

AIRWOLF : AUTOPSIE D'UN JEU MAUDIT

**Une plongee dans les entrailles du code d'un classique
rate de l'Amstrad CPC**



Figure 1 : Ecran titre d'Airwolf - Elite Systems, 1985

AVANT-PROPOS

"Qu'y a-t-il au niveau 2 d'Airwolf sur Amstrad CPC ?"

Cette question, posee une nuit d'insomnie, allait declencher une obsession. Une quete de verite a travers des milliers de lignes de code assembleur Z80, des registres du Gate Array, et des mysteres enfouis dans 64 Ko de memoire.

Airwolf n'est pas qu'un jeu. C'est un artefact. Un témoin figé de decisions prises sous pression, de compromis techniques, d'ambitions revues à la baisse. C'est l'histoire d'un développement chaotique, lisible entre les lignes de son code source comme on lirait les strates géologiques d'une falaise.

Ce livre est le récit de cette exploration. Une autopsie numérique qui révèle, derrière chaque octet, les intentions, les fatigues et les passions de développeurs anonymes.

TABLE DES MATIERES

Premiere Partie : Le Contexte

- Chapitre 1 : Un jeu, une legende
- Chapitre 2 : L'enquete commence

Deuxieme Partie : L'Architecture

- Chapitre 3 : La cartographie memoire
- Chapitre 4 : Le mode graphique
- Chapitre 5 : La memoire video entrelacee

Troisieme Partie : L'Helicoptere

- Chapitre 6 : L'anatomie d'Airwolf
- Chapitre 7 : Le systeme de rotation
- Chapitre 8 : Les pales du rotor
- Chapitre 9 : La gravite
- Chapitre 10 : Le systeme de tir

Quatrieme Partie : Le Scrolling

- Chapitre 11 : La philosophie du defilement
- Chapitre 12 : Le scrolling horizontal
- Chapitre 13 : Le scrolling vertical
- Chapitre 14 : Le pre-calcul de l'écran suivant

Cinquieme Partie : Les Collisions

- Chapitre 15 : La detection integree
- Chapitre 16 : Les couleurs magiques
- Chapitre 17 : L'optimisation par la pile
- Chapitre 18 : L'effacement securise

Sixieme Partie : Les Ennemis

- Chapitre 19 : La structure des entites
- Chapitre 20 : Les patterns de mouvement
- Chapitre 21 : L'animation graphique

Septieme Partie : Le Son

- Chapitre 22 : Le PSG AY-3-8912
- Chapitre 23 : La musique
- Chapitre 24 : Les effets sonores

Huitieme Partie : Les Revelations

- Chapitre 25 : Le niveau 2 n'existe pas
- Chapitre 26 : Le crash intentionnel
- Chapitre 27 : Les vestiges du scrolling pixel
- Chapitre 28 : Plusieurs mains

Neuvieme Partie : La Renaissance

- Chapitre 29 : Airwolf Pico
- Chapitre 30 : Airwolf Reloaded CPC

Dixieme Partie : Reflexions

- Chapitre 31 : Archeologie numerique
- Chapitre 32 : La valeur de la curiosite
- Chapitre 33 : Heritage technique

Annexes

- Annexe A : Palette de couleurs
- Annexe B : Map memoire complete
- Annexe C : Codes de triche
- Annexe D : Formules cles
- Annexe E : Boucle principale du jeu
- Annexe F : Index des routines

Epilogue

- Index des Figures
 - A propos de l'auteur
 - A propos de ce livre
-

PREMIERE PARTIE : LE CONTEXTE

Chapitre 1 : Un jeu, une legende

La serie televisee

Airwolf, c'est d'abord une serie americaine diffusee entre 1984 et 1987. Un helicoptere de combat furtif, le plus avance au monde, est piloté par Stringfellow Hawke pour le compte d'une agence gouvernementale secrete. Action, suspense, et surtout cet helicoptere noir aux lignes elegantes : Airwolf devient une icone des années 80.

L'adaptation vidoludique

Comme toute licence populaire de l'époque, Airwolf est déclinée en jeu vidéo. Elite Systems acquiert les droits et développe des versions pour les micro-ordinateurs dominants : ZX Spectrum, Commodore 64, et Amstrad CPC.

Sur Amstrad, le jeu sort en 1985. Le joueur incarne Stringfellow Hawke aux commandes de son hélicoptère dans un réseau de grottes labyrinthique. La mission : sauver des otages, détruire des cibles, et s'échapper avant l'écoulement du temps imparti.



Figure 2 : Le premier ecran d'Airwolf sur Amstrad CPC - L'helicoptere face aux premiers ennemis

La reputation

Rapidement, Airwolf acquiert une reputation particulière. Non pas celle d'un chef-d'oeuvre, mais celle d'un cauchemar. Les joueurs se heurtent à une difficulté extrême. La plupart n'arrivent pas à dépasser quatre écrans. Ceux qui persistent plus loin rencontrent systématiquement un plantage dans la zone finale.

Une légende urbaine se forme : personne n'a jamais terminé Airwolf. Le niveau 2 reste un mythe, une terre promise que nul n'a jamais foulée.

Chapitre 2 : L'enquête commence

Une nuit d'insomnie

C'est lors d'une période de santé fragile que l'enquête débute. L'insomnie devenant insupportable, il fallait occuper l'esprit. Répondre à des questions absurdes. Et celle-ci surgit : "A quoi ressemble le niveau 2 d'Airwolf ?"

Les outils du détective

L'emulateur WinAPE devient le laboratoire. Son débuggeur intégré permet de visualiser la mémoire en temps réel, de poser des breakpoints, de tracer l'exécution instruction par instruction. Le code assembleur Z80 se dévoile progressivement.

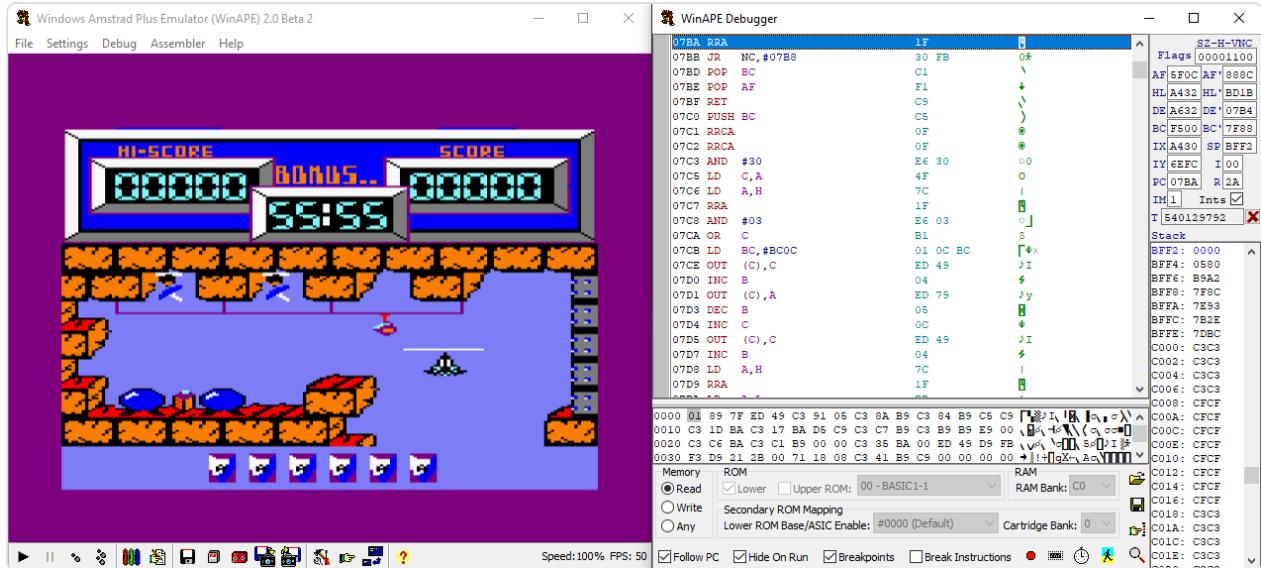


Figure 3 : L'emulateur WinAPE avec son debugger - A gauche le jeu en cours d'exécution, a droite le désassembleur montrant le code Z80, les registres, et le dump mémoire

Le debugger affiche en temps réel :

- Le code assembleur désassemblé avec les adresses (#07BA, #07BB...)
- Les registres du Z80 (AF, BC, DE, HL, IX, IY, PC, SP...)
- Les flags (Zero, Carry, etc.)
- Le dump hexadécimal de la mémoire
- La pile d'exécution (Stack)

C'est avec cet outil que chaque instruction sera tracée, chaque routine analysée.

La première découverte

Le "crash" de la zone finale n'est pas un bug. C'est une boucle infinie délibérée à l'adresse #698A :

```
CP #08 ; #6988 - Zone finale?
.infinite:
    JP Z,.infinite ; #698A - Boucle éternelle!
```

Quelqu'un a volontairement bloqué le jeu dans `EXECUTE_BUTTON_ACTION` (#6971). Pourquoi ? La réponse se trouve plus profondément dans le code.

DEUXIEME PARTIE :

L'ARCHITECTURE

Chapitre 3 : La cartographie memoire

Organisation generale

L'Amstrad CPC dispose de 64 Ko de memoire vive. Airwolf les utilise avec une organisation revelatrice :



Figure 4 : Organisation complete des 64 Ko de memoire d'Airwolf

| Adresse | Taille | Contenu |
|---------------|--------|------------------------------------|
| <hr/> | | |
| #0000 - #03E7 | 1000 | Zone protegee (variables systeme) |
| #03E8 - #14E7 | 4352 | TILEMAP - Carte du jeu |
| #14E8 - #4F67 | 15232 | TILESET - Les graphismes des tiles |
| #4F68 - #4FFF | 152 | Sprites des pales d'helicoptere |
| #5000 - #5FFF | 4096 | Sprites d'explosion |
| #6000 - #64E7 | 1256 | Buffer de scrolling |
| #64E8 - #68A7 | 960 | Donnees musicales |
| #68A8 - #80FF | 6232 | CODE executable |
| #8100 - #A3FF | 8960 | Buffer ecran suivant (pre-calcul) |
| #A400 - #A6FF | 768 | Tables d'adresses VRAM |
| #C000 - #FFFF | 16384 | Memoire video |

Le monde en une seule carte

Premiere revelation majeure : il n'y a pas de niveau 2. Toute la tilemap du jeu est chargee d'un bloc au demarrage. Elle occupe 4352 octets a partir de l'adresse #03E8. Le jeu ne fait que naviguer dans cette carte unique.

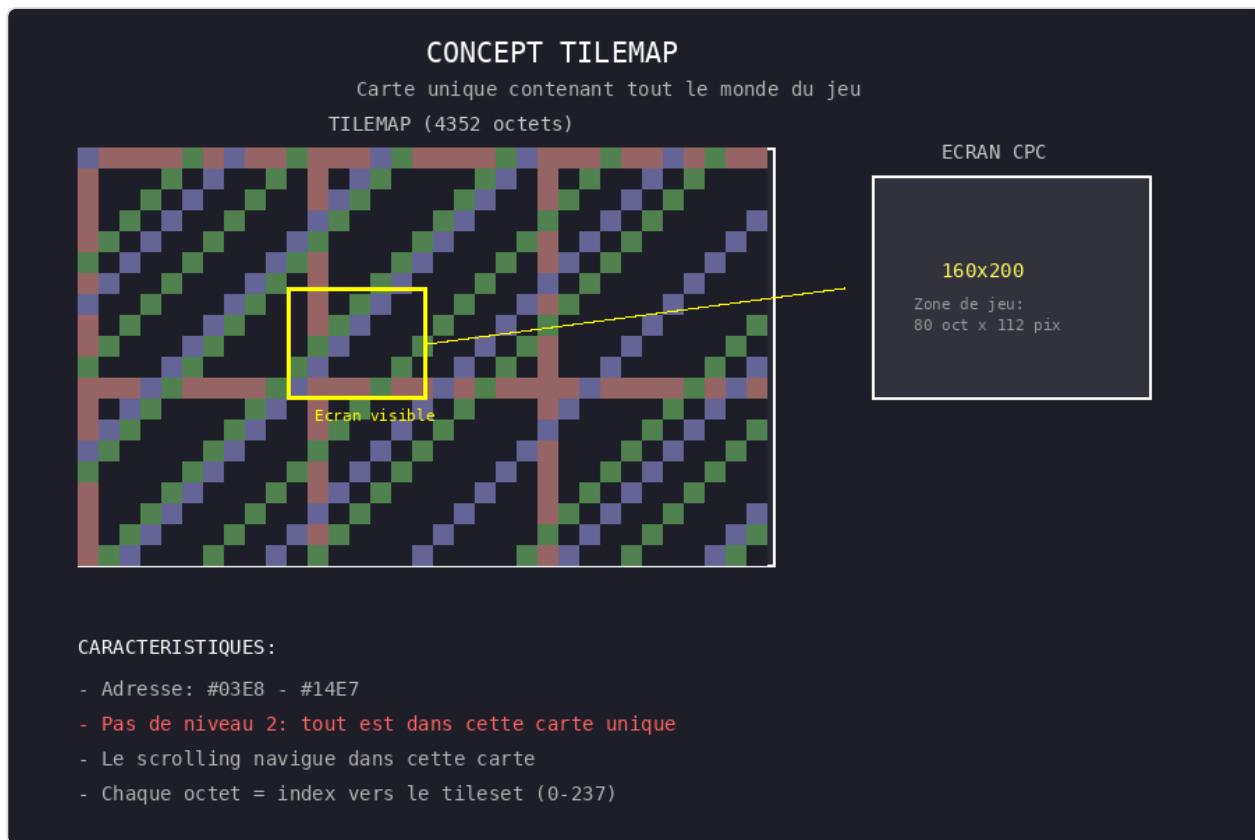


Figure 5 : Le concept de tilemap - une carte unique contenant tout le monde

La tilemap definit l'agencement des tiles (blocs graphiques de 16x16 pixels) qui composent le decor. Chaque octet est un index vers le tileset, la bibliotheque de 238 tiles differents stockee a partir de #14E8.

Pas de chargement dynamique

Contrairement aux jeux plus ambitieux qui chargent les niveaux depuis la cassette ou la disquette, Airwolf contient tout en memoire. Cela explique la taille relativement modeste du monde et l'absence de niveaux supplementaires.

La tilemap complete



Figure 6 : La carte complete du monde d'Airwolf - Tout le jeu tient dans cette unique tilemap

Cette vue d'ensemble revele la structure du niveau :

- **A gauche** : L'entree, les premiers ecrans avec les obstacles de base
- **Au centre** : Le labyrinthe principal avec les ennemis
- **A droite** : Les zones avancees avec les boutons et la zone finale
- **Zone bleue** : L'espace navigable (ciel des cavernes)

Le joueur navigue dans cette carte en scrollant de zone en zone. Les variables `VIEW_INDEX` (#6970), `VIEW_X` et `VIEW_Y` determinent quelle portion de la tilemap est visible a l'écran.

Chapitre 4 : Le mode graphique

Mode 0 : le choix de la couleur

Airwolf utilise le Mode 0 de l'Amstrad CPC :

- Resolution : 160x200 pixels
- 16 couleurs simultanees parmi 27 disponibles
- 1 octet = 2 pixels (4 bits par pixel)



Figure 7 : Les 27 couleurs hardware de l'Amstrad CPC

La palette d'Airwolf

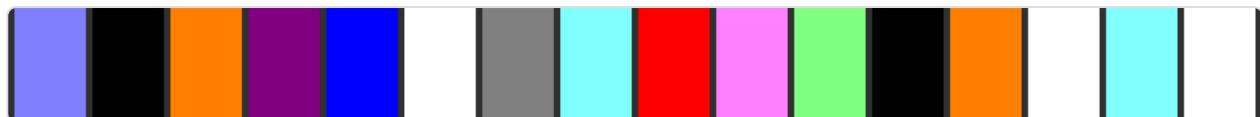


Figure 8 : La palette de 16 couleurs utilisee par Airwolf

La palette choisie pour Airwolf est révélatrice. On y trouve :

- **Bleu/violet** : Le fond (ciel des cavernes)
- **Orange** : Les briques des murs et certains ennemis
- **Cyan** : Les éléments interactifs (boutons, parois destructibles)
- **Rouge** : Les ennemis et éléments de danger
- **Noir** : Le fond neutre (pas de collision)

La présence de **deux nuances d'orange** très proches est intrigante. Elles apparaissent dans les murs ET dans certains ennemis, suggérant que le développeur avait peut-être prévu de rendre les ennemis destructibles - une fonctionnalité jamais implementée.

L'encodage Mode 0 est particulier. Les bits d'un octet ne sont pas contigus :

```
Octet : |b7|b6|b5|b4|b3|b2|b1|b0|
         |   |   |   |   |   |   |
Pixel 0: b7----b5----b3----b1
Pixel 1: b6----b4----b2----b0
```

Les tiles : briques du monde

STRUCTURE DES TILES

16x16 pixels = 4 octets x 16 lignes = 64 octets

Structure d'un octet (Mode 0):

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|

Pixel 0 (gauche): b7, b5, b3, b1
 Pixel 1 (droite): b6, b4, b2, b0

En memoire:

| | | | |
|--------------|-----|-----|-----|
| Ligne 0: #00 | #01 | #02 | #03 |
| Ligne 1: #04 | #05 | #06 | #07 |
| Ligne 2: #08 | #09 | #0A | #0B |
| Ligne 3: #0C | #0D | #0E | #0F |

Total: 64 octets par tile

TILESET AIRWOLF:

- Adresse: #14E8 - #4F67
- 238 tiles x 64 octets = 15232 octets
- Index tile * 64 = offset dans tileset

Figure 9 : Structure d'un tile - 16x16 pixels, 64 octets

Chaque tile mesure 16x16 pixels, soit 4 octets de large sur 16 lignes = 64 octets par tile. Le tileset complet occupe 15232 octets pour 238 tiles.

Le tileset complet



Figure 10 : Les 238 tiles du jeu - Murs, plateformes, ennemis, decorations

Le tileset révèle la richesse graphique du jeu :

- **Première ligne** : Briques de base, variations de murs
- **Lignes 2-4** : Plateformes, coins, éléments de décor
- **Lignes 5-8** : Ennemis animés (robots, tourelles, flammes)
- **Lignes 9-12** : Boutons, portes, éléments interactifs
- **Dernière ligne** : Tiles spéciales (fin de niveau, bonus)

On remarque la cohérence graphique malgré la contrainte des 16 couleurs. Les tiles d'ennemis utilisent les mêmes oranges que les murs - indice possible d'une fonctionnalité de destruction abandonnée.

L'affichage d'un tile suit la logique de la mémoire vidéo entrelacée. La routine `DRAW_TILE` (#6E06) gère cette complexité :

```

DRAW_TILE:           ; #6E06
    LD B,#10      ; 16 lignes
.loop_y:
    PUSH BC
    PUSH HL
    LD B,#04      ; 4 octets par ligne
.loop_x:
    LD A,(DE)    ; Lire octet source
    LD (HL),A    ; Ecrire en VRAM
    INC DE
    INC HL
    DJNZ .loop_x
    POP HL
    ; Passage ligne suivante VRAM
    LD BC,#0800    ; +2048
    ADD HL,BC
    JR NC,.no_overflow
    LD BC,#3FB0    ; Correction debordement
    AND A
    SBC HL,BC
.no_overflow:
    POP BC
    DJNZ .loop_y
    RET

```

Chapitre 5 : La memoire video entrelacee

Anatomie de la VRAM

La memoire video de l'Amstrad CPC est structuree de maniere contre-intuitive. Les 16 Ko de VRAM (#C000-#FFFF) sont divises en 8 blocs de 2048 octets :

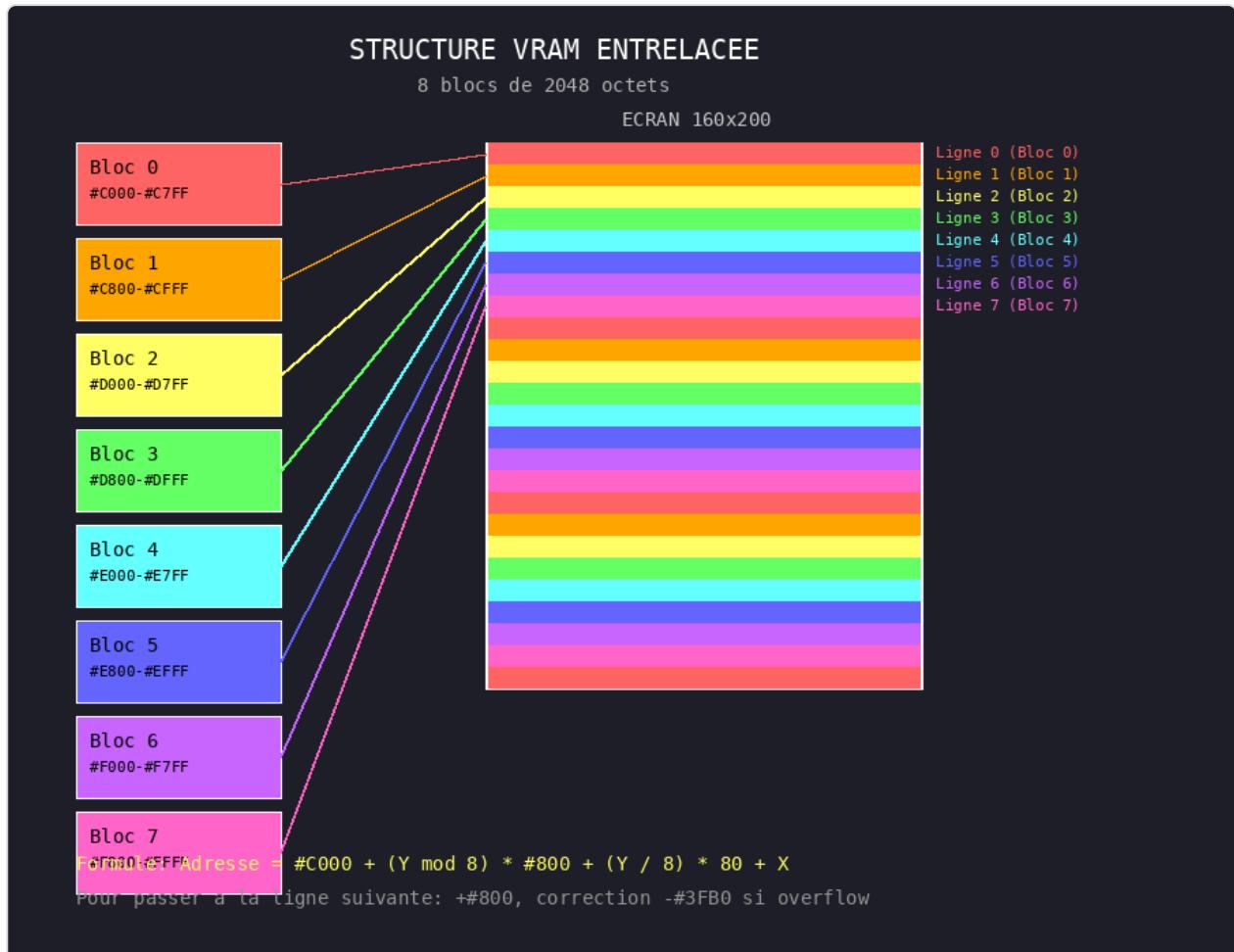


Figure 11 : L'entrelacement de la VRAM - 8 blocs pour 200 lignes

```

Bloc 0 : #C000-#C7FF (lignes 0, 8, 16, 24, 32...)
Bloc 1 : #C800-#CFFF (lignes 1, 9, 17, 25, 33...)
Bloc 2 : #D000-#D7FF (lignes 2, 10, 18, 26, 34...)
Bloc 3 : #D800-#DFFF (lignes 3, 11, 19, 27, 35...)
Bloc 4 : #E000-#E7FF (lignes 4, 12, 20, 28, 36...)
Bloc 5 : #E800-#EFFF (lignes 5, 13, 21, 29, 37...)
Bloc 6 : #F000-#F7FF (lignes 6, 14, 22, 30, 38...)
Bloc 7 : #F800-#FFFF (lignes 7, 15, 23, 31, 39...)

```

La formule de calcul

Pour trouver l'adresse d'une ligne Y :

```

Si Y < 8:
    Adresse = #C000 + (Y * #800) + (X / 2)
Sinon:
    Adresse = #C000 + ((Y mod 8) * #800) + ((Y / 8) * 80) + (X / 2)

```

Les tables pre-calculees

Plutot que de calculer ces adresses en temps reel, Airwolf utilise des tables pre-calculees. La routine `BUILD_HELICO_START_LINE_ARRAY` (#8064) remplit ces tables :

```
VRAM_LINE_START_ARRAY      EQU #A400 ; Pour l'helicoptere  
VRAM_LINE_START_ARRAY_OLD  EQU #A500 ; Position precedente  
VRAM_LINE_START_ARRAY_C    EQU #A600 ; Auxiliaire
```

Ces tables contiennent les adresses de debut de chaque ligne pour la zone d'affichage de l'helicoptere. Une optimisation cruciale pour les performances.

TROISIEME

L'HELICOPTERE

PARTIE :

Chapitre 6 : L'anatomie d'Airwolf

SYSTEME HELICOPTERE AIRWOLF

7 FRAMES DE ROTATION:



Frame 0 DROITE Frame 1 Frame 2 HAUT Frame 3 Frame 4 Frame 5 Frame 6 GAUCHE

6 FRAMES PALES DU ROTOR:



F0 F1 F2 F3 F4 F5

DIMENSIONS:

- Corps: 16 octets x 20 lignes = 320 octets/frame
- Pales: 16 octets x 3 lignes = 48 octets/frame
- Total visible: 32 pixels x 23 pixels

VARIABLES PRINCIPALES:

| | |
|--|--|
| <code>HELICO_X</code> | Position X (0-80) |
| <code>HELICO_Y</code> | Position Y (0-112) |
| <code>HELICO_DIR</code> | Direction (0=droite, 1=haut, 2=gauche) |
| <code>HELICO_ROTATION_PHASE</code> | Frame rotation actuelle (0-6) |
| <code>HELICO_ROTOR_FRAME</code> | Frame pales (0-5) |
| <code>GRAVITY_DOWN_TEMPO</code> | Tempo gravite (acceleration) |
| <code>HELICO_COLLISION_DETECTED</code> | Flag collision |

GRAVITE: Tempo decremente (10->4), acceleration progressive
Reset a 10 des qu'un input vertical est detecte

Figure 12 : Le systeme complet de l'helicoptere - rotation, pales, variables

Les variables de l'helicoptere

L'état de l'hélicoptère est maintenu par un ensemble de variables situées dans la zone #79C0-#79F0 :

```

; Position
HELICO_X:           db ?      ; Coordonnee X (0-80 octets)
HELICO_Y:           db ?      ; Coordonnee Y (0-112 pixels)
HELICO_ADDR_VRAM:   dw ?      ; Adresse courante en VRAM

; Orientation et animation
HELICO_DIR:         db ?      ; Direction (0=droite, 1=haut, 2=gauche)
HELICO_ROTATION_PHASE: db ?      ; Phase de rotation (0-6)
HELICO_ROTOR_FRAME:  db ?      ; Frame animation pales (0-5)
HELICO_SPRITE_ADDR:  dw ?      ; Adresse sprite courant

; Physique
GRAVITY_DOWN_TEMPO: db ?      ; #79C4 - Tempo acceleration gravite
GRAVITY_DOWN_CPT:    db ?      ; #79D2 - Compteur gravite

; Etat
HELICO_COLLISION_DETECTED: db ? ; Flag collision
NB_LIFE_SHIELD:          db 6   ; #68AE - Nombre de vies

```

Les dimensions

L'hélicoptère occupe une zone de 16 octets (32 pixels) de large sur 23 pixels de haut :

```

HELICO_WIDTH EQU 16 ; Largeur en octets
HELICO_HEIGHT EQU 23 ; Hauteur en pixels (20 corps + 3 pales)

```

Chapitre 7 : Le système de rotation

Sept frames, trois directions

L'hélicoptère peut pointer dans trois directions : droite, haut, ou gauche. La transition entre ces directions utilise 7 frames d'animation :

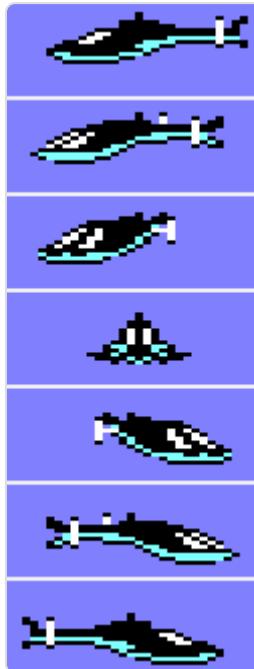


Figure 13 : Les 7 frames de rotation de l'hélicoptère - De droite (haut) à gauche (bas) en passant par la position frontale

```

Frame 0: Hélicoptère pointe à droite (====>)
Frame 1: Légère rotation vers le haut
Frame 2: Rotation intermédiaire
Frame 3: Hélicoptère pointe vers le haut (==^)
Frame 4: Rotation vers la gauche
Frame 5: Rotation intermédiaire
Frame 6: Hélicoptère pointe à gauche (<====)
```

Chaque frame est un sprite distinct stocké à partir de l'adresse #4F68 (BASE_PALLE_HELICO). Les sprites montrent non seulement la rotation du fuselage mais aussi l'angle du rotor principal et du rotor de queue.

L'algorithme de rotation

La rotation fonctionne par pas de 3 sur 7 frames. Elle est gérée dans la boucle principale `GAME_LOOP` (#7ABB) :

```

; Direction 0 (droite) -> Frame cible 0
; Direction 1 (haut)    -> Frame cible 3
; Direction 2 (gauche) -> Frame cible 6

HELICO_PROCESS_ROTATION:
    LD A,(HELICO_DIR)          ; Direction souhaitee (0, 1 ou 2)
    ADD A,A                     ; x2
    ADD A,(HELICO_DIR)          ; x3 (0->0, 1->3, 2->6)
    LD B,A                     ; B = frame cible

    LD A,(HELICO_ROTATION_PHASE); Frame actuelle
    CP B
    RET Z                      ; Deja a la bonne frame

    JR C,.rotate_forward       ; Frame actuelle < cible
.rotate_backward:
    DEC A                      ; Rotation arriere
    JR .store_phase
.rotate_forward:
    INC A                      ; Rotation avant
.store_phase:
    LD (HELICO_ROTATION_PHASE),A

    ; Calculer l'adresse du sprite
    ; Chaque frame fait 320 octets (16 * 20)
    LD DE,320
    ; ... multiplication et ajout a l'adresse de base

```

La rotation est progressive : si le joueur passe de droite à gauche, l'hélicoptère traverse toutes les frames intermédiaires, donnant une impression de mouvement fluide.

Chapitre 8 : Les pales du rotor

Animation independante

Les pales du rotor tournent indépendamment de l'orientation de l'hélicoptère. Six frames d'animation créent l'illusion du mouvement. Les données des pales sont stockées à l'adresse **BASE_PALLE_HELICO** (#4F68) :

```

Frame 0: ===      (pales horizontales)
Frame 1: ==       (debut rotation)
Frame 2: =        (milieu rotation)
Frame 3: =        (quasi verticales)
Frame 4: ==       (continuation)
Frame 5: ===      (retour)
[Retour Frame 0]

```

Le code d'animation

La variable `PALLE_FRAME` (#7963) stocke la frame courante :

```

ANIMATE_HELICO_ROTOR:
; Incrementer frame
LD A,(PALLE_FRAME)          ; #7963
INC A
CP 6                         ; 6 frames
JR NZ,.no_loop
XOR A                         ; Retour a 0
.no_loop:
LD (PALLE_FRAME),A

; Calculer adresse sprite pales
; Chaque frame de pale fait 48 octets (16 * 3 lignes)
LD HL,BASE_PALLE_HELICO    ; #4F68
LD DE,48
; ... multiplication par frame

RET

```

Les pales sont dessinées séparément, au-dessus du corps de l'hélicoptère, permettant une superposition correcte avec le décor.

Chapitre 9 : La gravité

Un système d'accélération

Airwolf simule une gravité réaliste avec accélération. Quand le joueur ne donne pas d'input vertical, l'hélicoptère commence à tomber, de plus en plus vite. Ce système est géré dans `GAME_LOOP` (#7ABB) :

```

APPLY_GRAVITY:           ; Dans GAME_LOOP #7ABB
    ; Verifier si input vertical
    LD A,H                 ; Etat joystick
    AND #03                ; Bits haut/bas
    JR NZ,.reset_gravity  ; Input -> pas de gravite

    ; Decrementer compteur
    LD A,(GRAVITY_DOWN_CPT) ; #79D2
    DEC A
    LD (GRAVITY_DOWN_CPT),A
    JR NZ,.no_fall         ; Pas encore temps de tomber

    ; Accelerer
    LD A,(GRAVITY_DOWN_TEMPO) ; #79C4
    LD (GRAVITY_DOWN_CPT),A   ; Recharger compteur
    DEC A
    LD (GRAVITY_DOWN_TEMPO),A ; Tempo plus court = chute plus rapide

    ; Vitesse maximale
    CP #01
    JR NZ,.apply_fall
    LD A,#04
    LD (GRAVITY_DOWN_TEMPO),A ; Plafonner a tempo 4

.apply_fall:
    SET 1,H                 ; Forcer input DOWN
    RET

.reset_gravity:
    LD A,#0A
    LD (GRAVITY_DOWN_TEMPO),A ; Reset tempo initial
    LD (GRAVITY_DOWN_CPT),A
    RET

```

L'effet ressenti

- Sans input : l'hélicoptère commence à tomber lentement
- Le tempo diminue : 10, 9, 8, 7... la chute accélère
- Minimum atteint à 4 : vitesse terminale
- Un seul appui vers le haut : la gravité se réinitialise

Cette mécanique crée une sensation de poids et de pilotage exigeant.

Chapitre 10 : Le système de tir

Trois directions de tir

L'hélicoptère peut tirer dans trois directions, correspondant à son orientation. La routine `FIRE_NEW_SHOOT` (#7898) gère l'initialisation d'un nouveau tir :

```

FIRE_NEW_SHOOT:           ; #7898
; Vérifier qu'aucun tir n'est actif
LD A,(NB_SHOOT_FIRED)    ; #79EE
CP #01
RET Z                    ; Un seul tir à la fois

; Direction = direction hélicoptère
LD A,(HELICO_DIR)
LD (SHOOT_DIR),A

; Position de départ selon direction
; Direction 0 (droite): devant l'hélicoptère
; Direction 1 (haut): au-dessus
; Direction 2 (gauche): à l'arrière

LD A,#32                 ; Durée de vie: 50 frames
LD (SHOOT_LIFE_CPT),A

LD A,#01
LD (NB_SHOOT_FIRED),A
RET

```

Détection des impacts

La routine `TEST_SHOOT_COLLISION` (#7C8D) détecte les collisions avec des pixels spéciaux :

```

TEST_SHOOT_COLLISION:          ; #7C8D
    LD A,(HL)                 ; Pixel ecran

    CP #0F                     ; Pixel solide
    JR Z,.hit_wall

    CP #F3                     ; Bouton destructible
    CALL Z,EXECUTE_BUTTON_ACTION ; #6971

    CP #B9                     ; Paroi gauche
    JR Z,.hit_wall

    CP #F6                     ; Paroi droite
    JR Z,.hit_wall

    CP #00                     ; Vide
    CALL NZ,SET_SHOOT_HIT_DETECTED

```

Certaines couleurs déclenchent des actions : détruire une cloison via `EXECUTE_BUTTON_ACTION` (#6971), activer un interrupteur, ou simplement être absorbées par le décor.

QUATRIEME PARTIE : LE SCROLLING

Chapitre 11 : La philosophie du defilement

SYSTEME DE SCROLLING
Defilement par tiles (16 pixels)

BUFFERS:

| | |
|--|---|
| <code>SCROLLING_BUFFER (#6000)</code> | 1256 octets - Adresses source/destination |
| <code>SCROLL_NEXT_SCR_BUF (#8100)</code> | 8960 octets - Ecran pre-calcule |

PROCESSUS DE SCROLLING:

1. Pre-calculer le prochain ecran dans `SCROLL_NEXT_SCR_BUF`
2. Remplir `SCROLLING_BUFFER` avec les adresses VRAM
3. Pour chaque ligne (112 fois):
 - Charger adresses source/destination
 - Executer 76 LDI (copie 76 octets)
4. Copier la nouvelle colonne depuis le buffer pre-calcule

INSTRUCTION LDI (Load and Increment):

| | |
|--------------------------------------|---|
| - Copie (HL) vers (DE) | <code>SCROLL_LINE_LEFT: 76 x LDI deroulees</code> |
| - Incremente HL et DE, decremente BC | <code>SCROLL_LINE_RIGHT: 76 x LDD (sens inverse)</code> |

Figure 14 : Le systeme de scrolling par tiles

Un scrolling par tiles

Airwolf n'utilise pas de scrolling pixel par pixel. Le monde defile par tiles entieres de 16 pixels. Cette approche simplifie enormement la gestion mais cree un effet saccade caracteristique.

La zone de jeu

La zone de jeu occupe :

- Largeur : 80 octets (160 pixels)
- Hauteur : 112 pixels (7 tiles)

Le HUD (vies, timer, score) occupe le reste de l'écran et n'est jamais scrolle.

Les quatre directions

Le joueur peut scroller dans les quatre directions cardinales en atteignant les bords de la zone visible.

Chapitre 12 : Le scrolling horizontal

Le buffer de préparation

Avant de scroller, le jeu pré-calcule la nouvelle colonne de tiles dans un buffer :

```
SCROLL_NEXT_SCR_BUF EQU #8100 ; Buffer 8960 octets
```

L'algorithme du scrolling gauche

La routine `SCROLL_LEFT` (#7360) gère le défilement vers la gauche :

```

SCROLL_LEFT:           ; #7360
; 1. Remplir le buffer avec les adresses source/destination
CALL FILL_SCROLLING_BUFFER_LEFT

; 2. Pour chaque ligne de l'écran
LD B,112             ; 112 lignes
.loop_line:
PUSH BC

; Charger les adresses depuis le buffer
LD HL,(SCROLL_SRC_ADDR)
LD DE,(SCROLL_DST_ADDR)

; Copier 76 octets vers la gauche
; (laisse 4 octets pour la nouvelle colonne)
CALL SCROLL_LINE_LEFT ; #738F

; Mettre à jour le buffer
CALL UPDATE_SCROLLING_BUFFER

POP BC
DJNZ .loop_line

; 3. Copier la nouvelle colonne depuis le pré-calcul
CALL COPY_NEW_COLUMN_LEFT
RET

```

La copie par LDI

Le cœur du scrolling utilise l'instruction LDI (Load and Increment) en boucle déroulée. La routine `SCROLL_LINE_LEFT` (#738F) :

```

SCROLL_LINE_LEFT:           ; #738F
; 76 instructions LDI déroulées
LDI      ; Copie (HL) vers (DE), incrémente les deux, décrémente BC
LDI
LDI
; ... 76 fois au total
RET

```

76 octets = 80 octets de zone de jeu - 4 octets de nouvelle colonne.

Scrolling droite : LDD

Pour le scrolling vers la droite, la routine `SCROLL_LINE_RIGHT` (#7292) utilise LDD (Load and Decrement) en partant de la fin :

```

SCROLL_LINE_RIGHT:           ; #7292
    ; Source et destination pointent vers la fin de la ligne
    ; 76 instructions LDD deroulees
    LDD      ; Copie (HL) vers (DE), decremente les deux
    LDD
    LDD
    ; ... 76 fois
    RET

```

Chapitre 13 : Le scrolling vertical

Copier des bandes horizontales

Le scrolling vertical fonctionne par bandes de 8 pixels (correspondant aux blocs VRAM). La routine `NEXT_VIEW_TO_SCREEN_DOWN` (#724E) gère le scrolling vers le bas :

```

NEXT_VIEW_TO_SCREEN_DOWN:      ; #724E
    LD A,#0E                  ; 14 iterations (112/8 lignes)
.loop:
    PUSH AF
    CALL COPY_VRAM_TO_NEXT_VIEW_SCROLL_DOWN ; #74B8
    CALL COPY_NEXT_VIEW_TO_BOTTOM_SCREEN     ; #70C0
    POP AF
    DEC A
    JR NZ,.loop
    RET

```

La routine équivalente pour le scrolling vers le haut est `NEXT_VIEW_TO_SCREEN_UP` (#726B).

La gestion de l'entrelacement

Le scrolling vertical est plus complexe car il doit gérer l'entrelacement de la VRAM. Copier "une ligne vers le bas" signifie en réalité :

1. Bloc 0 -> Bloc 1 (lignes 0,8,16... -> lignes 1,9,17...)
2. Bloc 1 -> Bloc 2
3. ...
4. Bloc 7 -> Bloc 0 du caractère suivant

Chapitre 14 : Le pre-calcul de l'écran suivant

Dessiner dans l'ombre

Avant de scroller, le jeu dessine le prochain écran complet dans un buffer invisible. La routine `DRAW_SCROLLING_NEXT_SCREEN` se charge de cette préparation :

```
DRAW_SCROLLING_NEXT_SCREEN:
    LD HL,SCROLL_NEXT_SCR_BUF    ; #8100
    ; Pour chaque tile du prochain écran
    LD A,#07                      ; 7 lignes de tiles
.loop_y:
    PUSH AF
    LD A,#14                      ; 20 colonnes
.loop_x:
    PUSH AF
    ; Calculer l'index du tile dans la tilemap
    ; Chercher le graphisme dans le tileset
    ; Copier les 64 octets du tile dans le buffer
    ; Incrementer la position
    POP AF
    DEC A
    JR NZ,.loop_x
    POP AF
    DEC A
    JR NZ,.loop_y
    RET
```

Avantage de cette méthode

Le pré-calcul permet :

1. Un scrolling plus rapide (simple copie, pas de calculs)
2. Pas de clignotement ni d'artefacts
3. Séparation claire entre préparation et affichage

CINQUIEME PARTIE : LES COLLISIONS

Chapitre 15 : La detection integree

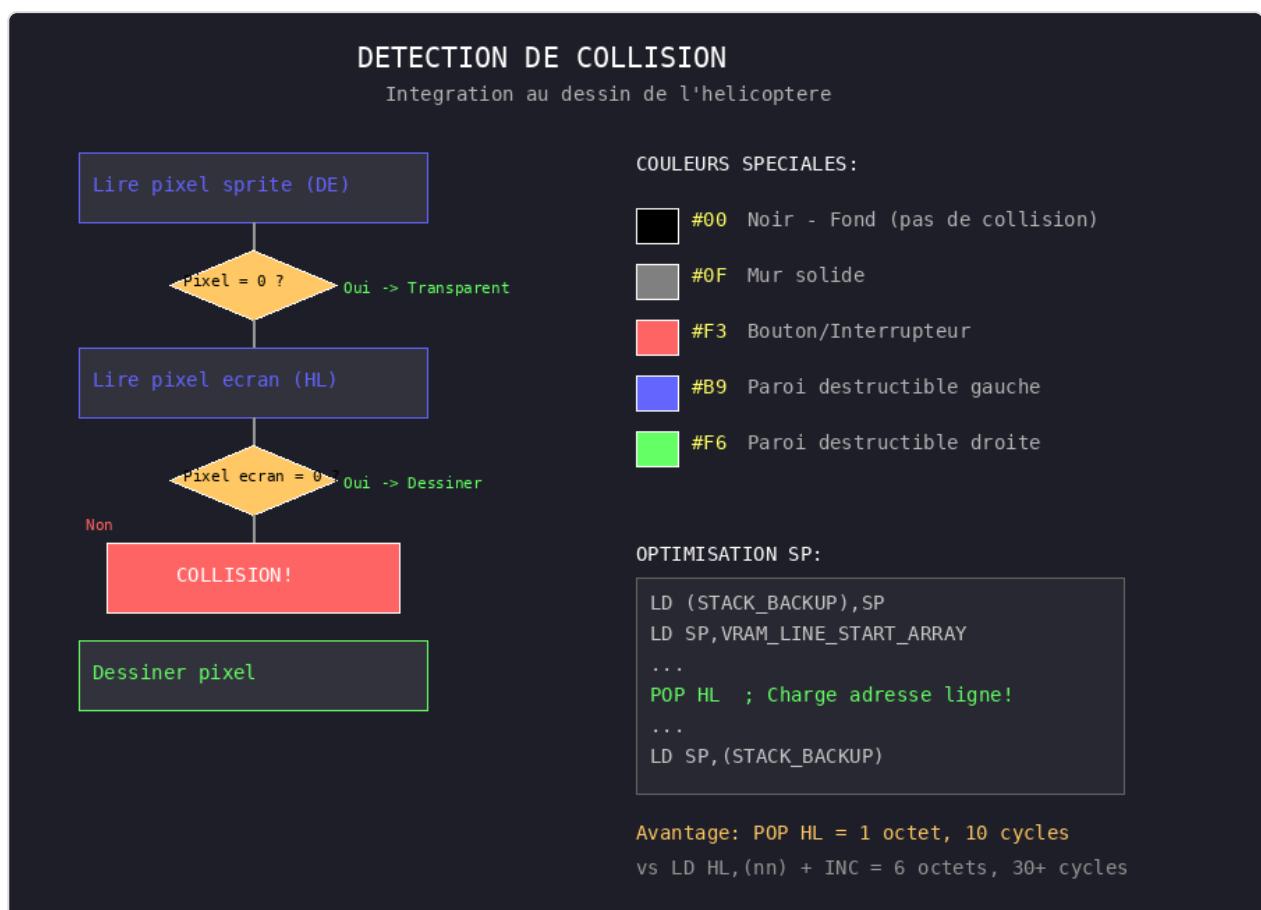


Figure 15 : Detection de collision integree au dessin

Collision pendant le dessin

L'une des techniques les plus elegantes d'Airwolf : la detection des collisions est integree directement dans la routine d'affichage de l'helicoptere `TEST_AND_DRAW_HELICO` (#7E8A).

Plutot que :

1. Dessiner l'helicoptere
2. Tester les collisions

Le jeu fait les deux en un seul passage dans `DRAW_HELICO` (#7F1C) :

```

DRAW_HELICO:           ; #7F1C
; Pour chaque pixel du sprite
LD A,(DE)             ; Pixel du sprite helicoptere
OR A
JR Z,.transparent    ; Si 0, pixel transparent

LD A,(HL)             ; Pixel de l'ecran
OR A
JR Z,.draw            ; Si 0, ecran vide -> dessiner

; Pixel sprite non-nul ET pixel ecran non-nul = collision!
LD A,#01
LD (HELICO_COLLISION_DETECTED),A
JR .next_pixel

.draw:
LD A,(DE)
LD (HL),A             ; Dessiner le pixel
.transparent:
.next_pixel:
INC DE
INC HL

```

Collision pixel-parfaite

Cette methode produit une detection au pixel pres. Si un seul pixel non-transparent de l'helicoptere chevauche un pixel non-noir du decor, une collision est detectee et la routine `HELICO_LOSE_LIFE` (#68BB) est appelee.

Chapitre 16 : Les couleurs magiques

La palette comme systeme de collision

Une decouverte fascinante : la palette contient des couleurs dupliquees qui servent de marqueurs pour la logique du jeu :

```
Index #00 : Noir (fond, pas de collision)
Index #0F : Mur solide (orange)
Index #F3 : Bouton/Interrupteur (cyan)
Index #B9 : Paroi destructible gauche (cyan)
Index #F6 : Paroi destructible droite (cyan)
```

Le cyan : la couleur des secrets

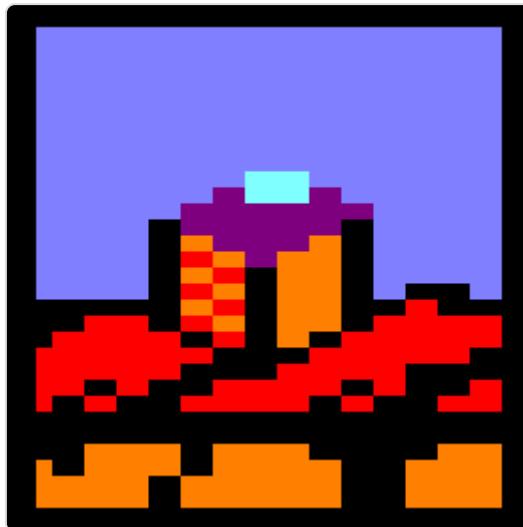


Figure 16 : Un bouton/interrupteur - Le bloc cyan en haut est detecte par le code de collision

Le **cyan** est la couleur cle du jeu. C'est elle qui determine ce qui peut etre detruit ou active. Observez le bouton ci-dessus : le petit bloc cyan au sommet est le point de contact. Quand un tir touche un pixel cyan, la routine `TEST_SHOOT_COLLISION` (#7C8D) declenche l'action correspondante.

La destruction pixel par pixel

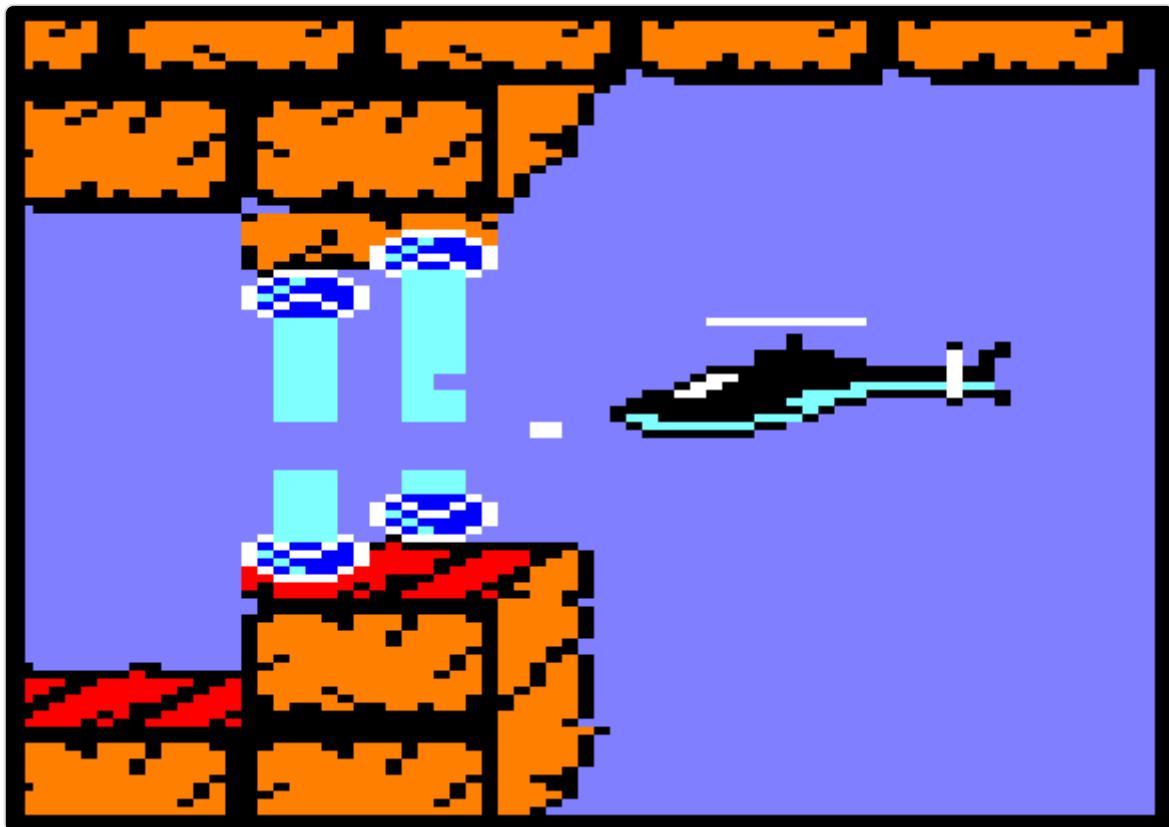


Figure 17 : Destruction des parois - Les colonnes cyan sont les points faibles des murs

Les parois destructibles contiennent des colonnes de pixels cyan. Chaque tir qui les touche efface progressivement ces colonnes, creant l'illusion d'une destruction progressive. C'est élégant mais limite : seuls les pixels exactement de cette couleur peuvent être détruits.

Le mystère de l'orange

Fait troublant : les **deux nuances d'orange** de la palette apparaissent à la fois dans :

- Les briques des murs
- Certains sprites d'ennemis

Cette duplication suggère que le développeur avait envisagé un système où les tirs pourraient aussi détruire les ennemis en détectant ces couleurs spécifiques. Cette fonctionnalité n'a jamais été implémentée - les ennemis restent invulnérables.

Un design emergent

Ce systeme suggere une evolution du design pendant le developpement. Les collisions par couleur sont simples a implementer mais rigides. Elles obligent les graphistes a peindre avec des couleurs specifiques, creant une dependance forte entre art et code.

Chapitre 17 : L'optimisation par la pile

Le detournement du Stack Pointer

Pour afficher l'helicoptere rapidement, Airwolf detourne le registre SP (Stack Pointer) dans `DRAW_HELICO` (#7F1C) :

```

DRAW_HELICO:           ; #7F1C
    LD (STACK_BACKUP),SP      ; Sauvegarder la pile

    LD SP,VRAM_LINE_START_ARRAY ; #A400 - SP pointe vers la table d'adresses

    LD B,#14                  ; 20 lignes
.loop_y:
    POP HL                   ; Charge l'adresse de la ligne!

    ; Dessiner les 16 pixels de la ligne
    ; (boucle deroulee)

    DJNZ .loop_y

    LD SP,(STACK_BACKUP)       ; Restaurer la pile
    RET

```

Pourquoi ca marche

`POP HL` charge HL avec les 2 octets pointes par SP, puis incremente SP de 2. En pointant SP vers une table d'adresses pre-calculees par `BUILD_HELICO_START_LINE_ARRAY` (#8064), chaque POP charge instantanement l'adresse de la ligne suivante.

C'est plus rapide que :

```
LD HL,(TABLE_ADDR)
INC HL
INC HL
LD (TABLE_ADDR),HL
```

Le danger

Cette technique est dangereuse : toute interruption pendant ce code corromprait la table d'adresses au lieu de la pile. Les interruptions doivent etre desactivees ou le code doit etre infaillible.

Chapitre 18 : L'effacement securise

Ne jamais effacer ce qui ne nous appartient pas

Quand l'helicoptere se deplace, il faut effacer son ancienne position. Mais attention : on ne doit effacer que les pixels qu'on a dessines, pas le decor !

```
ERASE_HELICO:
    LD SP,VRAM_LINE_START_ARRAY_OLD ; #A500 - Adresses de l'ancienne position
    LD IX,VRAM_LINE_START_ARRAY      ; #A400 - Adresses de la nouvelle
    LD IY,SPRITE_DATA                ; Donnees du sprite

    LD B,#14                         ; 20 lignes
.loop_y:
    POP HL                           ; Ancienne adresse

    ; Pour chaque pixel
    LD A,(IY+0)                      ; Pixel du sprite
    OR A
    JR Z,.skip                        ; Transparent -> ne pas effacer

    ; Comparer ancienne et nouvelle position
    ; Si le pixel fait maintenant partie du decor, ne pas effacer

    XOR A
    LD (HL),A                         ; Effacer (mettre a noir)

.skip:
    INC HL
    INC IY
    ; ...
```

SIXIÈME PARTIE : LES ENNEMIS

Chapitre 19 : La structure des entités

| STRUCTURE DES ENNEMIS | | | |
|-----------------------|----------------------------|--------|-------------------------------------|
| 24 octets par entité | | | |
| Offset | Description | Taille | PATTERNS: |
| #00-01 | Adresse VRAM initiale | 2 | ANIM_RL_45 D-G, 45 frames |
| #02-03 | Pointeur pattern animation | 2 | ANIM_RULD Carre |
| #04-05 | Adresse sprite de base | 2 | ANIM_STATIC Immobile |
| #06 | Largeur (octets) | 1 | |
| #07 | Hauteur (pixels) | 1 | |
| #08 | Tempo mouvement initial | 1 | |
| #09 | Compteur tempo mouvement | 1 | |
| #0A-0B | Adresse sprite courante | 2 | |
| #0C | Nombre frames total | 1 | |
| #0D | Frame courante | 1 | |
| #0E | Tempo animation | 1 | |
| #0F | Compteur tempo animation | 1 | |
| #10 | Flag actif (0=inactif) | 1 | |
| #11-12 | Adresse VRAM courante | 2 | |
| #13 | Duree mouvement initial | 1 | |
| #14 | Compteur duree mouvement | 1 | |
| #15-16 | Pointeur pattern courant | 2 | |
| #17 | Flag reset position | 1 | |

DOUBLE ANIMATION:

Animation MOUVEMENT (pattern)

Animation GRAPHIQUE (sprites)

Les deux animations sont indépendantes et fonctionnent en parallèle

Figure 18 : Structure de 24 octets définissant chaque ennemi

24 octets par ennemi

Chaque ennemi est défini par une structure de 24 octets, gérée par la routine **ANIMATE_ENEMY** (#6F5B) :

| Offset | Taille | Role |
|---------|--------|----------------------------|
| #00-#01 | 2 | Adresse VRAM initiale |
| #02-#03 | 2 | Pointeur pattern animation |
| #04-#05 | 2 | Adresse sprite de base |
| #06 | 1 | Largeur en octets |
| #07 | 1 | Hauteur en pixels |
| #08 | 1 | Tempo mouvement initial |
| #09 | 1 | Compteur tempo mouvement |
| #0A-#0B | 2 | Adresse sprite courante |
| #0C | 1 | Nombre de frames total |
| #0D | 1 | Frame courante |
| #0E | 1 | Tempo animation |
| #0F | 1 | Compteur tempo animation |
| #10 | 1 | Flag actif (0=inactif) |
| #11-#12 | 2 | Adresse VRAM courante |
| #13 | 1 | Duree mouvement initial |
| #14 | 1 | Compteur duree mouvement |
| #15-#16 | 2 | Pointeur pattern courant |
| #17 | 1 | Flag reset position |

Le double système d'animation

Chaque ennemi a deux animations indépendantes :

1. **Animation graphique** : cycle des frames du sprite
2. **Animation de mouvement** : pattern de déplacement

Chapitre 20 : Les patterns de mouvement

Definition des patterns

Les mouvements sont definis comme des sequences de paires (direction, duree) :

```

ANIM_RL_45:                                ; Droite-Gauche, 45 frames chaque
    db INPUT_RIGHT, 45
    db INPUT_LEFT, 45
    db #FF                               ; Marqueur de fin/loop

ANIM_RULD_20302030:                         ; Carre
    db INPUT_RIGHT, 20
    db INPUT_UP, 30
    db INPUT_LEFT, 20
    db INPUT_DOWN, 30
    db #FF

ANIM_STATIC:                                ; Immobile
    db 0, 255
    db #FF

```

L'algorithme d'animation

La routine **ANIMATE_ENEMY** (#6F5B) gere le mouvement de chaque ennemi :

```

ANIMATE_ENEMY:           ; #6F5B
    ; Vérifier si actif
    LD A,(IX+#10)
    OR A
    RET Z

    ; Decrementer tempo mouvement
    LD A,(IX+#09)
    DEC A
    LD (IX+#09),A
    RET NZ           ; Pas encore temps de bouger

    ; Recharger tempo
    LD A,(IX+#08)
    LD (IX+#09),A

    ; Lire direction du pattern
    LD L,(IX+#15)
    LD H,(IX+#16)
    LD A,(HL)

    CP #FF           ; Fin du pattern?
    JR Z,.loop_pattern

    ; Appliquer la direction
    CALL MOVE_SPRITE ; #6F34

    ; Decrementer duree
    LD A,(IX+#14)
    DEC A
    LD (IX+#14),A
    RET NZ

    ; Passer a l'etape suivante du pattern
    LD L,(IX+#15)
    LD H,(IX+#16)
    INC HL
    INC HL           ; Sauter direction+duree
    LD (IX+#15),L
    LD (IX+#16),H

    ; Charger nouvelle duree
    INC HL
    LD A,(HL)
    LD (IX+#14),A
    RET

.loop_pattern:
    ; Retour au debut du pattern
    LD L,(IX+#02)
    LD H,(IX+#03)
    LD (IX+#15),L
    LD (IX+#16),H
    RET

```

La routine `ANIMATE_ALL_ENEMIES` (#6FE1) appelle `ANIMATE_ENEMY` pour chaque ennemi actif.

Chapitre 21 : L'animation graphique

Le cycle des frames

Indépendamment du mouvement, le sprite de l'ennemi change régulièrement :

```

ANIMATE_ENEMY_SPRITE:
    ; Decrementer tempo animation
    LD A,(IX+#0F)
    DEC A
    LD (IX+#0F),A
    RET NZ

    ; Recharger tempo
    LD A,(IX+#0E)
    LD (IX+#0F),A

    ; Passer à la frame suivante
    LD A,(IX+#0D)
    INC A
    CP (IX+#0C)           ; Dépasse nb frames?
    JR NZ,.no_loop
    XOR A                 ; Retour frame 0
.no_loop:
    LD (IX+#0D),A

    ; Calculer nouvelle adresse sprite
    ; Nouvelle adresse = base + (frame * taille_frame)
    ; taille_frame = largeur * hauteur
    ; ...

RET

```

Types d'ennemis

Le jeu contient plusieurs types d'ennemis avec des comportements distincts. Les sprites sont stockés dans le tileset :

- **Statiques** : tourelles fixes (T_RADAR_UP #3DA8, T_RADAR_DOWN #3EA8)
- **Patrouilleurs** : mouvement horizontal (T_BLUE_BOT #17A8, T_TANK_BOT #3BA8)

- **Erratiques** : patterns complexes (T_EYE_BOT #1C68, T_FLAME #18E8)
-

SEPTIEME PARTIE : LE SON

Chapitre 22 : Le PSG AY-3-8912

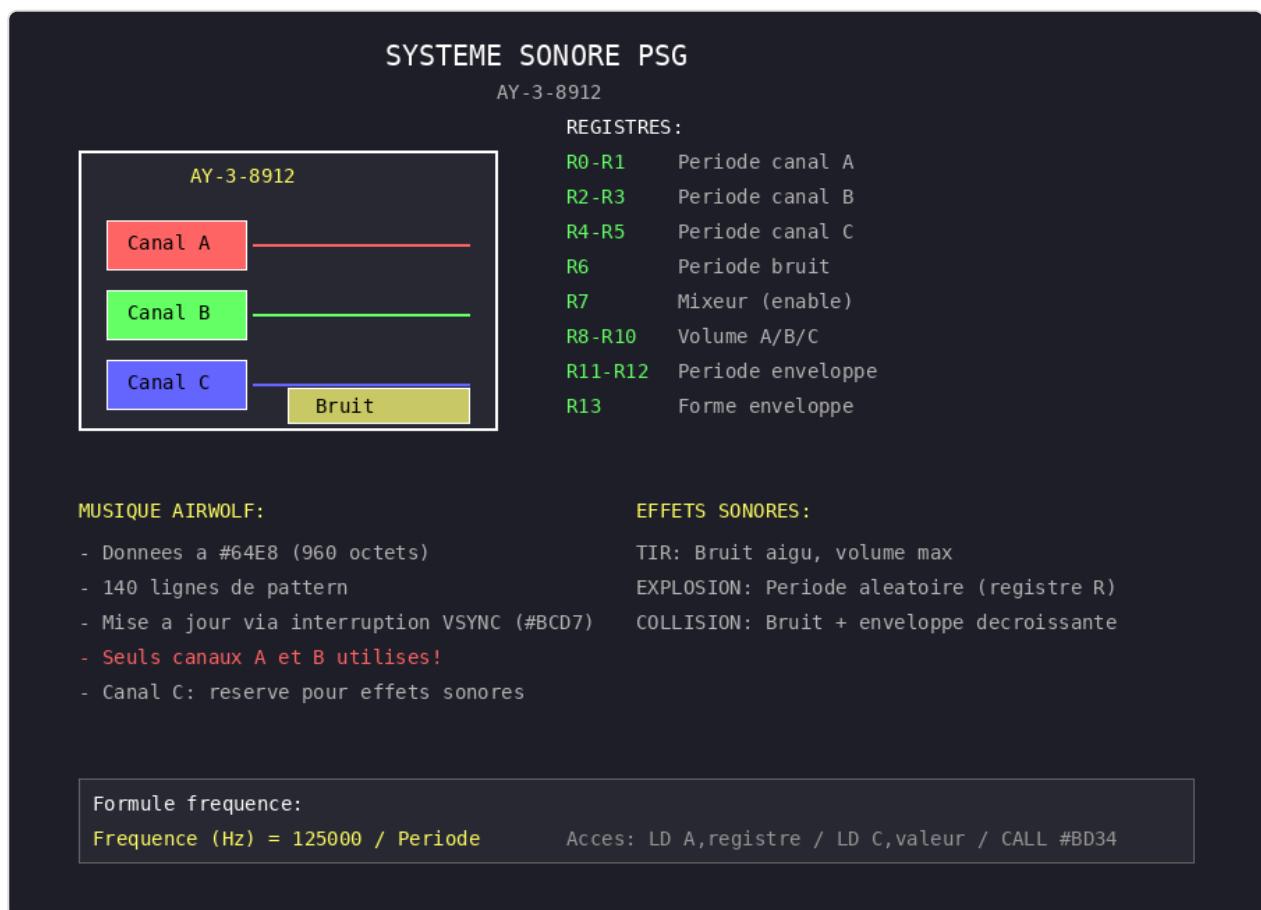


Figure 19 : Le circuit sonore PSG AY-3-8912

Architecture sonore

L'Amstrad CPC utilise le circuit AY-3-8912, offrant :

- 3 canaux melodiques
- 1 generateur de bruit partageable
- Enveloppes materielles

Les registres

| Registre | Fonction |
|----------|----------------------------------|
| R0-R1 | Periode canal A |
| R2-R3 | Periode canal B |
| R4-R5 | Periode canal C |
| R6 | Periode bruit |
| R7 | Mixeur (active/desactive canaux) |
| R8-R10 | Volume canaux A/B/C |
| R11-R12 | Periode enveloppe |
| R13 | Forme enveloppe |

Accès via firmware

```
; Ecrire valeur C dans registre A
LD A,registre
LD C,valeur
CALL #BD34          ; SOUND DIRECT REG
```

Chapitre 23 : La musique

Structure des données

La musique est stockée comme une séquence de valeurs de registres à partir de **MUSIC_DATA_BASE** (#64E8) :

```
MUSIC_DATA_BASE      EQU #64E8    ; Début des données
MUSIC_PTR:           dw 0        ; #6AB3 - Pointeur courant
MUSIC_PATTERN_LINE_CPT: db 0        ; #6AB2 - Compteur de lignes
NB_MUSIC_PATTERN_LINES EQU 140    ; #8C lignes par pattern

; Format: periode_A_low, periode_A_high, periode_B_low, periode_B_high
; 0 = pas de changement
```

La routine de mise à jour

La routine `UPDATE_SOUND_REGISTERS` (#6B09) est appelée par `UPDATE_MUSIC` (#6B5D) à chaque frame via l'interruption VSYNC :

```
UPDATE_SOUND_REGISTERS:          ; #6B09
    LD HL,(MUSIC_PTR)           ; #6AB3

    ; Canal A
    LD A,(HL)
    OR A
    JR Z,.skip_a               ; #6B1F - 0 = pas de changement

    LD C,A
    LD A,#00                   ; Registre période A low
    CALL #BD34
    INC HL

    LD C,(HL)
    LD A,#01                   ; Registre période A high
    CALL #BD34

.skip_a:                         ; #6B1F
    ; Canal B similaire...

    ; Avancer le pointeur
    ; Gérer le bouclage
    ; ...
```

L'initialisation est faite par `INIT_MUSIC` (#6ABE) qui configure aussi l'interruption via `INIT_MUSIC INTERRUPTION` (#6B4F).

Le canal oublié

L'article original mentionne une découverte troublante : le player musical ignore complètement le troisième canal sonore. Trois canaux sont disponibles, mais seuls deux sont utilisés. Un indice supplémentaire d'un développement précipité.

Chapitre 24 : Les effets sonores

Le bruit d'explosion

La routine `HELICO_EXPLOSION_SOUND` (#7CB7) utilise le registre R du Z80 comme source de nombres pseudo-aléatoires :

```

HELICO_EXPLOSION_SOUND:           ; #7CB7
    LD A,R                 ; Valeur "aleatoire"
    LD C,A
    LD A,#06               ; Periode bruit
    CALL #BD34

    LD A,#0D               ; Forme enveloppe
    LD C,#00               ; Decroissante
    CALL #BD34

```

Le bruit de tir et collision

La routine `PLAY_NOISE_SOUND` (#6B79) joue les effets sonores :

```

PLAY_NOISE_SOUND:           ; #6B79
    LD A,#0C               ; Volume canal C
    LD C,#0F               ; Maximum
    CALL #BD34

    LD A,#06               ; Periode bruit
    LD C,#08               ; Bruit aigu
    CALL #BD34

    LD A,#01
    LD (NOISE_SOUND_PLAYED),A ; #6AB0
    RET

```

La routine `SFX_OFF` (#6B96) desactive les effets sonores apres un certain temps.

Chapitre 24b : Les sprites d'explosion

L'animation de la mort

Quand l'helicoptere entre en collision avec un obstacle, une animation d'explosion se declenche. Les sprites sont stockes a partir de l'adresse #5000 (BASE_EXPLOSION) :



Figure 20 : Les frames d'animation de l'explosion - Du debut de l'impact a la dissipation

L'animation montre une progression réaliste :

1. Impact initial (petite tache)
2. Expansion rapide
3. Débris qui s'éparpillent
4. Fumée qui se dissipe

La routine `DRAW_EXPLOSION_SPRITE` (#79F2) gère l'affichage de ces frames en séquence, tandis que `HELICO_EXPLOSION_SOUND` (#7CB7) joue le son correspondant.

HUITIEME PARTIE : LES REVELATIONS

Chapitre 25 : Le niveau 2 n'existe pas

La verite dans le code

L'exploration complete du code revele la verite : il n'y a pas de niveau 2. La tilemap unique contient l'integralite du monde jouable a partir de `BASE_TILEMAP` (#03E8). Les adresses de chargement, les routines de transition de niveau : inexistantes.

Un monde clos

Le monde d'Airwolf est une carte fixe de tiles, pre-chargee en memoire. Le joueur la parcourt, active des interrupteurs via `EXECUTE_BUTTON_ACTION` (#6971), detruit des cibles. Mais il n'y a pas de "suite".

Chapitre 26 : Le crash intentionnel

La zone 8 : l'écran maudit

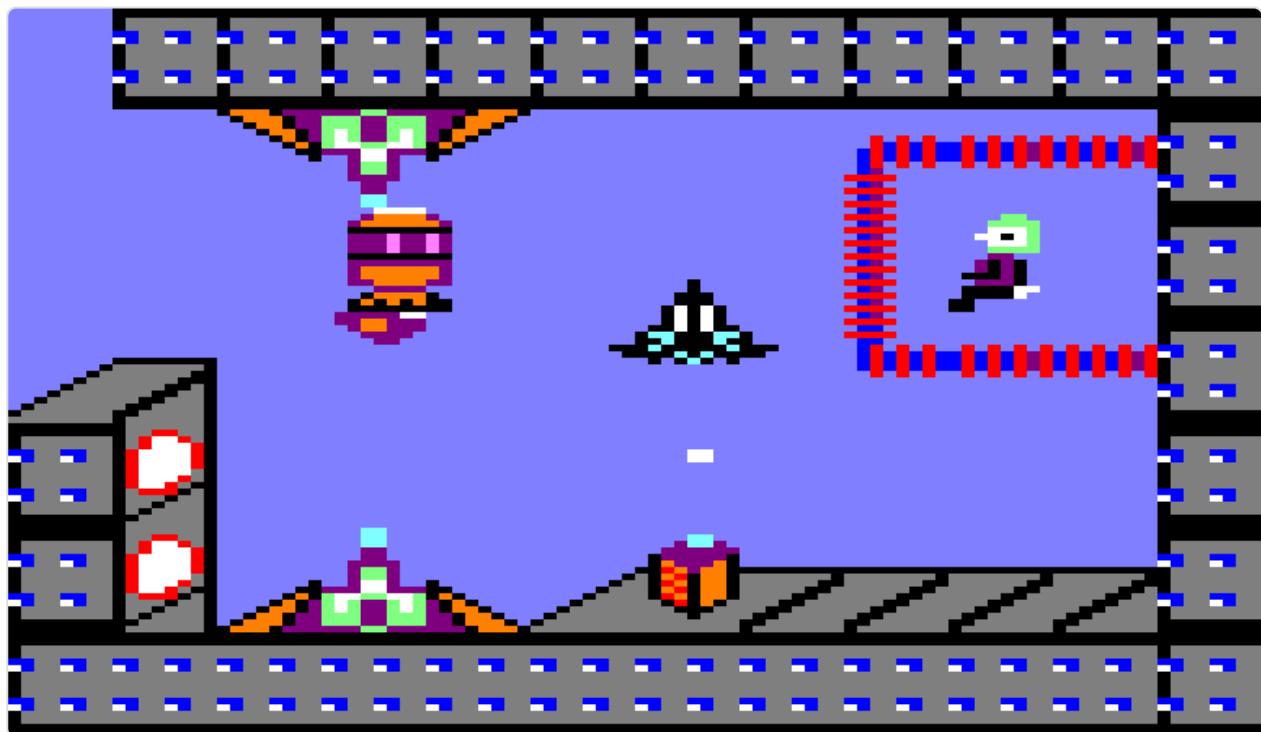


Figure 21 : La zone 8 - L'écran que les joueurs n'atteignent jamais à cause de la boucle infinie

Voici l'écran fatidique où `VIEW_INDEX` vaut 8. C'est une zone complexe avec plusieurs ennemis et obstacles. Mais si le joueur tente d'interagir avec un bouton ici, le jeu se fige indefiniment.

LE MYSTERE DU CRASH

La boucle infinie a l'adresse #698A

```

EXECUTE_BUTTON_ACTION:    ; #6971
    LD A,(VIEW_INDEX)    ; #6971
    CP #01                ; Zone 1?
    JP Z,BUTTON_VIEW_1   ; #6976
    ...
    CP #08                ; #6988 Zone 8?
.infinite:
    JP Z,.infinite       ; #698A BLOQUE!
    ...
    RET

```

CE QUE CA SIGNIFIE:

1. VIEW_INDEX = position du joueur dans le monde
2. Zone 8 = zone finale
3. Quand VIEW_INDEX == 8
4. JP Z saute a lui-même
5. Le CPU boucle a #698A

=> CE N'EST PAS UN BUG
=> C'EST INTENTIONNEL

DUMP MEMOIRE ORIGINAL:

#6988: FE 08 CA 8A 69 FE 0C ...

CP #08 / JP Z,#698A / CP #0C

DUMP MEMOIRE PATCHÉ:

#6988: FE 08 00 00 00 FE 0C ...

CP #08 / NOP NOP NOP / CP #0C

CONCLUSION: Les développeurs ont délibérément bloqué le jeu en zone 8.
3 octets (CA 8A 69) remplacent par 3 NOPs (00 00 00) dans Airwolf Reloaded.

Figure 22 : La boucle infinie intentionnelle

Les interrupteurs binaires

Le jeu utilise un système d'interrupteurs liés à des écrans spécifiques via `VIEW_INDEX` (#6970). Chaque interrupteur est un bit dans un octet de flags :

SCREEN_FLAGS:

```
db %00000000      ; 8 flags pour 8 zones
```

La logique defaillante

La boucle infinie se trouve dans `EXECUTE_BUTTON_ACTION` (#6971), la routine qui gère les interactions avec les interrupteurs du jeu. Le code vérifie `VIEW_INDEX` (#6970) - la position du joueur dans le monde :

```

EXECUTE_BUTTON_ACTION:           ; #6971
    LD A,(VIEW_INDEX)          ; #6971 - Charge la zone actuelle
    CP #01                     ; #6974 - Zone 1?
    JP Z,BUTTON_VIEW_1         ; #6976

    CP #03                     ; #6979 - Zone 3?
    JP Z,BUTTON_VIEW_3         ; #697B

    CP #09                     ; #697E - Zone 9?
    JP Z,BUTTON_VIEW_9         ; #6980

    CP #0B                     ; #6983 - Zone 11?
    JP Z,BUTTON_VIEW_11        ; #6985

    CP #08                     ; #6988 - Zone 8? (zone finale)
.infinit:
    JP Z,.infinite             ; #698A - BOUCLE INFINIE!

    CP #0C                     ; #698D - Zone 12?
    JP Z,BUTTON_VIEW_12        ; #698F
    RET                         ; #6992

```

L'adresse **#698A** contient le tristement celebre `JP Z,.infinite` qui cree une boucle sans fin. Quand `VIEW_INDEX` vaut 8 (la zone finale), le flag Z est active et le processeur saute a sa propre adresse indefiniment.

L'aveu d'ehec

Cette boucle a l'adresse #698A est un aveu. Les developpeurs savaient que la zone 8 ne pouvait pas etre gere correctement. Plutot que de livrer un produit qui plante de maniere visible, ils ont opte pour un gel silencieux que peu de joueurs atteindraient jamais.

Dans la version corrigee (Airwolf Reloaded), ces 3 octets (`CA 8A 69`) ont ete remplaces par 3 NOPs (`00 00 00`), permettant enfin au code de continuer.

Chapitre 27 : Les vestiges du scrolling pixel

Du code mort

Dans les entrailles du programme, des routines entieres ne sont jamais appelees. Parmi elles, `UNUSED_FULL_SCROLL_LEFT` (#7382) contient du code de scrolling pixel par pixel :

```
UNUSED_FULL_SCROLL_LEFT:          ; #7382
    ; Decale l'écran d'un pixel
    ; Plus fluide mais plus lent
    CALL SCROLL_LEFT              ; #7360
    ; ...
```

L'hypothese du changement de design

Ces routines suggèrent un design initial différent : un scrolling fluide, pixel par pixel, comme les meilleurs jeux de l'époque. Abandonner ce système pour un scrolling par tiles indique soit des contraintes de performance, soit un changement d'équipe, soit les deux.

Chapitre 28 : Plusieurs mains

Les styles de code

L'analyse révélatrice montre des styles de programmation différents selon les sections :

- Certaines routines sont élégantes, optimisées (comme `DRAW_HELICO` #7F1C)
- D'autres sont verbeuses, répétitives
- Les conventions de nommage varient
- L'utilisation des registres est incohérente

L'assemblage final

Airwolf n'est pas le travail d'un seul développeur. C'est un patchwork, assemblé à partir de contributions multiples, probablement sous pression temporelle pour respecter la licence.

NEUVIEME PARTIE : LA RENAISSANCE

Chapitre 29 : Airwolf Pico

Reimaginer le jeu

L'exploration du code original a inspire une question : a quoi ressemblerait Airwolf s'il avait ete correctement concu ? La reponse prend la forme d'Airwolf Pico, une reimagination sur la plateforme PICO-8.

Les corrections apportees

- Vrais niveaux multiples
- Scrolling fluide
- Detection de collision coherente
- Fin de jeu accessible
- Equilibrage de la difficulte

Chapitre 30 : Airwolf Reloaded CPC

Retour aux sources

En collaboration avec l'artiste Titan, une version corrigee pour Amstrad CPC voit le jour. Airwolf Reloaded n'est pas un remake : c'est le jeu original, debugge et complete.

Les modifications

- Correction de la boucle infinie finale

- Logique d'interrupteurs repensee
- Nouveaux graphismes par Titan
- Jeu completable de bout en bout

Preserver l'esprit

L'objectif n'etait pas de creer un nouveau jeu, mais de reveler celui qui aurait du exister. Les mecaniques originales sont preservees, seuls les bugs bloquants sont corriges.

DIXIEME PARTIE : REFLEXIONS

Chapitre 31 : Archeologie numerique

Ce que le code raconte

Au-delà des octets et des registres, le code source d'Airwolf raconte une histoire humaine :

- Des developpeurs sous pression
- Des compromis forces
- Des ambitions revues à la baisse
- Une deadline impossible

Les indices du stress

Le code mort, les styles mélangés, la boucle infinie : autant de traces d'un développement chaotique. On devine les réunions de crise, les nuits blanches, les décisions douloureuses.

Chapitre 32 : La valeur de la curiosité

Guerir par l'exploration

L'enquête sur Airwolf est née de l'insomnie et de la maladie. Elle est devenue thérapeutique. L'exploration méthodique, la satisfaction des découvertes, le sentiment de comprendre : autant de remèdes inattendus.

La persévérance récompensée

Quarante ans après sa sortie, Airwolf livre enfin ses secrets. Il aura fallu de la patience, des outils modernes, et surtout une curiosité tenace pour percer ses mystères.

Chapitre 33 : Heritage technique

Ce qu'Airwolf nous enseigne

Malgre ses defauts, Airwolf contient des techniques remarquables :

- L'utilisation de SP comme pointeur rapide (`DRAW_HELICO` #7F1C)
- La detection de collision integree au rendu (`TEST_AND_DRAW_HELICO` #7E8A)
- Les tables pre-calculees pour les adresses VRAM (`BUILD_HELICO_START_LINE_ARRAY` #8064)
- Le systeme de patterns pour l'animation (`ANIMATE_ENEMY` #6F5B)

Ces techniques restent pertinentes pour tout developpeur de jeux retro aujourd'hui.

ANNEXES

Annexe A : Palette de couleurs

| Index | Couleur | Hardware |
|-------|-----------|-------------|
| ----- | | |
| 0 | Noir | #00 |
| 1 | Bleu | #04 |
| 2 | Vert | #0B |
| 3 | Cyan | #0C |
| 4 | Rouge | #03 |
| 5 | Magenta | #0D |
| 6 | Jaune | #06 |
| 7 | Blanc | #0E |
| 8-15 | Variables | Selon ecran |

Annexe B : Map memoire complete

```
#0000-#003F : Variables systeme Z80
#0040-#005F : Zone de travail
#0060-#00FF : Code d'initialisation (BOOT)
#03E8-#14E7 : TILEMAP (BASE_TILEMAP)
#14E8-#4F67 : TILESET (BASE_TILESET - 238 tiles x 64 octets)
#4F68-#4FFF : Sprites pales (BASE_PALLE_HELICO - 6 frames x 48 octets)
#5000-#5FFF : Sprites explosion (BASE_EXPLOSION)
#6000-#64E7 : Buffer scrolling (SCROLLING_BUFFER)
#64E8-#68A7 : Donnees musicales (MUSIC_DATA_BASE)
#68A8       : Point d'entree (START_POINT)
#68AB       : LOSE_LIFE_TEMPO_CPT
#68AE       : NB_LIFE_SHIELD
#68BB       : HELICO_LOSE_LIFE
#6971       : EXECUTE_BUTTON_ACTION
#6ABE       : INIT_MUSIC
#6B09       : UPDATE_SOUND_REGISTERS
#6B5D       : UPDATE_MUSIC
#6B79       : PLAY_NOISE_SOUND
#6BE4       : DRAW_SPRITE_TILE
#6D37       : DECREMENT_TIMER
#6E06       : DRAW_TILE
#6E23       : DRAW_TILE_MAP
#6F34       : MOVE_SPRITE
#6F5B       : ANIMATE_ENEMY
#6FE1       : ANIMATE_ALL_ENEMIES
#7292       : SCROLL_LINE_RIGHT
#724E       : NEXT_VIEW_TO_SCREEN_DOWN
#726B       : NEXT_VIEW_TO_SCREEN_UP
#7360       : SCROLL_LEFT
#738F       : SCROLL_LINE_LEFT
#745D       : SCROLL_RIGHT
#7898       : FIRE_NEW_SHOOT
#7ABB       : GAME_LOOP
#7C8D       : TEST_SHOOT_COLLISION
#7CB7       : HELICO_EXPLOSION_SOUND
#7D89       : GAME_START
#7DA1       : MAIN_LOOP
#7DC2       : WAIT_FIRE_BUTTON_PRESS
#7E8A       : TEST_AND_DRAW_HELICO
#7F1C       : DRAW_HELICO
#8064       : BUILD_HELICO_START_LINE_ARRAY
#80AB       : CHEAT_TIMER_KEY
#80BB       : GRAVITY_KEY
#80CB       : PASSE_MURAILLE_KEY
#8100       : SCROLL_NEXT_SCR_BUF
#A400       : VRAM_LINE_START_ARRAY
#A500       : VRAM_LINE_START_ARRAY_OLD
#A600       : VRAM_LINE_START_ARRAY_C
#C000-#FFFF : Memoire video (8 blocs x 2048 octets)
```

Annexe C : Codes de triche

| Touche | Routine | Action |
|--------|----------------------------|----------------------|
| T | CHEAT_TIMER_KEY (#80AB) | Desactive le timer |
| G | GRAVITY_KEY (#80BB) | Desactive la gravite |
| C | PASSE_MURAILLE_KEY (#80CB) | Mode passe-muraille |
| ESC | - | Redemarrer |

Annexe D : Formules clés

Adresse VRAM d'une ligne Y

```

Si Y < 8:
    Adresse = #C000 + (Y * 2048)
Sinon:
    Adresse = #C000 + ((Y mod 8) * 2048) + ((Y / 8) * 80)

```

Index tile vers adresse graphique

```
Adresse = BASE_TILESET (#14E8) + (index * 64)
```

Frequence sonore PSG

```
Frequence = 125000 / Periode
```

Annexe E : Boucle principale du jeu



Figure 23 : La boucle principale GAME_LOOP (#7ABB)

Annexe F : Index des routines

| Adresse | Routine | Description |
|---------|--------------------------|-----------------------------|
| #68A8 | START_POINT | Point d'entree du programme |
| #68BB | HELICO_LOSE_LIFE | Gestion perte de vie |
| #6971 | EXECUTE_BUTTON_ACTION | Actions des interrupteurs |
| #6ABE | INIT_MUSIC | Initialisation musique |
| #6B09 | UPDATE_SOUND_REGISTERS | Mise a jour PSG |
| #6B5D | UPDATE_MUSIC | Routine musique frame |
| #6B79 | PLAY_NOISE_SOUND | Jouer effet sonore |
| #6BE4 | DRAW_SPRITE_TILE | Afficher sprite/tile |
| #6D37 | DECREMENT_TIMER | Decrementation timer |
| #6E06 | DRAW_TILE | Afficher un tile |
| #6E23 | DRAW_TILE_MAP | Afficher tilemap complete |
| #6F34 | MOVE_SPRITE | Deplacer un sprite |
| #6F5B | ANIMATE_ENEMY | Animer un ennemi |
| #6FE1 | ANIMATE_ALL_ENEMIES | Animer tous les ennemis |
| #7292 | SCROLL_LINE_RIGHT | Scroll une ligne droite |
| #724E | NEXT_VIEW_TO_SCREEN_DOWN | Scroll ecran vers bas |
| #726B | NEXT_VIEW_TO_SCREEN_UP | Scroll ecran vers haut |
| #7360 | SCROLL_LEFT | Scroll vers gauche |
| #738F | SCROLL_LINE_LEFT | Scroll une ligne gauche |
| #745D | SCROLL_RIGHT | Scroll vers droite |
| #7898 | FIRE_NEW_SHOOT | Nouveau tir |
| #7ABB | GAME_LOOP | Boucle principale |
| #7C8D | TEST_SHOOT_COLLISION | Test collision tir |
| #7CB7 | HELICO_EXPLOSION_SOUND | Son explosion |
| #7D89 | GAME_START | Demarrage jeu |

| Adresse | Routine | Description |
|---------|-------------------------------|------------------------|
| #7DA1 | MAIN_LOOP | Boucle menu |
| #7DC2 | WAIT_FIRE_BUTTON_PRESS | Attente bouton fire |
| #7E8A | TEST_AND_DRAW_HELICO | Test et affiche helico |
| #7F1C | DRAW_HELICO | Afficher helicoptere |
| #8064 | BUILD_HELICO_START_LINE_ARRAY | Calcul table VRAM |
| #80AB | CHEAT_TIMER_KEY | Cheat timer |
| #80BB | GRAVITY_KEY | Cheat gravite |
| #80CB | PASSE_MURAILLE_KEY | Cheat collision |

EPILOGUE

Airwolf restera dans l'histoire comme un jeu rate. Un produit de son époque, victime de la pression commerciale et des contraintes techniques. Mais son exploration révèle quelque chose de plus profond : derrière chaque ligne de code, il y a des humains. Des développeurs qui ont travaillé dur, qui ont fait des compromis, qui ont parfois échoué.

Quarante ans plus tard, nous pouvons enfin comprendre ce qui s'est passé. Non pas pour condamner, mais pour apprendre. Et peut-être, grâce à Airwolf Reloaded, pour offrir à ce jeu maudit la fin qu'il méritait.

"Le code ne ment jamais. Il raconte l'histoire de ceux qui l'ont écrit."

FIN

Livre basé sur l'analyse technique du code source et l'article "Airwolf Reloaded" par Alain Le Guirec.

Décembre 2025

Index des Figures

1. Figure 1 : Écran titre d'Airwolf - Elite Systems, 1985
2. Figure 2 : Le premier écran d'Airwolf sur Amstrad CPC
3. Figure 3 : L'emulateur WinAPE avec son debugger
4. Figure 4 : Organisation complète des 64 Ko de mémoire d'Airwolf
5. Figure 5 : Le concept de tilemap - une carte unique contenant tout le monde
6. Figure 6 : La carte complète du monde d'Airwolf
7. Figure 7 : Les 27 couleurs hardware de l'Amstrad CPC
8. Figure 8 : La palette de 16 couleurs utilisée par Airwolf

9. Figure 9 : Structure d'un tile - 16x16 pixels, 64 octets
 10. Figure 10 : Les 238 tiles du jeu - Murs, plateformes, ennemis, decorations
 11. Figure 11 : L'entrelacement de la VRAM - 8 blocs pour 200 lignes
 12. Figure 12 : Le systeme complet de l'helicoptere
 13. Figure 13 : Les 7 frames de rotation de l'helicoptere
 14. Figure 14 : Le systeme de scrolling par tiles
 15. Figure 15 : Detection de collision integree au dessin
 16. Figure 16 : Un bouton/interrupteur - Le bloc cyan
 17. Figure 17 : Destruction des parois - Les colonnes cyan
 18. Figure 18 : Structure de 24 octets definissant chaque ennemi
 19. Figure 19 : Le circuit sonore PSG AY-3-8912
 20. Figure 20 : Les frames d'animation de l'explosion
 21. Figure 21 : La zone 8 - L'écran maudit
 22. Figure 22 : La boucle infinie intentionnelle
 23. Figure 23 : La boucle principale GAME_LOOP (#7ABB)
-

A propos de l'auteur

Alain Le Guirec est un passionné de retro-computing et de préservation du patrimoine vidéoludique. C'est lors d'une période de convalescence, durant des nuits d'insomnie, qu'il s'est lancé dans le reverse-engineering complet d'Airwolf sur Amstrad CPC.

Ce qui a commencé comme une simple question - "A quoi ressemble le niveau 2 d'Airwolf ?" - s'est transformé en une enquête de plusieurs semaines, plongeant dans des milliers de lignes de code assembleur Z80. Cette exploration a révélé non seulement les secrets techniques du jeu, mais aussi l'histoire humaine derrière son développement chaotique.

De cette analyse sont nés deux projets :

- **Airwolf Pico** : une reimagination du jeu sur la plateforme PICO-8
- **Airwolf Reloaded by Titan** : une version corrigée et améliorée pour Amstrad CPC

L'article original relatant cette aventure a été publié sur LinkedIn en décembre 2025.

A propos de ce livre

Ce livre a été rédigé avec l'aide de **Claude**, une intelligence artificielle d'Anthropic. À partir du code source reverse-engineered par Alain Le Guirec et de son article LinkedIn, Claude a structuré, développé et mis en forme l'analyse technique complète du jeu.

Les diagrammes et schémas ont été générés programmatiquement en Python, tandis que les captures d'écran et sprites proviennent directement du jeu original analysé sous WinAPE.

Cette collaboration homme-machine illustre comment l'IA peut amplifier et diffuser le travail de préservation du patrimoine informatique, transformant des notes techniques en documentation accessible à tous.

"La curiosité, aussi apparemment futile soit-elle, peut devenir essentielle."

— Alain Le Guirec