# ATELIER 7
# Les traumatismes pénétrants

## TABLE DES MATIERES


*1. ÉPIDEMIOLOGIE ..... 2*

*2. DYNAMIQUE ET INTERACTIONS ..... 3*

*3. MECANISME DES TRAUMATISMES PAR ARMES BLANCHES ET EQUIVALENTS ..... 4*

*4. NOTIONS DE BALISTIQUE ..... 5*

**4.1. Balistique interne ..... 5**

**4.2. Balistique externe ..... 5**

**4.3. Balistique lésionnelle ..... 6**

*5. REGULATION MEDICALE ..... 10*

*6. PRISE EN CHARGE PREHOSPITALIERE ..... 12*

**6.1. M - Massive bleeding control (Hémostase) ..... 13**

**6.2. A – Airway (Voies aériennes) ..... 14**

**6.3. R – Respiration ..... 15**

**C - Circulation / Choc ..... 17**

**6.4. H - Head / Hypothermia ..... 18**

**6.5. E - Evacuation ..... 18**

**6.6. Point-clés ..... 19**

*7. PRISE EN CHARGE INTRA-HOSPITALIERE ..... 20*

**7.1. Accueil et bilan initial ..... 20**

**7.2. Poursuite du damage control resuscitation ..... 21**

**7.3. Les situations cliniques en SAUV ..... 22**

7.3.1. Le blessé in extremis ..... 22

7.3.2. Le blessé instable ..... 23

7.3.3. Le blessé stable ou stabilisé ..... 23

*8. REFERENCES ..... 24*

## 1. ÉPIDEMIOLOGIE

Le traumatisme pénétrant s'oppose au traumatisme fermé ou contondant. Il est causé par un agent vulnérant qui traverse le revêtement cutané et atteint les structures anatomiques sous-jacentes. Les traumatismes pénétrants représentent une part croissante de la charge mondiale des traumatismes, qui restent la 6ème cause de mortalité dans le monde avec un fardeau concentré dans les pays à revenu faible et intermédiaire [1]. Globalement, la mortalité par arme à feu domine largement celle par arme blanche : environ 250 000 décès par arme à feu en 2016 dans le monde (contre 210 000 en 1990) avec une prédominance masculine et un pic chez les 20-24 ans [2]. Les plaies par arme blanche sont beaucoup plus fréquentes en incidence mais nettement moins létales [3]. La répartition étiologique mondiale en 2016 était pour 64% des homicides, pour 27% des suicides et pour 9 % des décès non intentionnels [2]. Six pays (Brésil, États-Unis, Mexique, Colombie, Venezuela, Guatemala) totalisaient à eux seuls plus de 50 % des décès alors qu'ils représentaient moins de 10 % de la population mondiale. Les taux de mortalité nationaux varient de 0,1/100 000 habitants (Singapour) à 39,2/100 000 habitants (Salvador) [2]. La marginalisation du quartier (privation matérielle, instabilité du logement) est associée à un risque accru de blessure par arme blanche [4]. Les cibles anatomiques varient selon le contexte : thorax et abdomen dans les séries de « knife crime » urbain (≈ 2/3 des plaies), tandis que les jeunes de moins de 25 ans présentent une proportion croissante de plaies des membres et des jonctions [5,6]. La gravité balistique augmente avec le temps, de manière concomitante à un usage croissant d'armes de gros calibre et de haute vélocité, associant une augmentation de la sévérité des lésions et de la durée d'hospitalisation [7].

En Europe occidentale, le traumatisme pénétrant reste minoritaire par rapport aux traumatismes contondants. En France, en 2024, l'INSERM retrouvait environ 45 000 décès secondaires à un processus traumatique dont 9 400 (20 %) secondaires à un traumatisme pénétrant (8 900 suicides ou blessures auto-infligées) et 500 homicides. Il n'existe à ce jour en France, qu'une étude marseillaise ayant évalué le nombre de blessures par traumatisme pénétrant régulées par le centre 15 et ayant abouti à l'envoi d'un moyen de secours sur une période de 6 ans permettant d'avoir un reflet plus précis de l'épidémiologie réelle de ces traumatismes. On retrouvait 70 % de traumatismes par arme blanche avec une mortalité globale de 14 %, très majoritairement extrahospitalière (3 cas sur 4)[8]. Une étude nationale issue des données de la Traumabase retrouvait une

mortalité globale des patients victimes d'un traumatisme pénétrants et admis vivants dans un trauma center de niveau 1 français de l'ordre de 9 %[9].

## 2. DYNAMIQUE ET INTERACTIONS

L'énergie cinétique (E) d'un objet (que ce soit une arme blanche ou une munition) suit la formule $E = ½MV^2$, où la vitesse (V) pèse davantage que la masse (M) puisqu'elle est au carré. Cette énergie se transfère dès qu'une force de décélération s'exerce sur l'objet en mouvement, ce qui est le cas de la force de résistance exercée par les tissus contre le mouvement du projectile. Un projectile qui s'arrête dans le corps y a donc cédé toute son énergie. La façon dont cette énergie se traduit en dommages dépend de trois facteurs conjugués : la quantité d'énergie transférée, la vitesse à laquelle ce transfert s'opère, et surtout la surface d'impact sur laquelle il se répartit. Plus cette surface est petite, plus les forces sont concentrées, plus elle est grande, plus elles se dispersent. Ces forces, multidirectionnelles, sollicitent le tissu selon des axes variés, et la réponse tissulaire dépend de son élasticité, c'est-à-dire de sa capacité à retrouver sa forme initiale, elle-même fonction de sa densité. La formule $E = ½MV^2$ reste insuffisante pour rendre compte de l'interaction réelle entre projectile et tissu [10] : elle ne capture ni les dégâts liés à la culbute éventuelle du projectile, ni ceux dus à la cavité temporaire, ni encore ceux causés par une possible fragmentation du projectile à l'intérieur du corps. Deux projectiles à énergie cinétique identique mais de masse et vitesse différentes produisent des lésions distinctes dans un même tissu [10]. Les essais balistiques expérimentaux sur gélatine démontrent que la profondeur de pénétration est habituellement moindre pour le projectile plus petit et plus rapide que pour le projectile plus lourd et plus lent [11]. Ce dernier provoque essentiellement l'écrasement et la rupture du matériau qu'il rencontre, tandis que la sphère plus légère et plus rapide dissipe l'essentiel de son énergie en projetant les tissus latéralement, ce qui aboutit à la formation de la cavité temporaire (phénomène de cavitation) [12].

## 3. MECANISME DES TRAUMATISMES PAR ARMES BLANCHES ET EQUIVALENTS

L'arme blanche (AB) est un objet perforant, tranchant ou perforant et tranchant employant dans l'immense majorité des cas la force humaine [13]. Il s'agit de traumatismes pénétrants à basse énergie en général de moindre profondeur que les armes à feu (AF) [14]. Tout organe présent sur le trajet lésionnel théorique de l'arme est susceptible d'être lésé. En effet, compte tenu des propriétés d'élasticité de la peau, la pointe de l'arme peut atteindre des organes se situant au-delà de la longueur effective de celle-ci (phénomène de recul). C'est sur la pointe ou le tranchant de l'arme qu'est concentrée l'énergie. Le bilan lésionnel du traumatisme pénétrant dépend du type d'arme utilisée (arme perforante, tranchante, perforante et tranchante), de sa surface d'impact, de la force transmise à l'arme et enfin de la densité et de l'élasticité des tissus atteints. L'orifice d'entrée de l'arme ne permet pas de prévoir ni son trajet ni l'étendue des lésions, car le tunnel lésionnel sera élargi si un mouvement y a été associé. Il est donc primordial d'explorer systématiquement toute plaie par AB (qu'elle soit due à un tournevis, une fourchette, ou des ciseaux...) car le point d'entrée ne présage en rien de l'atteinte lésionnelle sous-jacente. L'agression par AB à lame fine et étroite, du type dague, peut rendre le point d'entrée difficilement repérable lors de l'examen clinique initial qui doit donc être minutieux. La présence d'une ecchymose entourant la blessure signe que l'arme a été enfoncée jusqu'à la garde. Lorsque l'objet vulnérant est encore en place au moment de l'examen initial, il est absolument nécessaire de ne pas le retirer, sa mobilisation risquant de décompenser une situation hémorragique. Le retrait de l'arme sera effectué au bloc opératoire. De manière anecdotique, il se peut que le manche de l'arme se soit cassé et que la notion même d'une agression par AB puisse échapper à l'équipe médicale qui effectue la prise en charge, d'où l'intérêt d'un bilan d'imagerie au moindre doute. Dans un mécanisme accidentel d'empalement lors d'une chute ou d'un accident de la voie publique, l'énergie cinétique peut être importante et des lésions de décélération peuvent se conjuguer avec les lésions provoquées par la pénétration de l'objet. Lors d'un encornement tel qu'il peut être décrit en tauromachie, les lésions sont consécutives au trajet, mais sont également liées aux pressions sur les éléments anatomiques le long de ce trajet, à la suite des mouvements de l'animal.

## 4. NOTIONS DE BALISTIQUE

La trajectoire d'une balle provenant d'une arme à feu, depuis son point de départ dans le canon jusqu'à son mouvement dans le corps peut être décrite en appliquant les principes de la balistique interne, externe et terminale également appelée lésionnelle.

### 4.1. Balistique interne

La balistique interne décrit le trajet parcouru par le projectile à l'intérieur de l'arme, de la culasse à la bouche du canon. Elle est influencée par des facteurs liés à la munition (type de poudre, amorce…) et au canon de l'arme (chambre, rayures, longueur…). Les balles sont principalement composées de plomb en raison de sa densité et de sa masse élevée, bien qu'au-delà de 610 m/s la température élevée du canon puisse les déformer. Pour limiter cette déformation d'origine thermique, les balles sont couramment fabriquées en alliages de plomb ou chemisées de cuivre.

### 4.2. Balistique externe

Le trajet parcouru par la balle entre la sortie de l'arme et le contact avec la cible est décrit par la balistique externe. Le type de balle, l'étui, la longueur et le calibre (diamètre) sont des éléments centraux qui influencent la balistique externe. La rotation induite par les rayures du canon, qui améliore la stabilité en vol et la précision, ainsi que des forces externes telles que la gravité et la traînée, définie comme la force de résistance qu'exerce un milieu (air ou tissu) contre le déplacement d'un projectile, agissent également sur la trajectoire projectilaire. La distance entre l'arme et sa cible, joue un rôle important dans le potentiel lésionnel. Les armes à haute vélocité conservent une part importante de leur énergie cinétique à courte distance, tandis que les projectiles à faible vélocité perdent rapidement une énergie substantielle. Cependant, à courte distance, les projectiles à haute comme à faible vélocité peuvent conserver un pourcentage élevé de leur énergie cinétique. Une balle idéale, aérodynamique, subit un angle de déviation de l'axe longitudinal du projectile par rapport à sa ligne de trajectoire, dénommé « lacet », un basculement et un roulis minimes et présente un faible coefficient de traînée, ce qui aplatit la trajectoire et maximise l'énergie cinétique conservée au

contact de la cible. L'augmentation du lacet et la présence de basculement (perte complète de la stabilité gyroscopique) accroissent tous deux la traînée exercée sur la balle et diminuent son énergie cinétique.

### 4.3. Balistique lésionnelle

La balistique lésionnelle est une science visant à décrire les mécanismes des traumatismes par AF, encore très discutée par de nombreux points de vue d'experts divergents. Les AF sont responsables de lésions projectilaires dont le bilan lésionnel dépend de l'interaction entre la munition et les structures anatomiques rencontrées. Deux composantes fondamentales des dommages tissulaires ont été identifiées dans les plaies par balle : le canal lésionnel permanent, qui correspond à la zone de destruction tissulaire manifeste due au passage de la balle, et la cavité temporaire, qui se forme dans le sillage de la balle au cours même du processus lésionnel, invisible à l'œil nu. La cavité créée par ce phénomène implique un déplacement tissulaire massif et sa taille atteint plusieurs fois le diamètre du projectile, en quelques millisecondes après que celui-ci a quitté le corps [15,16]. La cavité s'effondre ensuite en une implosion violente, démontrant ainsi à la fois son caractère temporaire et la nature hautement dynamique de ce phénomène. Le degré de dommage tissulaire dû à la cavitation dépend du type et des propriétés des tissus perforés par la balle. Les organes parenchymateux pleins et inélastiques, tels que le foie, subissent une rupture sur toute l'étendue de la cavité temporaire, tandis que le muscle squelettique, du fait de son élasticité, serait le siège d'une lésion majoritairement réversible liée au mécanisme d'étirement [12]. Une lésion indirecte des organes internes situés à plusieurs centimètres du trajet du projectile peut survenir par un effet blast du fait des ondes de pression associées à la cavitation [17,18].

Une munition est fabriquée pour avoir un comportement précis en parties molles. On distingue [14]:

- **Les munitions conçues pour avoir un phénomène de bascule** que l'on observe avec les armes d'épaule qui tirent des balles blindées autrement appelées « full metal jacket ». Après un bref trajet rectiligne, appelé « neck », la balle se met de travers en provoquant une volumineuse cavité temporaire par refoulement (liée à l'étirement des tissus traversés). Elle se ré-axe ensuite,

poursuivant son tunnel d'attrition permanent, de diamètre plus petit, correspondant à la zone de tissus détruits (*figures 1 A et B*). Certaines de ces munitions comme celles de l'AK 47 ou de son successeur l'AK 74, basculent à deux reprises, phénomène cependant relativement rare car le projectile est souvent déjà ressorti du corps avant de rebasculer. En général, les plaies de sortie sont plus grandes et de forme plus irrégulière que les plaies d'entrée correspondantes, en particulier si le projectile se déplace à grande vitesse, subit une déformation, ou bascule et se déplace hors de son axe longitudinal. La détermination des sites de sortie peut être compliquée si les balles se fragmentent ou ricochent sur un matériau dense, comme l'os.

- **Les munitions qui ne basculent pas**, trop lentes et/ou trop lourdes, créent un trajet rectiligne, tel un coup d'épée (calibre 22 en plomb durci) (*figure 1 C*).

- **Les munitions conçues pour s'écraser dès l'impact**, par effet de champignonnage, provoquent une cavité temporaire immédiate et un tunnel d'attrition plus large, mais au prix d'une pénétration bien moindre (effet recherché pour les balles des forces de l'ordre dites « anti-bavures ») (*figure 1 D*). L'effet de champignonnage est provoqué par le ramollissement de la pointe de la balle, soit en la déchemisant, soit en faisant un trou à son extrémité (projectile « hollow point »). Ces munitions visent à maximiser les dommages tissulaires en augmentant la quantité et la vitesse du transfert d'énergie ainsi que la surface de répartition de celle-ci

- **Les munitions qui sont conçues pour un effet de fragmentation** : ce sont les balles des carabines de chasse ou des petites munitions de guerre, à haute vélocité. Cet effet de fragmentation est provoqué par un petit noyau d'acier (« core »), inclus dans la balle, qui provoque une désagrégation de celle-ci, en profondeur, après une pénétration de 9 à 12 cm où se situent fréquemment les gros vaisseaux (calibre 5.56 du bloc OTAN tels que FAMAS, M16) (*figure 1 E*). L'effet destructeur de l'onde de choc de ces munitions qui a pu être décrit dans la littérature est faux.

- **Les munitions des fusils de chasse à canon lisse** (*figure 1 F*) sont soit de multiples plombs constituant collectivement la gerbe, soit un projectile unique (balle de type Brenneke). Les plombs sont répartis selon leur taille en deux grandes catégories : la grenaille (petit diamètre) et la chevrotine (plus gros diamètre). Au départ du coup, la dispersion des plombs « gerbe », prend une forme conique. La distance de tir entre la bouche du canon et la cible est le

principal déterminant de la morphologie de la plaie puisqu'elle influence non seulement le nombre de plombs atteignant la cible, mais aussi la densité de la gerbe. À courte distance (< 3 m), les plombs sont encore groupés et agissent comme un projectile unique, leur vélocité initiale demeurant pratiquement inchangée. À une telle distance, le fusil de chasse est une arme redoutable et la plaie qui en résulte comporte une destruction tissulaire massive. Aux distances croissantes comprises entre 1 et 3 m, les berges de la plaie apparaissent de plus en plus festonnées et irrégulières, traduisant la divergence progressive des plombs à la périphérie de la gerbe. En raison de la forme balistique défavorable des plombs, leur vélocité chute rapidement et, au-delà de 6 m, du fait de la perte d'énergie cinétique qui en résulte, ils tendent à ne provoquer que des dommages tissulaires limités.

Les blessures par arme à feu sont généralement classées selon la vélocité du projectile pénétrant [19], sur le principe que les projectiles à haute vélocité comme ceux des armes de guerre, habituellement définis comme dépassant 600 m/s, peuvent provoquer une destruction tissulaire bien plus importante en raison de l'ampleur de la cavité temporaire qu'ils produisent et, éventuellement, des lésions secondaires liées à la fragmentation de la balle. Les balles courantes d'armes de poing, sont des projectiles à basse vélocité, leur vitesse initiale à la sortie du canon avoisinant celle du son dans l'air (soit environ 340 m/s). Les lésions dues aux projectiles à basse vélocité sont responsables de dommages tissulaires directs par écrasement et lacération. Le rôle attribué à la vélocité du projectile comme facteur vulnérant le plus important se justifie théoriquement par sa contribution à l'énergie cinétique du projectile ($E = \frac{1}{2}MV^2$). Néanmoins, comme vu précédemment, une munition tirée par un fusil de chasse (arme à faible vélocité), à courte distance, produit une plaie de type haute vélocité du fait d'un transfert accru d'énergie aux tissus. Certains auteurs [11,20] préfèrent donc parler de projectile à haute ou basse « énergie » considérant cette classification plus utile pour décrire l'étendue et la nature des lésions tissulaires induites. Les plaies par balle à haute énergie se caractérisent par des dommages tissulaires s'étendant en périphérie du trajet lésionnel, du fait de la formation d'une cavité temporaire consécutive à la pénétration d'un projectile à haute vélocité. La taille de la cavité temporaire est directement liée à l'énergie du projectile transférée aux tissus. L'étirement des tissus provoqué par l'expansion de la cavité temporaire est responsable de la rupture étendue de petits vaisseaux sanguins. Un traumatisme endothélial étendu

affectant la microcirculation au-delà des limites des lésions tissulaires semble constituer un événement déterminant de la physiopathologie sous-jacente [16,21]. La cavité temporaire engendre également un puissant effet d'aspiration entraînant l'entrée de débris de l'environnement dans la plaie [22]. La plaie, comportant une grande quantité de tissu nécrosé et ischémique non viable contaminé par des corps étrangers, constitue la pathologie singulière de la blessure par arme à feu à haute énergie [23].

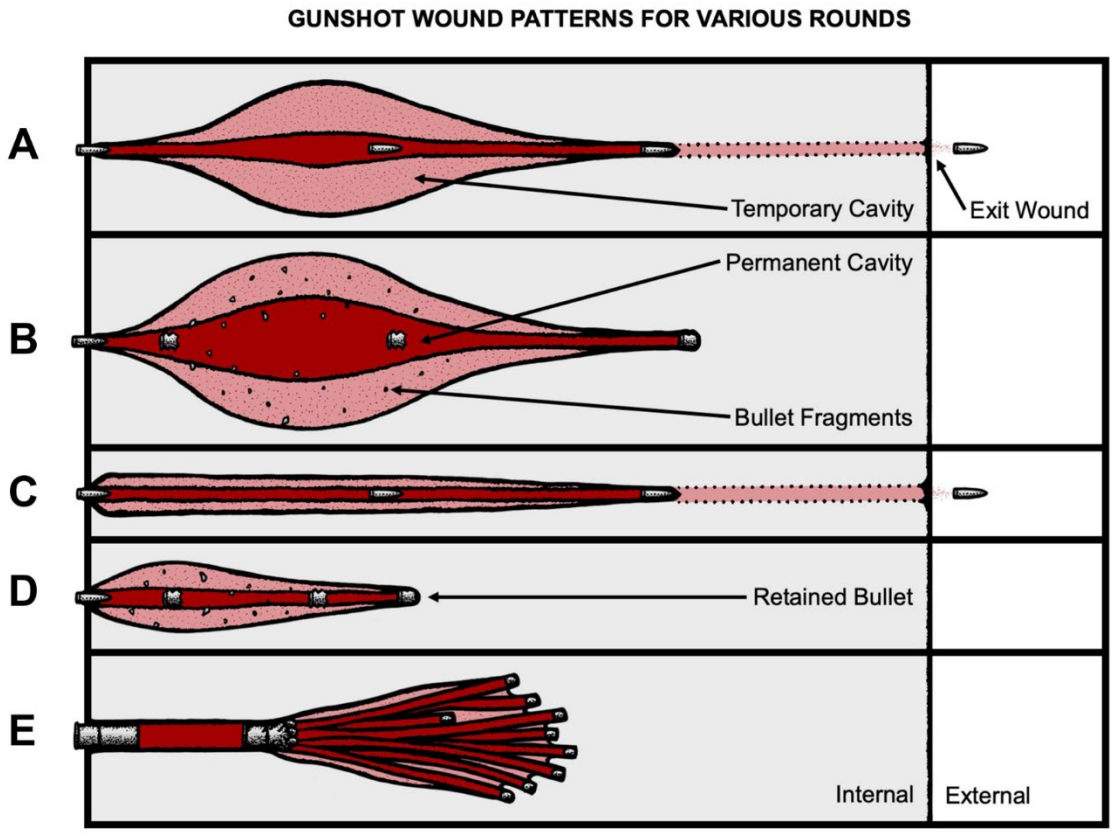


***Figure 1: Types de blessures par balle pour différents types de munitions***

*La cavité permanente et la cavité temporaire de chaque lésion sont représentées respectivement en rouge et en rose. Les projectiles non déformants (A et C) peuvent rester logés dans le corps ou en sortir. Quant aux projectiles déformants (B, D et E), bien qu'ils puissent sortir du corps, ils ont davantage tendance à y rester logés. (A) Blessure à haute énergie causée par un projectile non déformant. (B) Blessure à haute énergie causée par un projectile déformant. (C) Blessure à faible énergie causée par un projectile non déformant. (D) Blessure à faible énergie causée par un projectile déformant. (E) Blessure à faible énergie causée par une cartouche de fusil de chasse (projectile déformant).*

## *5.* REGULATION MEDICALE

Tout traumatisme pénétrant, qu'il résulte d'une arme blanche ou d'une arme à feu, obéit au même principe directeur : c'est l'organe atteint, et non l'aspect de la plaie ou les caractéristiques de l'arme, qui détermine la gravité de l'atteinte. Toute situation imprécise justifie l'engagement immédiat d'une équipe SMUR, les forces de l'ordre devant intervenir au préalable dès que la sécurité des intervenants ou des personnes présentes n'est pas assurée.

Dès la réception de l'appel, l'assistant de régulation médicale (ARM) détermine la priorité de l'engagement. Une plaie de l'extrémité céphalique ou du tronc, ou des plaies multiples, relèvent d'emblée du **niveau P0**, quel que soit le mécanisme en cause.

**Le niveau P1** diffère en revanche selon l'arme : pour une plaie par arme blanche, il correspond à une plaie cervico-faciale, thoracique ou abdominale survenue hors contexte d'agression ou de violence, à une plaie de membre chez l'adulte sans retentissement actuel sur les fonctions vitales, ou à toute plaie chez l'enfant. Pour une plaie par arme à feu, il correspond à une plaie distale d'un membre chez l'adulte, ou à un traumatisme par projectile non pénétrant de type « Flash-Ball » sans atteinte des fonctions vitales.

**Le niveau P2**, propre aux plaies par arme blanche, correspond aux plaies distales superficielles d'un membre chez l'adulte. L'ARM recherche par ailleurs les circonstances de survenue (agression, tentative de suicide ou accident domestique pour l'arme blanche, accident de manipulation ou fusillade pour l'arme à feu), la localisation des lésions, la nature de l'arme lorsqu'elle est connue, le nombre de victimes, et l'existence d'un risque toujours présent sur les lieux. En attendant la régulation médicale et l'arrivée des secours, il conseille la mise en sécurité des personnes présentes en cas d'agression et guide, si nécessaire, les gestes élémentaires de survie ; si l'appel ne peut être régulé immédiatement, il adapte sa décision en déclenchant sans délai le SMUR, les sapeurs-pompiers et les forces de l'ordre.

Le médecin régulateur reprend cette analyse à partir des mêmes circonstances et du nombre de victimes. Pour l'arme blanche, il s'attache en outre à préciser le retentissement sur les fonctions vitales et recherche une éventuelle intoxication médicamenteuse volontaire associée, fréquente en cas de phlébotomies

suicidaires ; pour l'arme à feu, il cherche si possible à préciser le type d'arme et de munition en cause. Les critères de gravité proprement dits sont communs aux deux mécanismes (atteinte crânienne, faciale, cervicale, thoracique, abdominale ou vasculonerveuse d'un membre).

Ces éléments déterminent le niveau d'urgence retenu. **Le niveau R1**, dès qu'un critère de gravité est présent ou au moindre doute, est commun aux deux mécanismes. **Le niveau R2** correspond aux plaies distales de membre non hémorragique chez l'adulte, aux tentatives de suicide sans critère de gravité par arme blanche, et aux traumatismes par arme à feu sans atteinte des fonctions vitales. **Les niveaux R3 et R4**, propres à l'arme blanche, distinguent respectivement la plaie assurément superficielle justifiant une suture et celle n'en justifiant pas. Dans tous les cas, la présence rapide des forces de l'ordre doit être requise pour toute situation non sécurisée.

Dans l'attente des secours, les conseils médicaux communs aux deux mécanismes portent sur l'absence de mobilisation du blessé présentant un critère de gravité, les gestes élémentaires de survie, le dégagement prudent des voies aériennes, et la compression ou la pose d'un garrot selon l'hémorragie. La consigne de ne pas toucher à l'arme se décline différemment selon le mécanisme : pour l'arme blanche, il s'agit de ne jamais retirer une arme encore pénétrante, et de manipuler avec des gants une arme déjà retirée ; pour l'arme à feu, il s'agit plus largement de ne pas manipuler l'arme elle-même. En l'absence de nécessité d'envoi de secours, comme suite à une plaie superficielle d'origine domestique, une simple désinfection suivie d'un pansement protecteur suffit. Une consultation médicale est recommandée en cas de doute, de douleur intense, de fièvre, d'écoulement anormal ou de gêne fonctionnelle.

Le niveau de soins attendu, identique pour les deux mécanismes, privilégie chez le premier effecteur un bilan secouriste et un bilan d'ambiance décrivant les lésions et les paramètres vitaux, associés aux gestes élémentaires de survie, comme la pose d’un pansement compressif ou d’un garrot. Lorsqu'une équipe SMUR est engagée, elle transmet de la même façon un message d'ambiance précoce en cas de nombreuses victimes, déclenchant au besoin un renfort SMUR, le plan NoVi et la pré-alerte de la CUMP, avant d'assurer la prise en charge du patient. L'incertitude sur les lésions et leur évolution justifie de prévenir précocement l'équipe d'accueil hospitalière. L'orientation retenue découle directement des mêmes critères pour les deux mécanismes : toute victime

présentant un critère de gravité, même stabilisée, ou faisant l'objet du moindre doute, doit être adressée en SAUV ou au déchocage d'un service de réanimation, dans un centre disposant d'un plateau technique adapté aux lésions supposées, les autres cas relevant d'un service d'urgence classique. Une nuance concerne spécifiquement l'arme blanche, pour laquelle certains médecins généralistes peuvent être sollicités en cas de plaie superficielle, sous réserve qu'ils pratiquent la petite chirurgie de type suture - une orientation qui ne se pose pas pour l'arme à feu, dont la gravité potentielle exclut d'emblée cette option [24,25].

## 6. PRISE EN CHARGE PREHOSPITALIERE

Le traumatisme pénétrant par arme blanche, arme à feu, engin explosif, empalement ou encornement impose une prise en charge préhospitalière rapide, structurée et adaptée au mécanisme lésionnel. En France, les traumatismes pénétrants représentent environ 12 % des traumatismes sévères pris en charge dans les traumas centers de niveau 1 et sont responsables de près d'un quart des décès toutes causes confondues. Ils sont majoritairement liés à des armes blanches, contrairement au contexte nord-américain, où les traumatismes par arme à feu prédominent [9]. Le pronostic dépend avant tout du contrôle précoce des détresses vitales, en particulier de l'hémorragie, et de l'orientation rapide vers une structure disposant des moyens diagnostiques et thérapeutiques adaptés. La multiplication des gestes techniques sur place ne doit pas retarder l'évacuation du patient présentant une lésion potentiellement létale.

La prise en charge peut être structurée selon l'algorithme MARCH (Massive bleeding, Airway, Respiration, Choc, Head/Hypothermie), issu des retours d'expérience de la médecine militaire, formalisé par le Committee on Tactical Combat Casualty Care (CoTCCC) [26]. Sa déclinaison francophone « MARCHE » ajoute l'Évacuation comme étape à part entière et s'est largement diffusée en médecine d'urgence civile. Cette séquence privilégie le traitement des causes de décès immédiatement évitables et place le contrôle d'une hémorragie massive avant la prise en charge des voies aériennes.

### 6.1. M - Massive bleeding control (Hémostase)

Le contrôle de l'hémorragie extériorisée constitue la priorité chez le traumatisé pénétrant. L'analyse de 4 596 décès de guerre entre 2001 et 2011 a montré qu'une proportion importante des décès préhospitaliers (≈ ¼) était potentiellement évitable, l'hémorragie étant la principale cause [27]. Les données ayant conduit à l'évolution de la doctrine TCCC 14-02 soulignent l'importance déterminante du facteur temps dans le contrôle des hémorragies des extrémités : la survie est nettement meilleure lorsque le garrot est posé précocement avant l'apparition des signes de choc (mortalité ≈ 10 %), que lorsqu'il est mis en place après leur installation (mortalité ≈ 90 %) [28].

Le garrot tourniquet (CAT, SOFTT-W) ou le garrot pneumatique (DELPHI) constitue le moyen le plus rapide et le plus efficace de contrôler une hémorragie sévère d'un membre. Il est posé en amont de la plaie, idéalement directement sur la peau, puis réévalué dès que les conditions le permettent. Un garrot mis en place au cours de l'extraction ou dans un contexte tactique doit être considéré comme une mesure initiale et faire l'objet d'une réévaluation dès la mise à l'abri du blessé.

Pour les hémorragies des zones jonctionnelles non accessibles à un garrot, notamment au niveau de l'aine, de l'aisselle ou de la base du cou, le contrôle repose sur une compression directe prolongée, éventuellement associée à un pansement hémostatique (Combat Gauze, Celox) et/ou aux garrots jonctionnels dédié (SAM JT, CRoC, JETT). Une ceinture pelvienne est mise en place en cas de suspicion de fracture du bassin. Les mesures de contrôle hémorragique sont combinées si nécessaire et réévaluées régulièrement tant qu'un saignement persiste.

En cas d'hémorragie active de membre, la compression directe reste le traitement de première intention. Le garrot hémostatique doit être posé d'emblée et le plus tôt possible dans les situations à haut risque (plaie délabrante, amputation, absence de pouls, choc hémorragique, victimes multiples) ou en cas d'échec de la compression. Son efficacité doit être réévaluée précocement, idéalement dans l'heure, avec conversion vers un pansement hémostatique dès que possible. Le garrot améliore la survie lorsqu'il est posé précocement. Les complications (paralysie nerveuse, syndrome de loge, atteinte rénale) résultent

surtout d'une pose prolongée (>2h), ou d’une réévaluation trop tardive et sont rarissimes.



***Figure 2: Le garrot hémostatique***

## 6.2. A – Airway (Voies aériennes)

Après contrôle d’une éventuelle hémorragie massive, la liberté des voies aériennes doit être évaluée [26]. Chez le traumatisé pénétrant, une obstruction peut être secondaire à une hémorragie bucco-pharyngée, à une lésion cervico-faciale, à un œdème évolutif ou à une altération de la conscience.

Les premières mesures reposent sur les manœuvres simples de libération des voies aériennes (subluxation mandibulaire, canule oro ou nasopharyngée), l'aspiration des sécrétions ou du sang et, lorsque cela est nécessaire, l'utilisation de dispositifs supra glottiques (masque laryngé, King LT) en alternative rapide à l'intubation.

L'intubation orotrachéale est indiquée en cas d'incapacité à maintenir les voies aériennes libre ou protégées, d'insuffisance respiratoire sévère ou d'altération profonde de la conscience. Elle doit être réalisée par un opérateur entraîné, avec confirmation de la position trachéale par capnographie. Chez le traumatisé cervico-facial ou facial massif, une anticipation précoce d'une difficulté de contrôle des voies aériennes est essentielle. Les tentatives répétées d'intubation doivent être évitées et une stratégie de secours doit être préparée précocement. En cas d'échec de l'oxygénation ou de l'intubation, la cricothyroïdotomie chirurgicale constitue, chez l'adulte, la technique de sauvetage de référence. La technique « SMS » (Scalpel – Mandrin – Sonde) apparaît notamment plus fiable que les techniques de type Seldinger [29]. Une série portant sur près de 19 400 interventions d'un SMUR héliporté confirme le taux de succès élevé de la cricothyroïdotomie chirurgicale chez des opérateurs entraînés. Elle souligne toutefois que le pronostic dépend principalement de la rapidité de mise en œuvre et de la sévérité des lésions sous-jacentes, davantage que du seul succès technique de la procédure [30].

L'objectif n'est pas de réaliser précocement une intubation systématique, mais de garantir une oxygénation et une ventilation adaptées sans retarder l'évacuation du patient.

### 6.3. R – Respiration

Le traumatisme thoracique pénétrant expose principalement au pneumothorax, à l'hémothorax et aux lésions pulmonaires ou cardiaques. Toute plaie thoracique soufflante doit être recouverte par un pansement non-occlusif, à type de trois côtés, ou de préférence valvé, comme l'Asherman afin de limiter les échanges gazeux avec l'extérieur et le risque d'aggravation du pneumothorax. Une surveillance clinique rapprochée est indispensable après sa mise en place. En cas de multiples plaies, seul un doit rester valvé, les autres occlusifs.

Le pneumothorax sous tension doit être évoqué devant l'association d'une détresse respiratoire aiguë et de signes de choc, particulièrement chez un patient présentant une plaie thoracique. La décompression pleurale ne doit pas être réalisée sur le seul aspect de la plaie mais repose sur l'évaluation clinique globale. Lorsque l'état clinique l'indique, une décompression thoracique doit être réalisée sans attendre la confirmation radiologique. La technique dépend des compétences de l'équipe et du contexte opérationnel. La thoracostomie à l'aiguille peut être utilisée, mais son efficacité peut être limitée par la longueur du cathéter et l'épaisseur de la paroi thoracique. La thoracostomie au doigt constitue une alternative pour les équipes entraînées [31].

En cas d'arrêt circulatoire traumatique, la prise en charge doit rechercher et traiter rapidement les causes réversibles, notamment l'hémorragie et le pneumothorax sous tension. Les recommandations françaises préconisent une décompression thoracique bilatérale (thoracostomie au doigt) dans ce contexte. Une ventilation assistée peut être nécessaire en cas d'insuffisance respiratoire ou d'arrêt circulatoire. En présence d'un pneumothorax non drainé, les pressions et volumes ventilatoires doivent rester aussi faibles que possible, tout en assurant une oxygénation et une ventilation suffisantes. L'oxymétrie de pouls et, lorsque le patient est ventilé, la capnographie (colorimétrique en milieu dégradé, ou avec un chiffre monitoré pour une surveillance continue) permettent une surveillance continue [32].



***Figure 3: Plaie thoracique soufflante recouverte par un pansement non-occlusif (type de trois côtés ou valvé)***

## C - Circulation / Choc

Le choc du traumatisé pénétrant est jusqu'à preuve du contraire un choc hémorragique. L'évaluation clinique repose sur la recherche de signes d'hypoperfusion : altération de la conscience, extrémités froides, temps de recoloration cutanée allongé, tachycardie, hypotension (choc index) et diminution des pouls périphériques. Dans un contexte hostile ou en cas d'afflux massif de victimes, le pouls radial constitue un repère clinique simple de l'état hémodynamique.

La stratégie de réanimation repose sur le contrôle de l'hémorragie associé à une administration restrictive des solutés. Un remplissage vasculaire excessif peut favoriser l'hémodilution, aggraver l'hypothermie et contribuer à la déstabilisation d'un caillot récemment formé. En l'absence de traumatisme crânien grave, une stratégie d'hypotension permissive peut être envisagée jusqu'au contrôle de l'hémorragie, avec un objectif tensionnel adapté à la situation clinique et au contexte lésionnel (PAS 80-90 mmHg). En revanche, en présence d'un traumatisme crânien grave, l'hypotension doit être évitée afin de préserver la perfusion cérébrale. Les objectifs de pression artérielle, systolique et moyenne sont respectivement au-dessus de 110 et 80 mmHg [33].

L'abord vasculaire doit être obtenu précocement, par voie veineuse périphérique de gros calibre ou, en cas d'échec ou d'impossibilité, par voie intra-osseuse. La mise en place d'un abord vasculaire ne doit toutefois pas retarder le contrôle d'une hémorragie accessible ni l'évacuation du patient.

L'acide tranexamique (TXA) doit être administré précocement chez les patients présentant une hémorragie sévère ou à risque élevé d'hémorragie. La posologie recommandée est de 1 g administré en 10 minutes en médecine civile et de 2 g dans le contexte militaire français. Le bénéfice du TXA est d'autant plus important que son administration est précoce, avec une diminution de l'efficacité lorsque le traitement est instauré au-delà de trois heures suivant le traumatisme [34].

Le contrôle de l'hémorragie déjà entrepris doit être réévalué à chaque étape de la prise en charge et pendant le transport.

### 6.4. H - Head / Hypothermia

L'évaluation neurologique complète la prise en charge initiale. Le score AVPU, plus facile à utiliser que le score de Glasgow, et l'examen pupillaire doivent être évalués régulièrement. Une altération neurologique peut être secondaire à un traumatisme crânien mais également à une hypoxie ou à un état de choc sévère. Chez le traumatisé crânien grave, la prévention et la correction de l'hypoxie et de l'hypotension constituent des objectifs prioritaires afin de limiter les lésions cérébrales secondaires [35].

La prévention de l'hypothermie doit être entreprise précocement chez tout traumatisé grave. L'hypothermie participe, avec l'acidose et la coagulopathie, à la constitution de la triade létale et peut aggraver les troubles de l'hémostase [36]. La lutte contre l'hypothermie repose sur des mesures simples : limitation de l'exposition du patient, retrait des vêtements mouillés, couverture isolante et, lorsque le matériel est disponible, réchauffement actif à l'aide de dispositifs adaptés et utilisation de solutés réchauffés (Couverture chauffante type Ready Heat, ou plastron chauffant « ThermUp »). Le maintien de la normo thermie doit être poursuivi pendant toute la durée de la prise en charge préhospitalière et du transport. Une étude observationnelle française souligne que l'hypothermie reste fréquente à l'arrivée à l'hôpital malgré les conditions climatiques tempérées [37].

### 6.5. E - Evacuation

L'évacuation constitue une étape thérapeutique à part entière du traumatisé pénétrant. Le contrôle des détresses immédiatement menaçantes doit être réalisé sur place, mais les gestes non indispensables à la survie immédiate ne doivent pas retarder le transport vers une structure adaptée.

Une étude portant sur plus de 43 000 patients issus de la base américaine Trauma Quality Improvement Program a montré que chaque minute supplémentaire de délai préhospitalier était associée à une augmentation de 2 % de la mortalité, tandis que chaque minute supplémentaire passée sur les lieux était associée à une augmentation de 1 % [38]. Ces données plaident en faveur d'une stratégie d'évacuation rapide, de type « scoop and run », chez les patients présentant un traumatisme pénétrant grave. Cette approche était déjà suggérée par des travaux montrant qu'une limitation des gestes réalisés sur place avant une

thoracotomie de sauvetage pouvait améliorer la survie des patients les plus gravement atteints [39]. À l'inverse, chez le patient stable, le temps préhospitalier peut être adapté à la situation, sans que les examens ou gestes non indispensables ne retardent l'orientation vers une structure spécialisée [40].

Chez le blessé pénétrant instable, il convient donc de limiter les gestes sur place aux seules interventions salvatrices des étapes M, A, R, C et H, puis d'organiser une évacuation rapide vers une structure disposant des moyens de chirurgie de damage control et/ou d'hémostase endovasculaire. Chez le patient stable, la prise en charge peut être adaptée à la situation, sans que les examens ou gestes non indispensables ne retardent l'orientation vers une structure spécialisée. La destination et la transmission doivent être anticipées selon le mécanisme, les lésions, l'état hémodynamique et les ressources nécessaires.

La désignation d'un « time keeper » peut être utile afin de limiter le risque d'allongement excessif de la prise en charge sur place. Le maintien des thérapeutiques entreprises et une surveillance continue complètent la prise en charge pendant le transport.

### 6.6. Point-clés

La prise en charge préhospitalière du traumatisme pénétrant repose sur une hiérarchisation des priorités selon le risque vital immédiat. L'algorithme MARCHE permet de structurer cette prise en charge en donnant la priorité au contrôle de l'hémorragie, puis à la sécurisation des voies aériennes, au traitement des détresses respiratoires et circulatoires, à la protection neurologique et à la prévention de l'hypothermie. Cette séquence doit rester dynamique et adaptée au contexte. La sélection des gestes repose sur leur capacité à modifier immédiatement le pronostic, sans multiplier les interventions susceptibles de retarder l'évacuation. Chez le blessé pénétrant grave, le principe directeur reste ainsi celui d'une prise en charge préhospitalière courte, ciblée et orientée vers une structure capable d'assurer rapidement le contrôle définitif des lésions : le bon patient, au bon endroit, au bon moment.

## 7. PRISE EN CHARGE INTRA-HOSPITALIERE

L'accueil hospitalier en salle d'accueil des urgences vitales (SAUV) (également appelée salle de déchocage ou salle de réveil en région parisienne) doit assurer un continuum avec la prise en charge préhospitalière en vérifiant et poursuivant les traitements entrepris, avec les mêmes objectifs hémodynamiques dans un souci perpétuel de ne pas retarder le geste de sauvetage chirurgical. La prise en charge est celle recommandée pour un patient traumatisé grave, comprenant des prélèvements sanguins (dont une hémoglobine par micro-méthode) et de l'imagerie [41]. Avant l'arrivée du patient en SAUV, les plaques de radiologie (thorax et bassin) doivent être positionnées sous le matelas du brancard et l'échographe allumé et positionné à proximité. L'échographie pleuropulmonaire associée à une échographie FAST recherche des épanchements intrathoraciques, intra-abdominaux et péricardiques. La radiographie du thorax et du bassin permet de rechercher un objet pénétrant radio-opaque. En fonction de la stabilité du blessé, la tomodensitométrie (TDM) avec injection de produit de contraste est l'examen de référence pour faire un bilan exhaustif des lésions et évaluer la persistance d'hémorragies internes.

### 7.1. Accueil et bilan initial

Dans la continuité de la prise en charge initiale préhospitalière, un nouveau « M.A.R.C.H.E » est réalisée par l'équipe qui accueille le patient en intrahospitalier (« E » pour Évaluation et ré-Évaluations itératives) afin d'une part de bien « s'approprier » le patient et d'autre part afin de s'assurer que ce qui a été initié n'ait pas été altéré au cours du transport (reprise d'un saignement sur un membre garroté nécessitant un resserrage ou la pose d'un autre garrot, intubation qui serait devenue sélective, voie veineuse périphérique arrachée…) ou qu'il n'y ait pas eu tout simplement d'éléments omis comme une plaie difficilement visualisable compte tenu d'un milieu d'intervention difficile.

### 7.2. Poursuite du damage control resuscitation

Le damage control resuscitation est poursuivi par une réanimation hémostatique guidée par la recherche précoce de troubles de l'hémostase [42]. La coagulopathie aiguë traumatique du patient victime d'un traumatisme pénétrant semble avoir une singularité par rapport à celle du patient victime d'un traumatisme contondant même si les données sur le sujet restent encore trop peu nombreuses [43]. Celle-ci doit être prise en charge de manière agressive selon le profil de la coagulopathie diagnostiquée grâce à la réalisation d'examens biologiques classiques (mesure de l'hémoglobine répétée par technique micro-capillaire, mesure de la numération plaquettaire, du taux de prothrombine et du fibrinogène) associée à des techniques visco-élastiques (thromboélastogramme ou ROTEM) pour caractériser au plus tôt la coagulopathie et réaliser une réanimation personnalisée [44] au moyen :

- **D'une réanimation transfusionnelle** comportant culots érythrocytaires, plasma et concentrés plaquettaires à haut ratios (1 :1 :1) selon le protocole de service de transfusion massive.

- **De médicaments procoagulants supplémentaires** (fibrinogène, complexes pro-thrombiniques, seconde dose d'acide tranexamique…).

- **De l'administration de calcium** dès la 1ère transfusion ou dès la connaissance d'une hypocalcémie sur la gazométrie artérielle réalisée à l'arrivée du patient.

- **De la poursuite de l'administration d'amines vasoactives** visant à maintenir une pression artérielle minimale (concept d'hypotension permissive détaillé en préhospitalier) afin de limiter l'ischémie tissulaire et donc l'acidose, pilier de la triade ou diamant létal.

- **De la poursuite de la lutte contre l'hypothermie** notamment au moyen de perfuseur-réchauffeur des solutions de remplissage et d'un réchauffement passif du patient.

Le risque hémorragique des patients sous traitement anticoagulant et/ou anti-agrégant est majoré en cas de traumatisme [45]. Un des objectifs majeurs au cours de la prise en charge de ces patients est de les ramener à un risque hémorragique initial. Une réversion du traitement anticoagulant au moyen d'antidotes, spécifiques ou non, du traitement anticoagulant doit alors être initié au plus tôt [46] sans avoir peur du risque thrombotique en cas de problématique hémorragique avérée [47].

## 7.3. Les situations cliniques en SAUV

En fonction de l'état clinique, les blessés sont classés en trois groupes : le blessé in extremis, le blessé instable et le blessé stable.

### 7.3.1. Le blessé in extremis

Le blessé en état de choc réfractaire, classiquement défini par une PAS < 65 mmHg, est dirigé très rapidement vers le bloc opératoire sans attendre la réalisation d'examens complémentaires exhaustifs. Cette procédure d'extrême urgence ne peut s'improviser et s'adresse aux blessés présentant des signes objectifs de vie (absence d'asystolie) à l'arrivée. Dans ces situations d'instabilité hémodynamique majeure, il s'agit de localiser très rapidement une lésion hémorragique à l'étage thoracique ou abdominal avec l'imagerie réalisée en préhospitalier et/ou en SAUV. Le patient devrait directement être admis au bloc opératoire.

Dans le cas spécifique d'un patient victime d'un traumatisme pénétrant de l'aire cardiaque qui est en état de choc réfractaire ou qui passe en arrêt cardiaque au cours de la prise en charge, il existe une indication de thoracotomie de resuscitation en SAUV [48]. Les indications et la réalisation de ce geste sont décrits dans l'atelier 5 « Gestes invasifs ».

### 7.3.2. Le blessé instable

Le blessé instable se définit par une instabilité hémodynamique persistante malgré une réanimation préhospitalière bien conduite. Les gestes de réanimation indispensables à la prise en charge d'un traumatisé grave instable sont au minimum la mise en place d'un cathéter artériel pour permettre une mesure continue de la pression artérielle invasive et un abord veineux profond pour délivrer un soutien hémodynamique par amines vasopressives et une réanimation transfusionnelle massive concomitante. Ces gestes ne doivent pas retarder la continuité de la prise en charge. Dans ce contexte d'instabilité, l'objectif principal est de pouvoir rapidement localiser un saignement accessible à une hémostase chirurgicale ou endovasculaire. En cas d'hémothorax, la poursuite de la mise en condition consiste en la mise en place d'un drain thoracique de gros calibre (32F). Même en cas de saignement abondant, le drain n'est jamais clampé, tout au plus en siphonage. Le blessé est dirigé vers le bloc opératoire avant ou après la réalisation de la TDM pour faire le bilan exhaustif des lésions, en particulier hémorragiques, en fonction de la réponse hémodynamique à la suite du drainage pleural. Certains blessés présentant un hémothorax isolé peuvent, après la mise en place du drain et la conduite de la réanimation, s'améliorer rapidement. Dans ce contexte, la thoracotomie d'hémostase ou l'embolisation peuvent être discutées selon l'abondance du débit hémorragique dans le drain thoracique.

### 7.3.3. Le blessé stable ou stabilisé

Le blessé stable (celui qui n'a pas présenté de détresse tout au long de la prise en charge) ou stabilisé (initialement instable et stabilisé par les mesures de réanimation durant la phase préhospitalière) doit bénéficier d'une démarche diagnostique complète. Un bilan tomodensitométrique complet est réalisé avec injection de produit de contraste iodé. En cas de blessure par AF, il est préférable de réaliser d'emblée une TDM corps entier compte tenu du comportement imprévisible des balles dans le corps. Une stratégie non opératoire, sous surveillance armée stricte, s'est imposée depuis plusieurs années pour les plaies abdominales par arme blanche chez les patients stables, sans signe de péritonite ni d'hémorragie interne : elle permet de réduire significativement le taux de

laparotomies blanches, historiquement élevé [49]. Elle s'est plus récemment étendue, dans certains trauma centers américains expérimentés, aux plaies par arme à feu, mais cette extension reste discutée et n'est généralement pas recommandée en France, où le faible volume de cas limite l'expérience des équipes [50].

Les mesures générales adjuvantes incluent l'antibioprophylaxie et la mise à jour de la vaccination antitétanique.

## 8. REFERENCES


1. Gupta S, Wren SM, Kamara TB, et al. Injury assessment in three low-resource settings: a reference for worldwide estimates. *Lancet*. 2015;385 Suppl 2:S2. doi:10.1016/S0140-6736(15)60797-8

2. The Global Burden of Disease 2016 Injury Collaborators, Naghavi M, Marczak LB, et al. Global Mortality From Firearms, 1990-2016. *JAMA*. 2018;320(8):792. doi:10.1001/jama.2018.10060

3. Lee JT, Sobieh A, Bonne S, et al. ACR Appropriateness Criteria® Penetrating Torso Trauma. *J Am Coll Radiol*. 2024;21(11):S448-S463. doi:10.1016/j.jacr.2024.08.014

4. Evans C, Li W, Matskiv G, Brogly S. Epidemiology and association of neighbourhood marginalisation on violent knife assaults in Ontario: a population-based case-control study. *Inj Prev J Int Soc Child Adolesc Inj Prev*. 2025;31(5):389-394. doi:10.1136/ip-2023-045156

5. Ajayi B, Guthrie H, Trompeter A, Tennent D, Lui DF. The rising burden of penetrating knife injuries. *Inj Prev J Int Soc Child Adolesc Inj Prev*. 2021;27(5):467-471. doi:10.1136/injuryprev-2020-044016

6. Vulliamy P, Hancorn K, Glasgow S, et al. Age-related injury patterns resulting from knife violence in an urban population. *Sci Rep*. 2022;12(1):15250. doi:10.1038/s41598-022-17768-x

7. Manley NR, Croce MA, Fischer PE, et al. Evolution of Firearm Violence over 20 Years: Integrating Law Enforcement and Clinical Data. *J Am Coll Surg*. 2019;228(4):427-434. doi:10.1016/j.jamcollsurg.2018.12.033

8. Pilarczyk E, Under review. Epidemiology of Penetrating Injuries in Marseille from 2018 to 2023.

9. Descamps C, Hamada S, Hanouz JL, et al. Gunshot and stab wounds in France: descriptive study from a national trauma registry. *Eur J Trauma Emerg Surg Off Publ Eur Trauma Soc*. 2022;48(5):3821-3829. doi:10.1007/s00068-021-01742-9

10. Karger B. Forensic Ballistics. In: *Handbook of Forensic Medicine*. John Wiley & Sons, Ltd; 2022:459-503. doi:10.1002/9781119648628.ch21

11. Stefanopoulos PK, Breglia GA, Bissias C, et al. Firearm Injuries: A Review of Wound Ballistics and Related Emergency Management Considerations. *Emerg Care Med*. 2025;2(4):52. doi:10.3390/ecm2040052

12. Fackler ML. Wound ballistics. A review of common misconceptions. *JAMA*. 1988;259(18):2730-2736. doi:10.1001/jama.259.18.2730

13. Egmann G, Marteau, A, Basse, T, Jeanbourquain, D. Plaies par arme blanche. 2010;41.

14. Cazes, N, Asencio, Y, Puidupin, A. Prise en charge des traumatismes pénétrants. In: *Traité de Médecine d'urgence*. Médecine Sciences-Lavoisier. 2019:1800.

15. Wen Y, Xu C, Jin Y, Batra RC. Rifle bullet penetration into ballistic gelatin. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2017;67:40-50. doi:10.1016/j.jmbbm.2016.11.021

16. Amato JL, Billy LJ, Lawson NS, Rich NM. High velocity missile injury. An experimental study of the retentive forces of tissue. *Am J Surg*. 1974;127(4):454-459. doi:10.1016/0002-9610(74)90296-7

17. Chai LF, Nahass MM, Iacono SA, et al. Delayed cardiac tamponade secondary to blast injury from gunshot wound. *Trauma Case Rep*. 2023;47:100914. doi:10.1016/j.tcr.2023.100914

18. Owers C, Garner J. Intra-abdominal injury from extra-peritoneal ballistic trauma. *Injury*. 2014;45(4):655-658. doi:10.1016/j.injury.2012.07.191

19. Rhee PM, Moore EE, Joseph B, Tang A, Pandit V, Vercruysse G. Gunshot wounds: A review of ballistics, bullets, weapons, and myths. *J Trauma Acute Care Surg*. 2016;80(6):853-867. doi:10.1097/TA.0000000000001037

20. Baum GR, Baum JT, Hayward D, MacKay BJ. Gunshot Wounds: Ballistics, Pathology, and Treatment Recommendations, with a Focus on Retained Bullets. *Orthop Res Rev*. 2022;Volume 14:293-317. doi:10.2147/ORR.S378278

21. Popov VA, Vorob'ev VV, Pitenin IYu. Microcirculatory changes in tissues surrounding a gunshot wound. *Bull Exp Biol Med*. 1990;109(4):437-441. doi:10.1007/BF00840033

22. Mendelson JA. The relationship between mechanisms of wounding and principles of treatment of missile wounds. *J Trauma*. 1991;31(9):1181-1202. doi:10.1097/00005373-199109000-00001

23. Owen-Smith, M.S. High-velocity and military gunshot wounds. In: Ordog GJ, ed. *Management of Gunshot Wounds*. 2. [print]. Elsevier; 1988:61-94.

24. Guide d'aide à la régulation - Samu Centre 15. Accessed August 12, 2026. https://www.guide-regulation-medicale.fr/index.php?module=Fiche&action=FrontDetailView&record=247

25. Guide d'aide à la régulation - Samu Centre 15. Accessed August 12, 2026. https://www.guide-regulation-medicale.fr/index.php?module=Fiche&action=FrontDetailView&record=249

26. Committee on Tactical Combat Casualty Care (CoTCCC). *Tactical Combat Casualty Care Guidelines - Algorithme MARCH*. 2026.

27. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, et al. Death on the battlefield (2001-2011): implications for the future of combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;73(6 Suppl 5):S431-437. doi:10.1097/TA.0b013e3182755dcc

28. Shackelford SA, Butler FK, Kragh JF, et al. Optimizing the Use of Limb Tourniquets in Tactical Combat Casualty Care: TCCC Guidelines Change 14-02. *J Spec Oper Med Peer Rev J SOF Med Prof*. 2015;15(1):17-31.

29. Hubble MW, Wilfong DA, Brown LH, Hertelendy A, Benner RW. A meta-analysis of prehospital airway control techniques part II: alternative airway devices and cricothyrotomy success rates. *Prehosp Emerg Care*. 2010;14(4):515-530. doi:10.3109/10903127.2010.497903

30. Schober P, Biesheuvel T, de Leeuw MA, Loer SA, Schwarte LA. Prehospital cricothyrotomies in a helicopter emergency medical service: analysis of 19,382 dispatches. *BMC Emerg Med*. 2019;19(1):12. doi:10.1186/s12873-019-0230-9

31. Lyng JW, Ward C, Angelidis M, et al. Prehospital Trauma Compendium: Traumatic Pneumothorax Care: Position Statement and Resource Document of NAEMSP. *Prehosp Emerg Care*. Published online December 4, 2024:1-21. doi:10.1080/10903127.2024.2416978

32. Cerullo M. *Thoracostomie Pré-Hospitalière Dans l'arrêt Cardiaque Traumatique : Évaluation Des Pratiques Au Sein Du SMUR de Besançon (2015-2025)*. Thèse d'exercice (DUMAS). 2026.

33. Ageron FX, Gayet-Ageron A, Steyerberg E, Bouzat P, Roberts I. Prognostic model for traumatic death due to bleeding: cross-sectional international study. *BMJ Open*. 2019;9(5):e026823. doi:10.1136/bmjopen-2018-026823

34. CRASH-2 trial collaborators, Shakur H, Roberts I, et al. Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet Lond Engl*. 2010;376(9734):23-32. doi:10.1016/S0140-6736(10)60835-5

35. Neurocritical Care Society. *Emergency Neurological Life Support, Traumatic Brain Injury Protocol*. 2024.

36. Casella J, Perry M. EMS Tactical Paramedic Lethal Triad. In: *StatPearls*. StatPearls Publishing; 2026. Accessed September 15, 2026. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK603758/

37. *Clinical Evaluation of Effectiveness of the « Therm'Up » Heating Device — Étude Observationnelle SMUR, 2004-2007*.

38. Nasser AAH, Nederpelt C, El Hechi M, et al. Every minute counts: The impact of pre-hospital response time and scene time on mortality of penetrating trauma patients. *Am J Surg*. 2020;220(1):240-244. doi:10.1016/j.amjsurg.2019.11.018

39. Seamon MJ, Fisher CA, Gaughan J, et al. Prehospital procedures before emergency department thoracotomy: "scoop and run" saves lives. *J Trauma*. 2007;63(1):113-120. doi:10.1097/TA.0b013e31806842a1

40. Harmsen AMK, Giannakopoulos GF, Moerbeek PR, Jansma EP, Bonjer HJ, Bloemers FW. The influence of prehospital time on trauma patients outcome: a systematic review. *Injury*. 2015;46(4):602-609. doi:10.1016/j.injury.2015.01.008

41. King DR. Initial Care of the Severely Injured Patient. *N Engl J Med*. 2019;380(8):763-770. doi:10.1056/NEJMra1609326

42. Lammers DT, Holcomb JB. Damage control resuscitation in adult trauma patients: What you need to know. *J Trauma Acute Care Surg*. 2023;95(4):464-471. doi:10.1097/TA.0000000000004103

43. Donohue JK, Gruen DS, Iyanna N, et al. Mechanism matters: mortality and endothelial cell damage marker differences between blunt and penetrating traumatic injuries across three prehospital clinical trials. *Sci Rep*. 2024;14(1):2747. doi:10.1038/s41598-024-53398-1

44. Maier CL, Brohi K, Curry N, et al. Contemporary management of major haemorrhage in critical care. *Intensive Care Med*. 2024;50(3):319-331. doi:10.1007/s00134-023-07303-5

45. Probst MA, Gupta M, Hendey GW, et al. Prevalence of Intracranial Injury in Adult Patients With Blunt Head Trauma With and Without Anticoagulant or Antiplatelet Use. *Ann Emerg Med*. 2020;75(3):354-364. doi:10.1016/j.annemergmed.2019.10.004

46. Treml B, Oswald E, Schenk B. Reversing anticoagulation in the hemorrhaging patient. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2019;32(2):206-212. doi:10.1097/ACO.0000000000000697

47. Goldstein JN, Refaai MA, Milling TJ, et al. Four-factor prothrombin complex concentrate versus plasma for rapid vitamin K antagonist reversal in patients needing urgent surgical or invasive interventions: a phase 3b, open-label, non-inferiority, randomised trial. *Lancet Lond Engl*. 2015;385(9982):2077-2087. doi:10.1016/S0140-6736(14)61685-8

48. Perkins ZB, Greenhalgh R, Ter Avest E, et al. Prehospital Resuscitative Thoracotomy for Traumatic Cardiac Arrest. *JAMA Surg*. 2025;160(4):432. doi:10.1001/jamasurg.2024.7245

49. Biffl WL, Kaups KL, Cothren CC, et al. Management of patients with anterior abdominal stab wounds: a Western Trauma Association multicenter trial. *J Trauma*. 2009;66(5):1294-1301. doi:10.1097/TA.0b013e31819dc688

50. Velmahos GC, Demetriades D, Toutouzas KG, et al. Selective nonoperative management in 1,856 patients with abdominal gunshot wounds: should routine laparotomy still be the standard of care? *Ann Surg*. 2001;234(3):395-402; discussion 402-403. doi:10.1097/00000658-200109000-00013