

Lésions par explosion



B. Debien*, E. Peytel, N. Prat, B. Pats

** Service de réanimation*

Hôpital d'instruction des armées Percy - Clamart

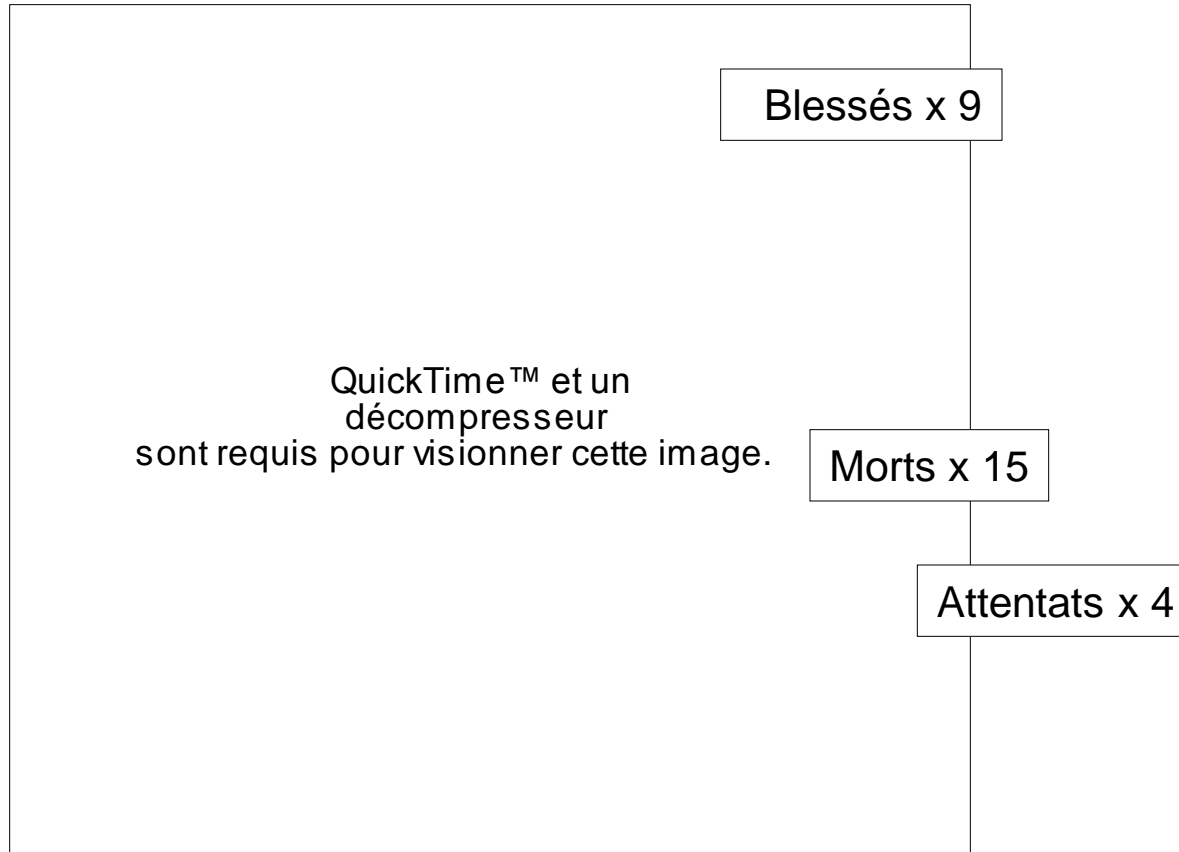


La biomécanique des explosifs et les blasts

**Aspects
cliniques**

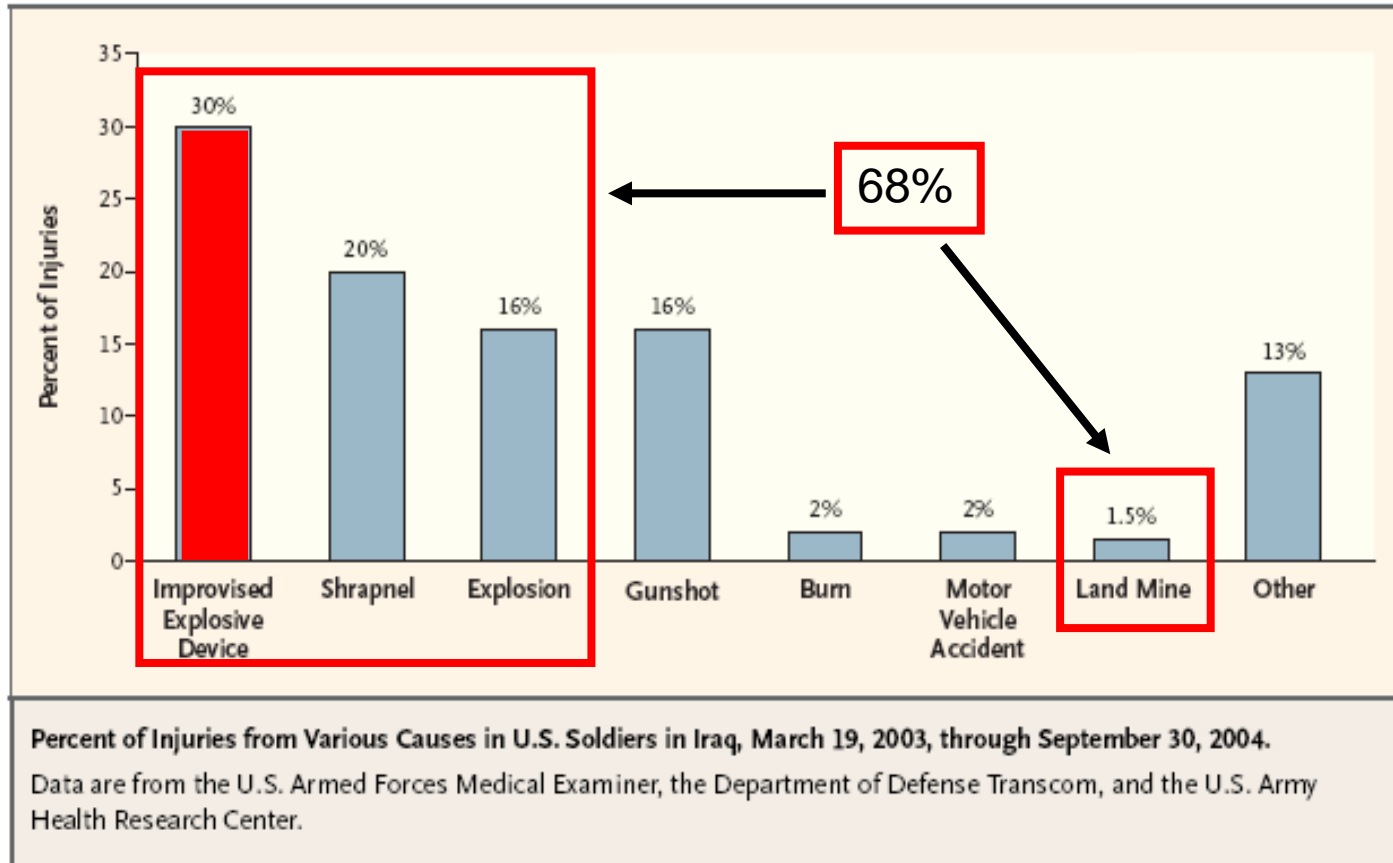
Retour d'expériences

Actualité de la question



Wolf SJ. Lancet 2009;374(9687):405-15

Conflits armés

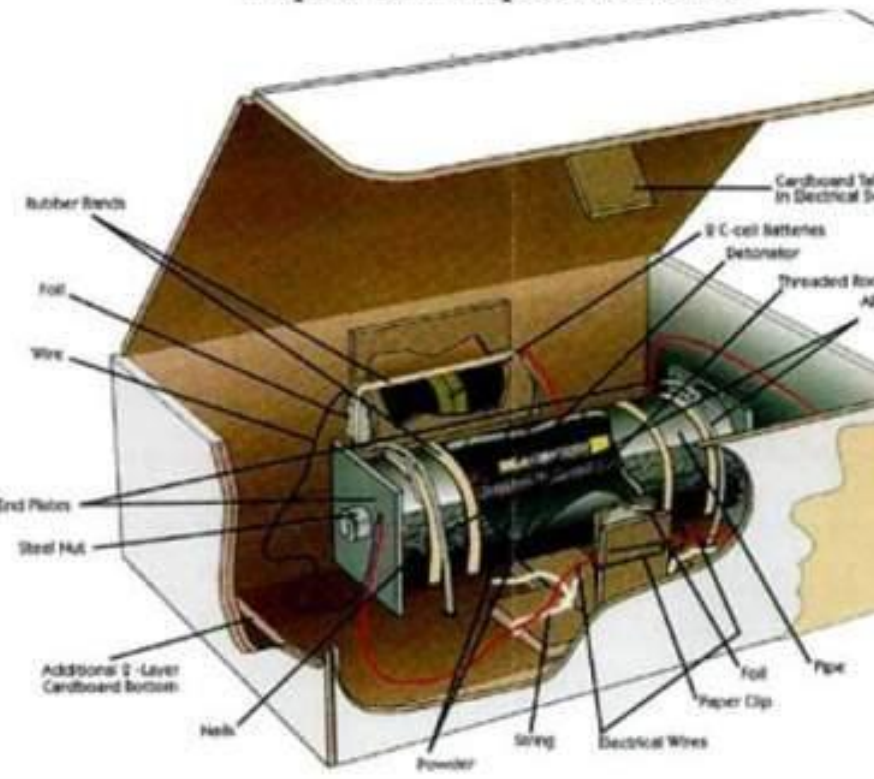


Peake J. N Engl J Med 2005;352:219

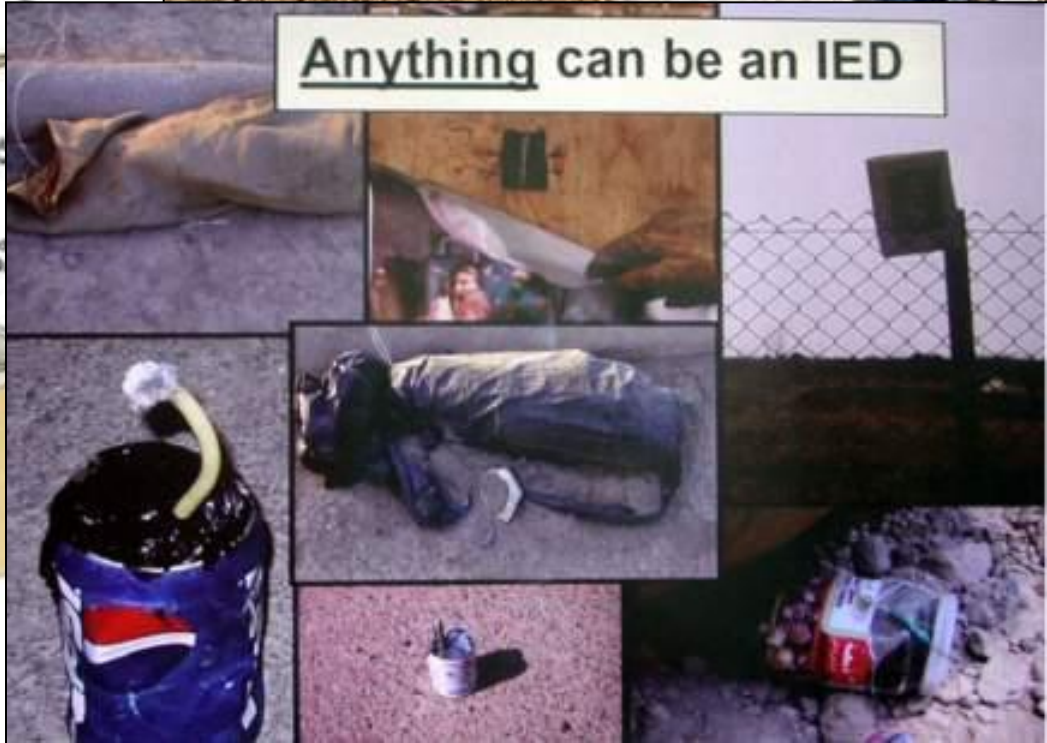
IED



Improvised Explosive Device



Anything can be an IED



« On a vu une petite quantité de poudre causer une grande tempête, trembler toute la ville (...) tomba par terre toutes les maisons, rejeta quelques hommes semi-morts, aux uns ôta la vue, aux autres l'ouïe, en laissa d'autres non moins déchirés que si quatre chevaux les eussent écartelés et ce par la seule agitation de l'air en la substance duquel la poudre était convertie »



A. Paré
(1575)

Plan

- Explosions
- Facteurs vulnérants
- Lésions par explosion (I, II et III)
- Tenues de protection
- Retours d'expériences
- Quelques scenarii

Quelques™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

Explosion

- Solide / liquide → gaz
- Temps très court
- Haute pression



Explosion



QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

Wolf SJ. Lancet 2009;374(9687):405-15

Facteurs vulnérants

- Type d'explosion et d'explosif
- Caractéristiques de l'onde
- Milieu de propagation
- Position de l'individu....

YY Philips. Ann Emerg Med, 1986, 15 : 1446-50
Junkui Z. J Trauma 1996;40:S77-S80

Loi des gaz parfaits

$$P.V = n.R.T$$

P = Pression

V = Volume

n = nb de moles

R = constante

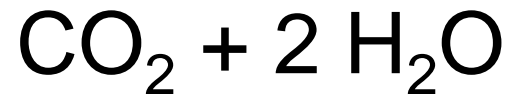
T = température

Pouvoir d'expansion

Le méthane :



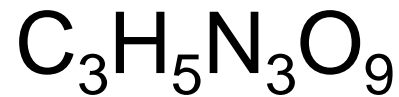
3 → 3 (moles)



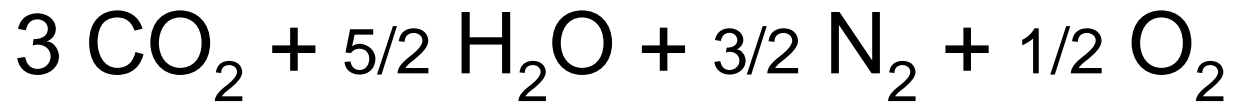
Expansion x 1

Pouvoir d'expansion

La dynamite

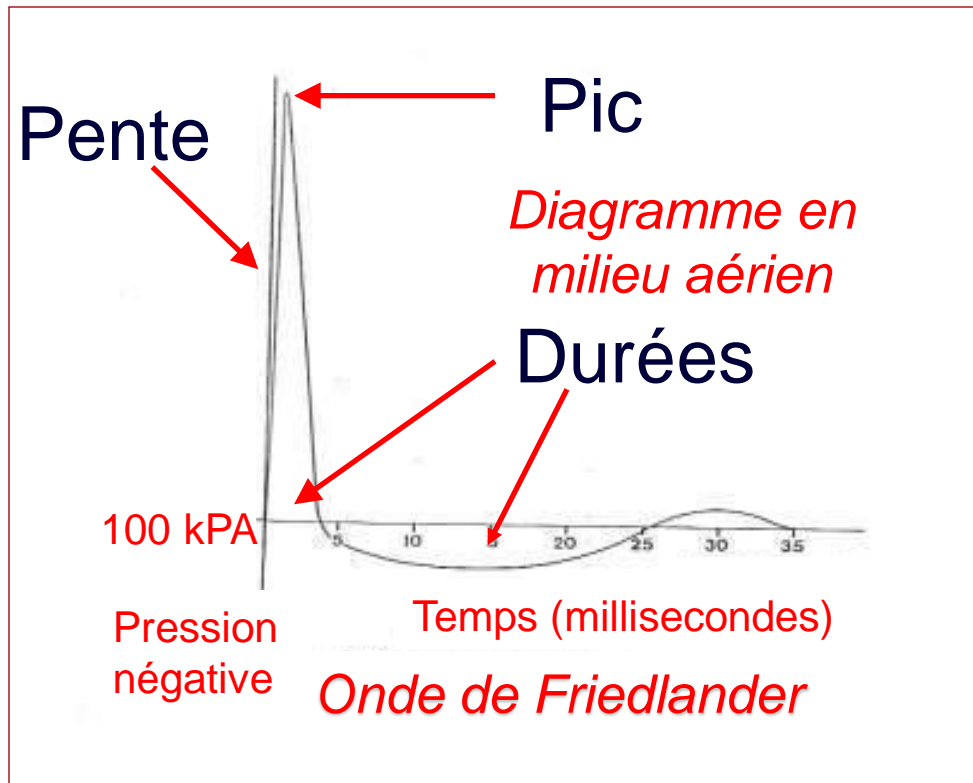


0 (gaz) → 7 ½
0,16 litres → 168 litres



Expansion x 1000

Caractéristiques de l'onde



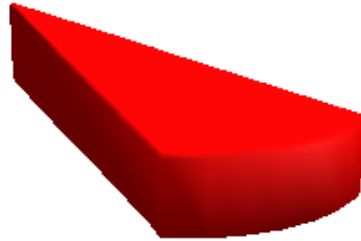
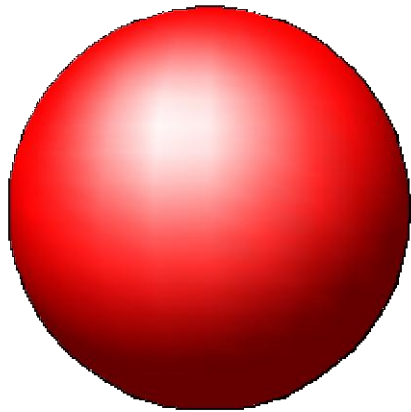
YY Philips. Ann Emerg Med 1986;15:1446-50
Junkui Z. J Trauma 1996;40:S77-S80

Niveau de surpression

kPa	Effets
7	Bris de vitres
35	Fissuration des murs (brique)
35	10% de perforation tympanique
175	Seuil de lésion pulmonaire
300	Destruction de murs en béton
600	50 % de blast pulmonaire
1100	50% de décès

*Owen-Smith MS. High velocity missile wounds.
London, Edward Arnold Ltd, 1981*

Amortissement



Explosion

QuickTime™ et un
décompresseur
sont requis pour visionner cette image.

Wolf SJ. Lancet 2009;374(9687):405-15

Espace ouvert ou fermé



%	Décès	Blast pulmonaire
Ouvert	8	6
Fermé	49	33

Leibovici D. J Trauma 1996;41:1030-5

Milieu liquide



densité $\times 800$, compressibilité $\div 10.000$

➔ \uparrow vitesse et \downarrow amortissement

Propagation de l'onde de choc

AIR

distance

EAU

« 0 » kPa

3000 m

52 kPa

52 kPa

15 m

11 730 kPa

1380 kPa

5 m

34 500 kPa

50 kg TNT
(172 500 kPa)

Milieu solide



↑↑↑ vitesse, ↓↓↓ amortissement,
Ex : véhicule, bateau (même blindé !)

Position de l'individu

Pats B. EMC Anesthésie-réanimation, 36-725-D-10, 2000

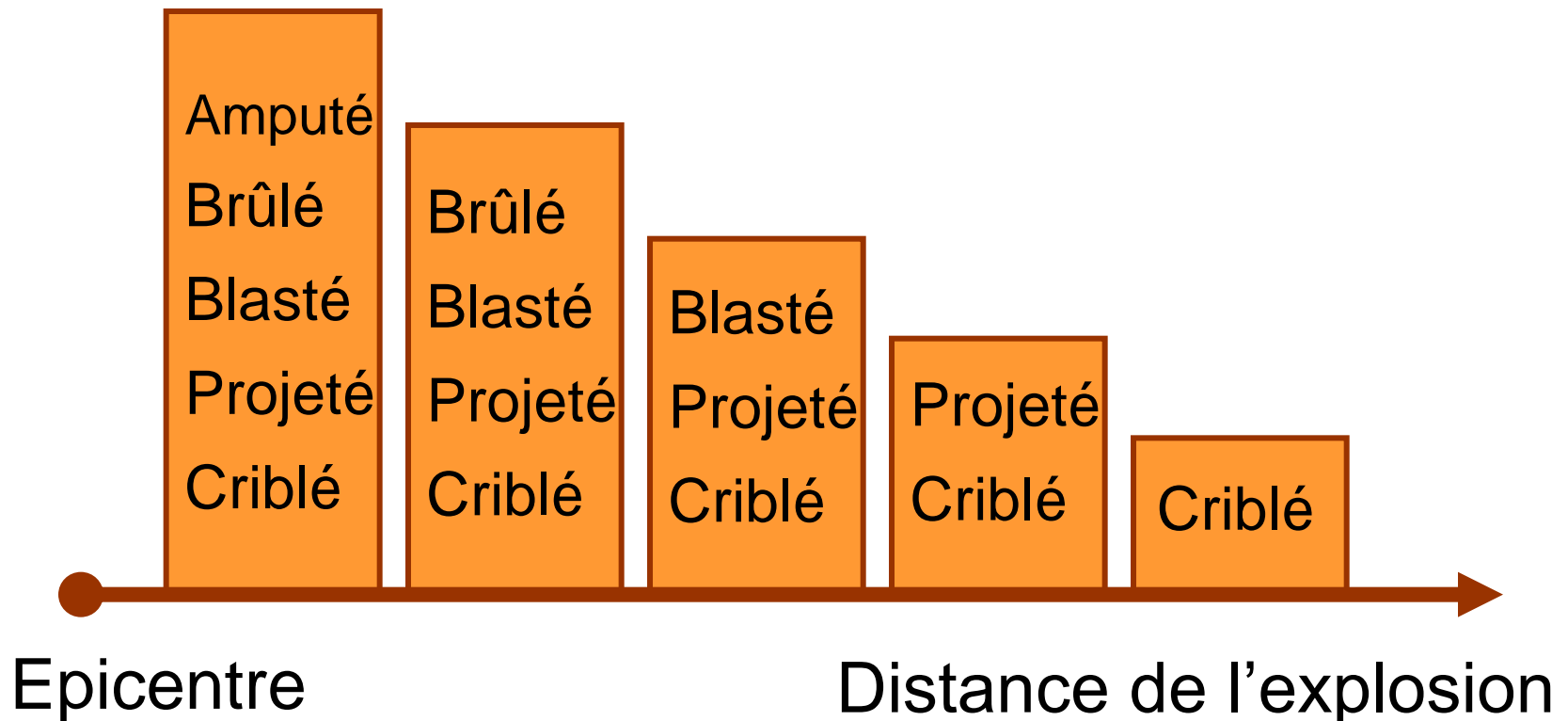
Les lésions par explosion

- « Lésions primaires » = « blast injuries »
- « Lésions secondaires » = projectilaires
- « Lésions tertiaires » = par projection du corps
- « Autres effets » :
 - brûlures, intoxications
 - ensevelissement
 - traumatismes psychiques

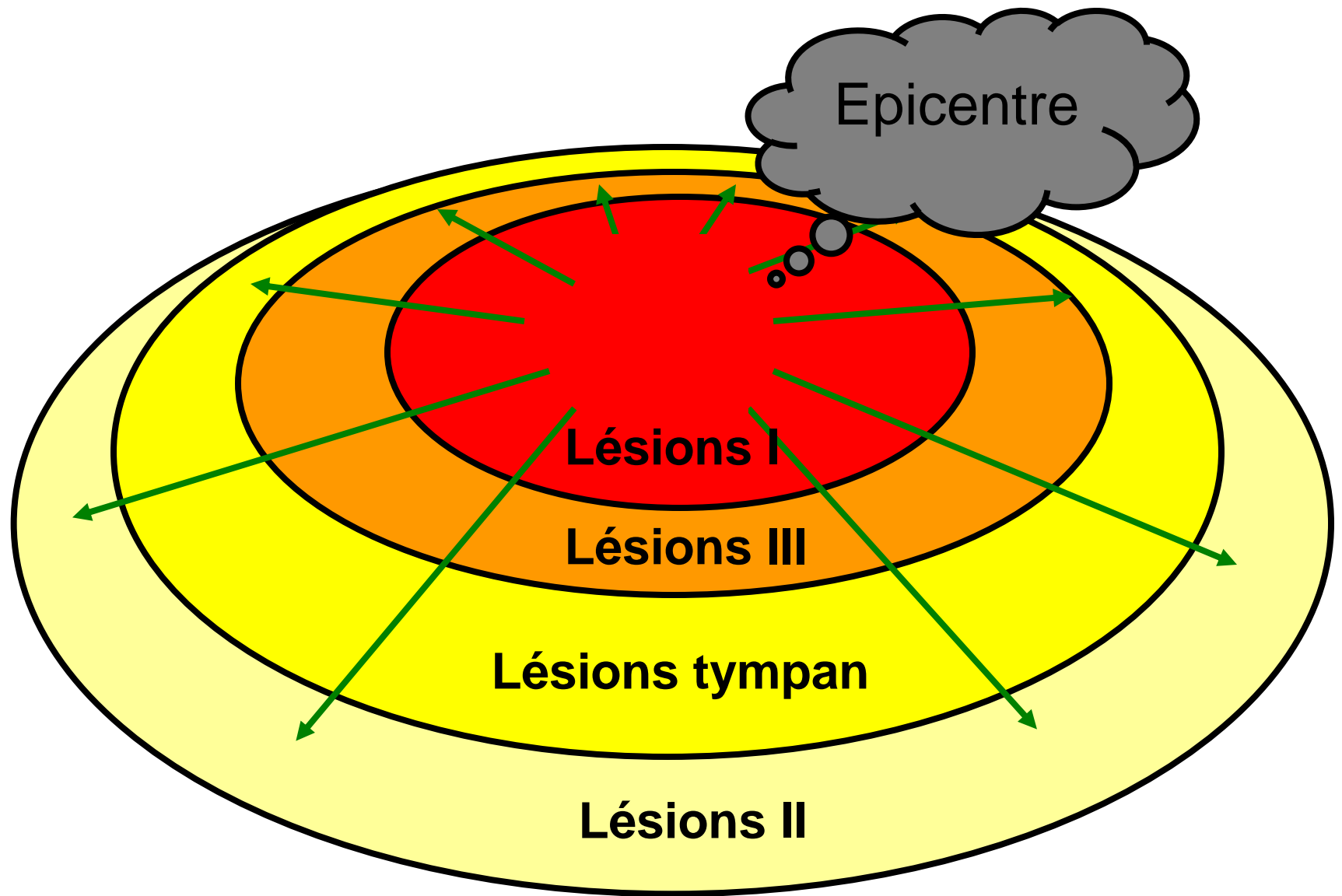
DePalma RG. N Engl J Med 2005;352:1335-42

Wolf SJ. Lancet 2009;374(9687):405-15

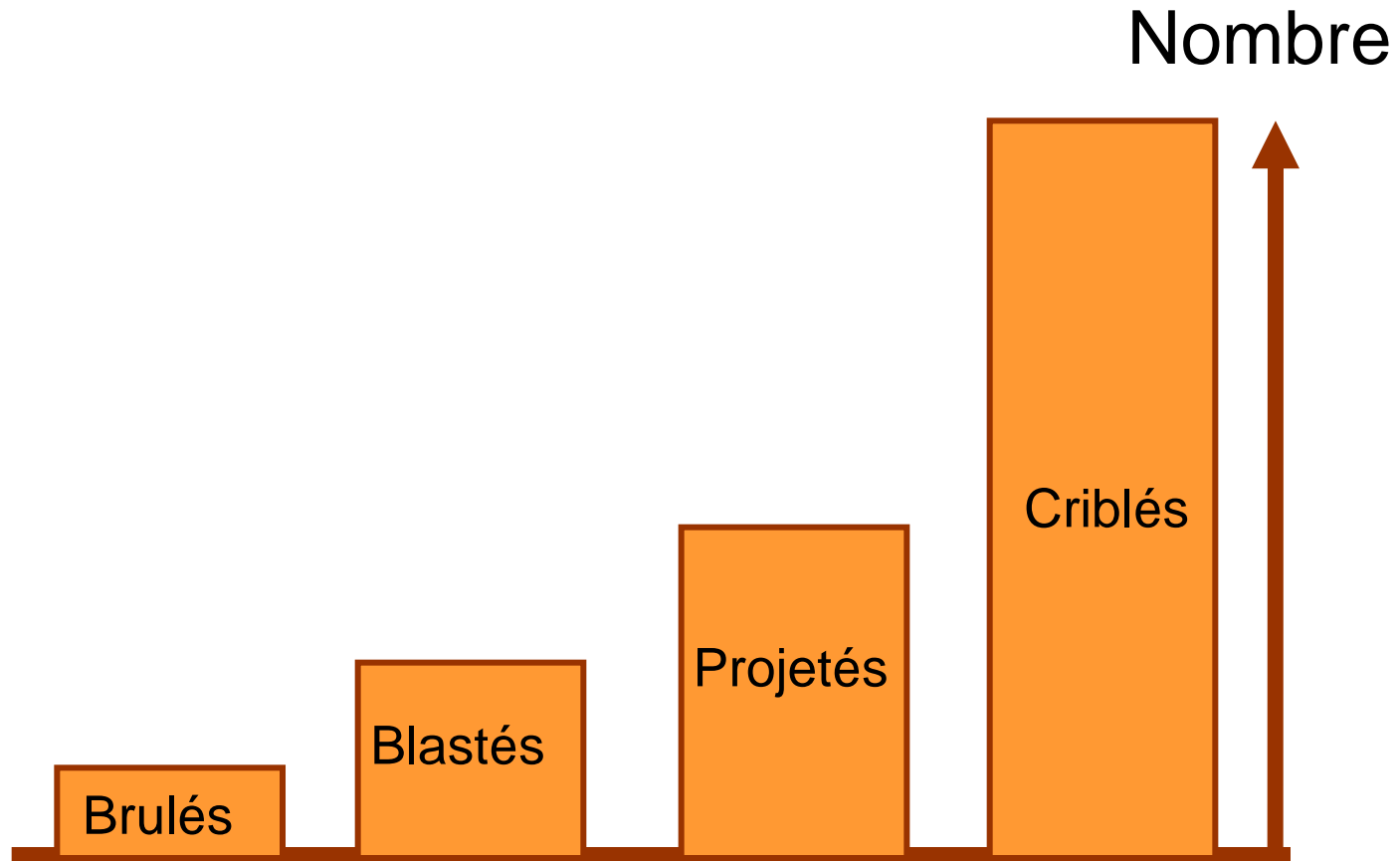
Profils lésionnels



Wightman JM. Ann Emerg Med 2001;37:664-78



Fréquence des lésions



Debien B. MAPAR Eds, 2006

Mécanismes

Initialement évoqués

- ➔ pulvérisation
 - ➔ implosion
 - ➔ inertie
- poumons
 - intestin
 - tympan

Sensibilité des organes à contenu gazeux !

Wolf SJ. Lancet 2009;374(9687):405-15

Pats B. EMC Anesthésie-réanimation,36-725-D-10, 2000

Elsayed NM. Toxicology 1997;121:1-15

Mécanismes

Onde de choc

➔ onde pression

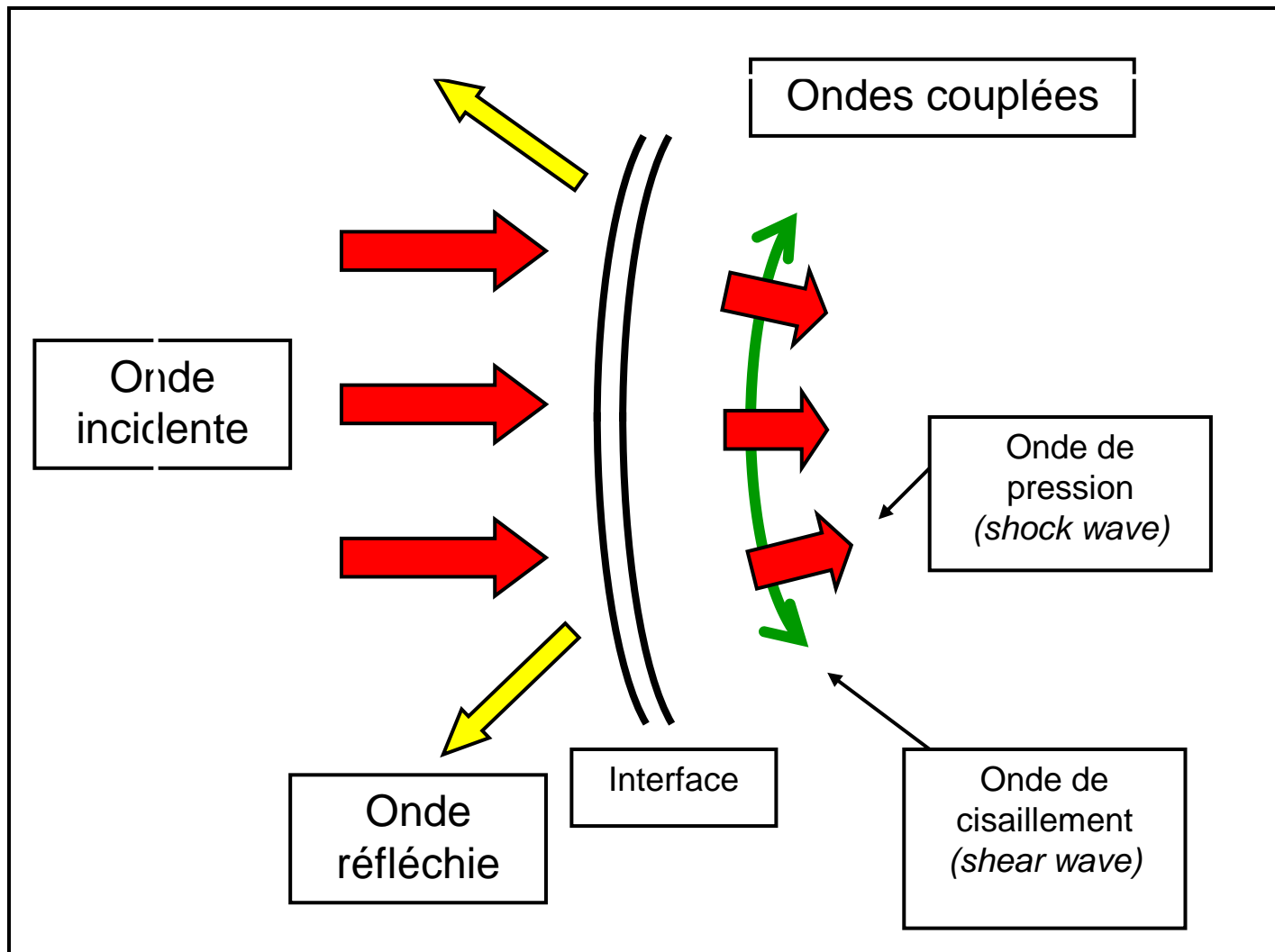
➔ ondes cisaillement

- poumons
- intestin
- tympan

Atteinte possible
des organes pleins

+ + +

- cerveau
- foie, rate
- cœur, œil
- OS



Maynard RL. Blast injury of the lung. In Cooper GJ eds. Scientific foundations of trauma. Oxford : Butterworth Heinemann, 1997:247-57.

Blast pulmonaire



« rib marking »

Zuckerman. Lancet, 1940, aug 24, 219-24

Blast pulmonaire

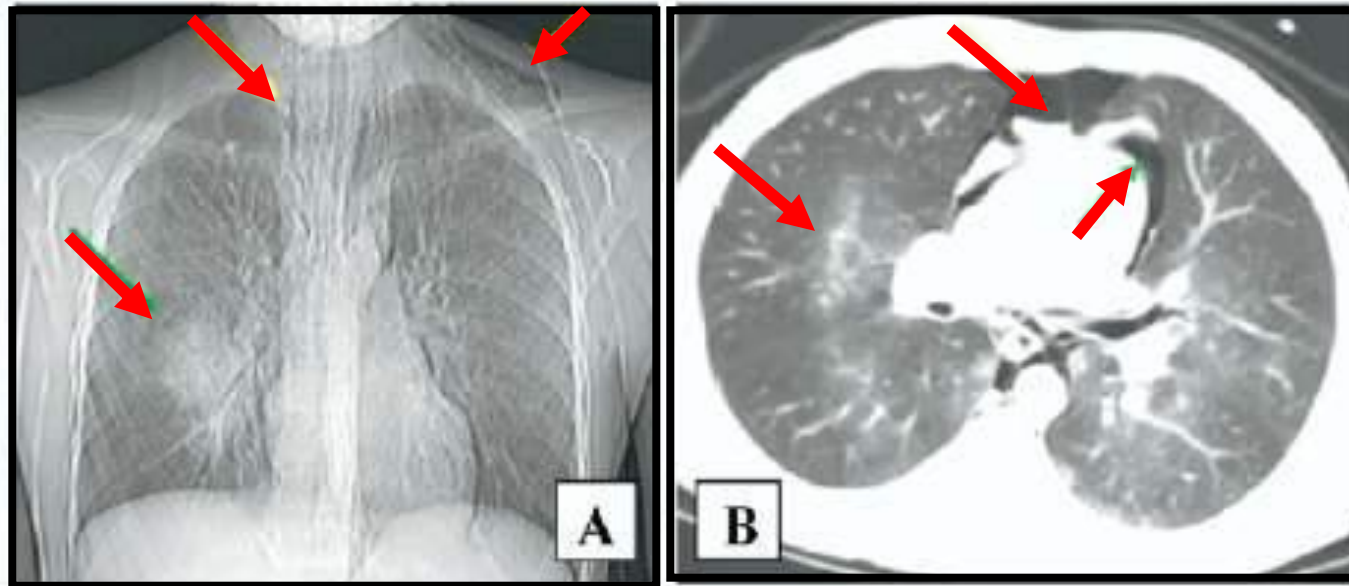
Anatomo-pathologie :

- rupture de la mb alvéolo-capillaire
- hémorragies et contusion pulmonaires
- embolie gazeuse systémique

Symptomes :

- dyspnée, toux, hémoptysie
- douleur thoracique (brûlure rétrosternale)
- insuffisance respiratoire aiguë

Blast pulmonaire



- aspect en « ailes de papillon »
- pneumothorax, pneumomediastin
- emphysème sous-cutané

Avidan V. Am J Surg 2005

Blast pulmonaire

Auteurs	Fréquence	Ref.
Frykberg	0,6 %	<i>Ann Surg 1988</i>
Hadden	0,8 %	<i>Br J Surg 1978</i>
Brismar	4,3 %	<i>J Trauma 1980</i>
Cooper	4,8 %	<i>J Trauma 1983</i>
Katz	7,9 %	<i>Ann Surg 1989</i>
Guttierez	5,4 %	<i>Crit Care Med 2005</i>

Blast = bombe à retardement ?

11 attentats

647 survivants

140 perforations

Pas d'insuffisance

respiratoire retard

NON!

monnaie graves
FiO₂ = 200 à l'arrivée

Leibovici D.

Ann Emerg Med 1999;34:168

Sorkine P.

J Trauma 1998;45:35-8

Blast digestif

Première description : explosion aérienne

- 9 morts, 17 blessés
- 5 blast digestifs (4 décès tardifs)

Autopsie :

- hémorragie sous-séreuse (caecum + appendice)
- hémorragie (foie, rate, reins)

O'Reilly JN. Lancet 1941:423-8.

Physiopathologie

- milieu liquide > aérien
- colon > grêle
(Huller T. Arch Surg 1970;100:24)
- niveau de surpression \approx poumon
(Mayorga MA. Toxicology 1997;121:17)
- rarement isolé
(Mellor SG. Br J Hosp Med 1988;39:536)

Anatomopathologie

- Perforations immédiates (déchirures)



(Hill JF. Ann Roy Coll Surg Engl 1979;61:4)

Symptomes

- Douleur abdominale : 80%
- Nausées, vomissements : 46%
- Tenesme : 24%
- Douleur testiculaire : 21%
- Faux besoins

Huller T. Arch Surg 1970;100:24

Owen-Smith MS. J R Army Med Corps 1979;125:4-16.

Phillips YY. Ann Emerg Med 1986;15:1446-50

Otoscopie



Tympan intact → blast ?
Ty → blast ?

NON!

Otoscopie ?

Faux
négatifs

828 victimes

groupe > 550 kPa

Mellor SG. Br J Surg 1989

38%

647 survivants - 7,5% blast

Leibovici D. Ann Emerg Med 1999

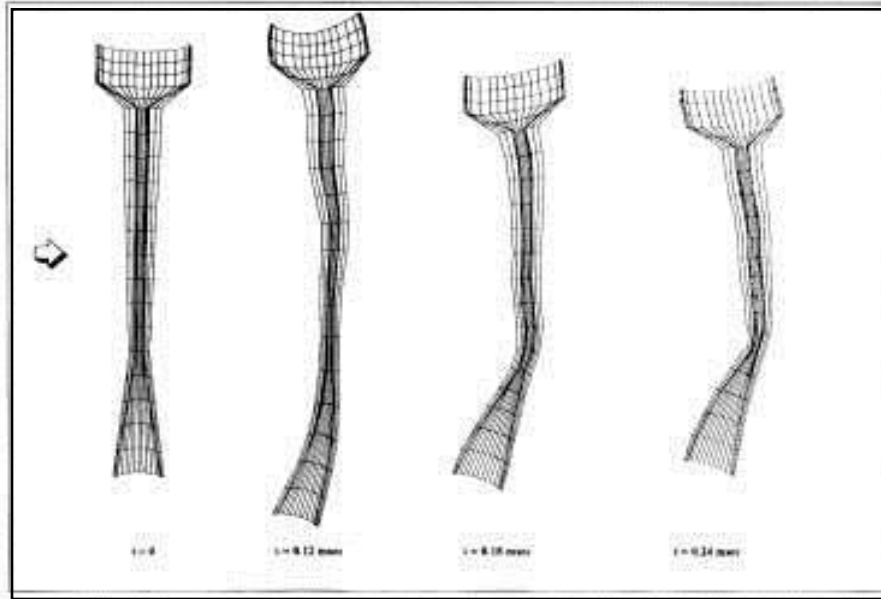
33%

243 survivants – 5,4 % blast

Gutierrez JP. Crit Care Med 2005

33%

Lésions orthopédiques



Lésions directes : amputations

Hull JB. J Trauma 1996;40(3):S198-S205.

Lésions orthopédiques



Lésions indirectes : « *claque de pont* »

Lésions secondaires = traumatismes pénétrants



Projectiles

- Débris de l'explosif
- Vis, boulons, écrous
- Pierres
- Fragments osseux



Photo Dr DEBIEN Hôpital Percy



Epidémiologie

- Espace « ouvert » = « fermé »
Leibovici D. J Trauma 1996;41(6):1030-5.
- Lésions les plus fréquentes (85%)
Mallonee S. JAMA 1996;276(5):382-7.
- Pouvoir vulnérant « exploité »
Kluger Y. Eur J Emerg Med 2005 ; 12(1):19-23
- Inhabituelles en Europe

Risques

- **Hémorragie** (plaie vasculaire)
- **Insuff. respiratoire aiguë** (pneumothorax)
- **Coma** (plaie crânio-cérébrale)
- ... **Infection** (plaie contaminée)



Lésions tertiaires



= trauma fermé « classique »

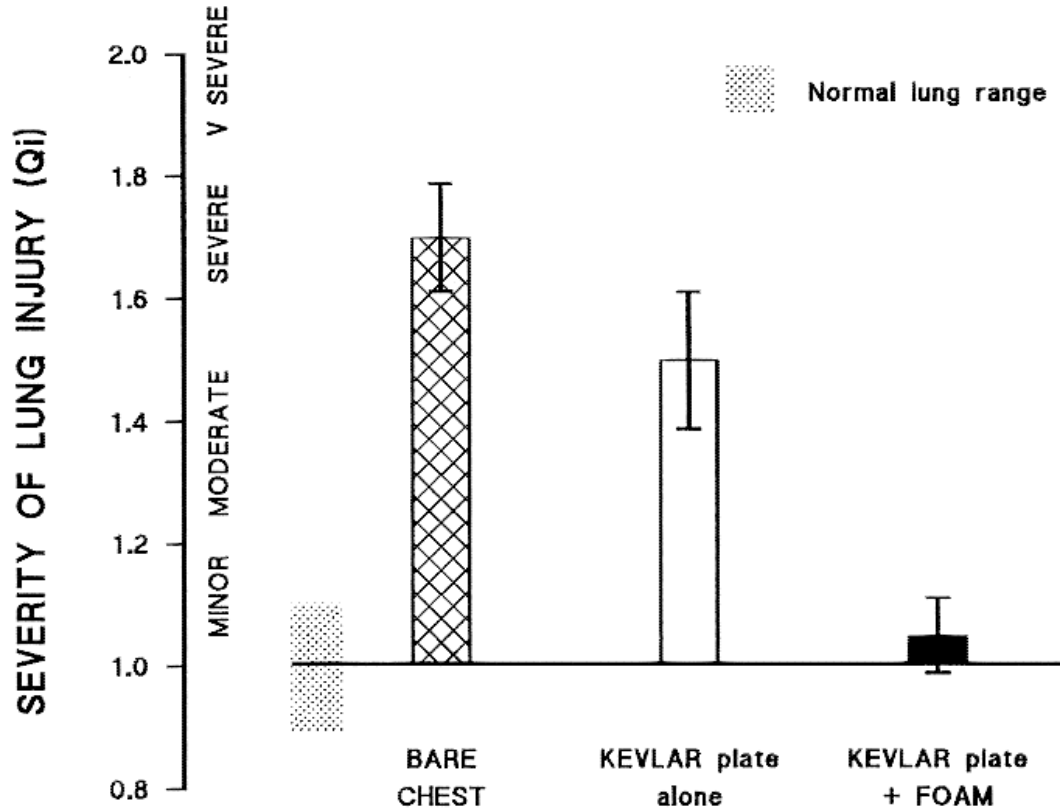
Effets de protection

Protection



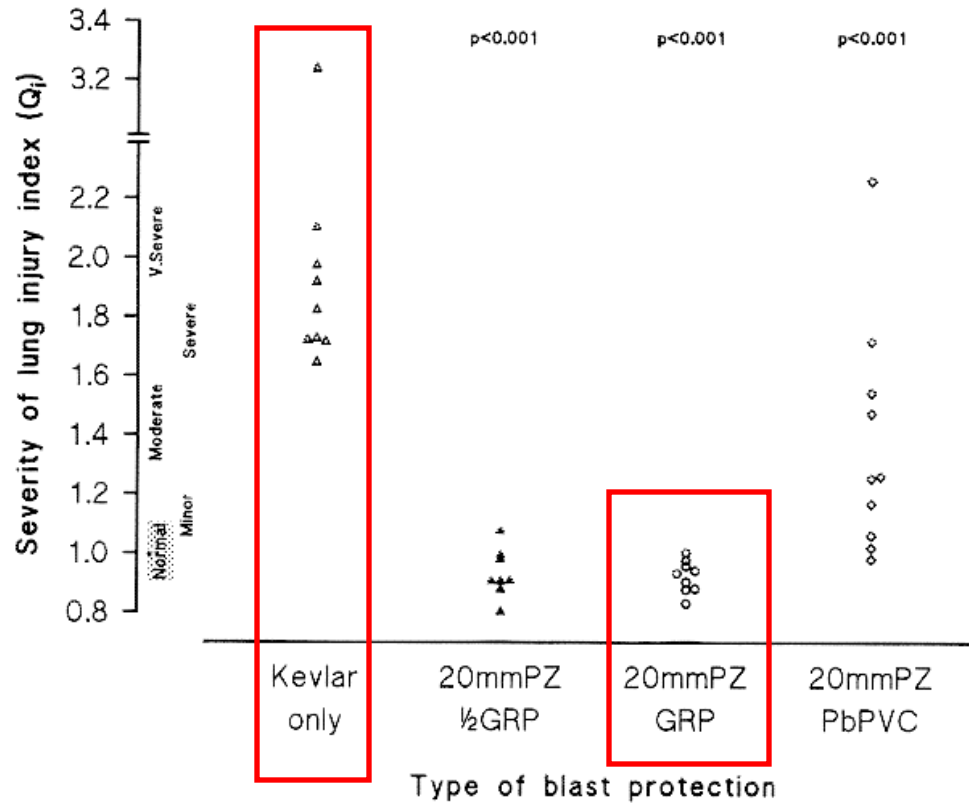
Efficace seulement contre les projectiles
(lésions secondaires)

Protection individuelle



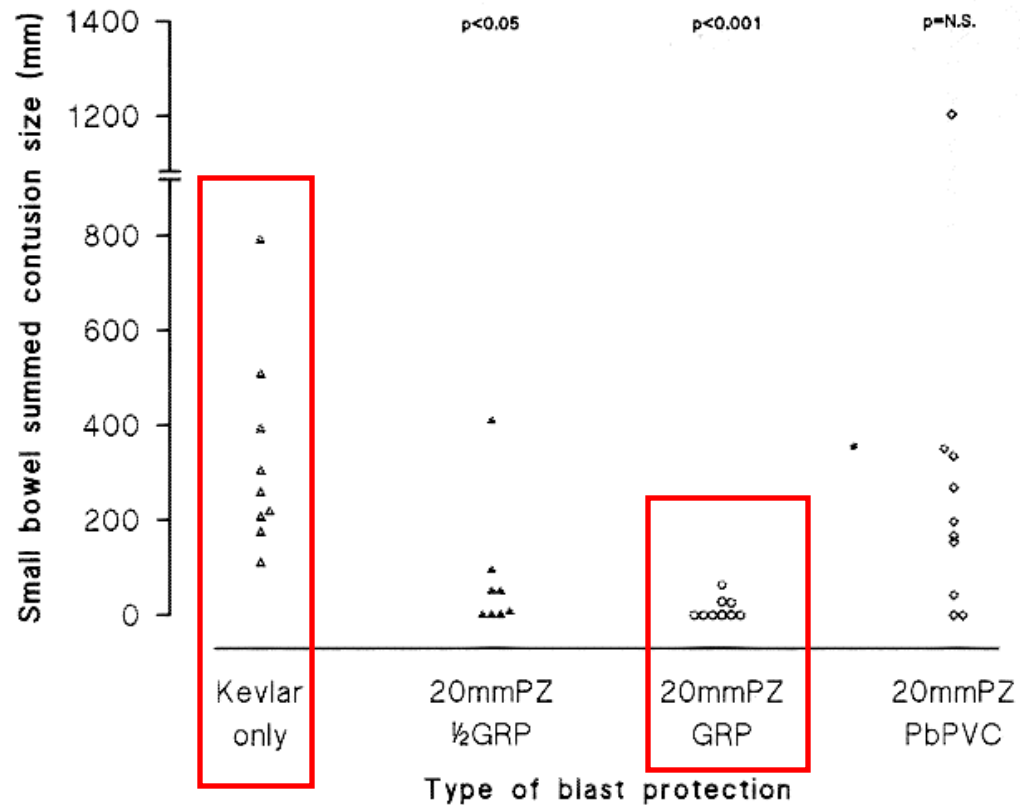
Cooper GJ. *J Trauma* 1996;40:S105-S110

Protection individuelle



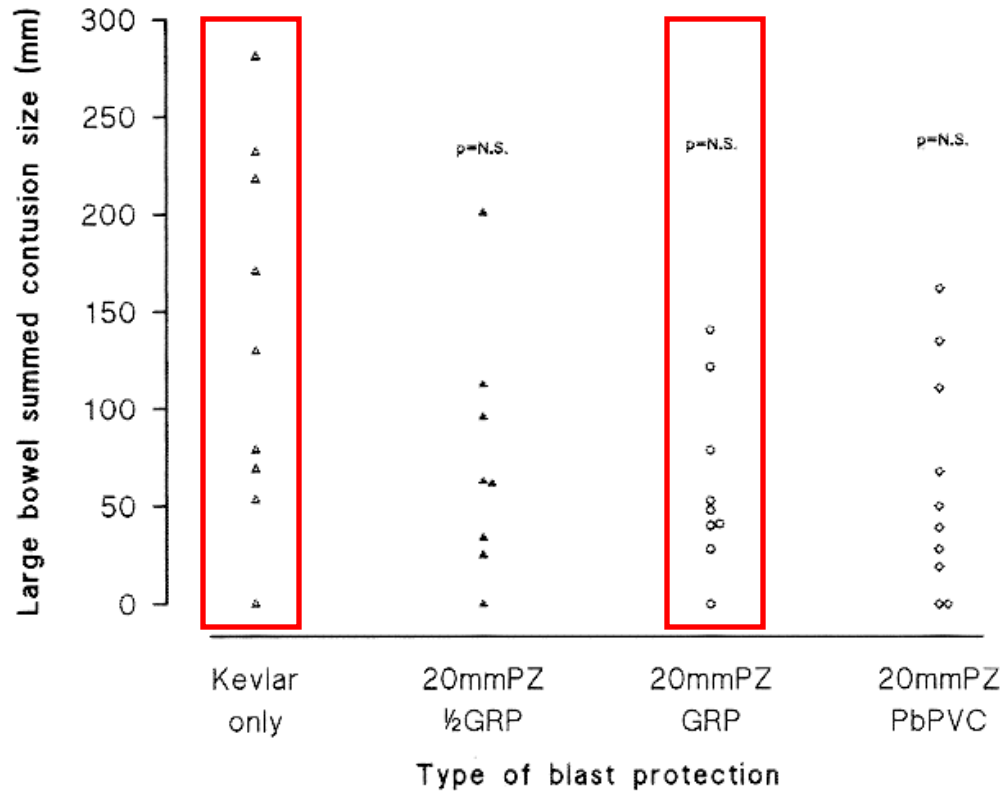
Cripps NPJ. J Trauma 1996;40:S206-S211

Protection individuelle



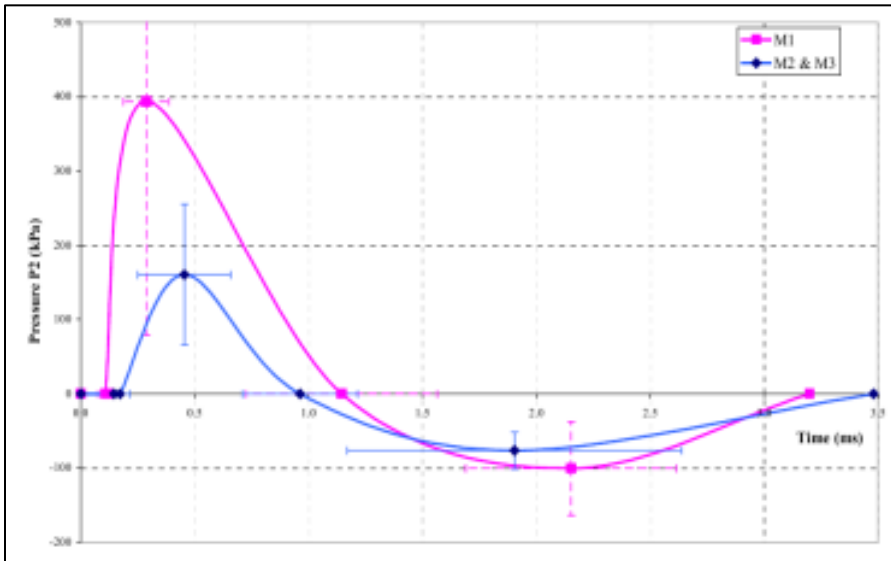
Cripps NPJ. J Trauma 1996;40:S206-S211

Protection individuelle



Cripps NPJ. J Trauma 1996;40:S206-S211

Prévention efficace...



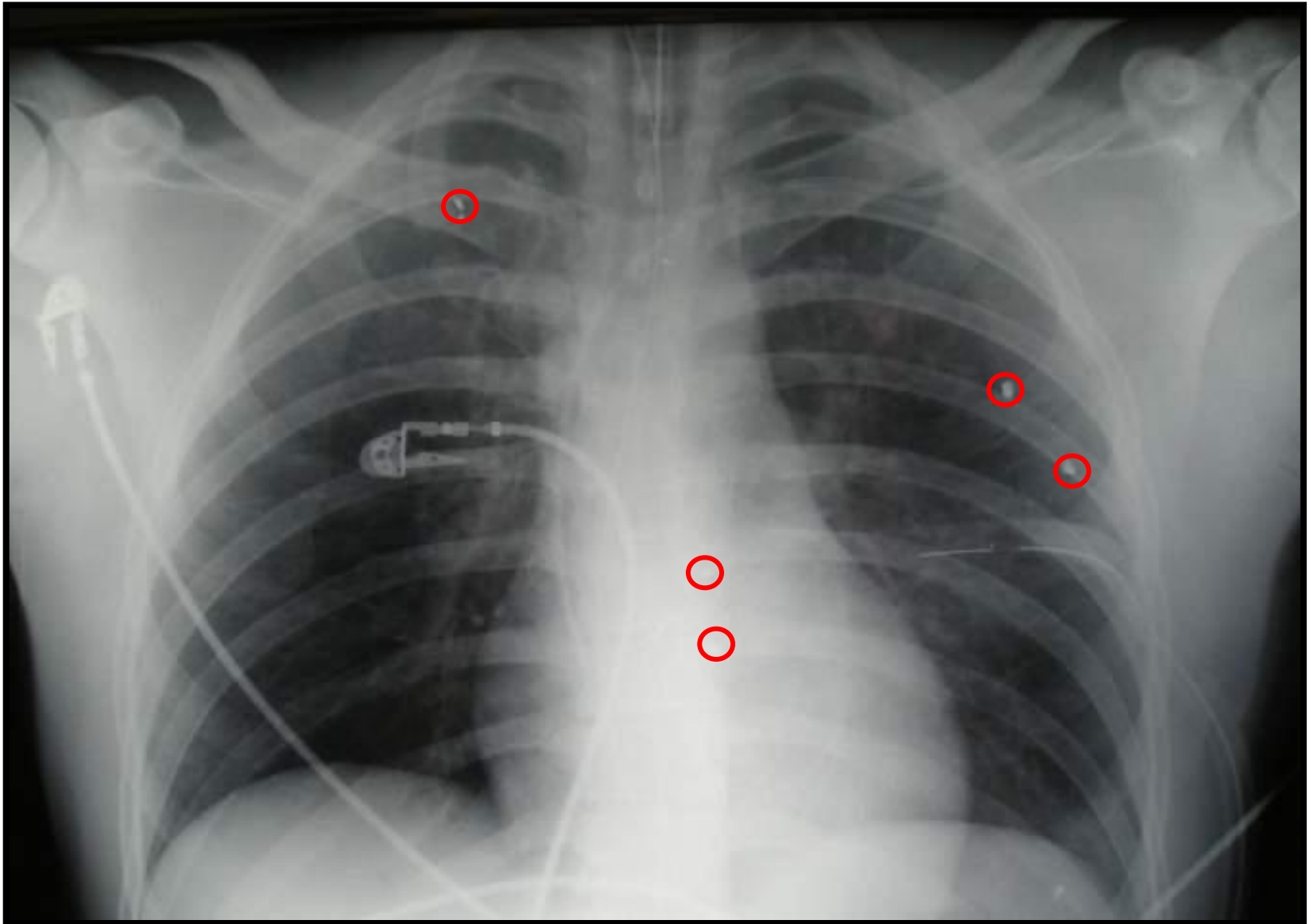
Retours d'expériences

Exemple 1

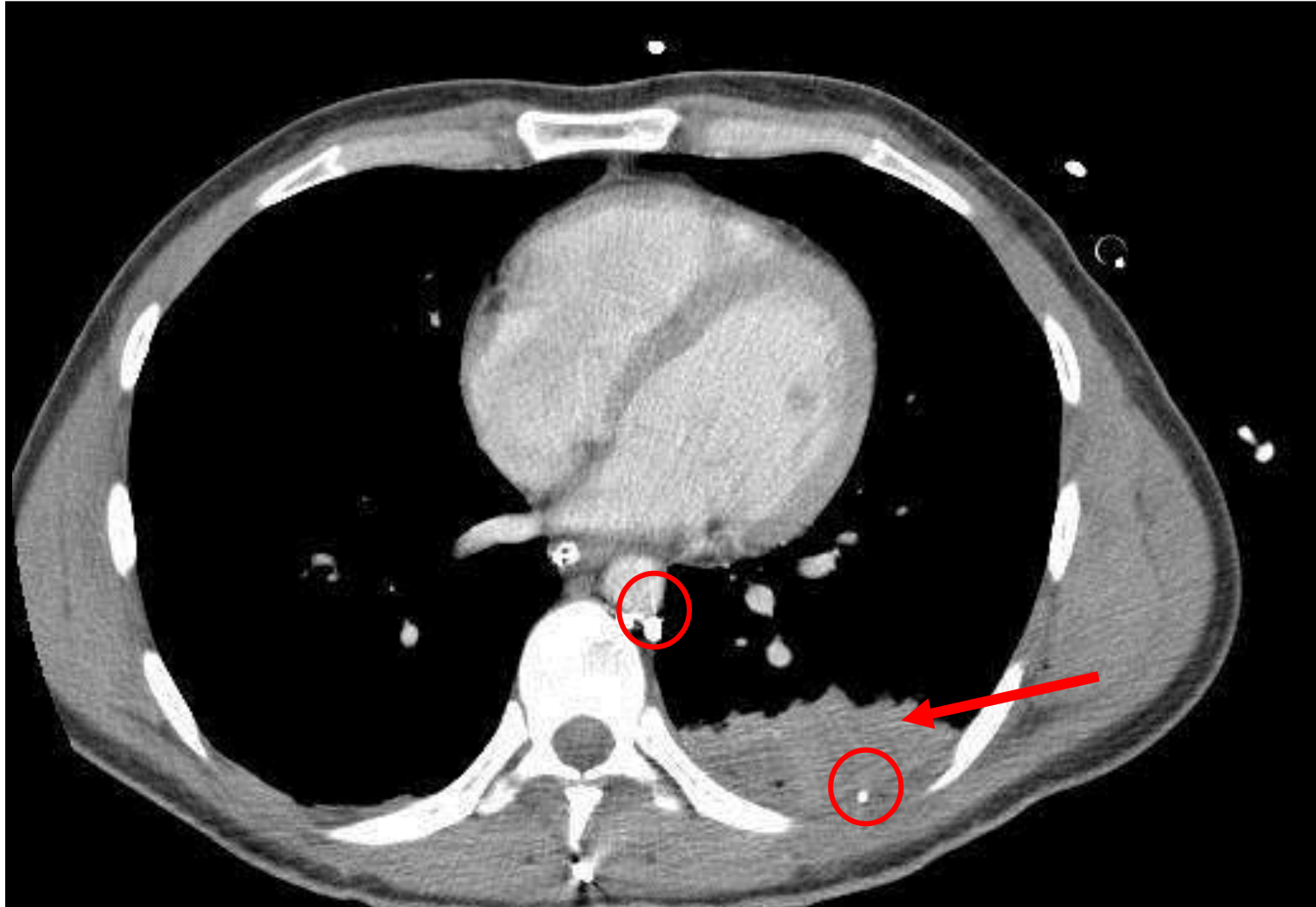
- Militaire 30 ans, Tchad
- Grenade à fusil
- Milieu aérien ouvert
- Pneumothorax suffoquant
- Drainage
- Intubation + ventilation
- EVASAN



Radio pulmonaire



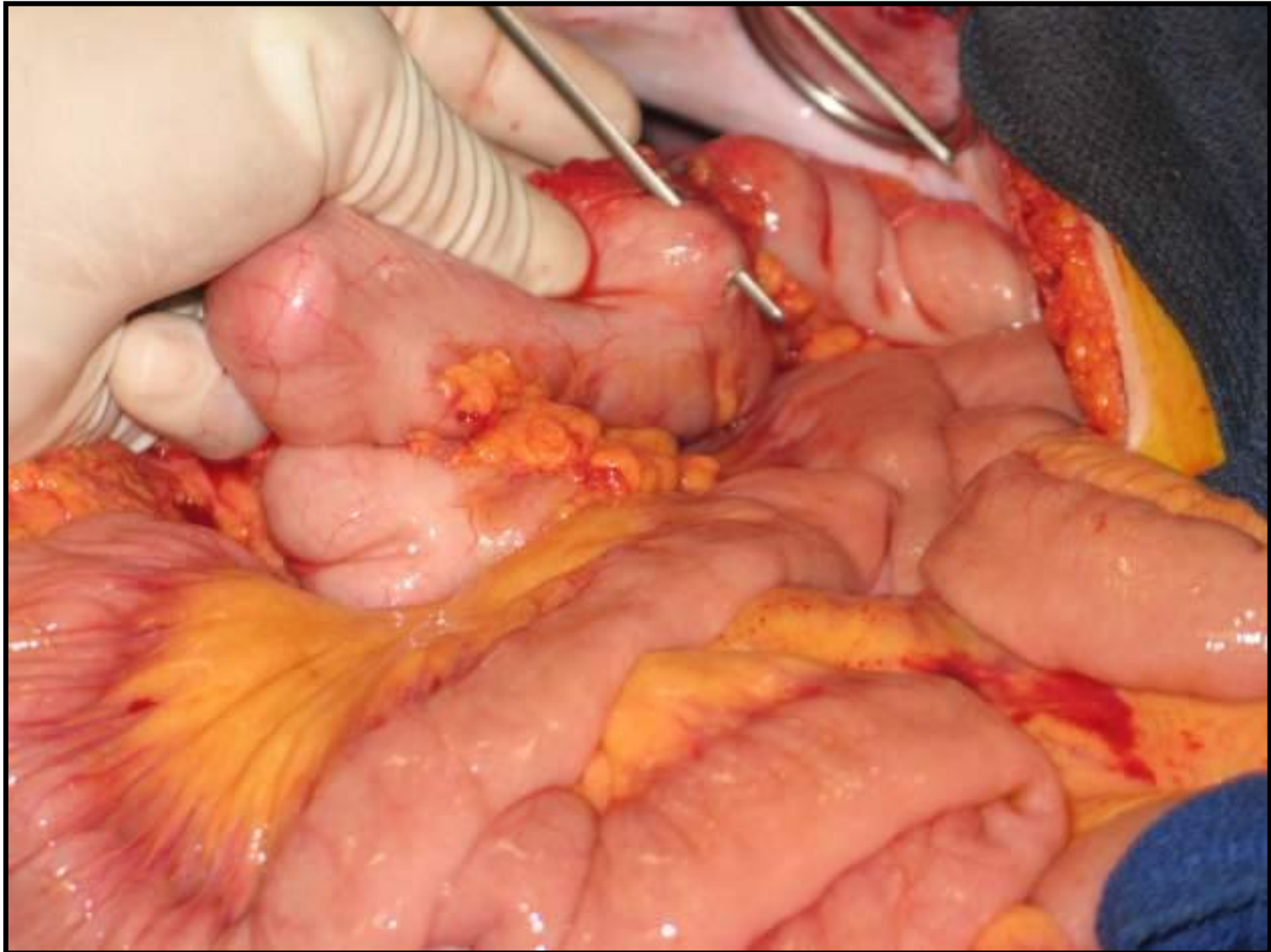
TDM thorax



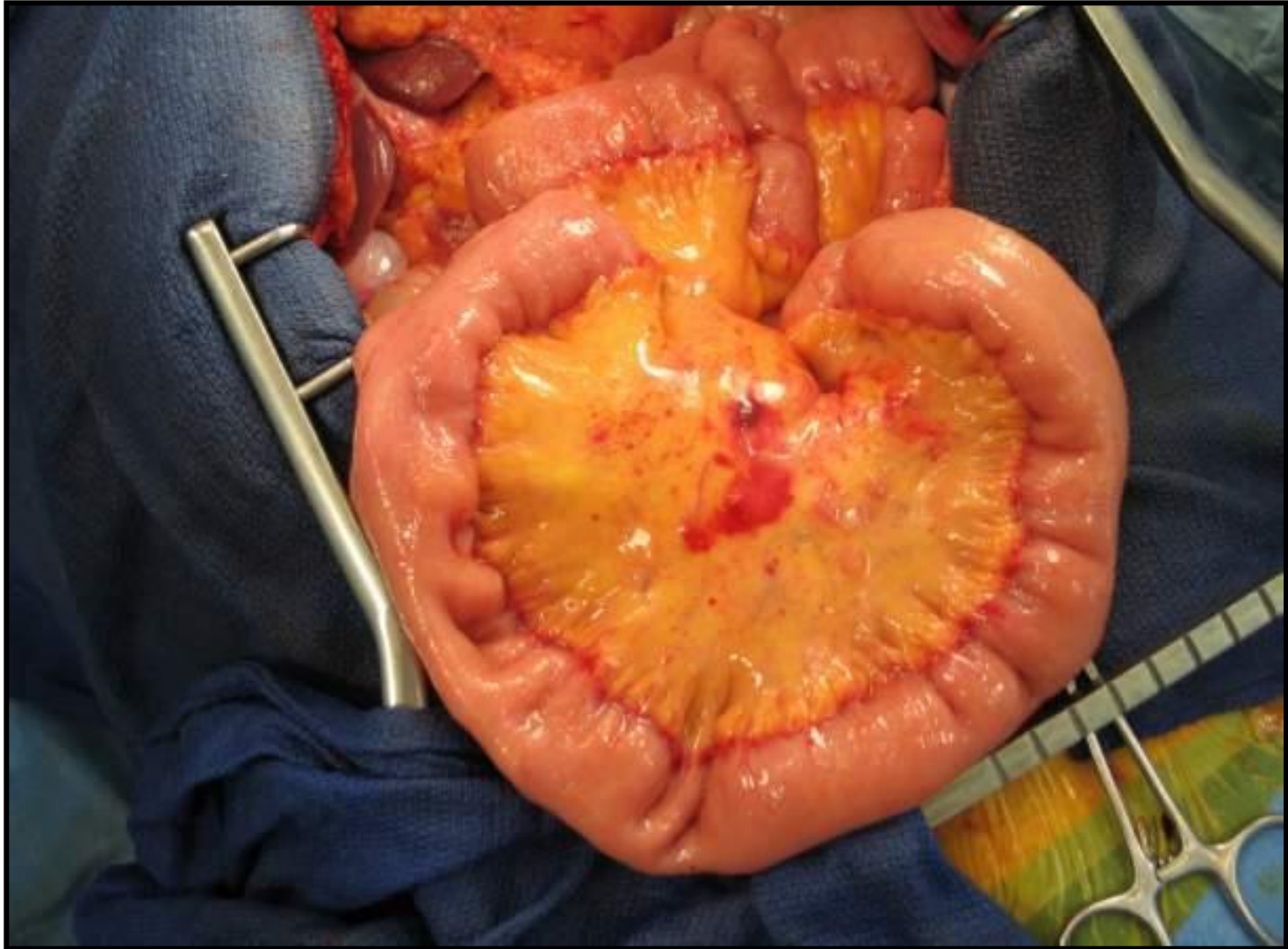
TDM abdomen



Perforation



Blast digestif



Les leçons

- Lésion projectilaires +++
- Dangers :
 - pneumothorax compressif
 - hémorragie
- Médicalisation de l'avant !

Exemple 2

- Karachi
- 8 mai 2002 à 8h00
- Attentat à la voiture piégée
- 11 Français tués
- 12 Français blessés
- Aga Khan University Hospital
- EVASAN le 09 mai 2002
(6 à Percy, 5 à Bégin, 1 au VDG)



Les images



Bilan lésionnel

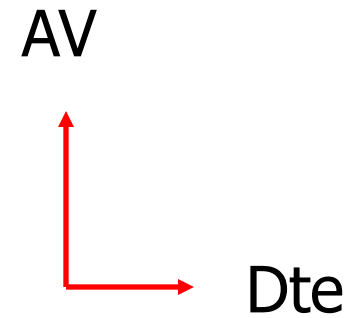
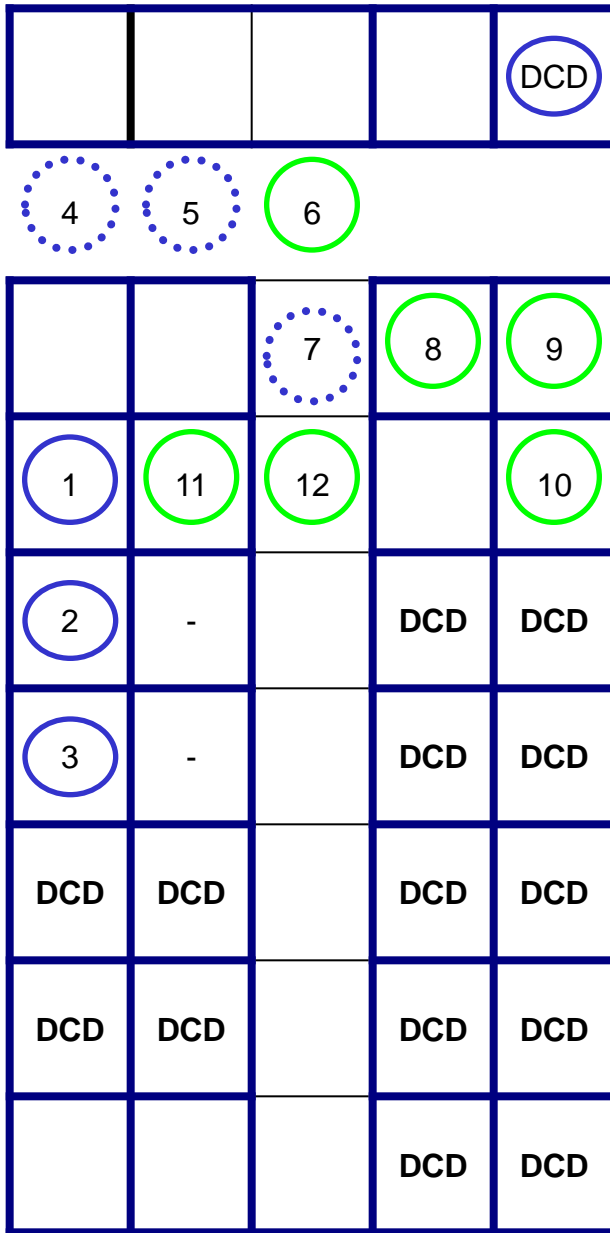
Lésions	Nombre	%
blast tympanique	12	100
criblage	12	100
pied de pont	10	83
lésions pulmonaires	6	50
PCI	2	16
fracture du fémur	1	8

Lésions pulmonaires

chez 50 % des survivants !

- 1 hémoptysie + douleur thoracique
- 2 pneumothorax, opacités alvéolaires, hémoptysie
- 3 aspect en verre dépoli + épanchement bilatéral + K6, K7, K8
- 4 épanchements pleuraux bilatéraux
- 6 épanchement pleuraux bilatéraux + opacités alvéolointerstitielles
- 5 hémothorax G drainé, volet costal, condensation pulmonaire

Plan du bus



Fréquence et gravité du blast

14 publications

3357 victimes

(entre 1969 et 1983)

15 victimes par attentat

mortalité sur place =

13%

mortalité hospit. = 1,4%

Blast pulmonaire

Peu fréquent : 0,6% chez survivants

Grave : mortalité = 10 %

Retrouvé chez **45% des décédés**

(Frykberg ER. Ann Surg 1988;208(5):569-76)

Lésions orthopédiques

Pied de mine indirect (« claque de pont »)

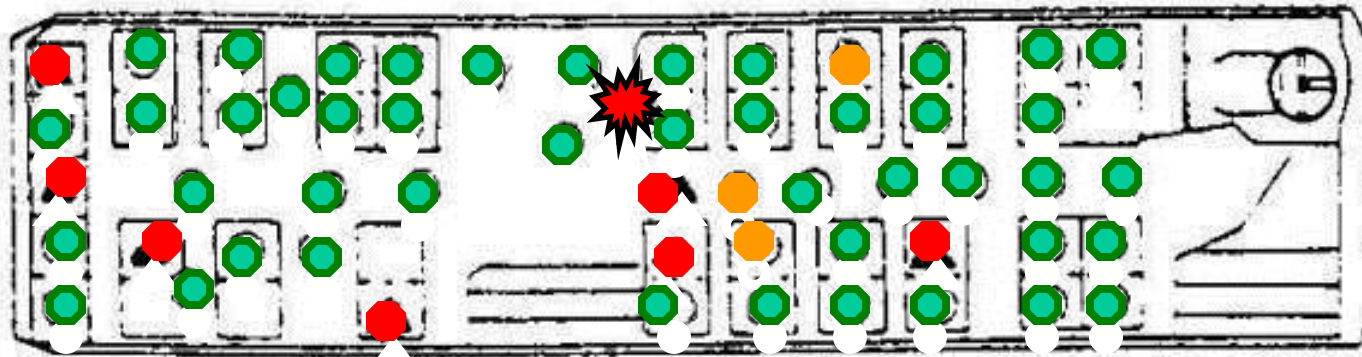


Les leçons

Grande quantité d'explosif
+ Milieu fermé



Létalité importante
+ Blast pulmonaire
+ (tjs) Lésions projectilaires



-  EXPLOSIVE CHARGE
-  SEVERELY INJURED
-  SLIGHTLY INJURED
-  PASSENGER

6 kg de TNT 5 ATA pdt 2-3 ms

Blast auriculaire 76%

Blast pulmonaire 38%

Blast abdominal 14%

(Katz E. Ann Surg 1989;209:485-8)

Quelques scenarii
en guise de conclusion

Milieu ouvert, charge variable

(grenade, obus...)



- Trauma pénétrant +++
- Perforation tympan +
- Blast pulmonaire +/-
- Létalité ?





Milieu fermé, charge faible

Madrid, Londres

- Trauma pénétrant +++
- Perforation tympan = 30-50%
- Blast pulmonaire = 3-8%
- Létalité \approx 8-10%



Charge élevée



... contre des bus :
Karachi, Kaboul
(milieu fermé)

- Perforation tympan : 80-100%
- Blast pulmonaire : 25-50%
- Trauma pénétrant +/-
- Létalité \approx 20-50%



Charge très élevée

Effondrement d'immeubles :
Beyrouth, Oklahoma city,
Taba, WTC

- Perforation tympan ?
- Blast pulmonaire ?
- Trauma pénétrant ?
- Létalité \approx 20-80%



Attentat	Date	nb victimes	létaleté
Bologne	1980	291	25%
Beyrouth	1983	346	68%
Paris	1986	268	5%
BuenosAire	1994	200	43%
Oklahoma City	1995	759	21%
Paris	1995	92	4%
Paris	1996	94	2%
Dahran	1996	420	5%
Londres	1999	50	4%
New-York	2001	3600	80%
Madrid	2004	2100	9%
Londres	2005	700	8%

*« Humans are
generally the most
bomb-resistant
structures near a
bomb »*

*(Wright RK. Clin Lab
Med 1983;3:309-19)*