k premiers documents
  - $Rec(k)$: pareil pour le rappel
- Courbe Précision-Rappel : méthode de construction
  1. Ordonner les documents par score décroissant
  2. Pour $k = 1, .., D$, calculer $Pre(k)$ et $Rec(k)$
  3. Représenter la performance obtenue pour chaque valeur de k par un point dans le repère Pre-Rec.
- Propriétés :
  - $Rec(k)$ est une fonction non-décroissante : augmenter le nombre de documents considérés ne peut pas diminuer le rappel

  $\rightarrow$ courbe en dents-de-scie (Pre diminuant à chaque document incorrect)

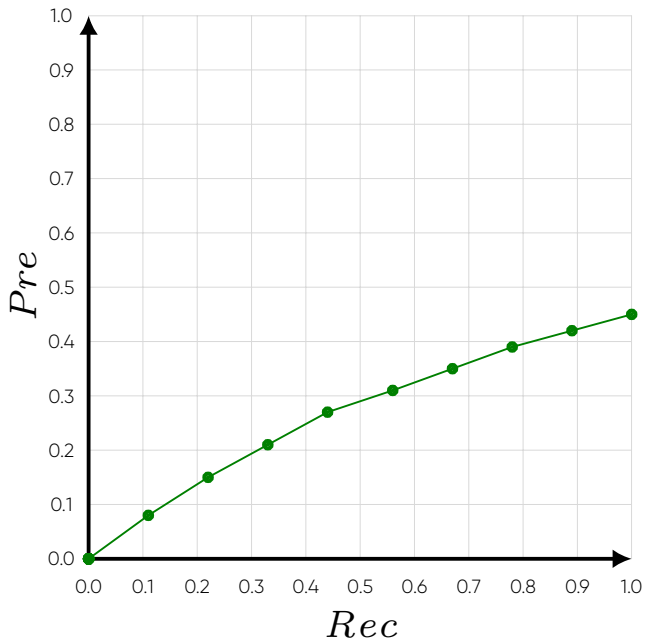
Évaluation de résultats ordonnés
Exemple de courbe Précision-Rappel

Rang	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Pertinent	✓	✓	·	✓	✓	✓	·	✓	·	✓	·	·	✓	·	✓	·	·	·	·	·
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TP	1	2	2	3	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9
FP	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	8	9	10	11
FN	8	7	7	6	5	4	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
$Pre(k)$	1/1	2/2	2/3	3/4	4/5	5/6	5/7	6/8	6/9	7/10	7/11	7/12	8/13	8/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20
	1,00	1,00	0,67	0,75	0,80	0,83	0,71	0,75	0,67	0,70	0,64	0,58	0,62	0,57	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45
$Rec(k)$	1/9	2/9	2/9	3/9	4/9	5/9	5/9	6/9	6/9	7/9	7/9	7/9	8/9	8/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
	0,11	0,22	0,22	0,33	0,44	0,56	0,56	0,67	0,67	0,78	0,78	0,78	0,89	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



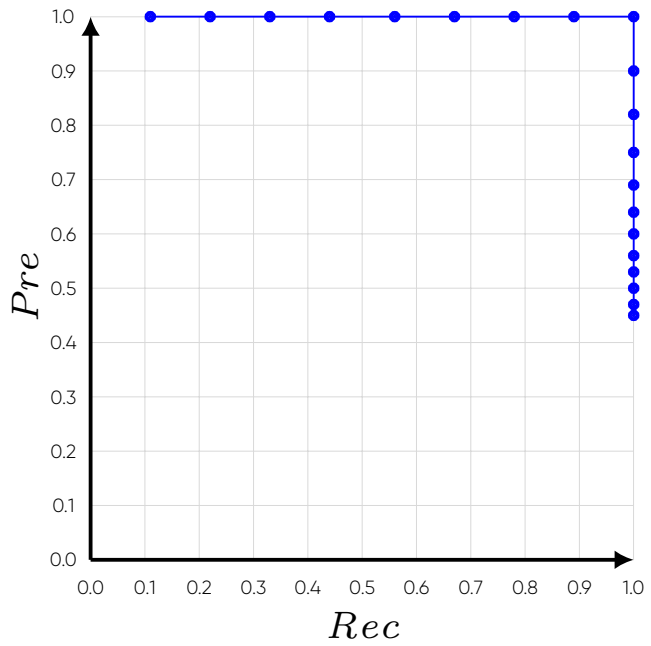
Évaluation de résultats ordonnés
Exemple de courbe Précision-Rappel

Rang	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Pertinent	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
FN	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$Pre(k)$	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	0/6	0/7	0/8	0/9	0/10	0/11	1/12	2/13	3/14	4/15	5/16	6/17	7/18	8/19	9/20
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,15	0,21	0,27	0,31	0,35	0,39	0,42	0,45
$Rec(k)$	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	9/9
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00



Évaluation de résultats ordonnés
Exemple de courbe Précision-Rappel

Rang	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Pertinent	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
FP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FN	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Pre(k)$	1/1	2/2	3/3	4/4	5/5	6/6	7/7	8/8	9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	9/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,82	0,75	0,69	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45
$Rec(k)$	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



Évaluation de résultats ordonnés
Principe de l'interpolation

Précision interpolée

La précision interpolée $\tilde{Pre}(k)$ est la précision **maximale** obtenue en renvoyant k **documents ou plus**. Formellement :

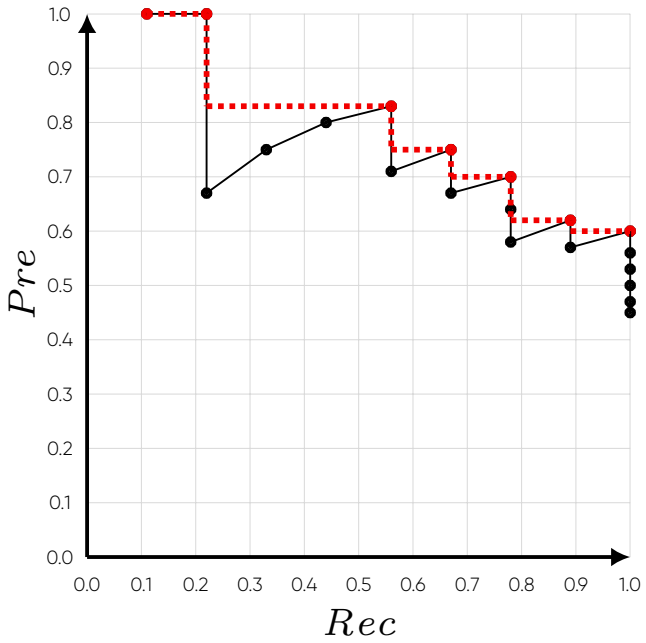
$$\tilde{Pre}(k) = \max_{k \leq k' \leq D} Pre(k').$$

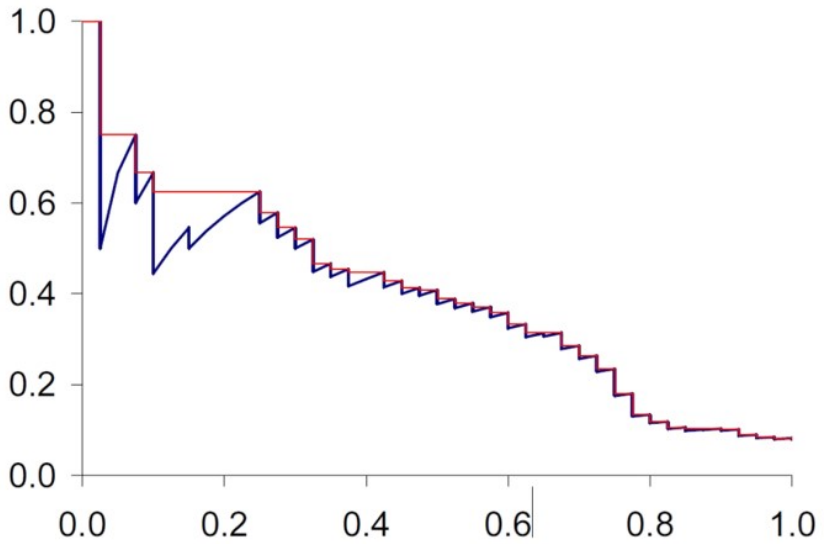
- Courbe Précision-Rappel interpolée
  - Construction : on utilise $\tilde{Pre}$ à la place de Pre
  - Interêt :
    - En jouant sur k, on peut parfois augmenter Rec sans diminuer Pre

    → La courbe Précision-Rappel interpolée permet de détecter ces situations

Évaluation de résultats ordonnés
Exemple de courbe Précision-Rappel interpolée

Rang	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Pertinent	✓	✓	·	✓	✓	✓	·	✓	·	✓	·	·	✓	·	✓	·	·	·	·	·
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TP	1	2	2	3	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9
FP	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	8	9	10	11
FN	8	7	7	6	5	4	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
$Pre(k)$	1/1	2/2	2/3	3/4	4/5	5/6	5/7	6/8	6/9	7/10	7/11	7/12	8/13	8/14	9/15	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20
	1,00	1,00	0,67	0,75	0,80	0,83	0,71	0,75	0,67	0,70	0,64	0,58	0,62	0,57	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45
$Rec(k)$	1/9	2/9	2/9	3/9	4/9	5/9	5/9	6/9	6/9	7/9	7/9	7/9	8/9	8/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9
	0,11	0,22	0,22	0,33	0,44	0,56	0,56	0,67	0,67	0,78	0,78	0,78	0,89	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00





Évaluation de résultats ordonnés
Précision interpolée moyenne

Notation : $Rec_j(k)$, $Pre_j(k)$ et $\tilde{P}re_j(k)$ dénotent respectivement le rappel, la précision et la précision interpolée obtenus sur les k premiers documents renvoyés pour la requête q_j

Points d'interpolation

Pour une requête q_j, c'est l'**ensemble** $\{k_{ij}\}_{i\in\{0,\dots,10\}}$ des 11 **valeurs** de k telles que :

$$Rec_j(k_{ij}) = i/10, \text{ où } i \in \{0, ..., 10\}.$$

Précision interpolée moyenne

Moyenne arithmétique des **précisions interpolées** obtenues pour l'ensemble $\mathcal{Q}$ des **requêtes** testées, en considérant leur $i$ème point d'interpolation :

$$IAP_i = \frac{1}{Q}\sum_{j=1}^{Q} \tilde{P}re_j(k_{ij}).$$

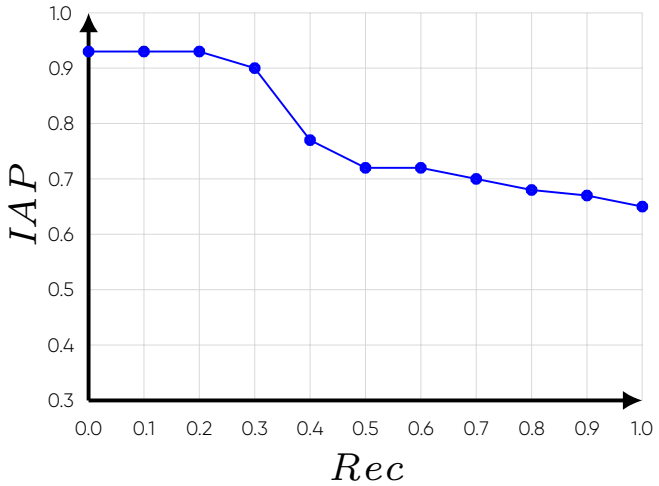
Évaluation de résultats ordonnés
Courbe de précision interpolée moyenne

Exemple : on utilise 5 requêtes pour l'évaluation

Rang	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Pert. q_1	✓	✓	·	✓	✓	✓	·	✓	·	✓	·	·	✓	·	✓	·	·	·	·	·
$Rec_1(k)$	**0,11**	**0,22**	0,22	**0,33**	**0,44**	**0,56**	0,56	**0,67**	0,67	**0,78**	0,78	0,78	**0,89**	0,89	**1,00**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\tilde{P}re_1(k)$	**1,00**	**1,00**	0,83	**0,83**	**0,83**	**0,83**	0,75	**0,75**	0,70	**0,70**	0,64	0,62	**0,62**	0,60	**0,60**	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45
Pert. q_2	✓	✓	✓	·	·	·	✓	✓	✓	✓	·	✓	✓	·	·	✓	·	·	·	·
$Rec_2(k)$	**0,10**	**0,20**	**0,30**	0,30	0,30	0,30	**0,40**	**0,50**	**0,60**	**0,70**	0,70	**0,80**	**0,90**	0,90	0,90	**1,00**	1,00	1,00	1,00	1,00
$\tilde{P}re_2(k)$	**1,00**	**1,00**	**1,00**	0,75	0,70	0,70	**0,70**	**0,70**	**0,70**	**0,70**	0,69	**0,69**	**0,69**	0,64	0,63	**0,63**	0,59	0,56	0,53	0,50
Pert. q_3	·	✓	·	✓	·	✓	✓	✓	✓	·	✓	·	✓	✓	✓	·	·	·	·	·
$Rec_3(k)$	**0,00**	**0,10**	0,10	**0,20**	0,20	**0,30**	**0,40**	**0,50**	**0,60**	0,60	**0,70**	0,70	**0,80**	**0,90**	**1,00**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\tilde{P}re_3(k)$	**0,67**	**0,67**	0,67	**0,67**	0,67	**0,67**	**0,67**	**0,67**	**0,67**	0,67	**0,67**	0,67	**0,67**	**0,67**	**0,67**	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50
Pert. q_4	✓	✓	·	·	·	✓	✓	✓	·	·	✓	✓	✓	·	·	·	·	·	·	·
$Rec_4(k)$	**0,13**	**0,25**	0,25	0,25	0,25	**0,38**	**0,50**	**0,63**	0,63	0,63	**0,75**	**0,88**	**1,00**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\tilde{P}re_4(k)$	**1,00**	**1,00**	0,67	0,63	0,63	**0,63**	**0,63**	**0,63**	0,62	0,62	**0,62**	**0,62**	**0,62**	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42	0,40
Pert. q_5	✓	✓	·	·	✓	✓	✓	✓	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$Rec_5(k)$	**0,17**	**0,33**	0,33	0,33	**0,50**	**0,67**	**0,83**	**1,00**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\tilde{P}re_5(k)$	**1,00**	**1,00**	0,75	0,75	**0,75**	**0,75**	**0,75**	**0,75**	0,67	0,60	0,55	0,50	0,46	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,32	0,30

Pt. interp.	k_{1j}	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}
$Rec(k_{ij})$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\tilde{P}re_1(k_{i1})$	1,00	1,00	1,00	0,83	0,83	0,83	0,83	0,75	0,70	0,62	0,60
$\tilde{P}re_2(k_{i2})$	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,63
$\tilde{P}re_3(k_{i3})$	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
$\tilde{P}re_4(k_{i4})$	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62
$\tilde{P}re_5(k_{i5})$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
IAP_i	0,93	0,93	0,93	0,90	0,77	0,72	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65

Construction de la courbe : calcul des valeurs IAP_i pour les 11 points d'interpolation
(i.e. Précisions associées aux valeurs de rappel $Rec = 0 \ ; \ 0{,}1 \ ; \ 0{,}2 \ ; \ \ldots \ ; \ 1$)



Évaluation de résultats ordonnés
Définition de la moyenne des précisions moyennes

La moyenne des précisions moyennes (MAP) repose sur deux niveaux de moyennage

Points de moyennage

Pour une requête q_j, c'est l'**ensemble** $\{k_{ij}\}_{1 \leq i \leq m_j}$ des m_j valeurs de k telles que le k_{ij}ème document soit **pertinent**.

Précision moyenne (eng : Average precision)

Pour une requête q_j, c'est la **moyenne** arithmétique des précisions obtenues pour l'ensemble des points de moyennage :

$$AP_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} Pre_j(k_{ij}).$$

Évaluation de résultats ordonnés
Propriétés de la moyenne des précisions moyennes

Moyenne des précisions moyennes

La MAP (eng : *Mean Average Precision*) est la **moyenne** arithmétique des **précisions moyennes** AP_j obtenues pour l'ensemble $\mathcal{Q}$ des **requêtes** testées :

$$MAP = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^{Q} AP_j.$$

- Intérêt : permet de se ramener à une seule valeur
- Approximation de l'aire (moyenne) sous la précision interpolée
- Note : de nombreuses autres mesures existent, cf. bibliographie

Section 4

Conclusion

AVIGNON
UNIVERSITÉ

Concepts abordés dans cette partie

- Courbe Précision-Rappel
- Courbe PR Interpolée
- Points d'interpolation
- Précision interpolée moyenne
- Précision
- Rappel
- F-mesure
- MAP

Lectures recommandées

[MRS08] *Introduction to Information Retrieval*, chapitres 6 & 8.

[BCC10] *Information Retrieval : Implementing and Evaluating Search Engines*, chapitre 12.

[BR11] *Modern Information Retrieval : The Concepts and Technology behind Search*, chapitre 4.

[AG13] *Recherche d'information - Applications, modèles et algorithmes*, chapitres 2 & 3.

[CMS15] *Search Engines : Information Retrieval in Practice*, chapitres 8.

Références bibliographiques I

[AG13] M.-R. Amini et É. Gaussier. *Recherche d'information - Applications, modèles et algorithmes.* Paris, FR : Eyrolles, 2013. url : **https://www.eyrolles.com/Informatique/Livre/recherche-d-information-9782212673760/**.

[BR11] R. Baeza-Yates et B. Ribeiro-Neto. *Modern Information Retrieval : The Concepts and Technology behind Search.* 2nd Edition. Boston, USA : Addison Wesley Longman, 2011. url : **http://people.ischool.berkeley.edu/~hearst/irbook/**.

[BCC10] S. Büttcher, C. L. A. Clarke et G. V. Cormack. *Information Retrieval : Implementing and Evaluating Search Engines.* Cambridge, USA : MIT Press, 2010. url : **http://www.ir.uwaterloo.ca/book/**.

[CMS15] W. B. Croft, D. Metzler et T. Strohman. *Search Engines : Information Retrieval in Practice.* Pearson, 2015. url : **http://www.search-engines-book.com/**.

Références bibliographiques II

[MRS08] C. D. Manning, P. Raghavan et H. Schütze. *Introduction to Information Retrieval*. New York, USA : Cambridge University Press, 2008. url : http://www-nlp.stanford.edu/IR-book/.