

### Exercice B0011 Problème HORNSAT

Cet énoncé est accompagné d'un ou plusieurs codes compagnons en OCAML fournissant certaines des fonctions mentionnées dans l'énoncé : ils sont à compléter en y implémentant les fonctions demandées. Le fichier `hornsat.ml` fournit les types nécessaires, et deux exemples. On attend un style de programmation fonctionnel. L'utilisation des fonctions du module `List` est autorisée ; celle des fonctions du module `Option` est interdite.

Une formule du calcul propositionnel est une *formule de Horn* s'il s'agit d'une formule sous forme normale conjonctive (FNC) dans laquelle chaque clause (éventuellement vide, auquel cas la clause en question est la disjonction d'un ensemble vide de littéraux et est donc sémantiquement équivalente à  $\perp$ ) contient au plus un littéral positif. Dans la suite, on considère qu'une clause d'une telle formule contient au plus une occurrence de chaque variable (en particulier, les clauses sont sans doublons).

- Les formules suivantes sont-elles des formules de Horn ?

- a)  $F_1 = (\neg x_0 \vee \neg x_1 \vee \neg x_3) \wedge (x_0 \vee \neg x_1) \wedge (\neg x_2 \vee x_0 \vee \neg x_3) \wedge (\neg x_0 \vee \neg x_3 \vee x_2) \wedge x_2 \wedge (\neg x_3 \vee \neg x_2)$ .
- b)  $F_2 = (x_0 \vee \neg x_1) \wedge (\neg x_2 \vee \neg x_3 \vee \neg x_0) \wedge \neg x_1 \wedge (x_1 \vee \neg x_1 \vee x_0) \wedge (\neg x_0 \vee x_2)$ .
- c)  $F_3 = (\neg x_1 \vee \neg x_4) \wedge x_1 \wedge (\neg x_0 \vee \neg x_3 \vee \neg x_4) \wedge (x_0 \vee \neg x_1) \wedge (x_2 \vee \neg x_3 \vee \neg x_4) \wedge (x_4 \vee \neg x_0 \vee \neg x_1)$ .

On utilise le type suivant pour manipuler les formules de Horn : une formule de Horn est une liste de clauses de Horn. Une clause étant la donnée d'un `int option` valant `None` si la clause ne contient pas de littéral positif et `Some i` si  $x_i$  en est l'unique littéral positif et d'une liste d'entiers correspondants aux numéros des variables intervenant dans les littéraux négatifs.

```
type clause_horn = int option * int list
type formule_horn = clause_horn list
```

- Écrire une fonction `avoir_clause_vide` : `formule_horn -> bool` qui renvoie `true` si et seulement si la formule en entrée contient une clause vide (donc ne contenant ni littéral positif, ni aucun littéral négatif).

On appelle *clause unitaire* une clause réduite à un littéral positif. Par ailleurs, *propager* une variable  $x_i$  dans une formule  $F$  sous FNC consiste à modifier  $F$  comme suit :

- Toute clause de  $F$  qui ne fait pas intervenir la variable  $x_i$  est conservée telle quelle.
- Toute clause de  $F$  qui fait intervenir le littéral  $x_i$  est supprimée entièrement.
- On supprime le littéral  $\neg x_i$  de toutes les clauses de  $F$  qui font intervenir ce littéral.

On souligne que supprimer  $\neg x$  d'une clause  $C$  qui ne fait intervenir que ce littéral ne revient pas à supprimer la clause  $C$ . On s'intéresse à l'algorithme  $\mathcal{A}$  suivant dont on admet (pour le moment) qu'il permet de déterminer si une formule de Horn  $F$  est satisfiable :

---



---

```

tant que il y a une clause unitaire  $x_i$  dans  $F$ 
  └  $F \leftarrow$  propager  $x_i$  dans  $F$ 
si  $F$  contient une clause vide alors
  └ renvoyer faux
sinon
  └ renvoyer vrai

```

---

- À l'aide de cet algorithme déterminer si les formules de Horn de la question 1 sont satisfiables. On utilisera ces formules pour tester les fonctions implémentées aux questions suivantes.
- Écrire une fonction `trouver_clause_unitaire` : `formule_horn -> int option` renvoyant `None` si la formule en entrée n'a pas de clause unitaire et `Some i` où  $x_i$  est l'une des clauses unitaires sinon.
- Justifier que propager une variable dans une formule de Horn donne une formule de Horn. Écrire une fonction `propager` : `formule_horn -> int -> formule_horn` qui prend en entrée une formule de Horn  $F$  et un entier  $i$  et calcule la formule résultat de la propagation de  $x_i$  dans  $F$ .
- Déduire des questions précédentes une fonction `etre_satisfiable` : `formule_horn -> bool` renvoyant `true` si et seulement si la formule de Horn en entrée est satisfiable.
- Quelle est la complexité de votre algorithme en fonction de la taille de la formule en entrée ? Que peut-on dire des problèmes de décision SAT et HORN-SAT (dont la définition est la même que celle de SAT à ceci près que les formules considérées sont supposées être des formules de Horn) ?

8. On s'intéresse à présent à la correction de l'algorithme  $\mathcal{A}$ .
  - a) Si  $F$  est une clause de Horn sans clause unitaire ni clause vide, donner une valuation simple qui satisfait  $F$ .
  - b) On admet que si  $F$  est une formule de Horn faisant intervenir une clause unitaire  $x_i$  et  $F'$  est le résultat de la propagation de  $x_i$  dans  $F$ , alors que  $F$  est satisfiable si et seulement si  $F'$  est satisfiable. En déduire la correction de l'algorithme  $\mathcal{A}$ .
9. Expliquer comment on pourrait modifier les fonctions précédentes afin de déterminer une valuation satisfaisant une formule de Horn dans le cas où elle existe plutôt que de juste dire si elle est satisfiable ou non. On ne demande pas d'implémentation.