

TLLSLO

Toute la Lumière sur l'ombre

2009-10

Les configurations du dispositif

Wai Kit Chan, LIMSI-CNRS
Georges Gagneré, didascalie.net

Toute La Lumière Sur L'Ombre (TLLSLO) est un projet de recherche du LIMSI-CNRS co-élaboré avec la médiathèque de Taverny, les partenaires artistiques *didascalie.net* et L'ange Carasuelo compagnie, dans le cadre d'un dispositif Partenariat Institutions-Citoyens pour la Recherche et l'Innovation (PICRI) de la Région Île-de-France. Il associe scientifiques, ingénieurs, artistes et médiateurs culturels autour de la thématique de l'ombre comme espace de projection numérique pour l'augmentation du monde réel. Il a débouché, entre autre, sur l'exploration d'un dispositif pour la manipulation des ombres numériques dont la description de certaines configurations fait l'objet de ce présent document.

Les éléments du dispositif sont principalement un projecteur de lumière pour la création de l'ombre, une caméra pour la capture du monde physique, un ordinateur pour l'analyse d'image et la synthèse d'effets visuels, et un vidéoprojecteur pour la projection de l'augmentation numérique. À partir de ces éléments, un ensemble de configurations a déjà été réalisé au cours du projet par les partenaires.

La première partie de ce document aborde les différents types d'ombres impliquées dans ce dispositif (ombre réelle, infrarouge, numérique, etc.). Puis la seconde partie décrit les deux manières (par seuillage et par soustraction de fond) d'extraire les éléments intéressants (l'ombre, la silhouette, le corps éclairé, etc) à partir d'une image monochromatique (image infrarouge en niveaux de gris). La troisième partie de ce document expose les différentes configurations réalisées et expérimentées. Enfin la dernière partie présente les différentes combinaisons de vidéoprojection au sol. La projection au sol permet d'enrichir le dispositif par différentes dispositions possibles des éléments que la projection au mur ne permet pas.

V 6.0 – 16 juillet 2010

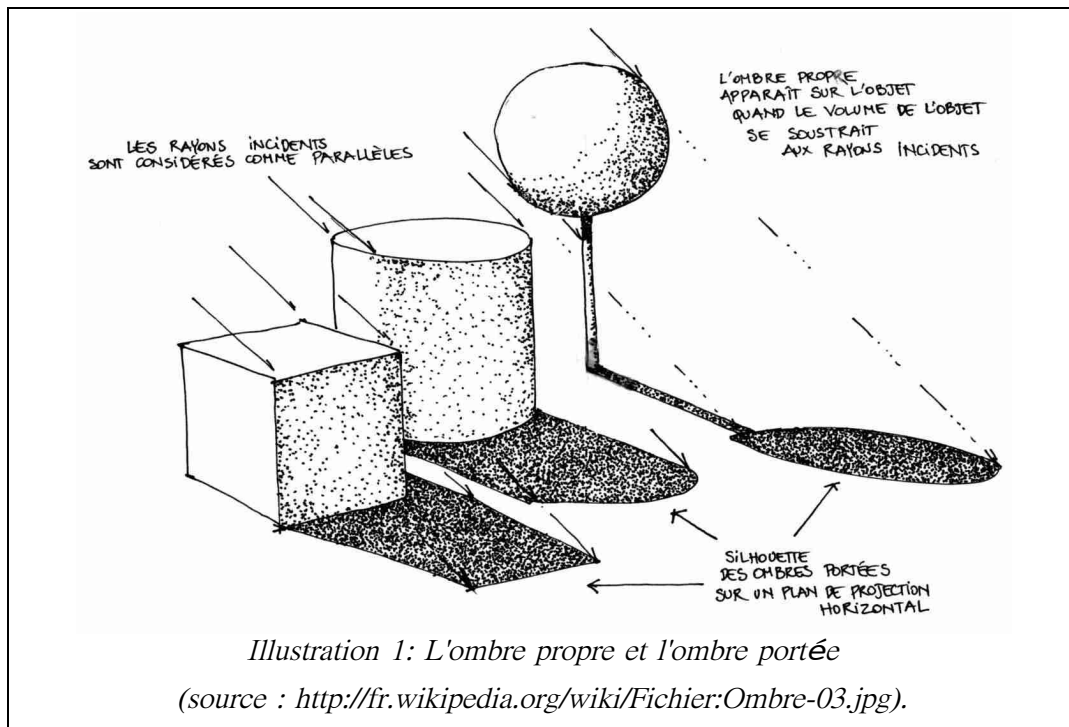
Table des matières

I.Natures de l'ombre dans TLLSLO.....	3
1.Ombres selon leurs localisations.....	3
2.Ombres selon la nature de la source lumineuse.....	4
II.Deux méthodes d'extraction.....	5
1.Seuillage selon l'intensité lumineuse.....	5
2.Soustraction de fond	5
III.Trois configurations.....	7
1.Configuration de base.....	8
a)Sur un mur.....	8
b)Sur le sol.....	9
2.Éclairage en contrejour face à un mur lumineux.....	10
3.Éclairage en contrejour avec vidéoprojecteur derrière un écran.....	11
IV.Différentes configurations de la projection au sol avec l'ombre et le performeur.....	12

I. Natures de l'ombre dans TLLSLO

De manière générale, l'ombre est définie comme une zone d'obscurité formée par l'interception de la lumière par un corps. Néanmoins, deux sous-catégories d'ombres sont définies pour mieux appréhender la nature complexe de l'ombre. La première catégorie définit l'ombre en fonction de sa nature géographique, et la deuxième par la nature des sources lumineuses par lesquelles elle est engendrée.

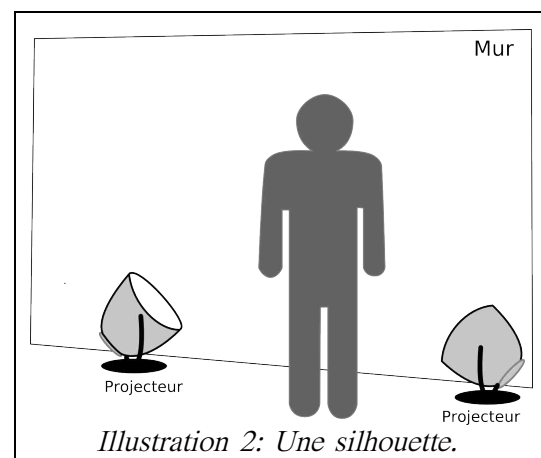
1. Ombres selon leurs localisations



Ombre propre : région de l'objet qui ne reçoit pas de lumière. Par exemple, la nuit correspond aux lieux de la Terre qui sont dans son ombre propre à un moment donné de la journée.

Ombre portée : région d'une surface qui, placée "derrière" un objet par rapport à la source de lumière, ne reçoit pas de rayons lumineux. La taille et la forme de l'ombre portée dépendent de la forme, la taille et la position de l'objet par rapport à la source, mais aussi de l'emplacement et de l'inclinaison de l'écran. Le contour d'une ombre portée est net si la source est ponctuelle, il est flou s'il s'agit d'une source lumineuse surfacique.

Silhouette : Ombre projetée de quelque chose ou de quelqu'un, dont la forme et les contours se détachent nettement sur un fond. Pour compléter cette définition dans le cadre du projet TLLSLO, la silhouette est aussi une ombre propre créée à partir d'un éclairage situé derrière le corps par rapport à l'observateur.



2. Ombres selon la nature de la source lumineuse

Ombre naturelle : visible à l'œil nu, causée par une lumière visible (l'œil adapté à la lumière couvre les longueurs d'ondes de 400 à 700 nm et possède généralement une sensibilité maximale à la lumière de longueur d'onde d'environ 550 nm, ce qui correspond à une couleur jaune-verte). Dans le cadre du projet TLLSLO, la source lumineuse visible est soit la lumière naturelle (ex : le soleil), soit artificielle (ex : un projecteur ou un vidéoprojecteur).

Ombre infrarouge : invisible à l'œil nu et pouvant être capturée par la caméra infrarouge. La lumière invisible est de deux types : les infrarouges (dont la longueur d'onde est comprise entre 780 nm et 1 000 000 nm) et les ultra-violets. Dans le projet TLLSLO, la lumière infrarouge est projetée par une lampe infrarouge ou un projecteur dont la lumière visible est filtrée avec des gélatines (par exemple rouge 106 + bleu 119 pour des gélatines Lee Filter).

Ombre numérique : visible à l'œil nu, causée par la lumière de la vidéoprojection (et donc non capturée par la caméra infrarouge, cf. remarque ci-dessous). Elle a été créée à partir de l'image infrarouge captée par la caméra, traitée par l'ordinateur (pour extraire l'ombre et ajouter éventuellement des effets), et vidéoprojetée dans le monde réel. Le projet TLLSLO est basé sur l'extraction de l'ombre infrarouge ou naturelle et sa transformation en une ombre numérique, qui forme donc une ombre juxtaposable à l'ombre naturelle, mais manipulable informatiquement en temps réel.

Remarque : Lors de l'utilisation de l'ombre naturelle, le soleil ou un projecteur émettent à la fois de la lumière visible et invisible. Le rôle de la caméra infrarouge est de filtrer la lumière visible et de ne capturer que l'environnement éclairé par la lumière infrarouge. Par ailleurs, la lumière du vidéoprojecteur n'émet pas de lumière infrarouge, donc la caméra infrarouge n'est pas sensible à l'image vidéoprojetée. De cette manière, le dispositif évite le problème de l'effet Larsen qui surviendrait si la lumière projetée était capturée par la caméra infra-rouge.

L'effet Larsen vidéo ou rétroaction optique : est l'équivalent optique de la rétroaction acoustique. L'effet visuel est généré lorsque une boucle se crée entre une entrée optique, par exemple une caméra vidéo, et une sortie optique, par exemple un écran de télévision, un moniteur ou un vidéoprojecteur.

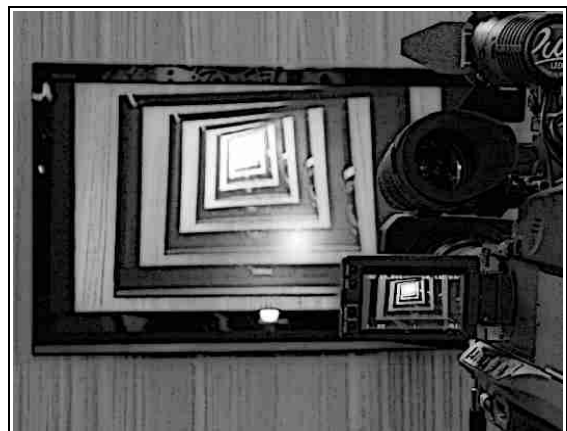


Illustration 3: L'effet Larsen.

Émetteurs / capteurs	Soleil	Projecteur	Projecteur infrarouge ou projecteur avec gélatine	vidéoprojecteur
Caméra infrarouge	Visible	Visible	Visible	Invisible
Œil nu	Visible	Visible	Invisible	Visible

Tableau 1: Récapitulatif des visibilitées des sources lumineuses

II. Deux méthodes d'extraction

Une fois que l'image infrarouge est capturée par la caméra, le traitement logiciel offre deux manières de distinguer l'ombre, le corps en mouvement, la silhouette et le fond. La première est le seuillage, logiquement simple à mettre en place, mais nécessitant des conditions physiques d'installation contraignantes. La deuxième est la soustraction de fond : elle est logiquement plus complexe à mettre en place, mais permet d'avoir une installation physique moins contraignante.

1. *Seuillage selon l'intensité lumineuse*

Le principe du seuillage est de prendre une décision binaire (1 pour blanc et 0 pour noir par exemple) en fonction d'une valeur continue (un niveau de gris par exemple). Dans le cadre du projet TLLSLO, cette décision permet de déterminer si un pixel donné (dans l'image 2D capturée) appartient ou non à une silhouette selon l'intensité lumineuse. Le dispositif doit offrir un éclairage homogène du mur du fond avec de la lumière infrarouge afin de capturer la silhouette en contrejour. Pour cela, il faut décider une valeur de seuillage entre le noir et le blanc. Toutes les valeurs comprises entre 0 et la valeur choisie seront noires. Les valeurs comprises au-dessus seront blanches. Enfin une opération inverse permet de mettre tout les pixels noirs en blancs, et blancs en noirs.

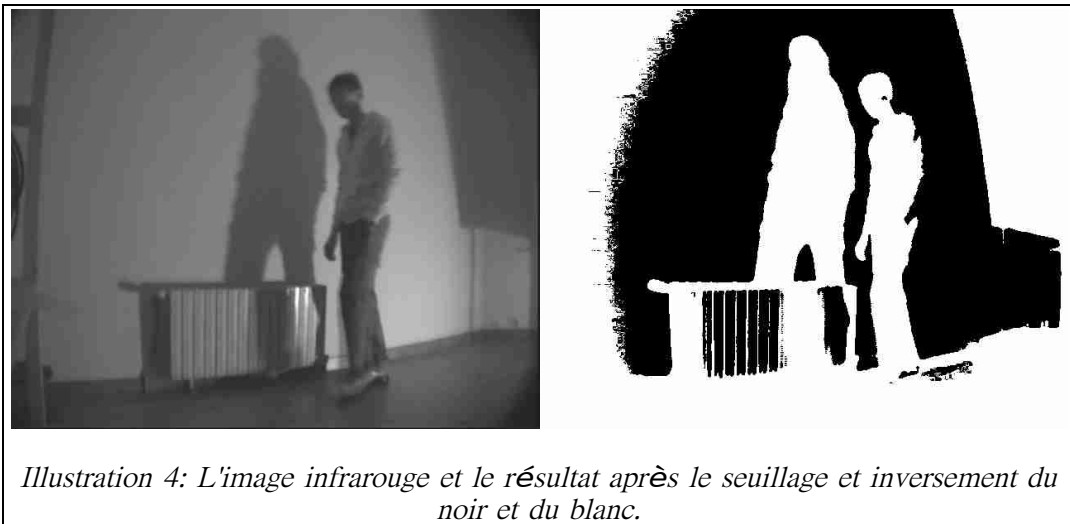
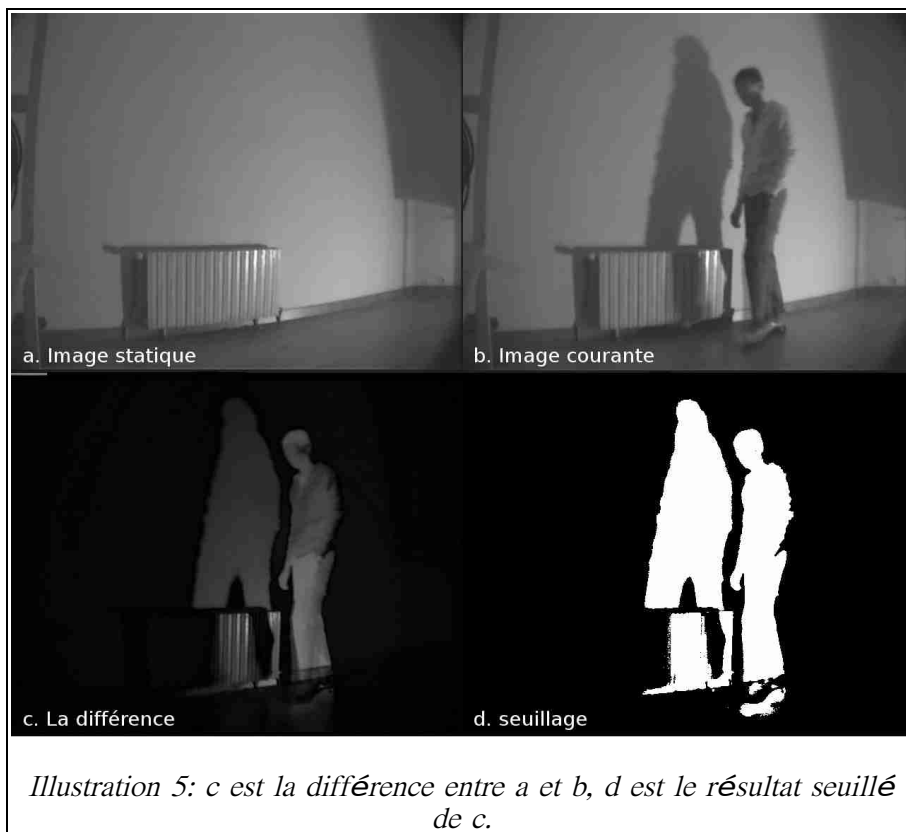


Illustration 4: L'image infrarouge et le résultat après le seuillage et inversement du noir et du blanc.

2. *Soustraction de fond*

Le principe de la soustraction de fond est de comparer une image statique considérée comme le fond avec l'image courante. L'opération consiste à calculer la valeur absolue de la différence entre l'intensité lumineuse d'un pixel de l'image courante et celle du pixel de l'image statique correspondant à la même position. Cette méthode d'extraction de l'ombre et/ou de l'objet en mouvement (le performeur) permet de capturer l'ombre infrarouge et le corps en mouvement (composé de l'ombre propre et de la variation de réflexion de la lumière infrarouge par rapport au fond). Cette méthode a l'avantage, par rapport à la méthode du seuillage, d'être utilisable lorsque l'installation ne possède pas un éclairage homogène.



À partir des résultats b et d de l'illustration 5, il existe des critères de sélection qui permettent de distinguer le corps en mouvement de l'ombre. Cependant ces critères sont peu robustes.

Le premier critère est **l'homogénéité** : si le mur est plat et homogène, alors l'ombre projetée sur le mur a moins de relief que le performeur. L'inconvénient de ce critère est la perte de la finesse de l'ombre : l'ombre infrarouge reconstituée numériquement ne peut pas être parfaitement superposée avec l'ombre réelle.

Le second critère est **la diminution systématique d'intensité lumineuse** dans une zone d'ombre. Un corps en mouvement apparaissant dans une image infrarouge peut causer une diminution et/ou une augmentation de l'intensité lumineuse selon les propriétés lumineuses en infrarouge du textile porté par le performeur. Par contre, l'ombre ne provoque pas de diminution de l'intensité lumineuse. Mais il reste impossible de distinguer l'ombre propre du performeur de son ombre portée sur le mur à travers l'image infrarouge, car toutes les deux entrent dans les critères de sélection de l'ombre, ce qui diminue fortement l'intérêt de ce second critère de sélection.

La description technique des méthodes d'extraction de l'ombre et du performeur est expliquée dans « **Module de l'analyse d'image** » du document « **Architecture logicielle** ».

III. Trois configurations

Les configurations présentées par la suite, ont été définies à partir d'agencements spatiaux des éléments du dispositif physique (type d'éclairage pour obtenir l'ombre, position du vidéoprojecteur et de la caméra infrarouge, surface de rétroprojection avec un écran ou projection sur un mur). Ces trois configurations se déclinent elles-mêmes en une grande variété d'agencements de chacun des éléments (caméra, projecteur, vidéoprojecteur).

La première (projection murale ou au sol) a été développée et testée dans la salle d'expérimentation au LIMSI d'Orsay. Les deux autres ont été utilisées par la plate-forme *didascalie.net* et par la compagnie de théâtre l'Ange Carasuelo à l'occasion de leurs activités de création artistique et de transmission pédagogique..

1. Configuration de base

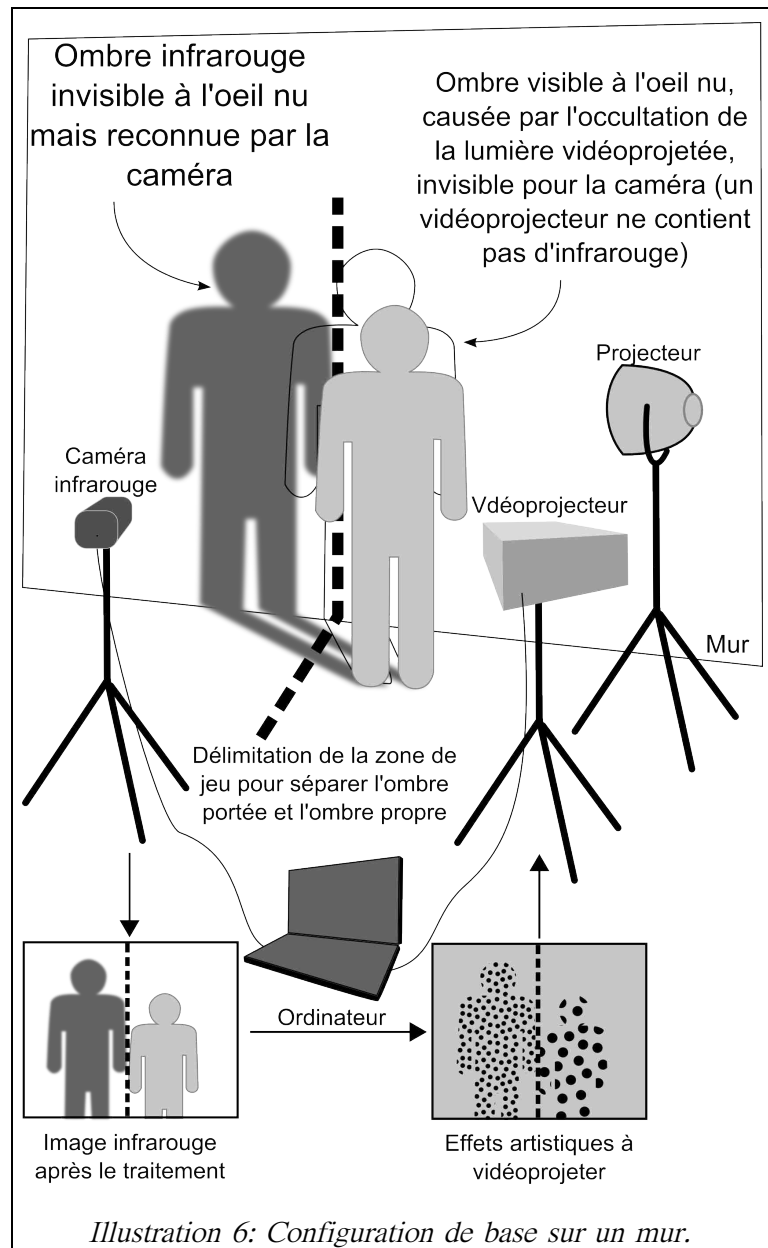
a) Sur un mur

L'installation se fait avec un espace de jeu où le performeur se trouve entre un mur et les autres éléments : la caméra, le projecteur et le vidéoprojecteur.

Le mur reçoit à la fois l'ombre infrarouge (invisible à l'œil nu), l'ombre causée par la vidéoprojection et l'image numérique vidéoprojetée (voir illustration 6 : l'image numérique à la sortie du vidéoprojecteur n'est pas représentée afin de préserver la lisibilité de l'illustration).

Le principe du dispositif est d'abord la création d'une ombre infrarouge (voir partie 1 de ce document) par un projecteur infrarouge (avec ou sans émission de la lumière visible). Puis une caméra infrarouge capture l'environnement lumineux créé (ombre et corps éclairé).

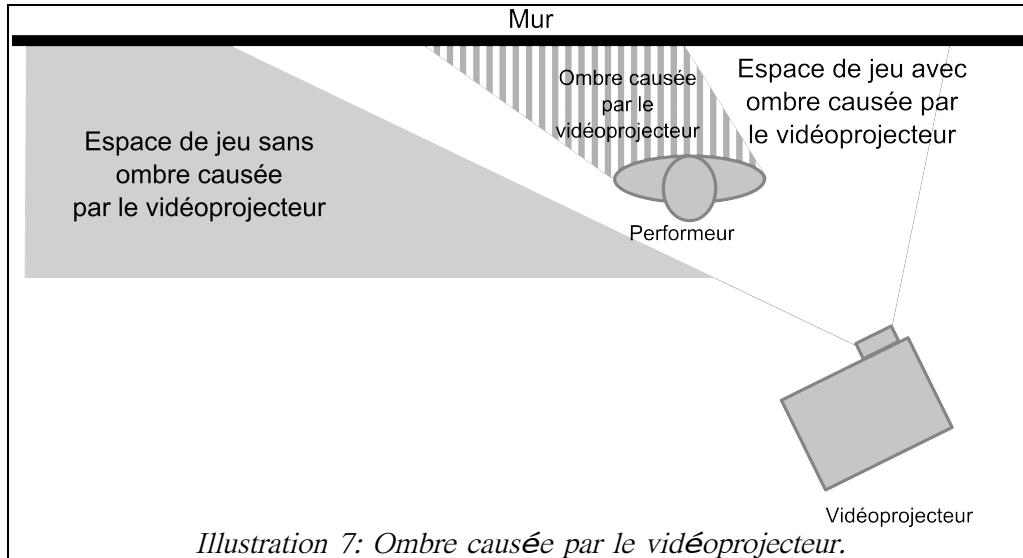
Cette configuration utilise la méthode de soustraction de fond (voir le chapitre 2 « Deux méthodes d'extraction ») pour extraire, à partir de l'image de la caméra infrarouge, l'ombre, le corps éclairé et le fond (statique).



Il est théoriquement possible de distinguer alors l'ombre portée de l'ombre propre du performeur et de choisir laquelle convient le mieux pour intégrer des effets numériques. Les résultats algorithmiques sont cependant peu robustes (cf. chap. 2 « La soustraction de fond »). Pour un meilleur résultat, on utilise alors une partition physique de l'espace de jeu en indiquant au performeur une zone précise à ne pas dépasser et en retirant la zone correspondante à l'ombre propre de l'image de la caméra infrarouge.

S'ensuit une étape de création des effets spéciaux et de synthèse d'image ajoutés à l'image de la caméra infrarouge. Ces additions sont masquées par la zone d'ombre détectée numériquement afin de n'être projetées que sur la zone d'ombre. Cette image retravaillée est envoyée au vidéoprojecteur pour être diffusée sur le mur à l'intérieur de l'ombre infrarouge ou visible.

Dans certain cas, l'ombre engendrée par l'occultation de la vidéoprojection par le performeur supprime une partie de l'image numérique vidéoprojetée. Cela dépend de la position relative du vidéoprojecteur et l'espace du jeu d'acteur (voir illustration 7). La rétro-projection sur un écran (à la place du mur) permet de ne pas être gêné par cette ombre (voir configuration 3 « Éclairage en contrejour avec vidéoprojecteur derrière un écran »). On peut aussi limiter la zone de jeu du performeur afin d'éviter ce phénomène d'occultation.

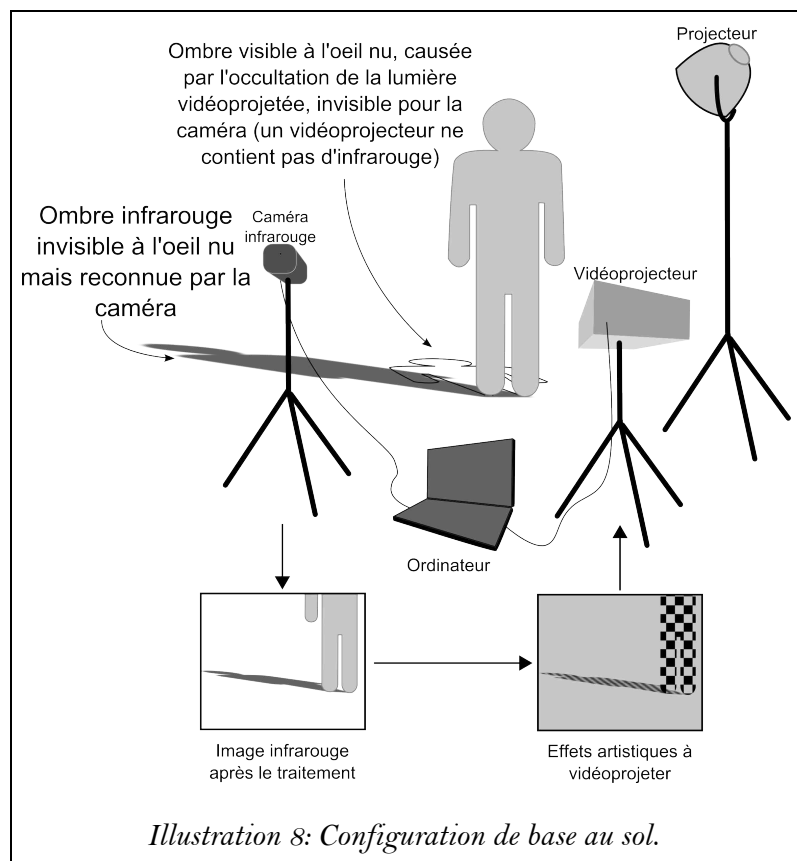


b) Sur le sol

L'installation est similaire à la précédente, à la différence que la surface de capture de l'ombre et de projection est située au sol.

La vidéoprojection au sol peut rendre plus difficile la mise en place de l'installation en situation de mobilité car elle contraint à fixer des éléments en hauteur et à les orienter vers le sol (caméra et/ou vidéoprojecteur).

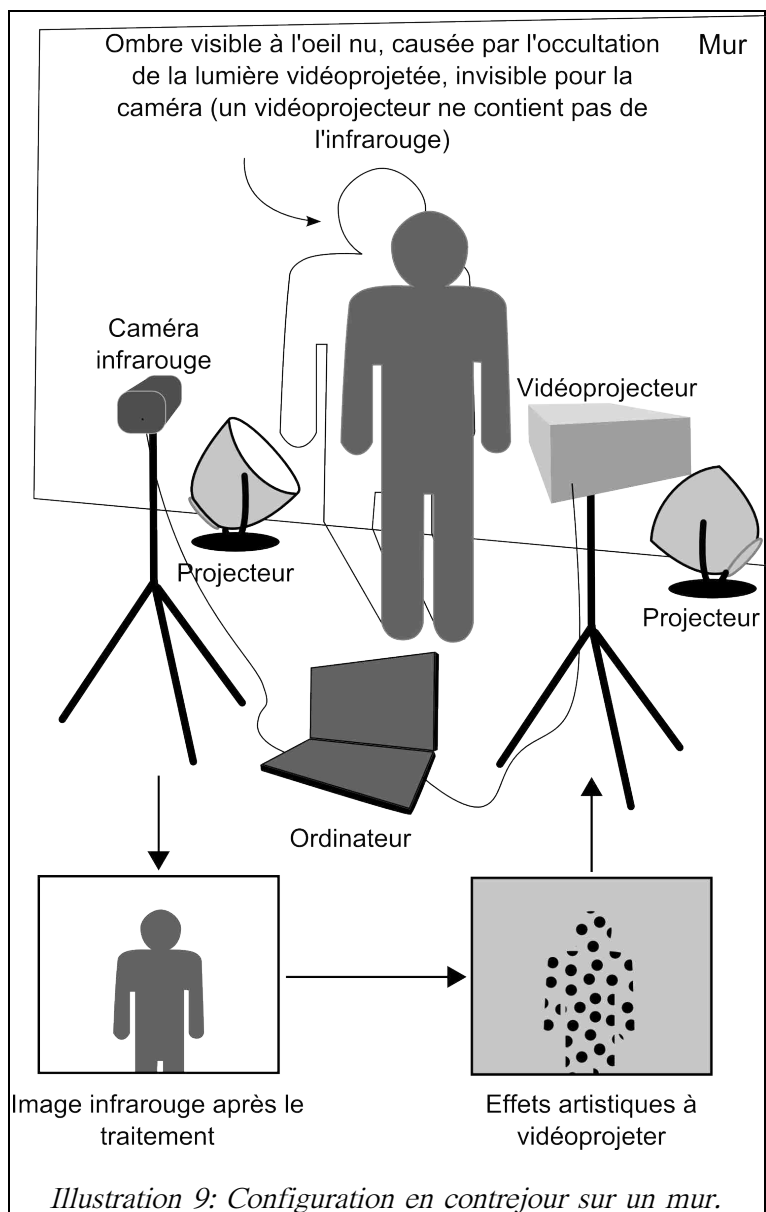
Par ailleurs, si le vidéoprojecteur est fortement incliné vers le sol, il est nécessaire de compenser la déformation de l'image projetée (par un procédé appelé homographie ou keystone). L'utilisation d'une telle transformation détériore la qualité de l'image dans les régions où elle est fortement dilatée (agrandie).



2. Éclairage en contrejour face à un mur lumineux

L'installation diffère des deux précédentes du fait que le mur de projection est éclairé avec de la lumière infrarouge de manière forte et homogène. La caméra capte donc l'ombre propre du performeur en contrejour, comme une masse sombre devant un fond illuminé. Il y a la création d'une silhouette. L'ombre infrarouge portée n'existe plus. L'espace de jeu se situe entre le fond illuminé et la caméra.

Il n'est plus nécessaire de distinguer l'ombre portée et l'ombre propre du corps éclairé puisque seule la silhouette est capturée. L'utilisation du seuillage comme méthode d'extraction du corps en mouvement est mieux adaptée que la méthode de soustraction de fond. La faible robustesse de ce traitement (cf. chap. 2) est alors compensée par la mise en place d'une installation scénique adéquate. Il s'agit d'un montage technique des lumières en direction du mur du fond afin d'obtenir un éclairage infrarouge suffisant et homogène (ex : des guirlandes de diodes infrarouges ou bien 4 à 6 projecteurs munis de gélathines). Dans cette configuration le bord de la silhouette est dégradé si le performeur est dans le champ de l'éclairage (proche du mur).



Selon les mouvements du performeur dans la lumière du vidéoprojecteur, l'occultation du corps génère une ombre qui peut interférer en supprimant une partie de l'image numérique vidéoprojetée. Cela dépend fortement de la position du vidéoprojecteur et de l'espace de jeu (cf. illustration 7). La rétro-projection sur un écran (à la place du mur) permet d'éviter ce phénomène d'occultation de l'ombre vidéo-projetée (cf.3 « Éclairage en contrejour avec vidéoprojecteur derrière un écran »).

Dans la mesure où l'ombre numérique est générée à partir d'une silhouette et non d'une ombre portée infrarouge, les éventuelles déformations de perspective créées par une ombre portée naturelle ne sont pas prises en compte par une telle méthode. Cette imprécision est particulièrement sensible si la direction de projection de la lumière virtuelle est très différente de la direction de capture par la caméra (par exemple une capture de silhouette de face et une ombre portée virtuelle de profil).

3. Éclairage en contrejour avec vidéoprojecteur derrière un écran

L'installation utilise un écran translucide pour la rétro-projection avec un bain de lumière infrarouge fort et homogène sur ce même écran. Le vidéo-projecteur et les projecteurs infrarouges sont situés derrière l'écran. Ici, le performeur est éclairé en contrejour, il devient une masse sombre sur un fond éclairé. Il y a création d'une silhouette sans ombre infrarouge portée. L'espace du jeu se situe entre l'écran et la caméra.

Cette configuration offre également un autre espace de jeu exploitable : celui où l'acteur évolue derrière l'écran et engendre une ombre portée, dite « ombre chinoise », sur l'écran en masquant la projection infrarouge et éventuellement le vidéo-projecteur.

L'utilisation du seuillage comme méthode d'extraction du corps en mouvement est mieux adaptée que la méthode de soustraction de fond. La faible robustesse de ce traitement (cf. chap. 2) est alors compensée par la mise en place d'une installation scénique adéquate. Le montage technique des lumières infra-rouge situées derrière l'écran et projetant en direction de l'écran doit être bien affiné pour obtenir un éclairage infra-rouge suffisamment puissant et homogène (ex : plusieurs projecteurs munis de gélatines).

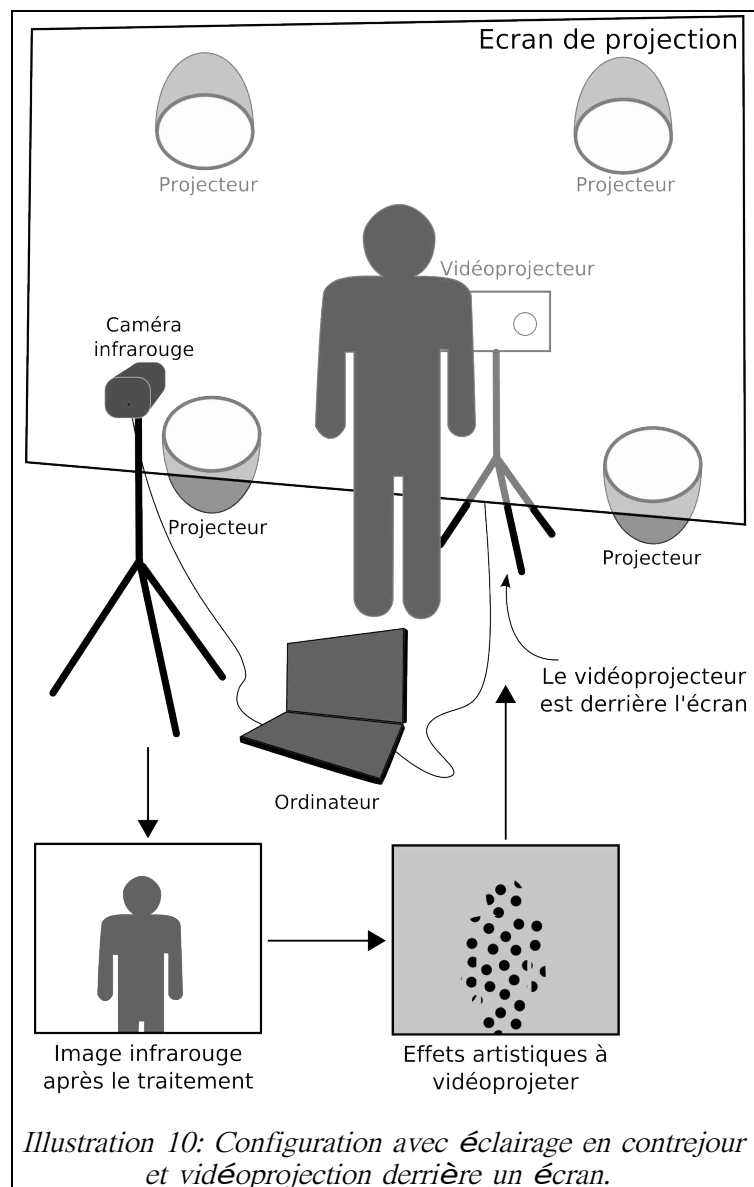


Illustration 10: Configuration avec éclairage en contrejour et vidéoprojection derrière un écran.

En raison du rétro-éclairage homogène infrarouge à l'arrière de l'écran, le performeur peut se placer à proximité de l'écran sans que sa silhouette soit détériorée par l'éclairage (cf. configuration 2). Puisque le performeur ne se place pas entre le vidéoprojecteur et la surface de projection, le problème de l'ombre causée par la vidéoprojection est résolu. En revanche, on ne peut rien projeter sur le performeur.

De même que dans la configuration précédente, dans la mesure où l'ombre numérique est générée à partir d'une silhouette et non d'une ombre portée infrarouge, les éventuelles déformations de perspective créées naturellement par l'environnement réel ne sont pas prises en compte.

IV. Différentes configurations de la projection au sol avec l'ombre et le performeur

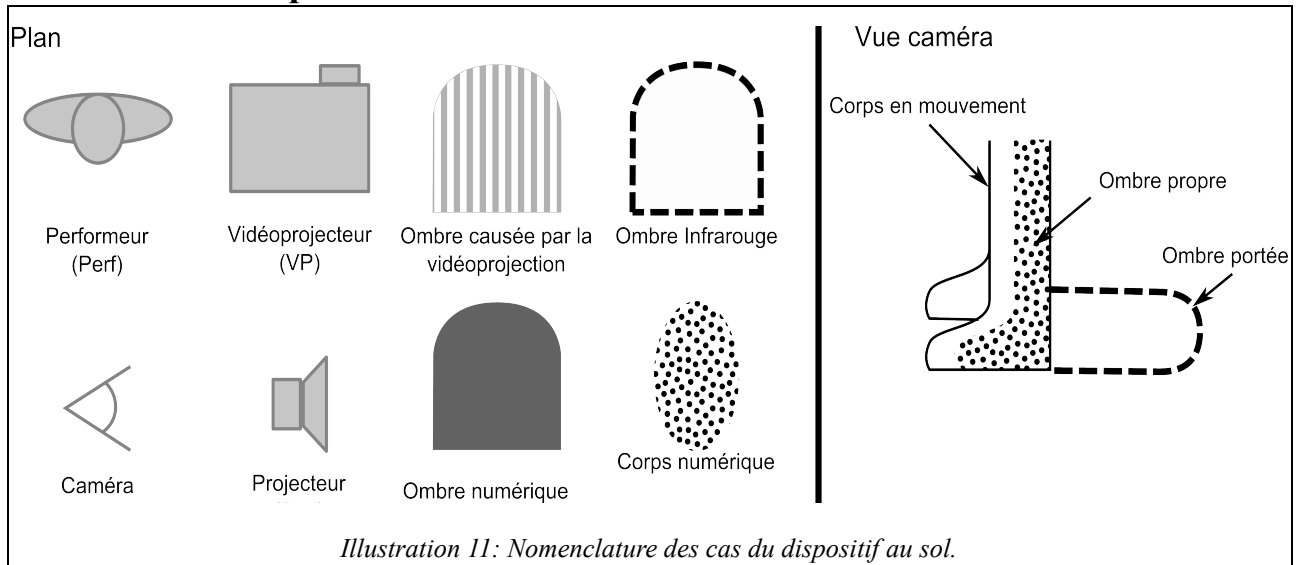
La liste des configurations suivantes est exhaustive à une symétrie près ayant pour axe l'alignement entre le performeur et le vidéoprojecteur (si la caméra a la même position relative par rapport au projecteur, que ces deux éléments soient à gauche du performeur ou à sa droite, le résultat est identique à une symétrie près). Deux cas de figures ont été systématiquement étudiés : le premier consiste à essayer de superposer l'ombre numérique (obtenue par traitement de l'image caméra) sur l'ombre infrarouge (ombre IR). Le second consiste à essayer de superposer l'ombre numérique sur l'ombre du performeur dans la lumière du vidéoprojecteur (qu'on appellera « ombre causée par le VP » ou encore ombre VP). Malgré le phénomène d'occultation qui empêche logiquement de voir la vidéoprojection de l'ombre numérique, cette possibilité devient intéressante lorsqu'on souhaite précisément augmenter la seule ombre réelle de la configuration (l'ombre IR est en effet invisible à l'oeil nu, seule l'ombre causée par occultation de la lumière du VP est visible par le performeur, parallèlement à l'ombre numérique que l'on cherche à produire). Cette augmentation peut se réaliser de plusieurs manières, notamment en utilisant un gel de l'image, un délai sur l'image, ou bien une distorsion sur les bords de l'ombre causée par le VP (il y a bien sûr d'autres possibilités d'augmentation).

Nous avons ainsi distingué à chaque fois deux sous cas dans les neuf configurations relevées:

- **Sous cas A** : superposition ombre IR (il s'agit du premier cas décrit ci-dessus).
- **Sous cas B** : superposition ombre VP (il s'agit du second cas de superposition sur l'ombre résultant de l'occultation du performeur dans la lumière du vidéoprojecteur).

On suppose que les calibrations de la caméra et du vidéoprojecteur sont réalisées dans chaque cas (cf. Manuel d'utilisation chapitre III, 2, b) et on ne le précisera pas dans les descriptions.

La nomenclature pour les schémas ci-dessous :



Remarques importantes : On appelle donc ombre numérique la transformation par effet numérique de l'ombre infrarouge portée filmée par la caméra. Et on appelle corps numérique la présence résiduelle, dans la transformation par effet numérique, du corps du performeur éclairé par les infrarouges, comprenant partiellement de l'ombre propre.

Dans plusieurs cas, du fait de la position des éléments du dispositif, nous soulignerons l'imbrication particulièrement forte dans la vue caméra du corps en mouvement éclairé par l'infrarouge, de l'ombre propre et de l'ombre portée infrarouge, ce qui conduit, après effet numérique, à une imbrication du corps numérique et de l'ombre numérique.

Pour comprendre la relation entre le plan du dispositif et la vue caméra, il faut imaginer que l'ombre infrarouge signalée en pointillés dans le plan se retrouve captée par la caméra en pointillé dans la Vue caméra, puis transformée après traitement numérique en ombre numérique vidéoprojetée et signalée en gris foncé dans le plan. Cette ombre numérique est manipulable et peut donc être superposée dans le plan soit à l'ombre infrarouge (signalée en pointillée) ou soit à l'ombre causée par la vidéoprojection (signalée en rayure de gris).

Par ailleurs, pour des commodités de représentation, nous avons dessiné intégralement l'ombre numérique même lorsque cette ombre n'est pas projetable à cause du phénomène d'occultation de la lumière du VP par le performeur (cf. illustrations cas 2B, 3, 4, 5 et 9B). Il faut imaginer que l'ombre numérique devient visible lorsqu'elle est gelée et que le performeur se déplace, ou encore si l'ombre numérique a un délai par rapport aux mouvements du performeur, etc.

- **CAS 1**

Positionnement : CAM alignée avec le VP, Proj sur le côté.

Remarque : imbrication de l'ombre portée IR et du corps en mouvement éclairé par IR.

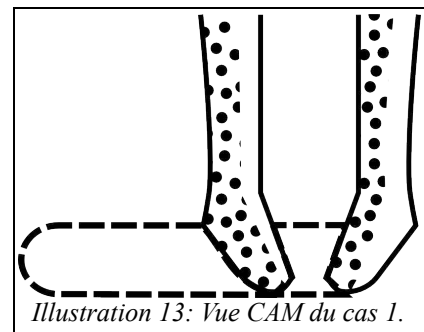
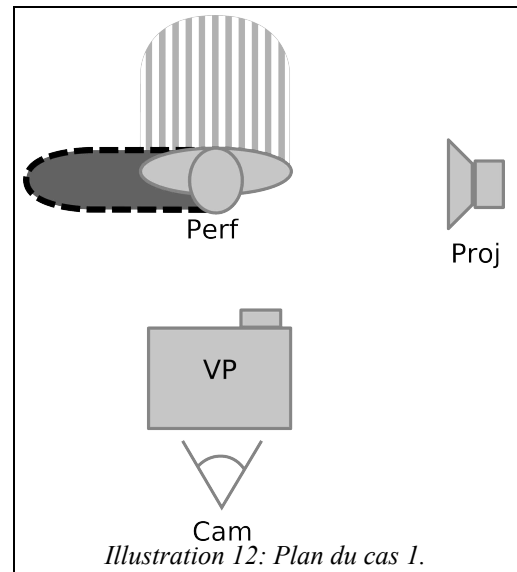
1A : superposition IR

Correction vue CAM : légère homothétie liée à la position réciproque du VP et de la CAM.

Superposition : parfaite.

Corps du Perf : corps numérique occultable partiellement car se diffuse sur le corps du Perf.

1B : superposition VP : impossibilité d'obtenir par transformation géométrique une superposition de l'ombre numérique avec l'ombre causée par le VP.



• **CAS 2**

Positionnement : CAM alignée avec le VP, Proj en face, CAM voit la lumière en contrejour.

Remarques : CAM ne doit pas voir le Proj car sinon l'image capturée risque une saturation lumineuse.

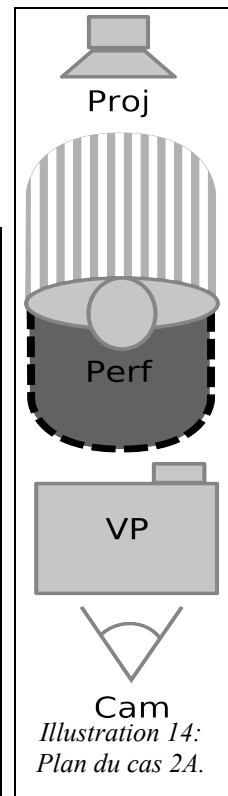
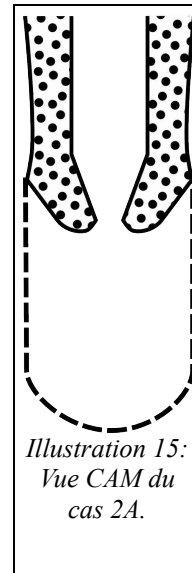
Imbrication de l'ombre portée IR et du corps en mouvement éclairé par IR.

2A : superposition IR

Correction vue CAM : légère homothétie liée à la position réciproque du VP et de la CAM.

Superposition : parfaite.

Corps du Perf : le corps numérique est occulté partiellement par le corps du Perf.

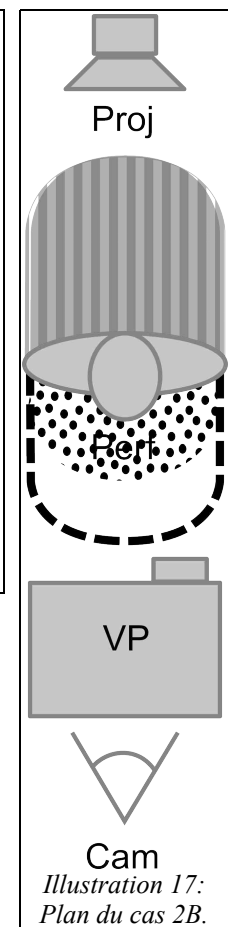
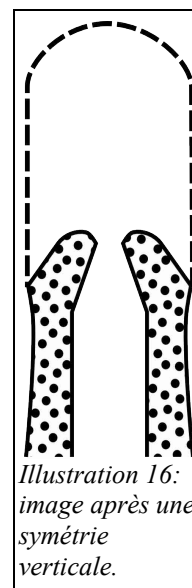


2B : superposition VP

Correction vue CAM : légère homothétie liée à la position réciproque du VP et de la CAM et symétrie verticale.

Superposition : parfaite si le Perf reste sur l'axe latéral de la surface de vidéoprojection.

Corps du Perf : corps numérique présent au sol au sud de la surface de projection.



- **CAS 3**

Positionnement : CAM , VP et Proj sont alignés.

Remarques : Selon les positions réciproques de CAM, VP et Proj, on peut obtenir une ombre infrarouge qui est plus grande que l'ombre causée par le VP.

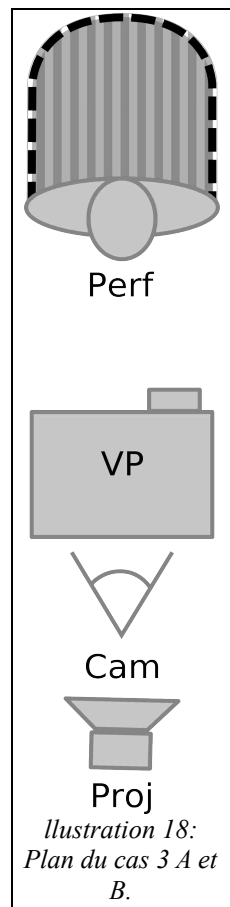
Il est aussi envisageable d'utiliser le corps numérique pour le transformer en ombre numérique par une opération « invert » (qui transforme les pixels noirs de l'image binaire en blancs et blancs en noirs) à condition que le Perf ne se déplace que sur l'axe latéral par rapport à la surface de projection (cf. illustration 19).

3A et B confondus: superposition IR et VP

Correction vue CAM : légères homothéties liées aux positions réciproques de CAM, VP et Proj si on utilise l'ombre numérique (homothétie plus importante si on utilise la transformation du corps numérique en ombre numérique).

Superposition : parfaite pour les déplacements le long de l'axe latéral par rapport à la surface de projection.

Corps du Perf : occultation totale du corps numérique par le corps du Perf..



*Illustration 18:
Plan du cas 3 A et B.*

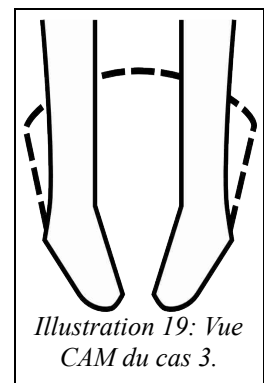


Illustration 19: Vue CAM du cas 3.

• **CAS 4**

Positionnement : VP aligné avec Proj, CAM sur le côté.

Remarques : Selon les positions réciproques de VP et Proj, on peut obtenir une ombre infrarouge qui est plus grande que l'ombre causée par le VP (rappel : malgré la quasi superposition de l'ombre IR et de l'ombre causée par le VP, il est intéressant de pouvoir augmenter l'ombre causée par le VP avec l'ombre numérique gelée ou en décalage spatial ou temporel).

Imbrication de l'ombre portée IR et du corps en mouvement éclairé par IR.

4A et B confondus : superposition IR et VP

Correction vue CAM : homothétie et rotation 90° de l'image.

Superposition : Parfaite, si l'on ne prend pas en compte l'occultation.

Corps du Perf : impossible d'occulter le corps numérique situé à l'ouest de la surface de projection sinon en utilisant des contraintes de parcours physiques dans l'espace et en n'utilisant qu'une partie de l'image caméra.

Remarque : on pourrait projeter l'ombre numérique en réalisant comme correction supplémentaire une symétrie horizontale. Cela permettrait au Perf de jouer avec son ombre numérique en tournant le dos à son ombre causée par le VP. Dans ce cas, l'ombre numérique correspond à une symétrie parfaite de l'ombre IR.

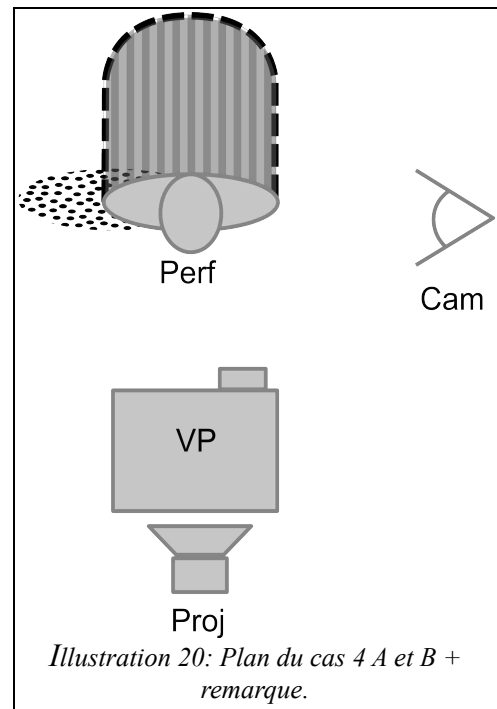


Illustration 20: Plan du cas 4 A et B + remarque.

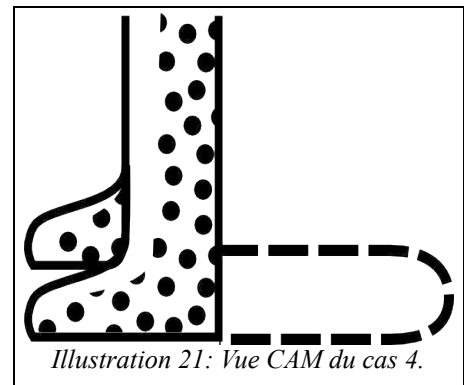


Illustration 21: Vue CAM du cas 4.

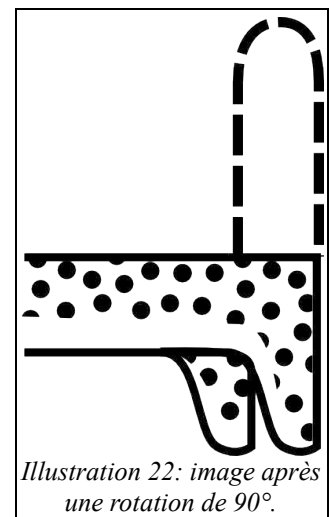


Illustration 22: image après une rotation de 90°.

• **CAS 5**

Positionnement : VP et Proj sont alignés du même côté, et CAM alignée à l'opposé.

Remarques : CAM ne doit pas voir le Proj car sinon l'image capturée risque une saturation lumineuse.

Selon les positions réciproques de VP et Proj, on peut obtenir une ombre infrarouge qui est plus grande que l'ombre causée par le VP (possibilité d'un jeu d'augmentation de l'ombre causée par le VP malgré le phénomène d'occultation de la lumière VP).

Imbrication de l'ombre portée IR et du corps en mouvement éclairé par IR.

5A et B confondus : superposition IR et VP

Correction vue CAM : légère homothétie et symétrie verticale et horizontale

Superposition : parfaite si l'on ne prend pas en compte l'occultation.

Corps du Perf : impossible d'occulter le corps numérique situé au sud de la surface de projection sinon en utilisant des contraintes de parcours physiques dans l'espace et en n'utilisant qu'une partie de l'image caméra. Cependant si le Perf joue avec son ombre (qui correspond à l'ombre VP et IR), il tourne le dos au corps numérique.

Remarques : on pourrait projeter l'ombre numérique en enlevant la symétrie horizontale. Cela permettrait au Perf de jouer avec son ombre numérique en tournant le dos à son ombre causée par le VP. Dans ce cas, l'ombre numérique correspond parfaitement à l'ombre IR, et à l'ombre causée par le VP (cf. illustration 26).

Le corps numérique est en grande partie occulté par le corps du Perf.

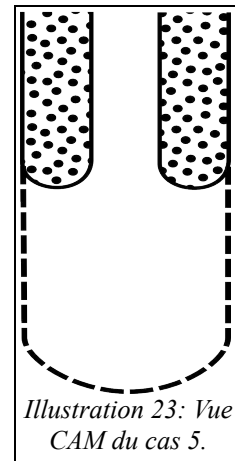


Illustration 23: Vue CAM du cas 5.

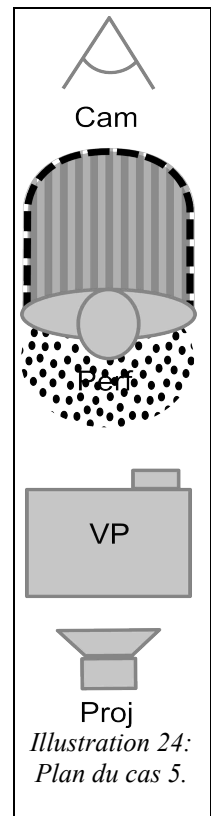


Illustration 24: Plan du cas 5.

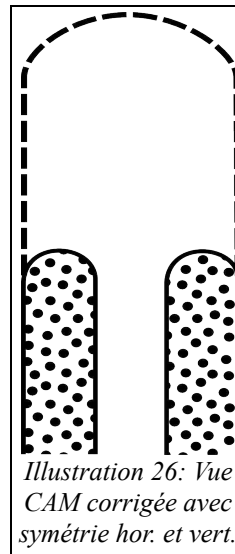


Illustration 26: Vue CAM corrigée avec symétrie hor. et vert.

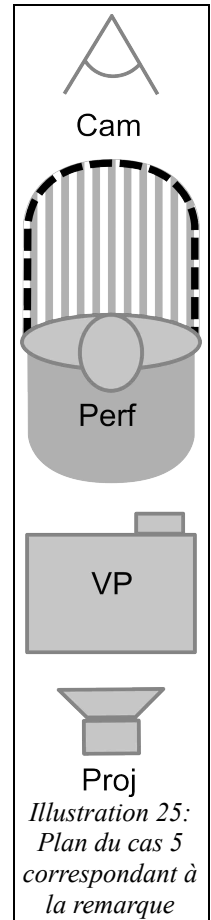


Illustration 25: Plan du cas 5 correspondant à la remarque

- **CAS 6**

Positionnement : CAM alignée avec Proj sur le côté.

Remarque : L'ombre IR est occultée par le corps du Perf et la caméra ne peut pas la voir. En revanche, il est possible de transformer le corps numérique en ombre numérique par une opération « invert » (qui transforme les pixels noirs de l'image binaire en blancs et blancs en noirs), une homothétie et une rotation, et l'utilisation du contour et de l'extérieur de l'ombre numérique.

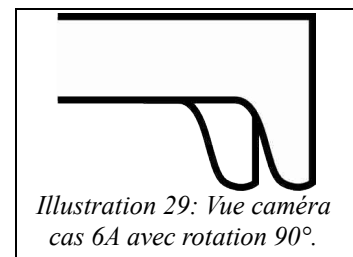
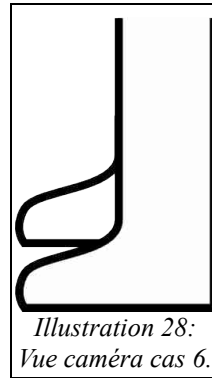
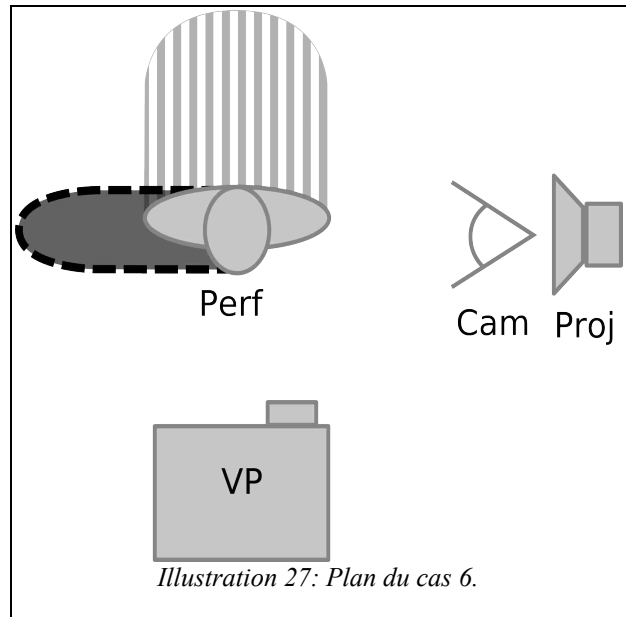
6A : superposition IR

Correction vue CAM : homothétie et rotation de 90°.

Superposition: possibilité de superposer l'image du corps éclairée à l'ombre IR.

Corps du Perf : le corps numérique n'apparaît pas car il est transformé en ombre numérique.

6B : superposition VP : impossibilité d'obtenir par transformation géométrique une superposition de l'ombre numérique avec l'ombre causée par le VP.



- **CAS 7**

Positionnement : CAM opposée au Proj sur le côté.

Remarque : Imbrication de l'ombre portée IR et du corps en mouvement éclairé par IR.

7A : superposition IR

Correction vue CAM : homothétie et rotation -90° .

Superposition : parfaite entre l'ombre IR et l'ombre numérique après calibrations, impossibilité de superposer entre corps éclairé et son image.

Corps du Perf : impossible d'occulter le corps numérique qui se trouve à l'est de la surface de projection.

Remarques : image du corps éclairé est projetée à l'est de la surface de projection. **C'est le cas le plus utilisé lors des expérimentations en laboratoire.**

7B : superposition VP : impossibilité d'obtenir par transformation géométrique une superposition de l'ombre numérique avec l'ombre causée par le VP.

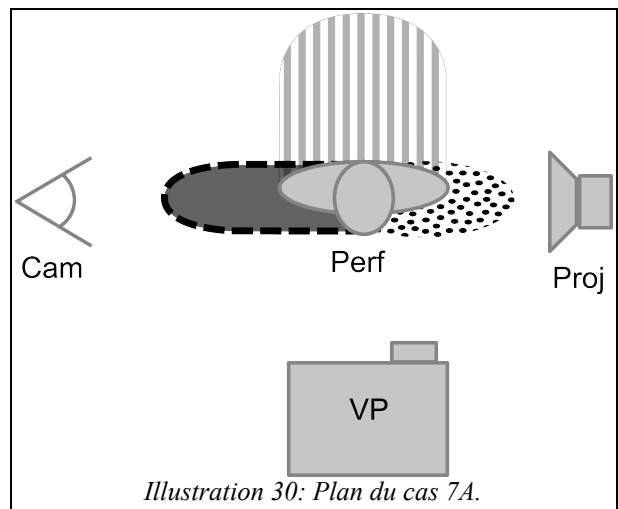


Illustration 30: Plan du cas 7A.

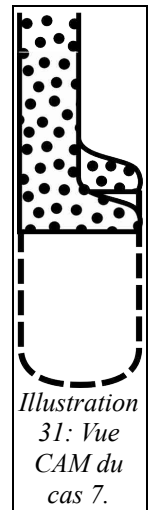


Illustration 31: Vue CAM du cas 7.

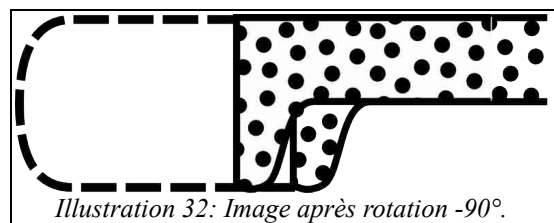


Illustration 32: Image après rotation -90° .

- **CAS 8**

Positionnement : VP à l'opposé de la CAM et le Proj sur le côté.

Remarque : Imbrication de l'ombre portée IR et du corps en mouvement éclairé par IR.

8A : superposition IR

Correction vue CAM : homothétie, symétrie horizontale et verticale.

Superposition : parfaite.

Corps du Perf : impossible d'occulter le corps numérique qui se trouve au sud de la surface de projection.

8B : superposition VP : impossibilité d'obtenir par transformation géométrique une superposition de l'ombre numérique avec l'ombre causée par le VP.

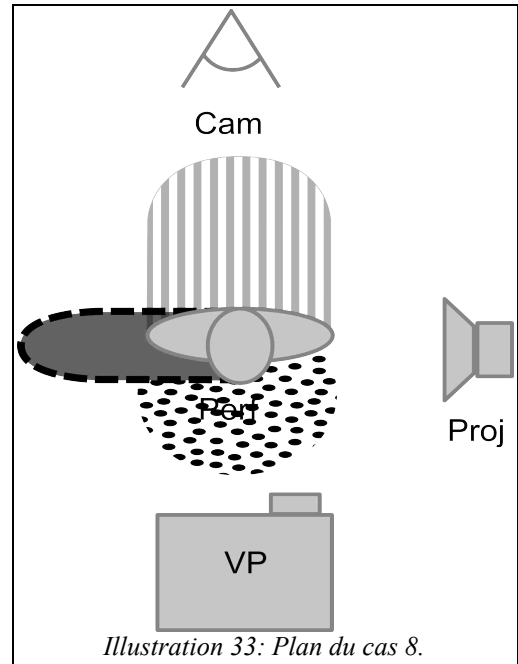


Illustration 33: Plan du cas 8.

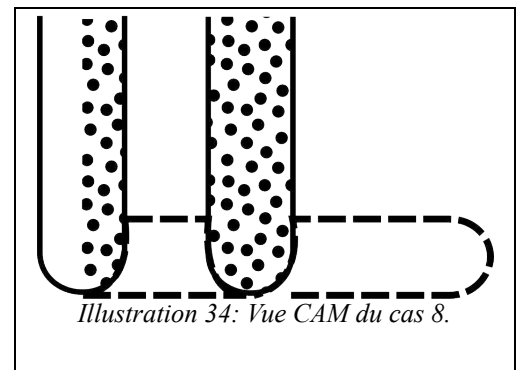


Illustration 34: Vue CAM du cas 8.

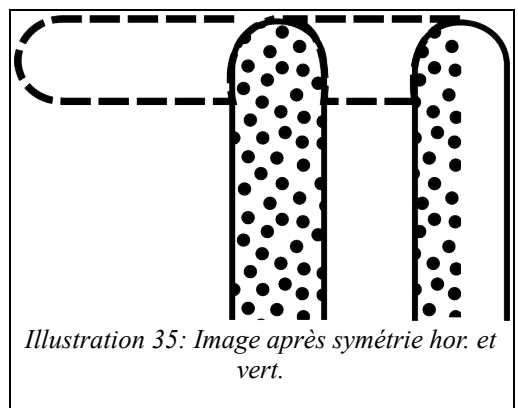


Illustration 35: Image après symétrie hor. et vert.

• **CAS 9**

Positionnement : VP à l'opposé du Proj et la CAM sur le côté.

Remarque : Imbrication de l'ombre IR et du corps éclairé par IR.

9A : superposition IR

Correction vue CAM : homothétie et rotation 90°.

Superposition : parfaite.

Corps du Perf : impossible d'occulter le corps numérique qui se trouve à l'ouest de la surface de projection.

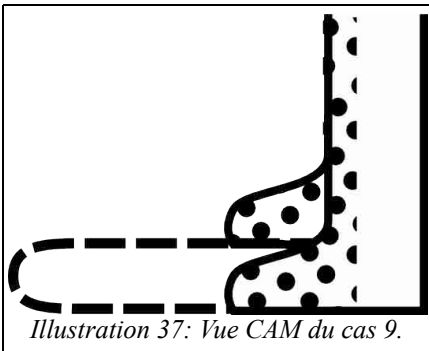


Illustration 37: Vue CAM du cas 9.

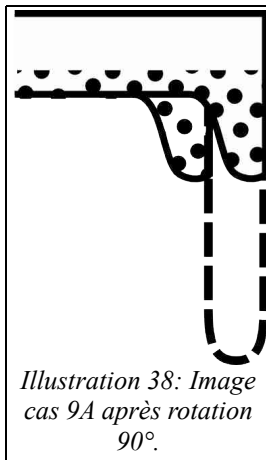


Illustration 38: Image cas 9A après rotation 90°.

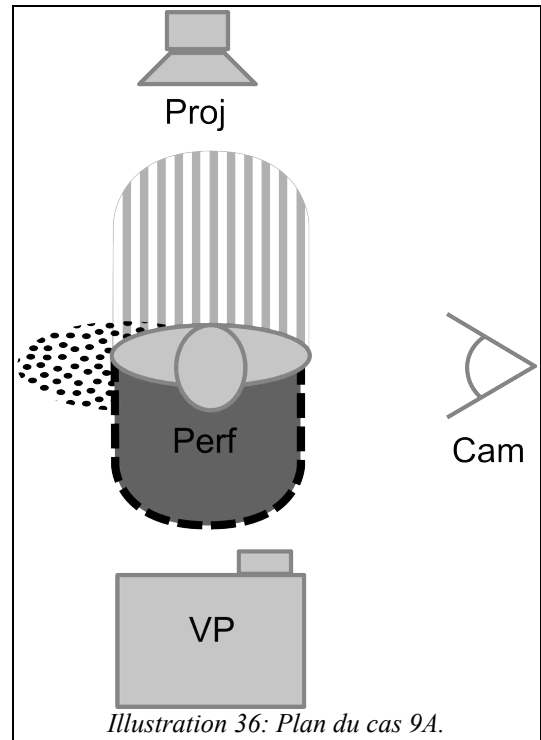


Illustration 36: Plan du cas 9A.

9B : superposition VP

Correction vue CAM : homothétie, rotation 90° et symétrie verticale.

Superposition : parfaite, si l'on ne tient pas compte de l'occultation.

Corps du Perf : impossible d'occulter le corps numérique qui se trouve à l'ouest de la surface de projection.

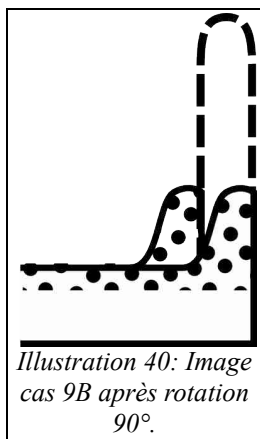


Illustration 40: Image cas 9B après rotation 90°.

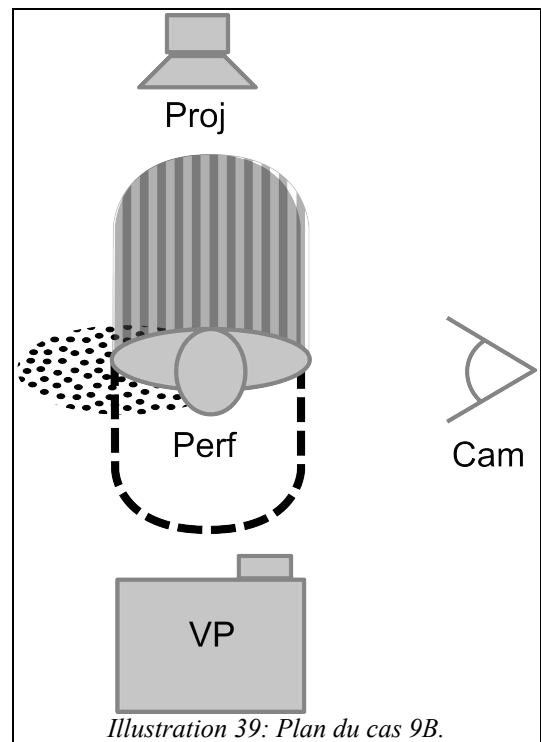


Illustration 39: Plan du cas 9B.