

CORRECTION CLAVIER FINALE - INTERRUPTIONS QEMU

PROBLÈME IDENTIFIÉ

D'après l'analyse des logs QEMU, le problème était que **les interruptions clavier (IRQ1) n'étaient pas générées par QEMU**. Le shell faisait des appels système en boucle (`v=80`) sans jamais recevoir d'interruptions clavier.

CORRECTIONS APPLIQUÉES

1. Configuration QEMU (Makefile)

AVANT :

```
qemu-system-i386 -kernel <span class="math-inline" style="display: inline;"><math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="inline"><mrow><mo stretchy="false">&#x00028;</mo><mi>0</mi><msub><mi>S</mi><mi>I</mi></msub><mi>M</mi><mi>A</mi><mi>G</mi><mi>E</mi><mo stretchy="false">&#x00029;</mo><mo>&#x02212;</mo><mi>i</mi><mi>n</mi><mi>i</mi><mi>t</mi><mi>r</mi><mi>d</mi></mrow></math></span>(INITRD_IMAGE) -nographic -serial stdio
```

APRÈS :

```
qemu-system-i386 -kernel <math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="inline"><mrow><mo stretchy="false">&#x00028;</mo><mi>O</mi><msub><mi>S</mi><mi>I</mi></msub><mi>M</mi><mi>A</mi><mi>G</mi><mi>E</mi><mo stretchy="false">&#x00029;</mo><mo>&#x02212;</mo><mi>i</mi><mi>n</mi><mi>i</mi><mi>t</mi><mi>r</mi><mi>d</mi></mrow></math></span>(INITRD_IMAGE) \
    -nographic -serial stdio \
    -machine type=pc,accel=tcg \
    -device isa-serial,chardev=serial0 -chardev stdio,id=serial0 \
    -device i8042 \
    -d int,guest_errors,cpu_reset \
    -no-reboot -no-shutdown -monitor none
```

Améliorations :

- `-machine type=pc,accel=tcg` : Force l'utilisation d'une machine PC standard
- `-device i8042` : Force l'émulation du contrôleur PS/2 i8042
- Configuration série explicite pour éviter les conflits

2. Initialisation des Interruptions (interrupts.c)

Améliorations :

- Initialisation séquentielle avec logs détaillés
- Désactivation/réactivation des interruptions CPU au bon moment
- Remappage PIC amélioré avec délais (fonction `io_delay()`)
- Vérification forcée des masques PIC
- Diagnostic complet de l'état du PIC

Ordre d'initialisation critique :

1. Désactiver les interruptions CPU (`cli`)
2. Installer les handlers d'exceptions
3. Remapper le PIC avec délais appropriés
4. Enregistrer les handlers d'IRQ
5. Configurer l'IDT

6. Activer les IRQ spécifiques (IRQ0, IRQ1)
7. Réactiver les interruptions CPU (`sti`)

3. Initialisation du Clavier (keyboard.c)

Améliorations majeures :

- Séquence d'initialisation PS/2 complète et robuste
- Tests du contrôleur PS/2 et du port 1
- Configuration explicite du scancode set 1 (compatible QEMU)
- Gestion correcte du scanning (disable/configure/enable)
- Diagnostic complet de l'état final

Étapes d'initialisation :

1. Vidage du buffer initial
2. Désactivation des ports PS/2
3. Configuration du contrôleur avec paramètres QEMU-optimisés
4. Test du contrôleur (self-test)
5. Test du port 1
6. Configuration du clavier (scancode set 1)
7. Réactivation du scanning

4. Configuration PIC Optimisée

Paramètres spécifiques pour QEMU :

- ICW1: Mode cascade avec ICW4
- ICW2: Offsets corrects (PIC1=32, PIC2=40)
- ICW3: Configuration cascade appropriée
- ICW4: Mode 8086 avec EOI automatique
- Masques: IRQ0 et IRQ1 uniquement démasquées (0xFC)

5. Délais I/O Appropriés

Ajout de la fonction `io_delay()` utilisant le port 0x80 pour les délais nécessaires entre les opérations PIC/PS2.

FICHIERS MODIFIÉS

1. **Makefile** - Configuration QEMU améliorée
2. **kernel/interrupts.c** - Initialisation robuste des interruptions
3. **kernel/keyboard.c** - Initialisation PS/2 complète
4. **kernel/keyboard.h** - Nouvelles fonctions helper
5. **kernel/kernel.c** - Ordre d'initialisation optimisé

TESTS ATTENDUS

Après ces corrections, QEMU devrait :

1. **Générer les interruptions IRQ1** lors des pressions de touches
2. **Afficher les logs d'interruptions** dans la sortie série
3. **Permettre au shell de recevoir les caractères** saisis au clavier
4. **Éliminer la boucle infinie** sur les appels système de lecture

VÉRIFICATION

Les logs devraient montrer :

```
=== INTERRUPTION CLAVIER RECUE ===  
KBD sc=0xxx  
KBD char='X' ajouté au buffer ASCII  
Reschedule déclenché  
=== FIN INTERRUPTION CLAVIER ===
```

Au lieu de la boucle infinie précédente :

```
v=80 v=80 v=80 v=80 ...
```

RÉSULTAT ATTENDU

Le clavier devrait maintenant être **totalelement fonctionnel** dans le shell utilisateur, permettant :

- Saisie de commandes
- Navigation dans le shell
- Exécution de programmes utilisateur avec entrée clavier
- Fonctionnement normal de l'intelligence artificielle simulée

Cette correction adresse la **cause racine** du problème : l'absence de génération d'interruptions clavier par QEMU due à une configuration incomplète.