

Conception de mécanismes et responsabilité sociale des algorithmes

Jérôme Lang
LAMSADE
CNRS – Université Paris-Dauphine

INS2I, 26 septembre 2017

Mécanismes de décision collective

- ▶ mécanisme de décision collective:
 - ▶ un ensemble d'individus N
 - ▶ chaque individu i exprime des *préférences* P_i
 - ▶ mécanisme $F : (P_1, \dots, P_n) \mapsto$ décision d .
 - ▶ le mécanisme peut être calculé par une machine (ou pas)
- ▶ exemples:
 - ▶ enchères en ligne
 - ▶ appariement : Admission Post Bac, choix scolaire etc.
 - ▶ partage équitable : partage de loyer entre colocataires, de biens et le garde des enfants après un divorce etc.
 - ▶ vote en ligne : élections, budget participatif etc.

Appariement : admission post-bac

Suite de cette partie largement plagiée de :

Julien Grenet (CNRS – Ecole d'économie de Paris)

“Les algorithmes d'affectation des élèves aux établissements d'enseignement”

- ▶ Voeux : maximum 12 par type de formation, dans la limite de 24 voeux au total
- ▶ Priorités :
 - ▶ Filières sélectives : classement opéré par les formations
 - ▶ Filières non sélectives (licences) : critères hiérarchisés:
 1. candidats de l'académie > candidats hors académie
 2. rang relatif du voeu parmi les formations de même type
 3. rang absolu du voeu (parmi tous les voeux)
 4. tirage aléatoire
- ▶ Algorithme : acceptation différée, école-proposant

APB : Acceptation différée, école-proposant

- ▶ les étudiants font leurs vœux et les formations classent les étudiants.
- ▶ chaque étudiant considère les formations qui le classent premier, accepte temporairement celle qu'il préfère parmi celles-ci, et rejette temporairement les autres.
- ▶ **Répéter**
 - ▶ les formations rejetées à l'étape précédente font une proposition au candidat suivant dans leur liste (s'il y en a un);
 - ▶ chaque étudiant considère conjointement la formation qui lui est temporairement affectée et les formations qui lui font une offre; il choisit celle qu'il préfère et rejette les autres.
- ▶ **Jusqu'à** ce que chaque formation ait rempli son quota ou ait atteint la fin de sa liste.

APB : Acceptation différée, école-proposant

F1, F2, F3 trois formations avec capacité 1.

| | | | | |
|---------|--------------------------|--|------|--------------------------------|
| Anne : | F1 \succ F3 \succ F2 | | F1 : | Bob \succ Anne \succ Chloé |
| Bob : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F2 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |
| Chloé : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F3 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |

- ▶ F1 propose à Bob, F2 et F3 proposent à Anne;

APB : Acceptation différée, école-proposant

F1, F2, F3 trois formations avec capacité 1.

| | | | | |
|---------|---------------------------------|--|------|---------------------------------------|
| Anne : | F1 \succ F3 \succ F2 | | F1 : | Bob \succ Anne \succ Chloé |
| Bob : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F2 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |
| Chloé : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F3 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |

- ▶ F1 propose à Bob, F2 et F3 proposent à Anne;
- ▶ Anne choisit F3 et rejette F2; Bob choisit F1

APB : Acceptation différée, école-proposant

F1, F2, F3 trois formations avec capacité 1.

| | | | | |
|---------|--------------------------|--|------|--------------------------------|
| Anne : | F1 \succ F3 \succ F2 | | F1 : | Bob \succ Anne \succ Chloé |
| Bob : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F2 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |
| Chloé : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F3 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |

- ▶ F1 propose à Bob, F2 et F3 proposent à Anne;
- ▶ Anne choisit F3 et rejette F2; Bob choisit F1
- ▶ F2 propose à Bob
- ▶ Bob choisit F2 et rejette F1

APB : Acceptation différée, école-proposant

F1, F2, F3 trois formations avec capacité 1.

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|---|----|---|----|--|------|------|---|------|---|-------|
| Anne : | F1 | ⋻ | F3 | ⋻ | F2 | | F1 : | Bob | ⋻ | Anne | ⋻ | Chloé |
| Bob : | F2 | ⋻ | F1 | ⋻ | F3 | | F2 : | Anne | ⋻ | Bob | ⋻ | Chloé |
| Chloé : | F2 | ⋻ | F1 | ⋻ | F3 | | F3 : | Anne | ⋻ | Bob | ⋻ | Chloé |

- ▶ F1 propose à Bob, F2 et F3 proposent à Anne;
- ▶ Anne choisit F3 et rejette F2; Bob choisit F1
- ▶ F2 propose à Bob
- ▶ Bob choisit F2 et rejette F1
- ▶ F1 propose à Anne
- ▶ Anne choisit F1 et rejette F3

APB : Acceptation différée, école-proposant

F1, F2, F3 trois formations avec capacité 1.

| | | | | |
|---------|--------------------------|--|------|--------------------------------|
| Anne : | F1 \succ F3 \succ F2 | | F1 : | Bob \succ Anne \succ Chloé |
| Bob : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F2 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |
| Chloé : | F2 \succ F1 \succ F3 | | F3 : | Anne \succ Bob \succ Chloé |

- ▶ F1 propose à Bob, F2 et F3 proposent à Anne;
- ▶ Anne choisit F3 et rejette F2; Bob choisit F1
- ▶ F2 propose à Bob
- ▶ Bob choisit F2 et rejette F1
- ▶ F1 propose à Anne
- ▶ Anne choisit F1 et rejette F3
- ▶ F3 propose à Bob, qui rejette, puis à Chloé, qui accepte.

APB : Acceptation différée, école-proposant

David (Toulouse) : L1 info Bordeaux \succ L1 maths Bordeaux

Estelle (Poitiers) : CPGE \succ L1 maths Bordeaux

Francis (Bordeaux) : L1 info Bordeaux

Gaëlle (Paris) : CPGE

L1 info Bordeaux: Francis \succ David critère de l'académie

L1 maths Bordeaux: Estelle \succ David critère du rang relatif

CPGE : Gaëlle \succ Estelle sélection

APB : Acceptation différée, école-proposant

David (Toulouse) : L1 info Bordeaux \succ L1 maths Bordeaux

Estelle (Poitiers) : CPGE \succ L1 maths Bordeaux

Francis (Bordeaux) : L1 info Bordeaux

Gaëlle (Paris) : CPGE

L1 info Bordeaux: Francis \succ David critère de l'académie

L1 maths Bordeaux: Estelle \succ David critère du rang relatif

CPGE : Gaëlle \succ Estelle sélection

APB : Acceptation différée, école-proposant

David ne change pas de préférences mais modifie ses voeux :

David (Toulouse) : L1 maths Bordeaux \succ L1 info Bordeaux

Estelle (Poitiers) : CPGE \succ L1 maths Bordeaux

Francis (Bordeaux) : L1 info Bordeaux

Gaëlle (Paris) : CPGE

L1 info Bordeaux: Francis \succ David critère de l'académie

L1 maths Bordeaux: David \succ Estelle critère du rang absolu

CPGE : Gaëlle \succ Estelle sélection

APB : Acceptation différée, école-proposant

David ne change pas de préférences mais modifie ses voeux :

David (Toulouse) : L1 maths Bordeaux \succ L1 info Bordeaux

Estelle (Poitiers) : CPGE \succ L1 maths Bordeaux

Francis (Bordeaux) : L1 info Bordeaux

Gaëlle (Paris) : CPGE

L1 info Bordeaux: Francis \succ David critère de l'académie

L1 maths Bordeaux: David \succ Estelle critère du rang absolu

CPGE : Gaëlle \succ Estelle sélection

David a eu intérêt à exprimer des voeux non sincères :

APB est manipulable

APB : Acceptation différée, école-proposant

Si toutes les formations ont des préférences exogènes (grandes écoles, CPGE etc.)

| | | | |
|------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Hélène : | Physique \succ Chimie | | Physique : Isabelle \succ Hélène |
| Isabelle : | Chimie \succ Physique | | Chimie : Hélène \succ Isabelle |

APB : Acceptation différée, école-proposant

Si toutes les formations ont des préférences exogènes (grandes écoles, CPGE etc.)

| | | | |
|------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Hélène : | Physique \succ Chimie | | Physique : Isabelle \succ Hélène |
| Isabelle : | Chimie \succ Physique | | Chimie : Hélène \succ Isabelle |

APB : Acceptation différée, école-proposant

Si toutes les formations ont des préférences exogènes (grandes écoles, CPGE etc.)

| | | | |
|------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Hélène : | Physique \succ Chimie | | Physique : Isabelle \succ Hélène |
| Isabelle : | Chimie \succ Physique | | Chimie : Hélène \succ Isabelle |

- ▶ Hélène obtient son second choix

APB : Acceptation différée, école-proposant

Si toutes les formations ont des préférences exogènes (grandes écoles, CPGE etc.)

Hélène : Physique \succ Chimie ||| Physique : Isabelle \succ Hélène
Isabelle : Chimie \succ Physique ||| Chimie : Hélène \succ Isabelle

- ▶ Hélène obtient son second choix
- ▶ Hélène modifie ses préférences :

Hélène: Physique ||| Physique : Isabelle \succ Hélène
Isabelle : Chimie \succ Physique ||| Chimie : Isabelle

APB : Acceptation différée, école-proposant

Si toutes les formations ont des préférences exogènes (grandes écoles, CPGE etc.)

| | | | |
|------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Hélène : | Physique \succ Chimie | | Physique : Isabelle \succ Hélène |
| Isabelle : | Chimie \succ Physique | | Chimie : Hélène \succ Isabelle |

- ▶ Hélène obtient son second choix
- ▶ Hélène modifie ses préférences :

| | | | |
|------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Hélène: | Physique | | Physique : Isabelle \succ Hélène |
| Isabelle : | Chimie \succ Physique | | Chimie : Isabelle |

- ▶ Hélène obtient son premier choix
- ▶ APB est manipulable
- ▶ par ailleurs : APB est équitable, et non efficace

Mécanismes d'appariement dans des contextes officiels

- ▶ affectation scolaire
- ▶ affectation des enseignants du secondaire
- ▶ affectation des internes dans les hôpitaux (dans de nombreux pays)

Mécanismes d'appariement: critères d'acceptabilité sociale

- ▶ critères normatifs : non-manipulabilité, efficacité, équité
- ▶ transparence et simplicité
- ▶ choix politiques sous-jacents aux critères de priorité utilisés

Vote en-ligne (ou pas)

Trois mécanismes de vote :

1. **scrutin majoritaire à deux tours** (“plurality with runoff”)
2. **Borda** : chaque électeur classe tous les candidats (il y en a m). Son vote donne $m - 1$ points au candidat qu’il classe premier, $m - 2$ à celui qu’il classe second, etc.
3. **vote unique transférable (STV)** : chaque électeur classe tous les candidats; puis :

Repéter

- ▶ x := candidat classé premier le moins souvent;
- ▶ x est éliminé de tous les votes
{les votes pour x sont transférés au candidat préféré parmi ceux qui n’ont pas été éliminés }

Jusqu’à ce qu’un candidat soit classé premier dans une majorité de votes.

Vote en-ligne (ou pas) : propriétés normatives

Un exemple important : **résistance au clonage de candidats**

- ▶ scrutin majoritaire à deux tours :

| | | | |
|-------------------|-------|-------------------|---------|
| 48 | abc | 24 | $aa'bc$ |
| 27 | bac | 24 | $a'abc$ |
| 25 | cab | 27 | $baa'c$ |
| | | 25 | $caa'b$ |
| <hr/> | | <hr/> | |
| finalistes a, c | | finalistes b, c | |
| vainqueur a | | vainqueur b | |

Mais 75 voters préfèrent a (et a') à b ...

- ▶ Borda : également vulnérable au clonage, mais dans une moindre mesure
- ▶ STV : résistant au clonage

Vote en-ligne (ou pas) : communication, simplicité, explicabilité

- ▶ scrutin majoritaire à deux tours :
 - ▶ simple à comprendre;
 - ▶ faible coût de communication : chaque votant envoie $\log m$ bits au premier tour et un bit au second tour
- ▶ Borda : un seul tour, chaque votant envoie $O(m \log m)$ bits.
- ▶ STV :
 - ▶ version à $m - 1$ tours; compliquée à mettre en œuvre
 - ▶ version à un seul tour : chaque votant envoie $O(m \log m)$ bits
 - ▶ ni vraiment simple ni vraiment compliqué
 - ▶ Australie, Irlande

Vote en-ligne (ou pas) : vérifiabilité

Qu'est-ce qui permet de garantir que le mécanisme est appliqué correctement?

1. [scrutins en ligne] résistance à la fraude
 2. [scrutins en ligne] résistance à la coercition
 3. [tous scrutins] respect de la confidentialité
 4. [tous scrutins] existence d'un mécanisme simple de vérification
- ▶ protocoles cryptographiques
 - ▶ propriétés propres du mécanisme (scrutin majoritaire à deux tours et Borda : vérification plus simple que STV).

Acceptabilité sociale des mécanismes : discussion

- ▶ propriétés normatives, y compris la résistance aux comportements stratégiques
- ▶ simplicité et explicabilité
- ▶ vérifiabilité
- ▶ justification politique ou sociale du choix du mécanisme.