IRM cardiaque dans la pathologie coronarienne

Dr Iannino Nadia,
Cardiologue GHDC

AsPeCaF 3 octobre 2026

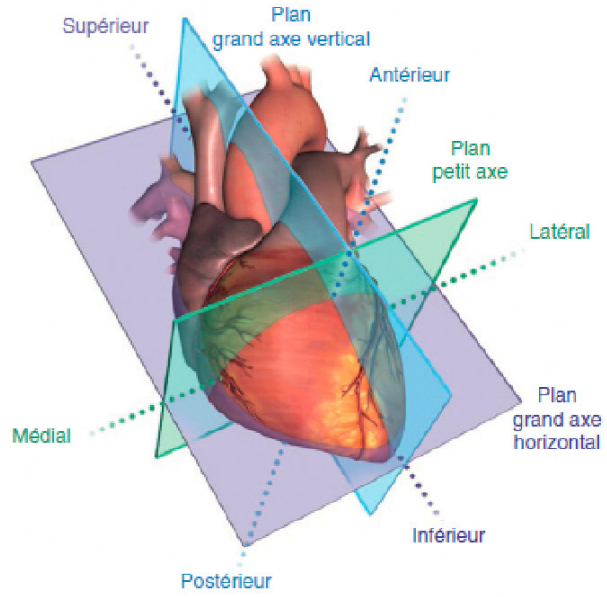
Objectifs pédagogiques

- Identifier les principales **indications** de l'IRM cardiaque dans la maladie coronarienne avérée ou suspectée

- Reconnaitre les **contre-indications** formelles ou relatives d'une IRM cardiaque avec ou sans stress pharmacologique

- Comprendre ce que montrent les séquences principales et l'impact de leur **interprétation** sur la prise en charge

Plan de la présentation



- **L'imagerie par résonance magnétique**
  - Généralités et bases physiques
  - Particularités de l'imagerie cardiaque, séquences clés
  - Indications et contre-indications
- **La pathologie coronarienne**
  - de l'athérosclérose à l'infarctus en passant par l'ischémie myocardique
  - Place de l'imagerie cardio-vasculaire dans le dépistage
  - Quel suivi proposer au patient coronarien connu?
- **Cas cliniques illustratifs**
  - Focus sur l'IRM de stress : analyse de la perfusion myocardique
  - Focus sur le réhaussement tardif : analyse de la viabilité

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique Généralités



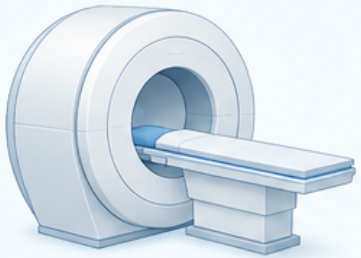
- Non invasif
- Non irradiant
- Puissant aimant - Champ magnetique 1,5 ou 3 Tesla
  - 1 T = 20 000 fois le champ magnétique terrestre
- Tunnel
- Radiofréquence - bruyant
- Compliance du patient

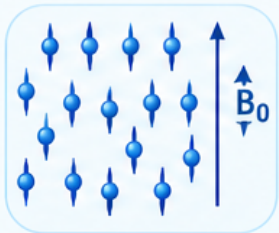
IRM cardiaque : les principes physiques essentiels

Une image du cœur grâce à un champ magnétique, des ondes radio et un signal.

1 Champ magnétique B_0

Dans le champ magnétique principal B_0, les protons d'hydrogène s'alignent parallèlement et antiparallèlement au champ.

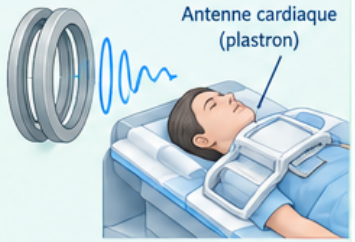


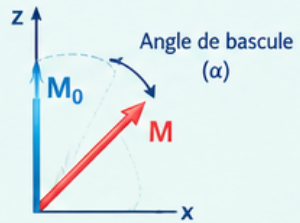


Alignement des protons dans le champ magnétique.

2 Impulsion radiofréquence

Une impulsion radiofréquence (RF) à la fréquence de l'IRM bascule les protons d'un angle précis (axe de bascule).



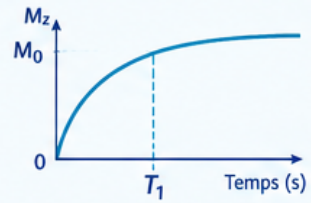


L'impulsion RF met les protons en état d'excitation.

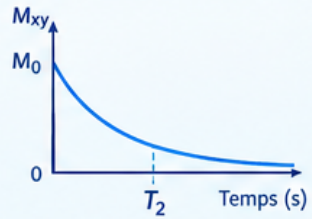
3 Relaxation

Après l'excitation, les protons reviennent à l'équilibre selon deux processus :

T1 : relaxation longitudinale
(récupération de M_z)



T2 : décroissance transversale
(perte de phase de M_{xy})



Ces relaxations conditionnent le contraste de l'image.

4 Gradients

Les gradients de champ magnétique permettent la localisation spatiale du signal en sélection de coupe, codage de phase et codage de fréquence.

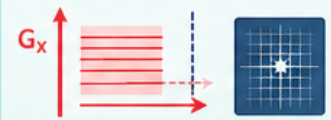
Sélection de coupe (G_z)
→ position de la coupe



Codage de phase (G_y)
→ direction phase

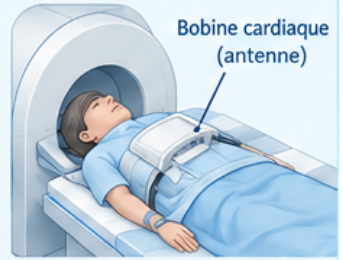


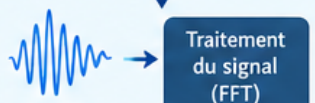
Codage de fréquence (G_x)
→ direction fréquence



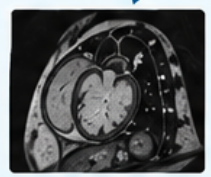
5 Réception du signal

La bobine (antenne) reçoit le signal RF émis par les spins. Le signal est ensuite traité et reconstruit en image (par transformation spatiale).





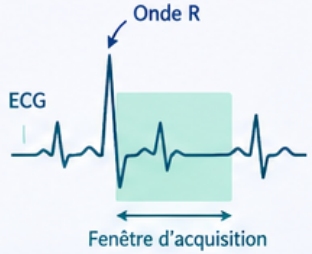
Traitement du signal (FFT)

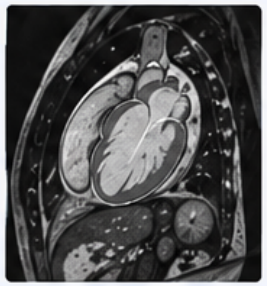


Image

6 Synchronisation cardiaque

L'acquisition est synchronisée avec le cycle cardiaque (ECG) pour réduire le flou lié aux mouvements du cœur.





Cœur en IRM
(coupe 4 cavités)

La chaîne physique de l'IRM cardiaque

B_0 (champ magnétique) → **RF** (excitation) → **Relaxation** (T1 / T2) → **Gradients** (localisation spatiale) → **Signal** (réception) → **Image** (reconstruction)

En résumé : un champ magnétique, une impulsion RF, la relaxation, des gradients, un signal… et une image du cœur.

Particularités de l'imagerie cardiaque

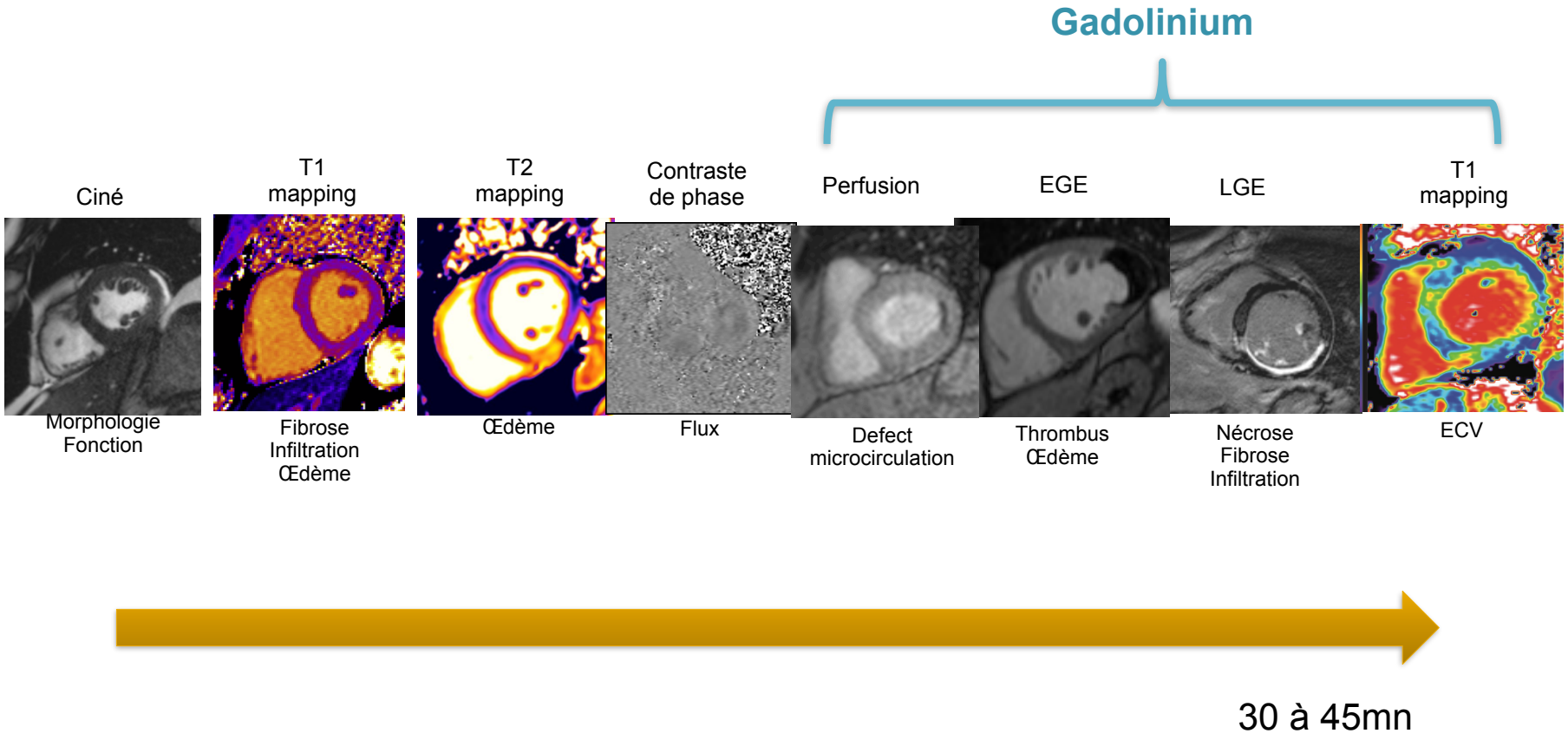
- Synchronisation à l'ECG indispensable pour exploration du coeur et des gros vaisseaux
- Synchronisation aux mouvements respiratoires ou plus souvent acquisition des images en apnée.
- Séquences d'acquisition très rapides, reconstruction du cycle cardiaque complet obtenu sur plusieurs battements différents

- => Arythmie / Dyspnée / Orthopnée = Ennemis de l'IRM cardiaque

Indications de l'IRM cardiaque

- Evaluation précise de la fonction cardiaque et des volumes
- Morphologie (non compaction, CMH, ARVD, malformations congénitales, …)
- Caractérisation tissulaire (oedème, fibrose)
- Quantification valvulopathie (aortique et pulmonaire)
- **Ischémie myocardique**
- **Viabilité**

IRM cardiaque : de multiples séquences et de multiples informations



Contre-indications à l'IRM

Absolues

- Neurostimulateur
- Défibrillateur non compatible
- Pacemaker temporaire
- Électrodes endoveineuses
- Swan-Ganz
- Clip sur anévrisme cérébral
- Fragment métallique oculaire
- Implant oculaire ou cochléaire
- Filtre VCI Greenfield
- Dispositif d'assistance ventriculaire

Relatives

- Claustrophobie
- Pacemaker/Défibrillateur
- *Reveal*
- Électrodes épicardiques
- < 6 semaines post implantation de stent ou chirurgie cardiaque
- État aigu non contrôlé
  - Arythmie
  - Insuffisance cardiaque

En cas de doute
www.mrisafety.com
ou appelez en IRM

Produits pharmacologiques utilisés



- **Gadolinium** : agent de contraste
  - Non iodé
  - Non néphrotoxique
  - Réaction allergique sévère : 1/10000 injections (hypersensibilité 0,09% contre 0,4% PDC iodés)
  - Elimination rénale, avis néphro chez l'IR sévère/dialysé
  - Risque de NFS (Fibrose Systémique Néphrogénique) 2-5% avec anciens agents (linéaires)
- **Adénosine** : agent vasodilatateur
  - Contre-indiqué dans l'asthme ou bronchite asthmatiforme ou hyperréactivité bronchique : avis pneumo en cas de doute, test de provocation
  - Contre-indiqué en cas de bloc de conduction auricule-ventriculaire de haut grade (BAV II et III)
  - Effet moindre en cas d'ingestion de : caféine, chocolat, thé, banane, vanille,… => régime strict au moins 12h qui précèdent

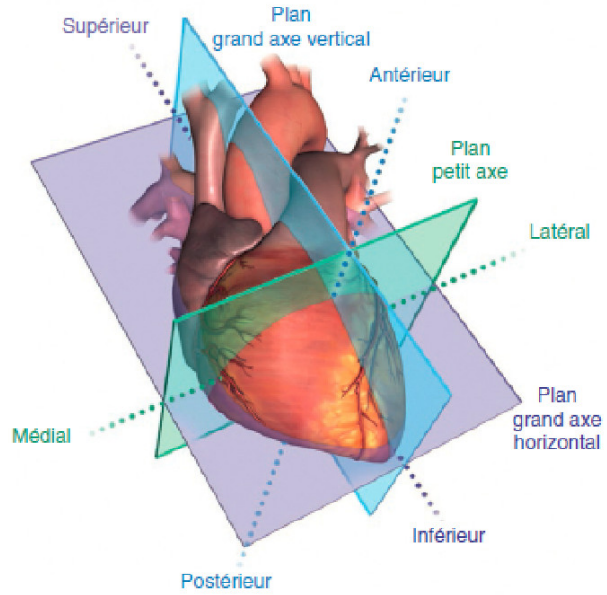
Check list de l'infirmier/technologue

- S'assurer de l'absence de **contre-indication** (questions à poser au patient, réponses à trouver dans le dossier médical)
- Expliquer le **déroulé** de l'examen au patient (durée, bruit, respiration, nécessité de rester immobile,…)
- Faire retirer les **objets métalliques** (bijoux, prothèses dentaires, ceinture, carte bancaire, …)
- Poser un **accès veineux**
- **Rassurer** le patient (stress, claustrophobie relative, …)

- Installation/désinstallation du patient et matériel dans la machine

Plan de la présentation

- **L'imagerie par résonance magnétique**
  - Généralités et bases physiques
  - Particularités de l'imagerie cardiaque, séquences clés
  - Indications et contre-indications



- **La pathologie coronarienne**
  - de l'athérosclérose à l'infarctus en passant par l'ischémie myocardique
  - Place de l'imagerie cardio-vasculaire dans le dépistage
  - Quel suivi proposer au patient coronarien connu?

- **Cas cliniques illustratifs**
  - Focus sur l'IRM de stress : analyse de la perfusion myocardique
  - Focus sur le réhaussement tardif : analyse de la viabilité

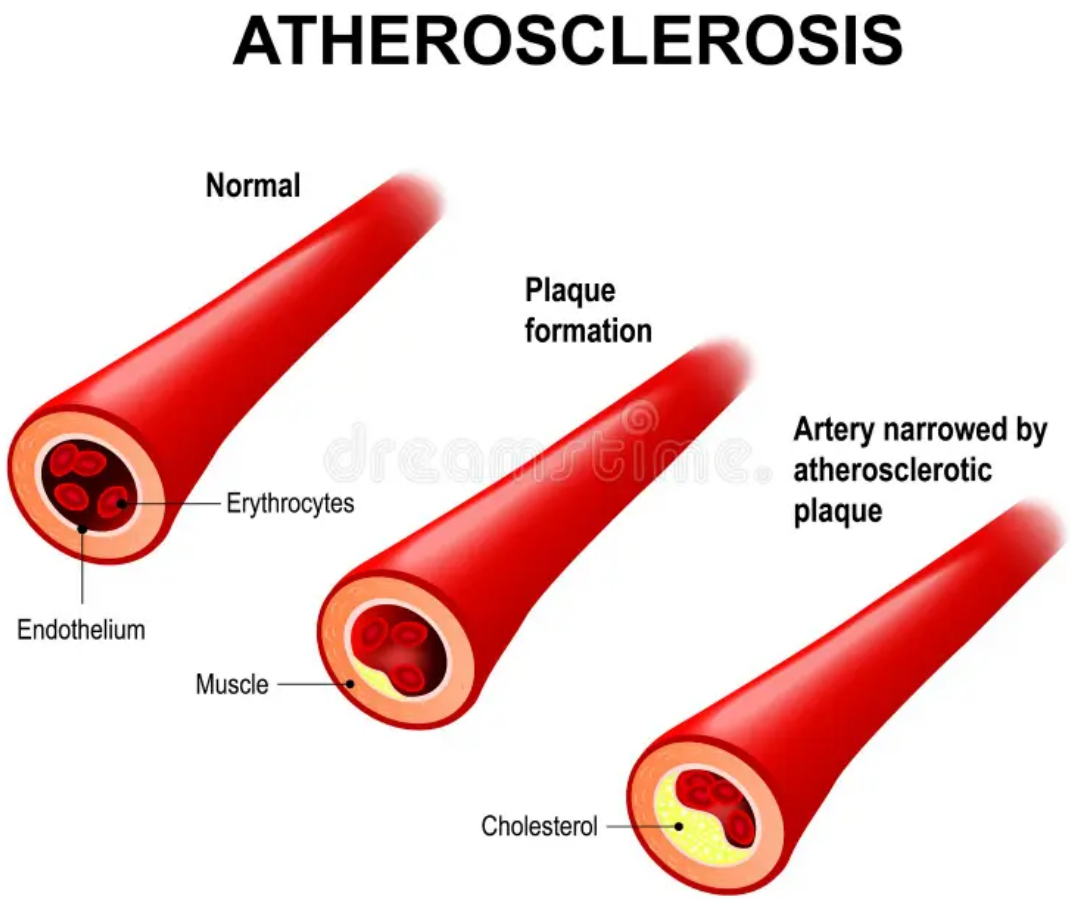
La pathologie coronarienne : continuum de l'athérosclérose à l'infarctus

- **Définition** : Rétrécissement ou obstruction des artères coronaires

- **Conséquences** : réduction du débit sanguin donc de la perfusion du coeur

  - Ischémie myocardique (angor),
  - Infarctus myocardique (STEMI/NSTEMI),

- **Chiffres clés** : la CPI concernait 47,6 millions de personnes en Europe (2019) et 254,3 millions de personnes dans le monde (2021)



European Heart Journal, Adam Times, 2021
BMC Cardiovascular disorders, Leyuan Yang, 2025

La pathologie coronarienne : comment la détecter ?

Deux grandes approches

1. Rechercher directement une atteinte coronaire : imagerie anatomique

→ Visualiser les artères coronaires
→ Rechercher une plaque ou une sténose
→ Apprécier son importance

COROCT

2. Rechercher les conséquences de la maladie coronaire : imagerie fonctionnelle

Rationnel : si sténose significative, diminution de la réserve coronaire, ischémie myocardique lorsque consommation/besoins en O2 du coeur augmente c'est-à-dire sous STRESS

→ Stress physiologique (vélo) ou pharmacologique (dobutamine/adénosine)
→ Imagerie montrant anomalie de perfusion et/ou de contractilité
→ Déterminer le territoire coronarien concerné

SCINTIGRAPHIE
ECHOGRAPHIE
IRM

Place de l'imagerie cardiovasculaire dans le dépistage de l'ischémie myocardique

Recommendations for non-invasive tests in the initial diagnostic management of individuals with suspected chronic coronary syndrome—stress echocardiography, if available, and supported by local expertise		
In individuals with suspected CCS and moderate or high (>15%–85%) pre-test likelihood of obstructive CAD, stress echocardiography is recommended to diagnose myocardial ischaemia and to estimate the risk of MACE.	I	B
During stress echocardiography, when two or more contiguous myocardial segments are not visualized, it is recommended to use commercially available intravenous ultrasound contrast agents (microbubbles) to improve diagnostic accuracy.	I	B
During stress echocardiography, myocardial perfusion using commercially available intravenous ultrasound contrast agents (microbubbles) is recommended to improve diagnostic accuracy and to refine risk stratification beyond wall motion.	I	B
In individuals with suspected CCS and moderate or high (>15%–85%) pre-test likelihood of obstructive CAD, CMR perfusion imaging is recommended to diagnose and quantify myocardial ischaemia and/or scar and estimate the risk of MACE.	I	B
PET myocardial perfusion imaging is recommended to: • diagnose and quantify myocardial ischaemia and/or scar; • estimate the risk of MACE; • quantify myocardial blood flow (PET).	I	B
In patients selected for PET or SPECT myocardial perfusion imaging, it is recommended to measure CACS from unenhanced chest CT imaging (used for attenuation correction) to improve detection of both non-obstructive and obstructive CAD.	I	B
In individuals with suspected CCS and moderate or high (>15%–85%) pre-test likelihood of obstructive CAD, CMR perfusion imaging is recommended to diagnose and quantify myocardial ischaemia and/or scar and estimate the risk of MACE.	I	B

2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes

Quel suivi proposer au patient coronarien connu ?

- **Visites régulières** pour optimiser prise en charge des **FRCV**, évaluer la **fonction** cardiaque
- Si asymptomatique (diabétique), rechercher ischémie silencieuse tous les 3 à 5 ans
- Si suspicion clinique d'**ischémie**, choix de l'examen adéquat pour confirmation et localisation du territoire coronarien concerné
- Si lésion myocardique irréversible suspectée en cas d'infarctus occlusion coronarienne chronique
- Recherche de **viabilité** du myocarde en IRM (si akinésie à l'ETT)

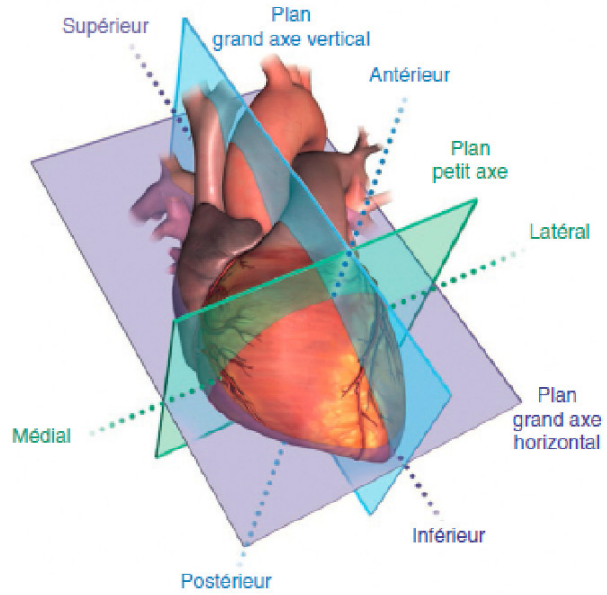
1. Knuuti J, Wijns W, Saraste A et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. Eur Heart J, 2020;41:407-477.

Corrélation entre l'hypersignal en IRM et la taille de l'infarctus



Kim, 1996, Circulation 1996; 94(12):3318-26

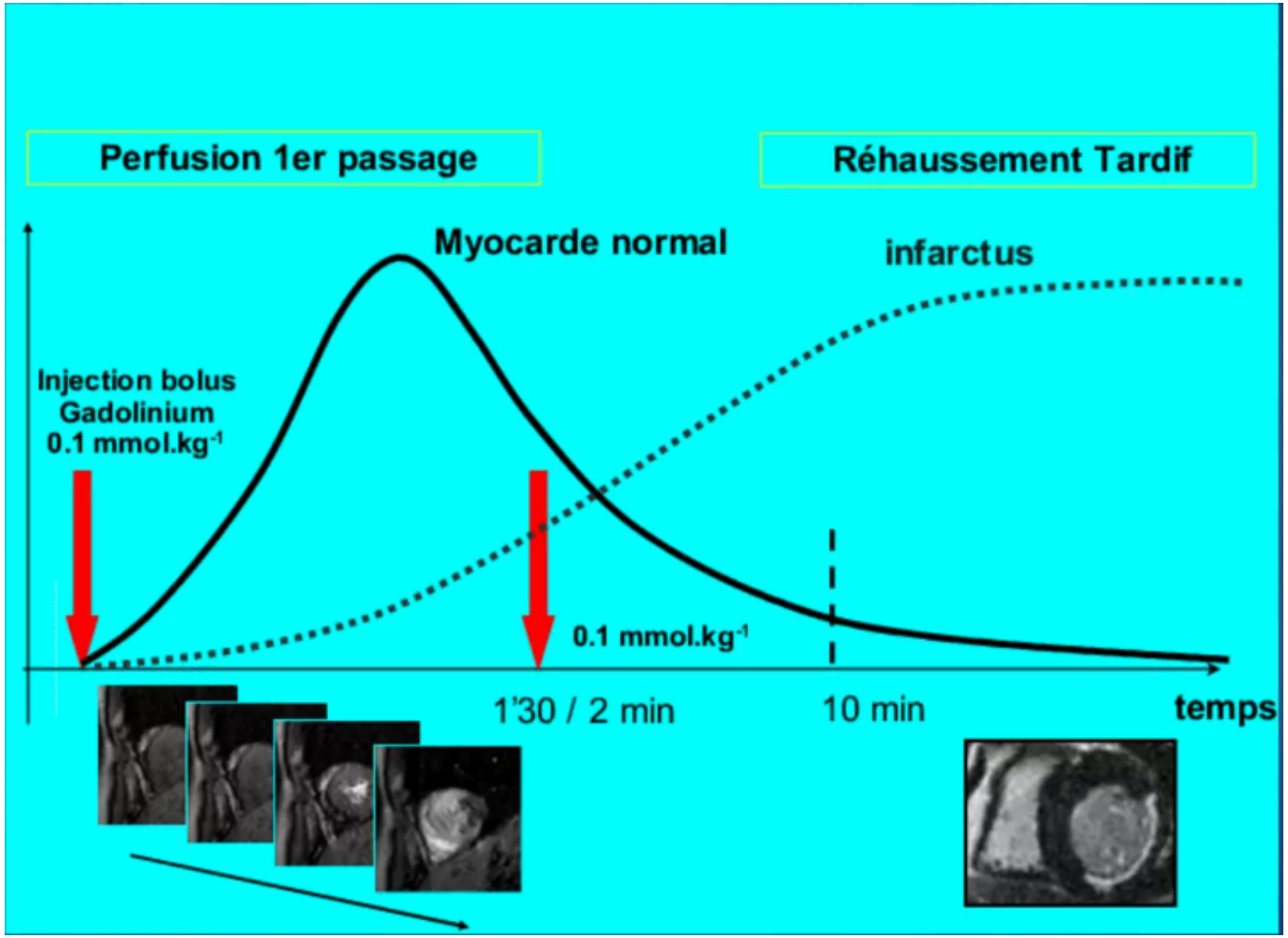
Plan de la présentation



- **L'imagerie par résonance magnétique**
  - Généralités et bases physiques
  - Particularités de l'imagerie cardiaque, séquences clés
  - Indications et contre-indications
- **La pathologie coronarienne**
  - de l'athérosclérose à l'infarctus en passant par l'ischémie myocardique
  - Place de l'imagerie cardio-vasculaire dans le dépistage
  - Quel suivi proposer au patient coronarien connu?
- **Cas cliniques illustratifs**
  - Focus sur l'IRM de stress : analyse de la perfusion myocardique
  - Focus sur le réhaussement tardif : analyse de la viabilité

Gadolinium

- Agent de contraste
- Raccourcit le temps de relaxation T1, hypersignal sur les séquences T1 après injection
- Infarctus : muscle remplacés par fibrose, majoration du volume extra-cellulaire
- Volume de distribution augmenté, élimination plus lente du produit



Cinétique d'élimination dépendante du volume extracellulaire

Adenosine

- Agent vasodilatateur
- défaut de vasodilatation de l'artère sténosée, comparativement aux artères saines -> arrivée moindre et retardée du gadolinium
- hypoperfusion relative d'un territoire coronaire en ischémie par rapport aux territoires sains visible sous l'effet du vasodilatateur
- Le défaut de perfusion apparait d'abord sous l'endocarde en cas d'ischémie coronarienne

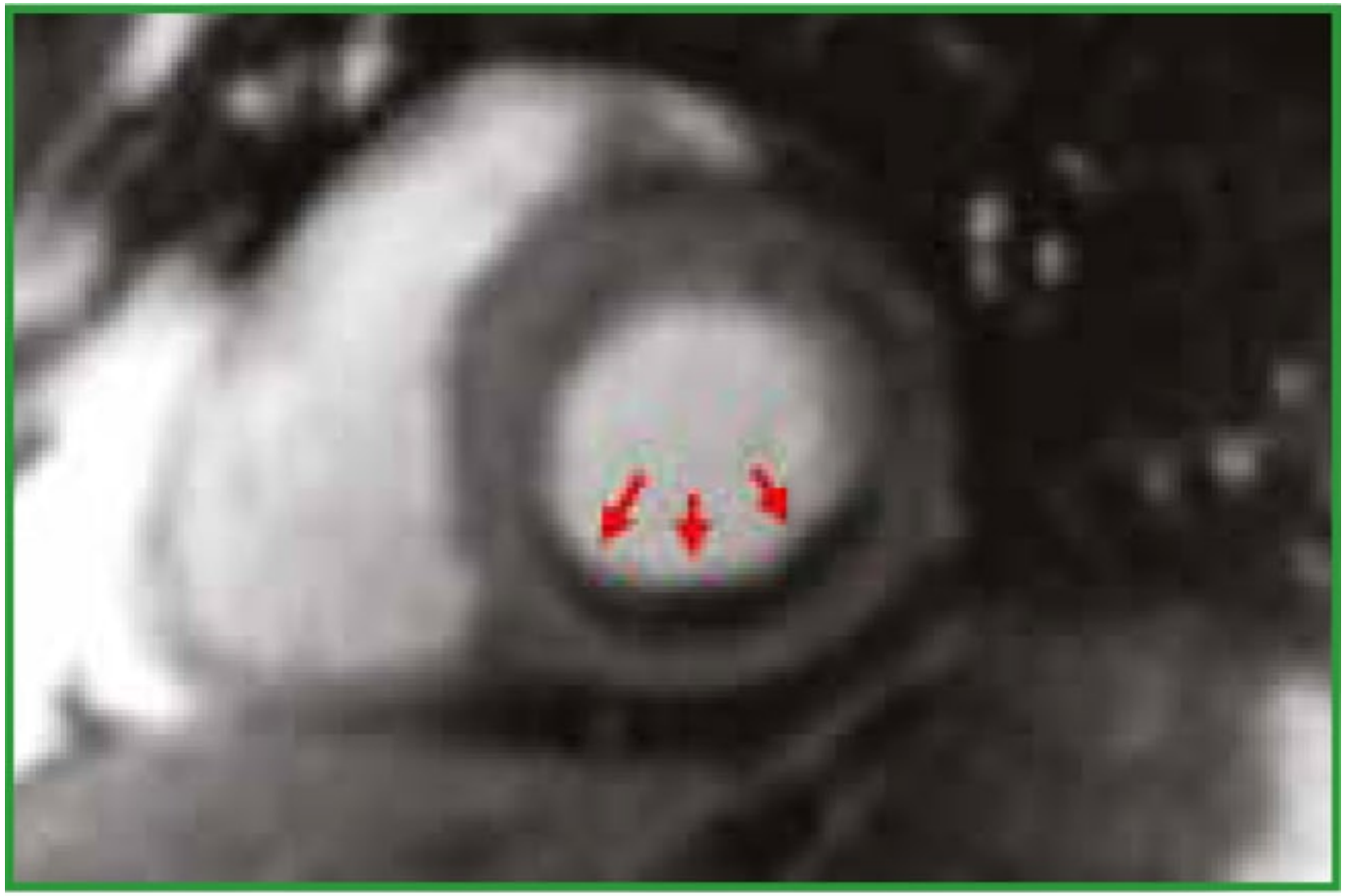
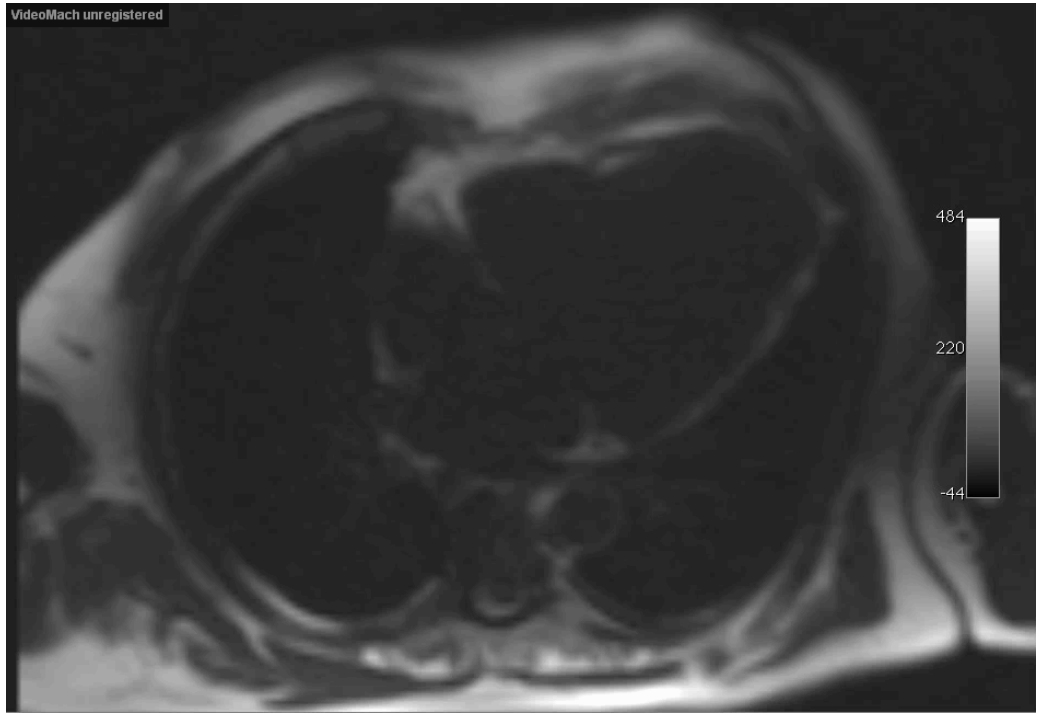


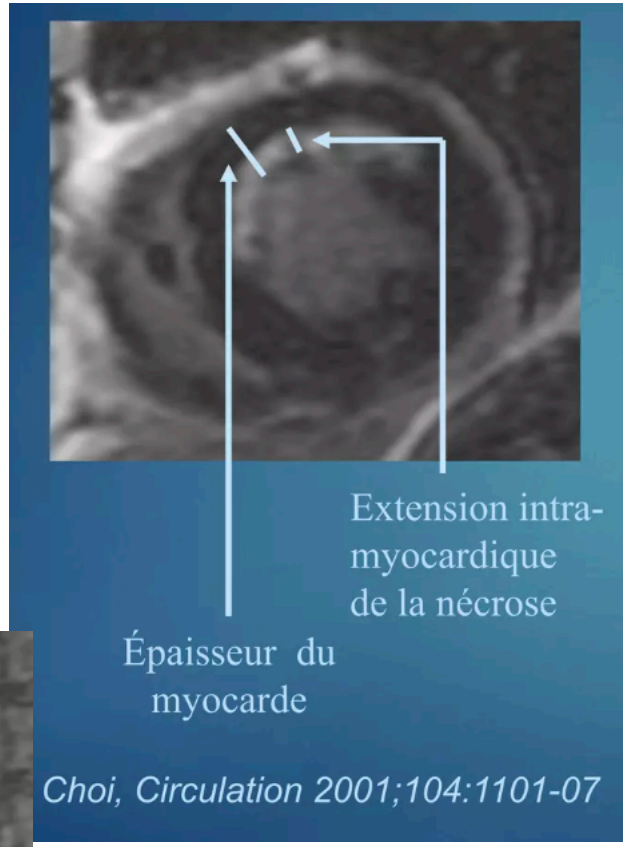
Fig. 2 : Exemple d'ischémie inféro-basale induite par le stress chez un patient coronarien connu avec antécédent de stent sur l'IVA 3 ans auparavant avec visualisation de l'hyposignal sous-endocardique (**flèches rouges**). © Département d'imagerie cardio-vasculaire de l'ICPS, Massy.

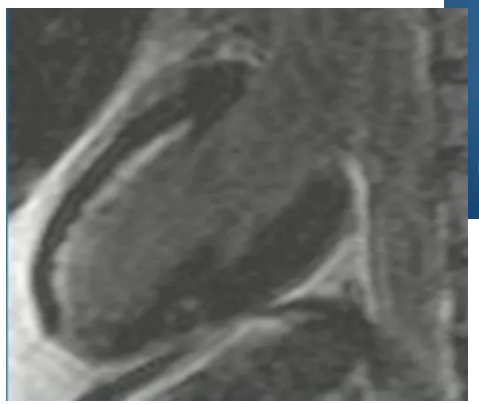
Focus sur l'analyse de la perfusion myocardique : l'IRM cardiaque de stress

- Perfusion myocardique de 1er passage sous stress
  - Recherche d'un défaut de réhaussement du myocarde systématisé, persistant, à point de départ sous endocardique
- Idem au repos pour comparaison



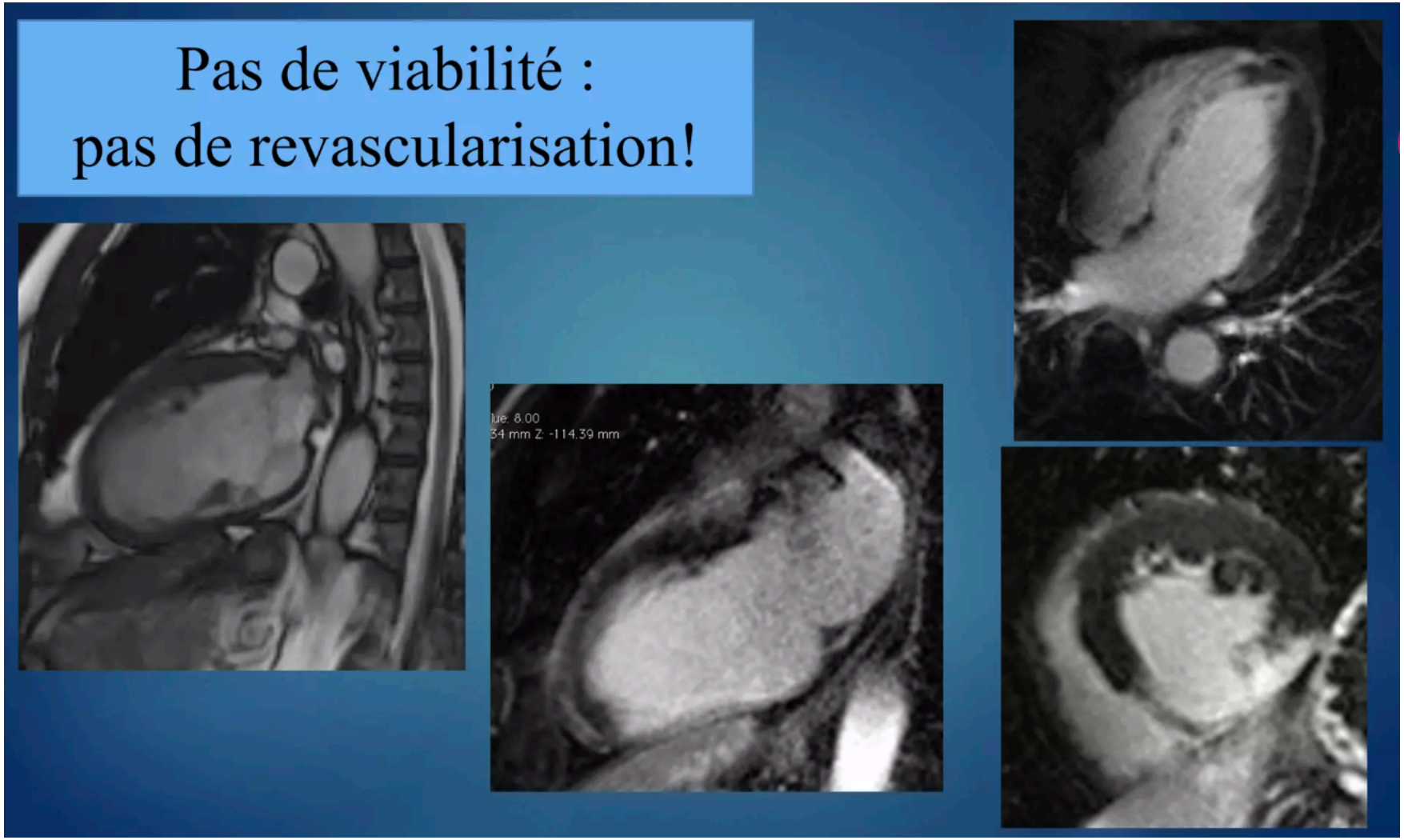
Focus sur le rehaussement tardif : analyse de la viabilité :





- LGE = Late Gadolinium Enhancement = RT = Réhaussement Tardif
- Extension de la nécrose exprimée en % de l'épaisseur de la paroi du VG
  - <50% de la paroi : viable, intérêt non discutable de revasculariser
  - >75% de la paroi : non viable, aucun intérêt de revasculariser
  - Entre 50 et 75% de la paroi : probabilité intermédiaire de viabilité, à discuter

Information cruciale pour la prise en charge



J Rischner, Hôpital Albert Schweitzer, Colmar

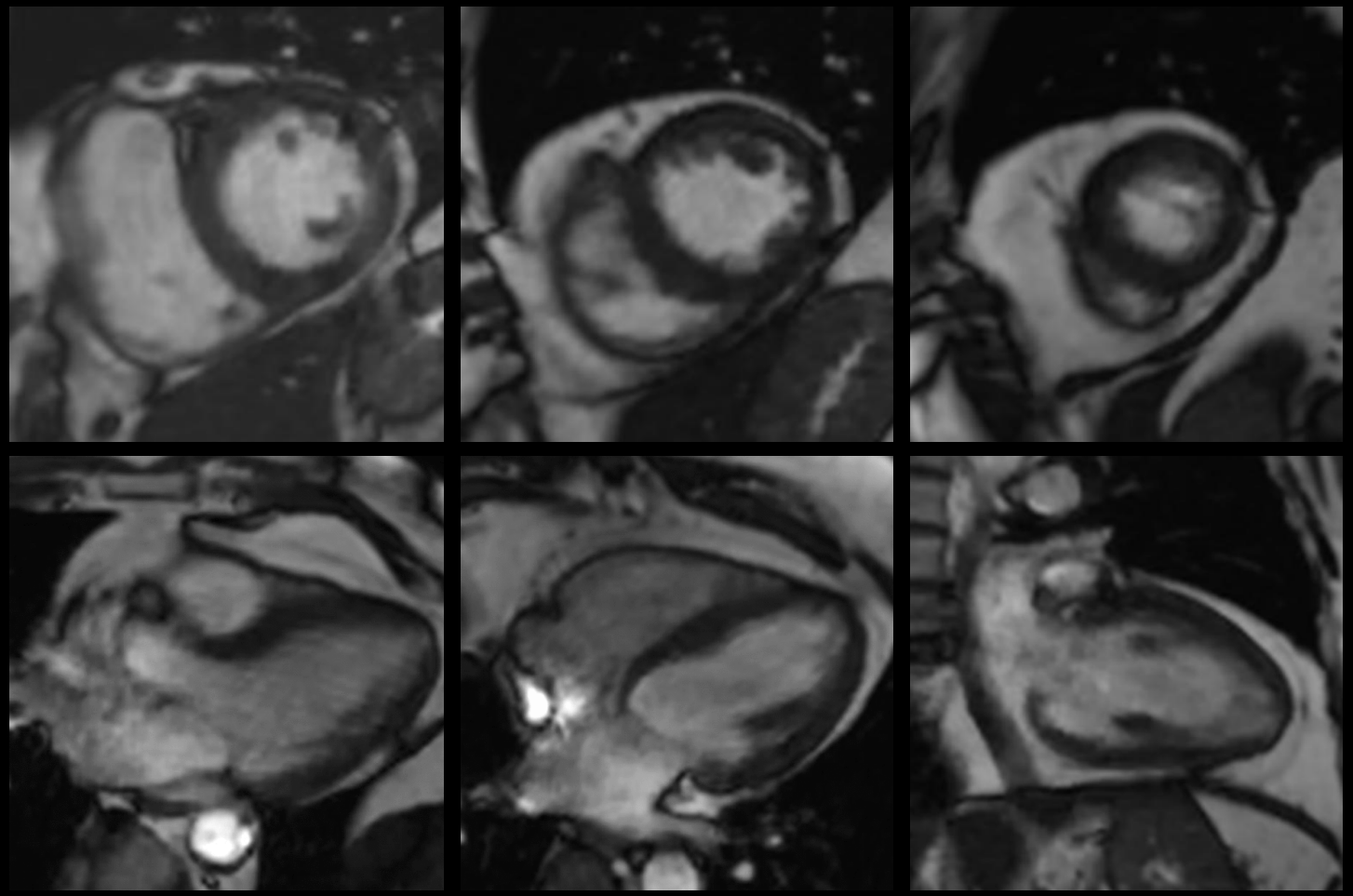
Cas n°1

- Homme, 58 ans
- Tabac
- Tri-tronculaire
  - Stents : CD1, IVA1, CX1-M1
  - Perméabilité des stents ?

Ciné

Perf

RT

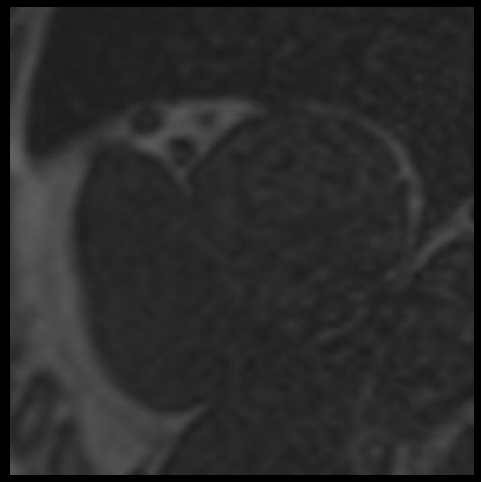


FEVG	51 %	↓
VTD	73 ml/m²	⊥
VTS	36 ml/m²	⊥
VES	37 ml/m²	↓
MVG	75 g/m²	⊥

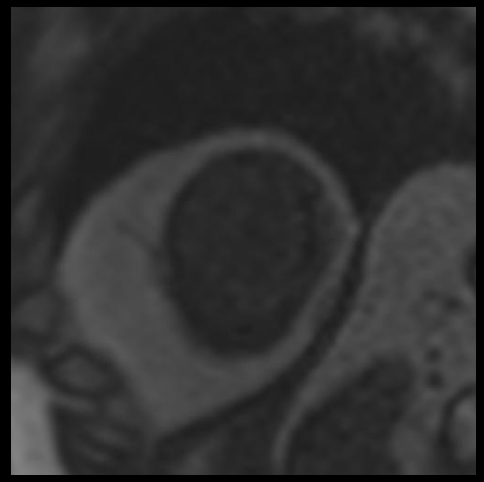
Ciné

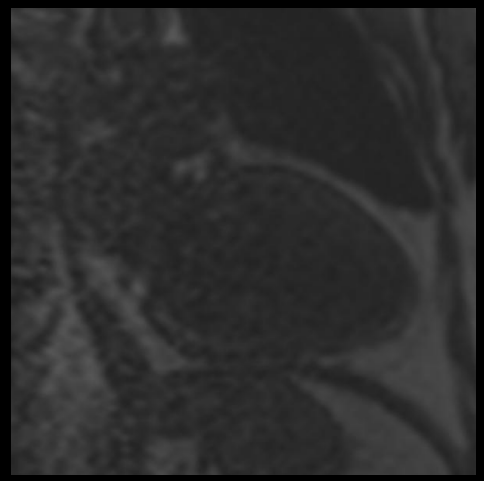
Perf

RT





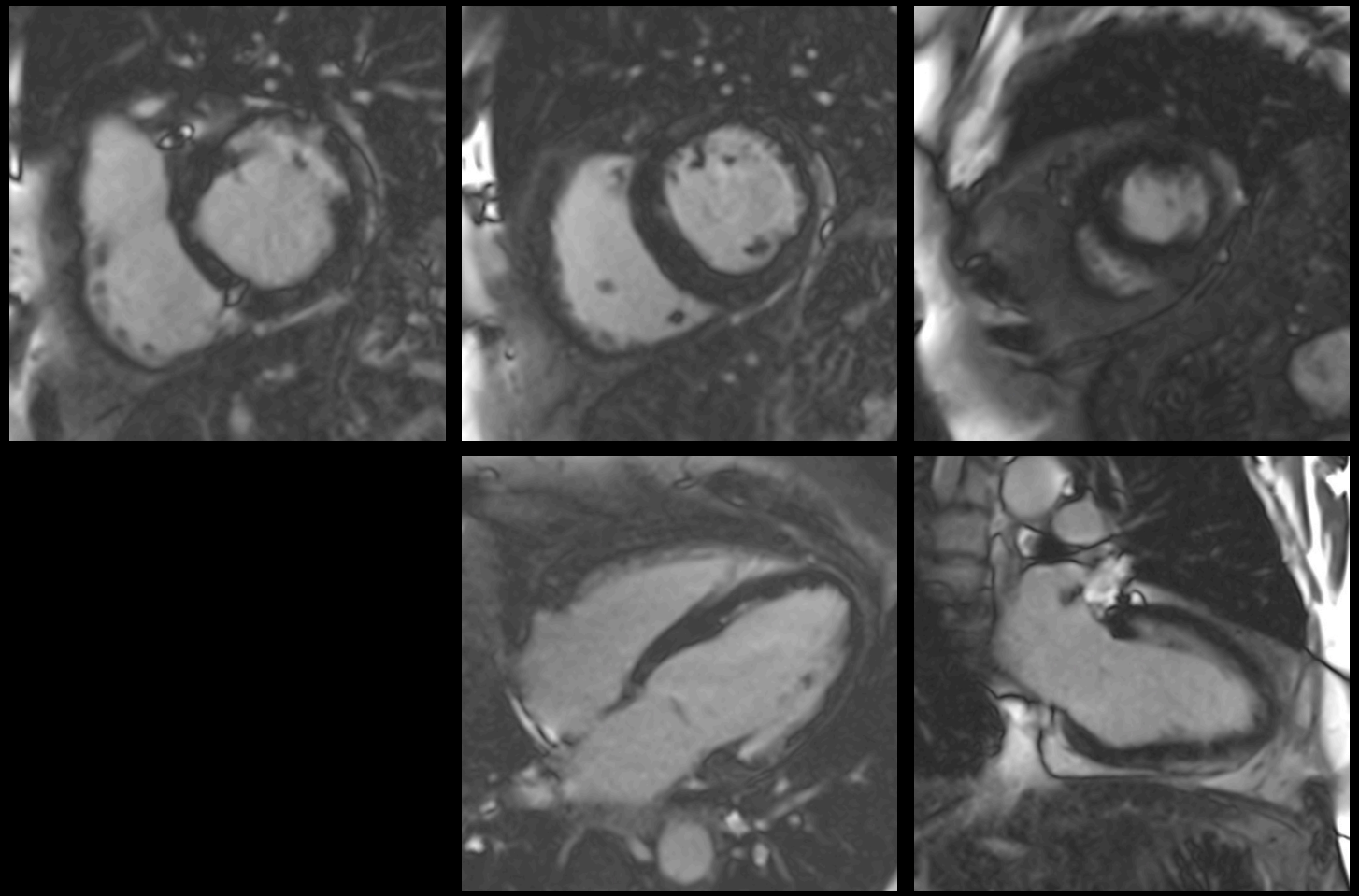




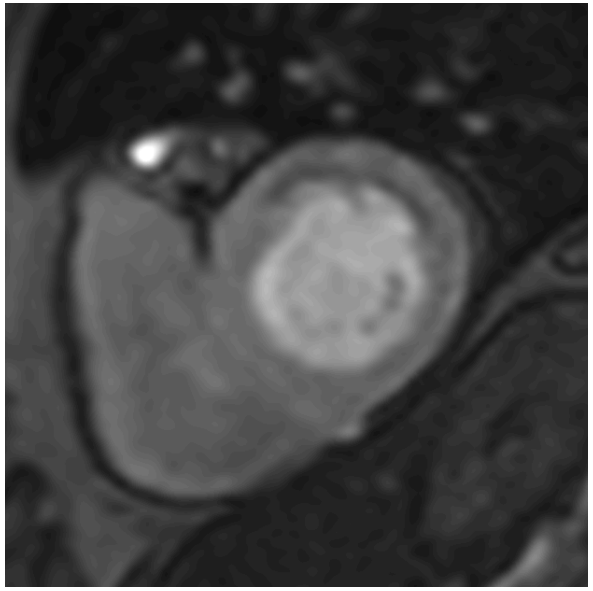
Ciné

Perf

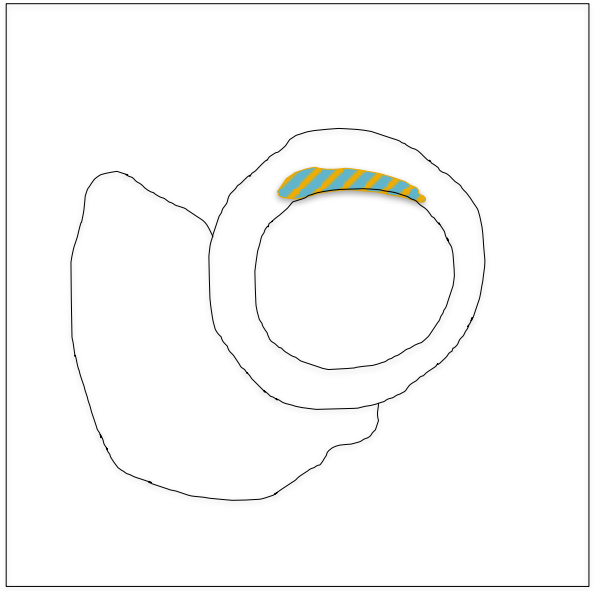
RT



Situation n°1

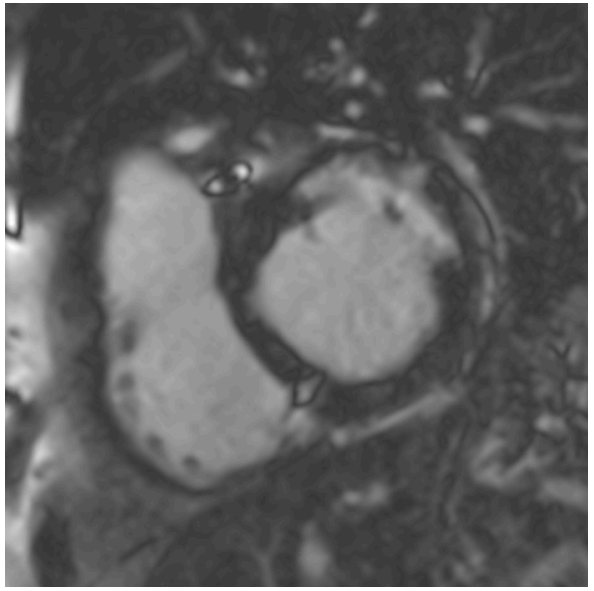


Perfusion



Defect ≈ RT

NÉCROSE



Rehaussement tardif

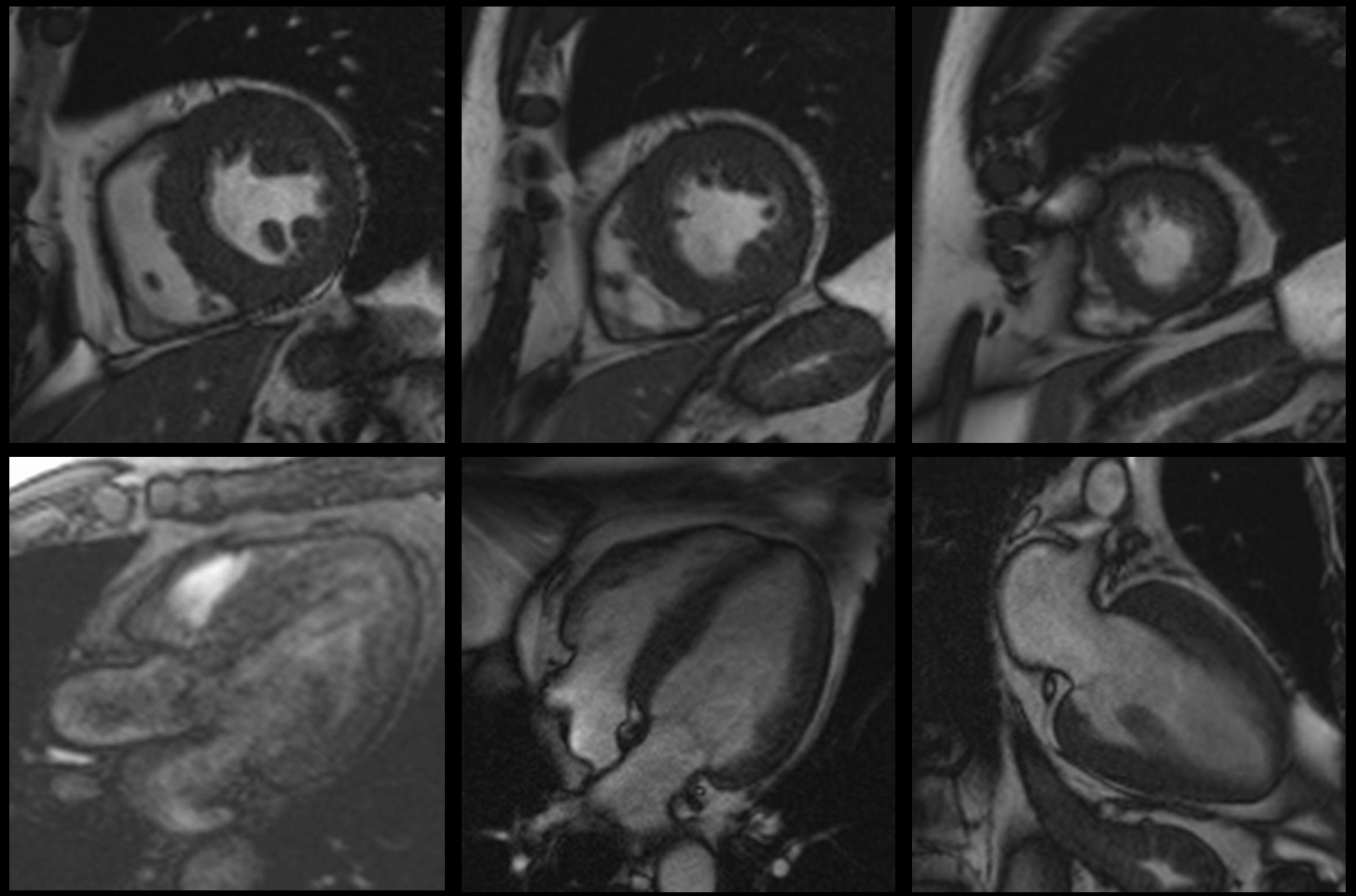
Cas n°2

- Homme, 63 ans
- Tabac, diabète
- Bilan pré greffe rénale

Ciné

Perf

RT

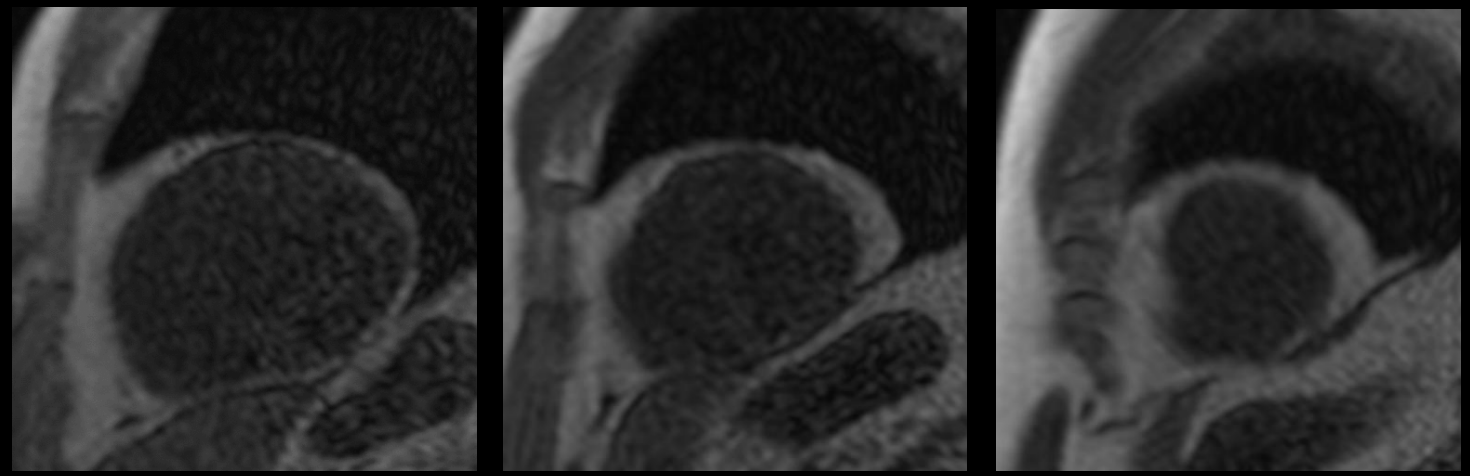


FEVG	53 %	↓
VTD	59 ml/m²	↓
VTS	28 ml/m²	⊥
VES	31 ml/m²	↓
MVG	103 g/m²	↑

Ciné

Perf

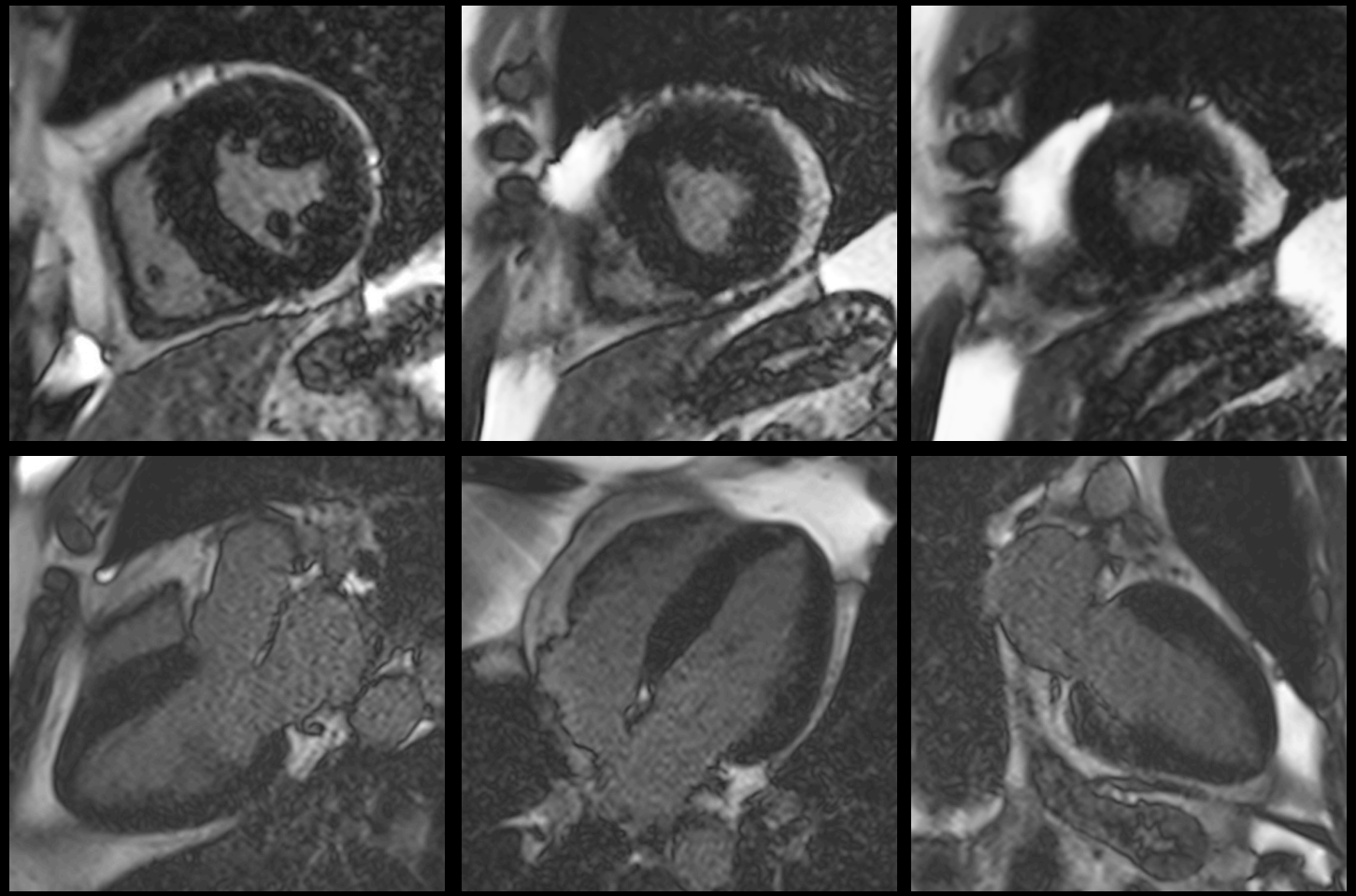
RT



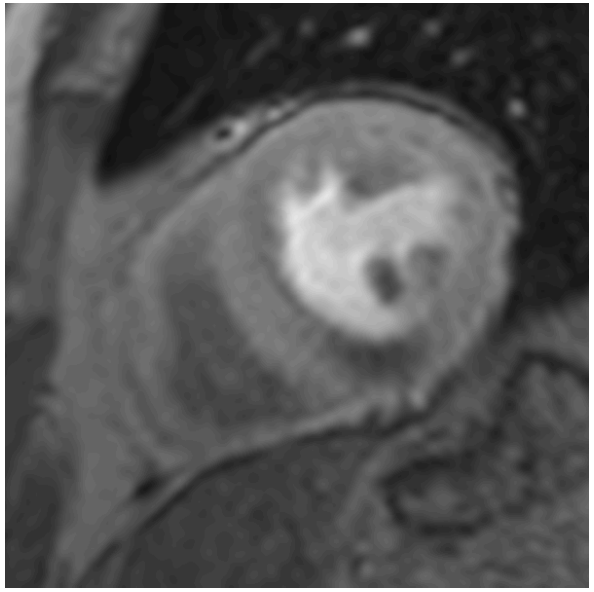
Ciné

Perf

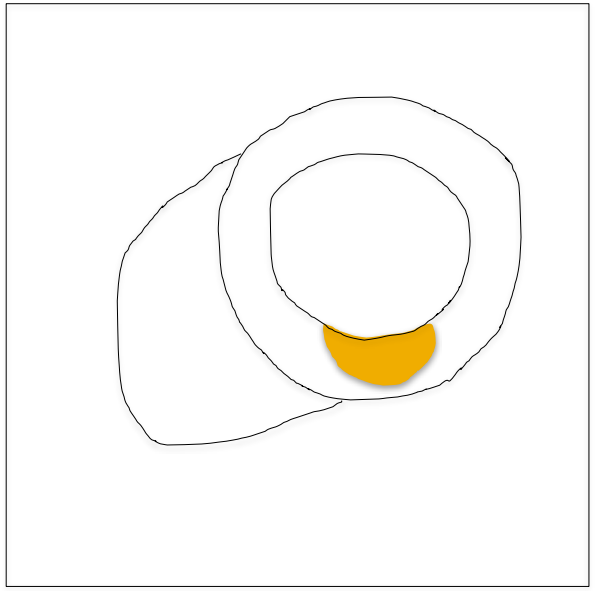
RT



Situation n°2

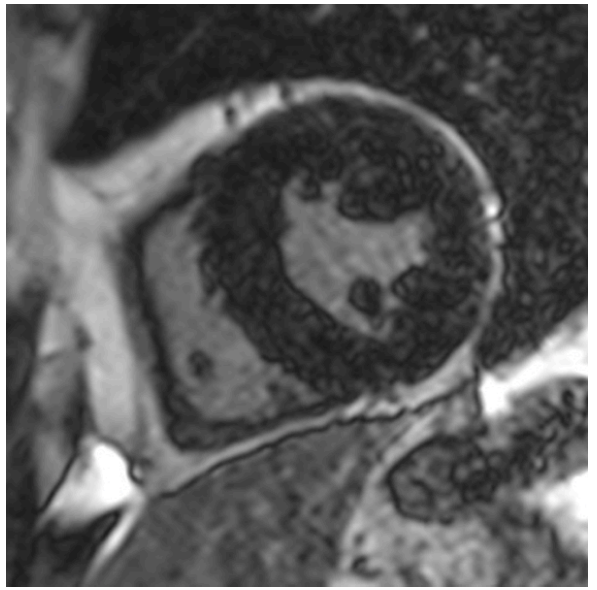


Perfusion



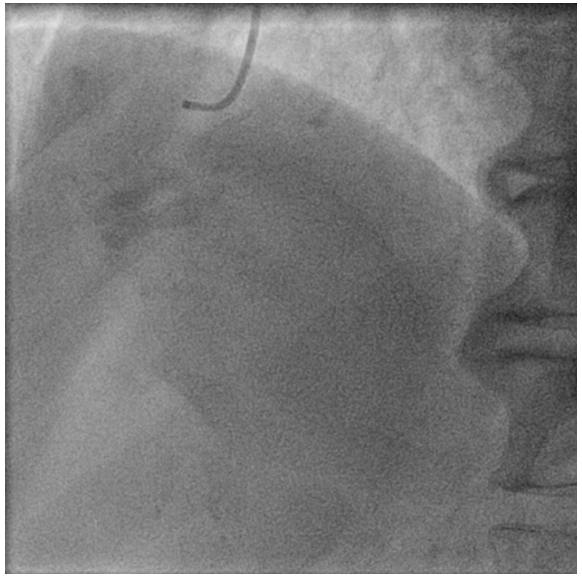
Defect sans RT

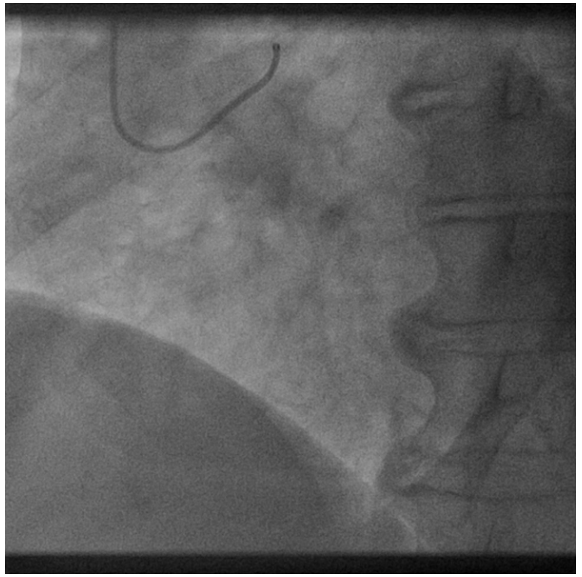
ISCHÉMIE

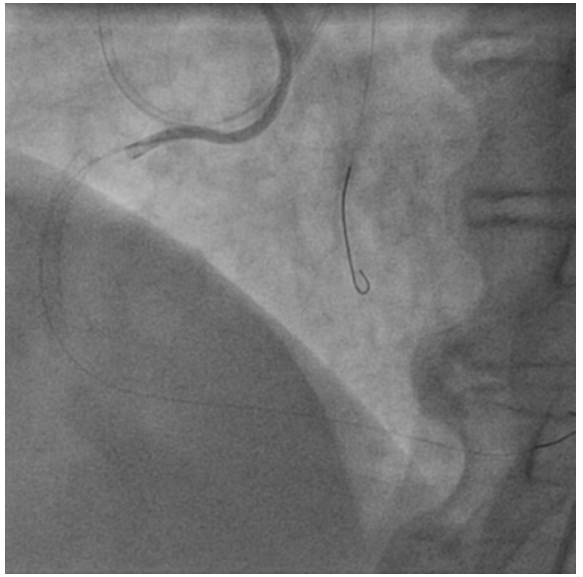


Rehaussement tardif

Ischémie







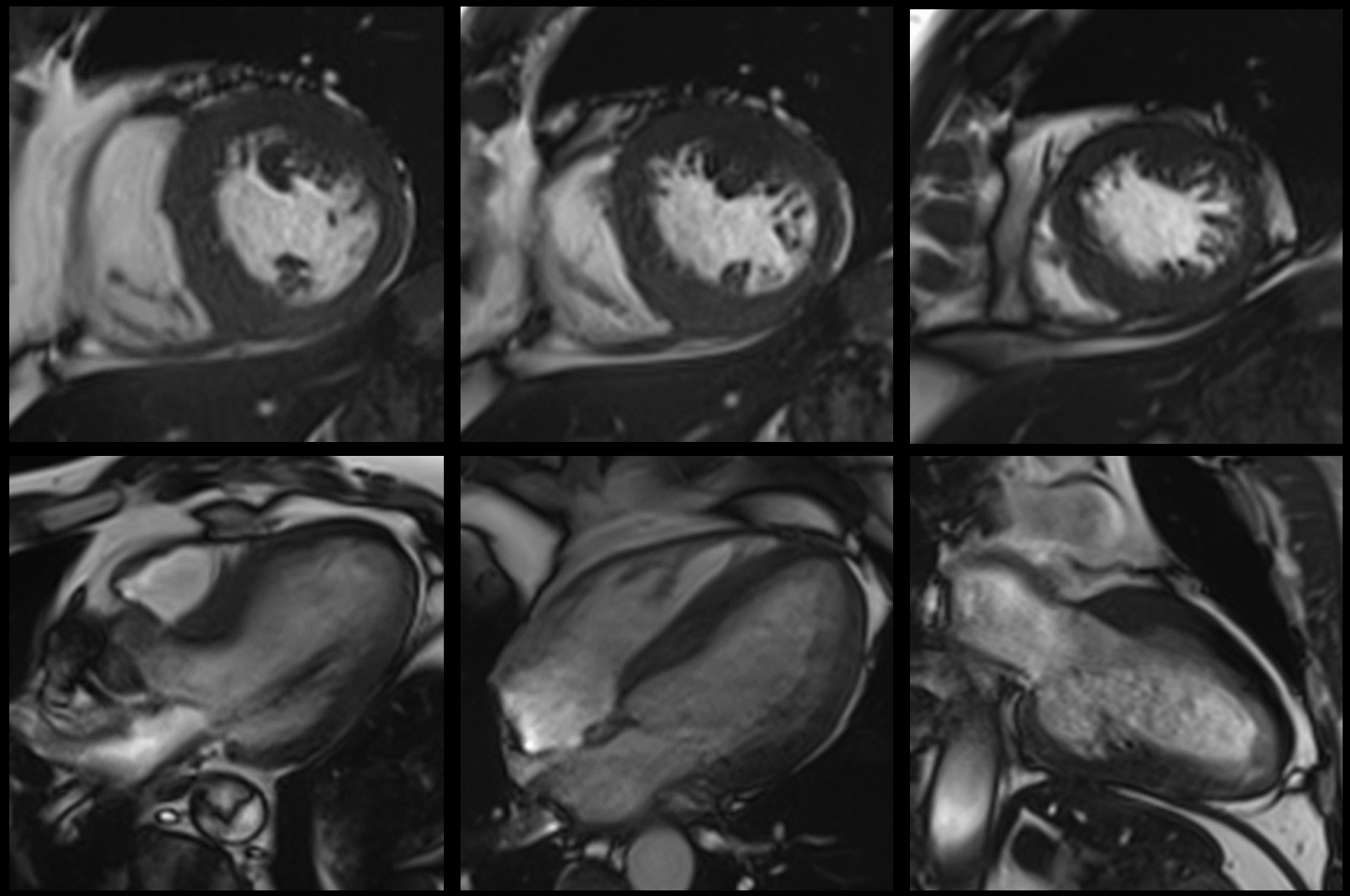
Cas n°3

- Homme, 56 ans
- Obésité, Diabète, HTA, Tabac
- Aspect de séquelle latérale en ETT
  - Evaluation du statut coronarien et viabilité
  - Coronarographie si ischémie ou viable

Ciné

Perf

RT

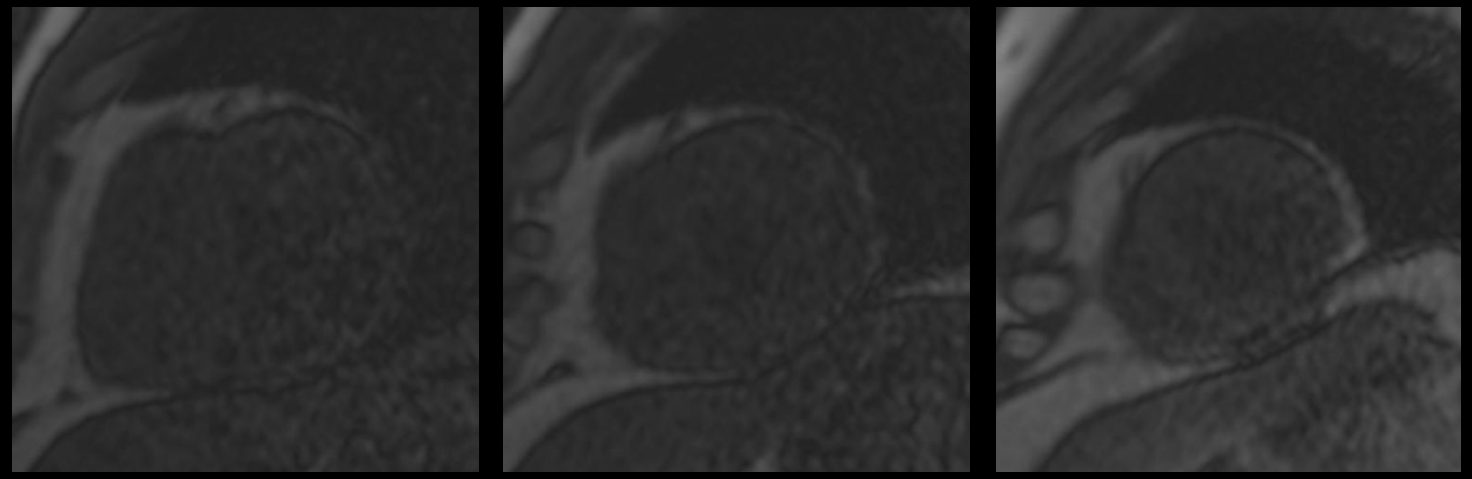


FEVG	52 %	↓
VTD	80 ml/m²	⊥
VTS	38 ml/m²	↑
VES	42 ml/m²	⊥
MVG	80 g/m²	⊥

Ciné

Perf

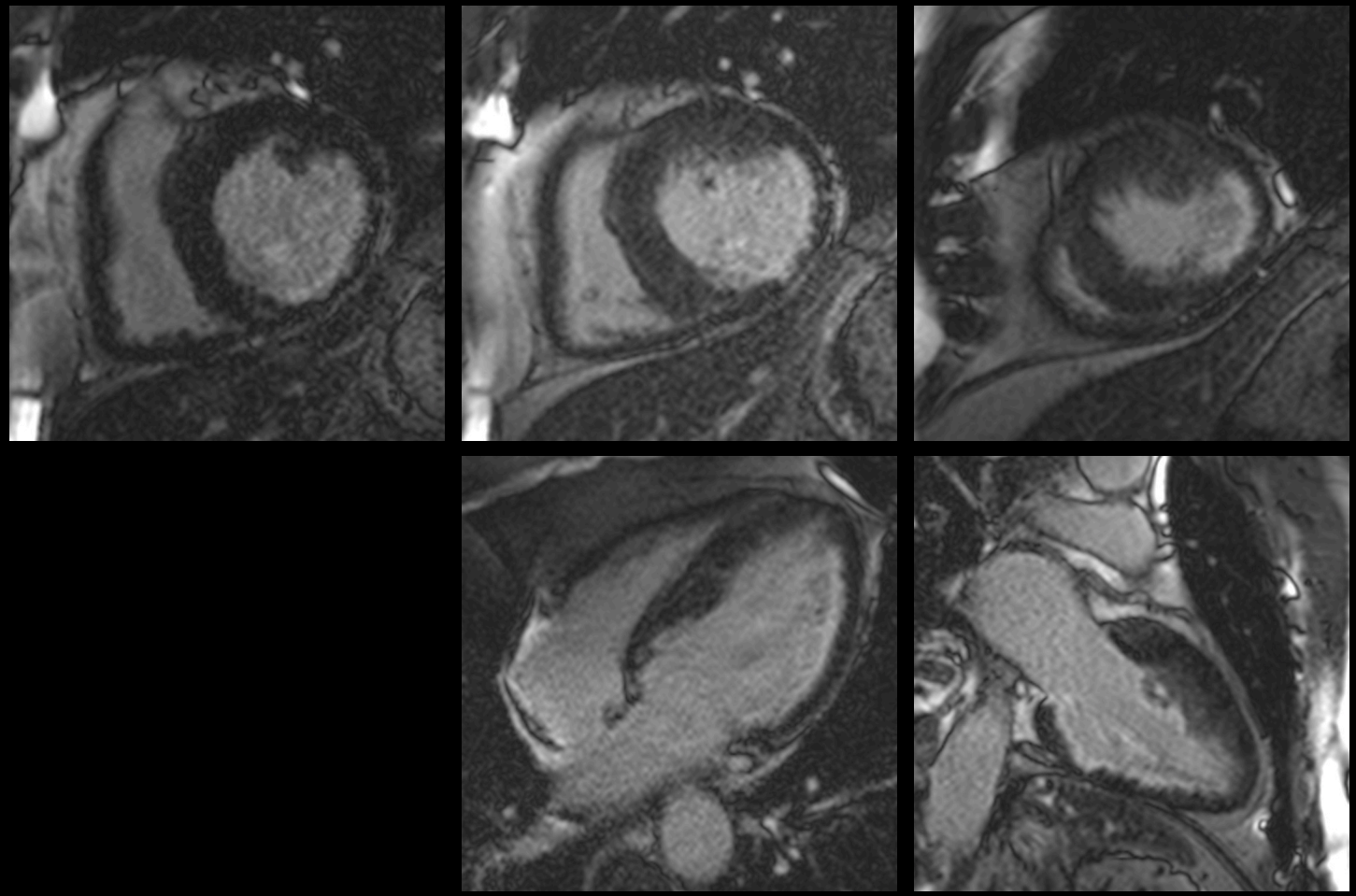
RT



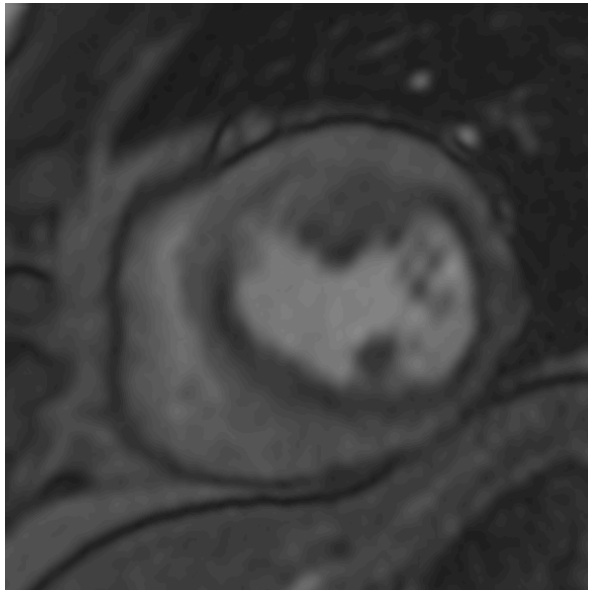
Ciné

Perf

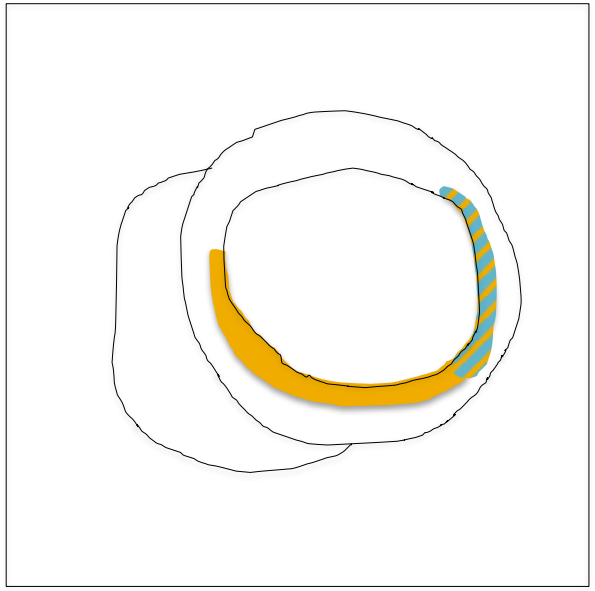
RT



Situation n°3

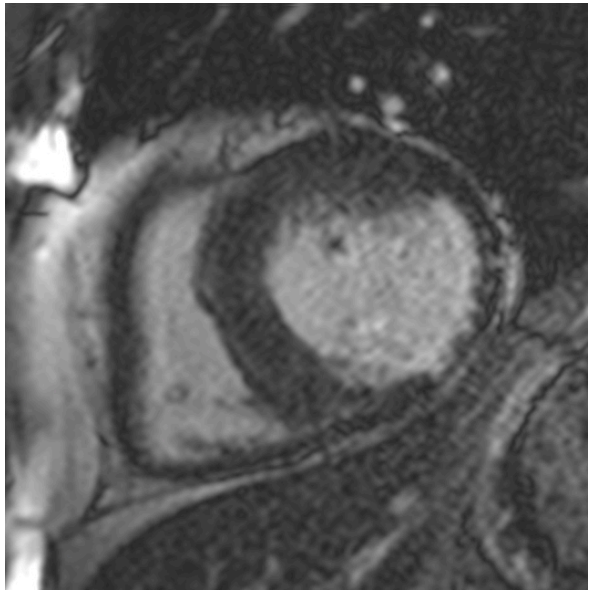


Perfusion



Defect > RT

ISCHÉMIE PÉRI-LÉSIONNELLE



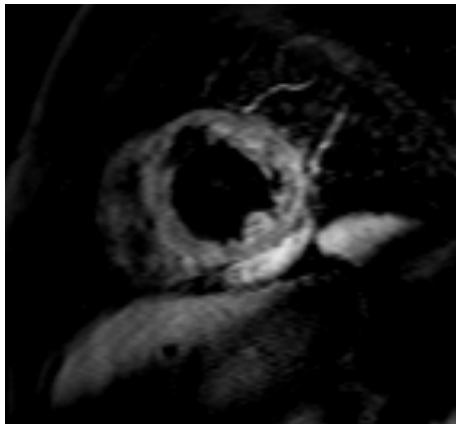
Rehaussement tardif

Merci pour votre attention

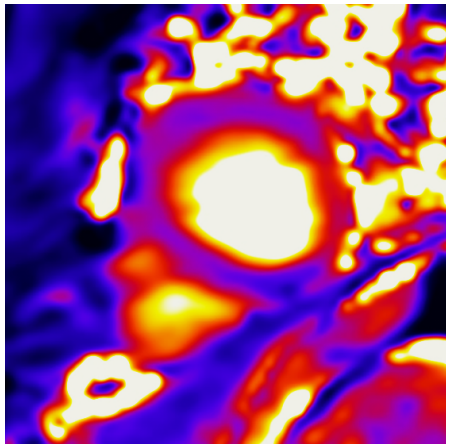
Imagerie T2 : œdème

T2w-STIR-TSE
Cartographie T2 = T2mapping

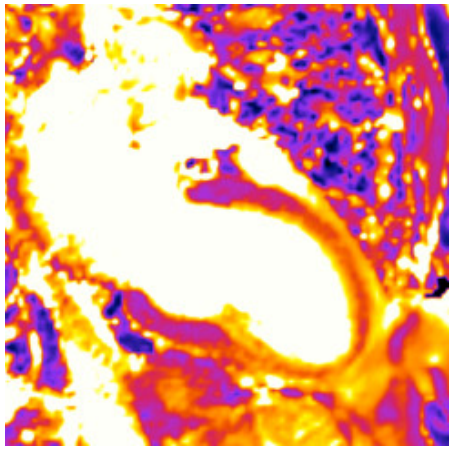
- Analyse visuelle & quantitative
- Moindre variation du T2 selon le champs magnétique *(vs T1)*
  - 1.5-T : 50 ± 5 ms
    - Giri S et al. Magn reson Med 2012;68:1570-8
  - 3-T : 45 ± 5 ms
    - Von Knobelsdorff et al. J Cardiovasc Magn Reson 2013;15:53



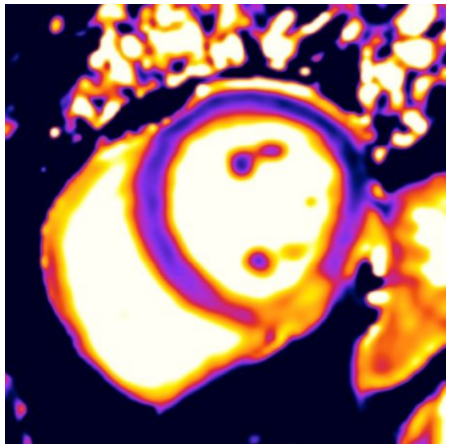
IDM latéral



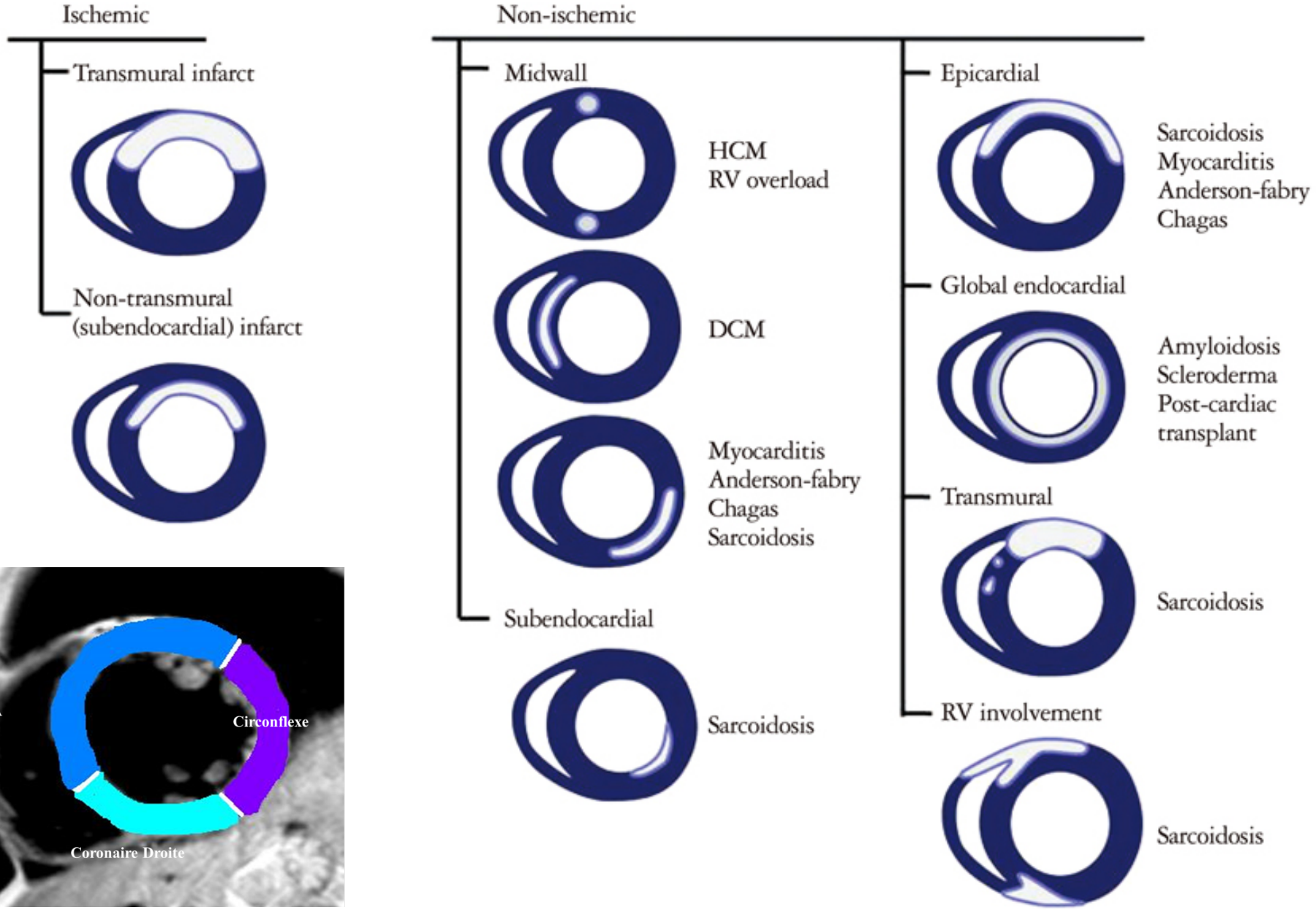
Myocardite



Tako tsubo

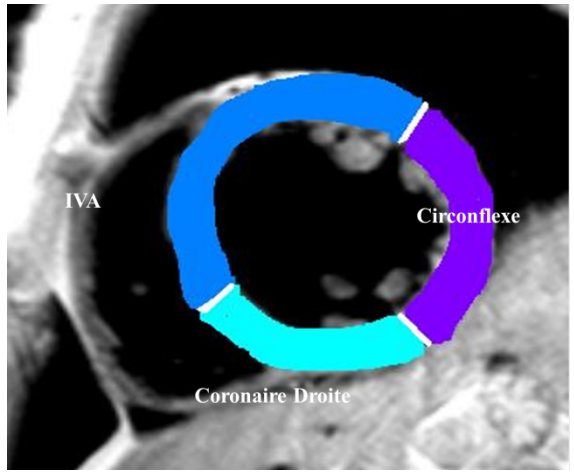


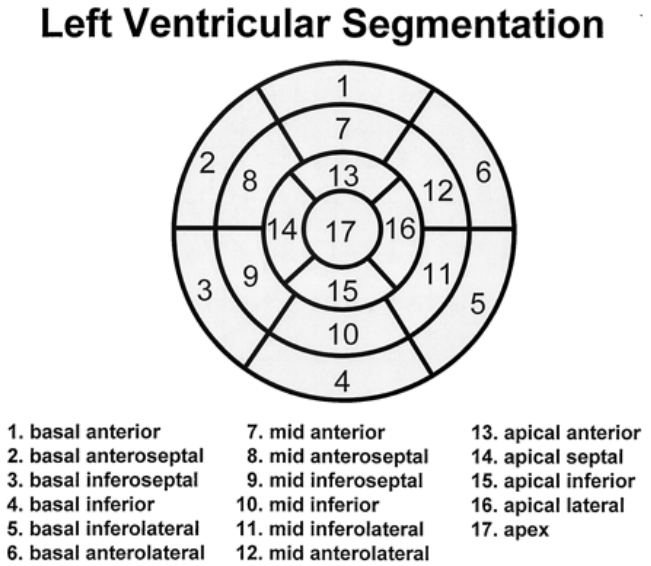
IDM inférieur



Park et al. J Cardiovasc Ultrasound.2013;21:45-55

Segmentation du myocarde : territoires coronariens





Diagnostic and Interventional Imaging 102 (2021) 337–345



Guidelines/*Cardiac imaging*

Position paper on stress cardiac MRI in chronic coronary syndrome: Endorsed by the Société Française de Radiologie (SFR) the Société Française d'Imagerie CardioVasculaire (SFICV) and the Société Française de Cardiologie (SFC)

Florent Le Ven[a], François Pontana[b], Gilles Barone-Rochette[c], Laurent Macron[d], Jérome Garot[e], Olivier Genée[f], Damien Mandry[g], Luc Christiaens[h], Alain Furber[i], Jean Nicolas Dacher[j], Alexis Jacquier[k,*], Editing committee, Martine Gilard[l], Louis Boyer[m,n]

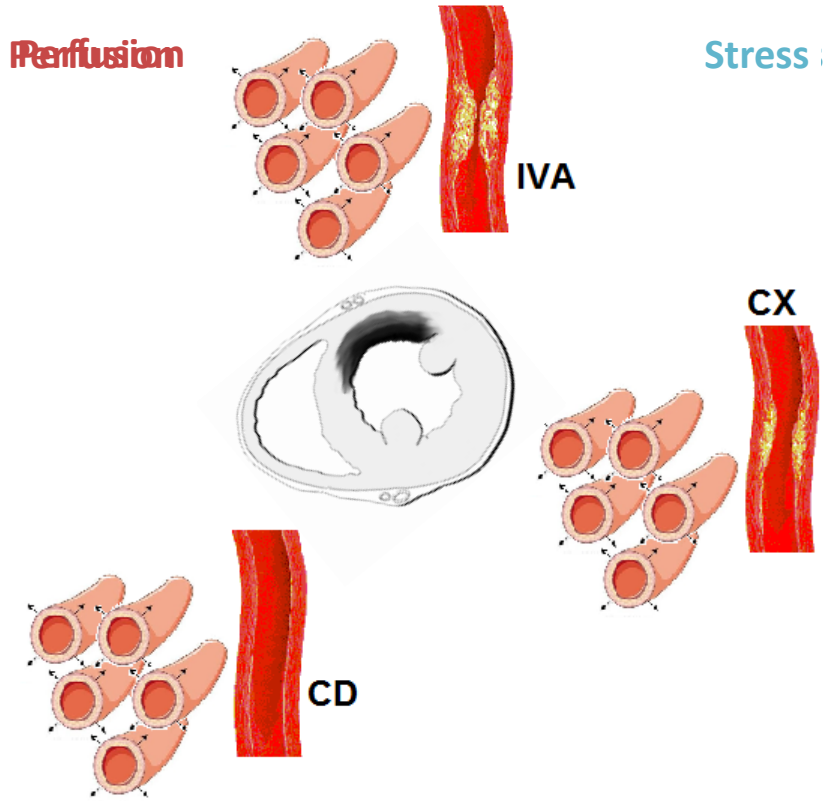
Le stress pharmacologique vasodilatateur

- Sténose au repos :
  - **Vasodilatation** en aval de la lésion
  - Optimisation du débit

  ➠ **Compensation**

- Sous stress vasodilatateur :
  - Capacités de vasodilatation limitées en aval de la sténose
  - Contrairement aux autres territoires

  ➠ Diminution de la **réserve coronaire**



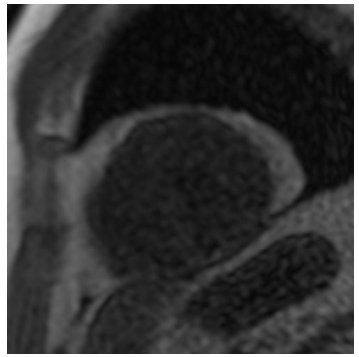
Le stress pharmacologique vasodilatateur

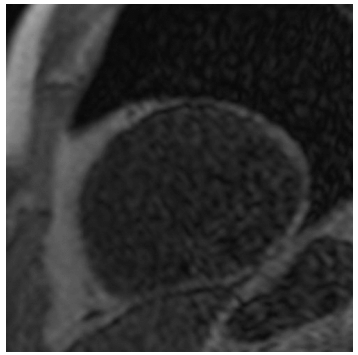
- Sténose au repos :
  - **Vasodilatation** en aval de la lésion
  - Optimisation du débit

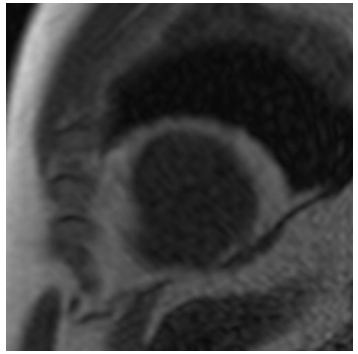
  ➠ **Compensation**

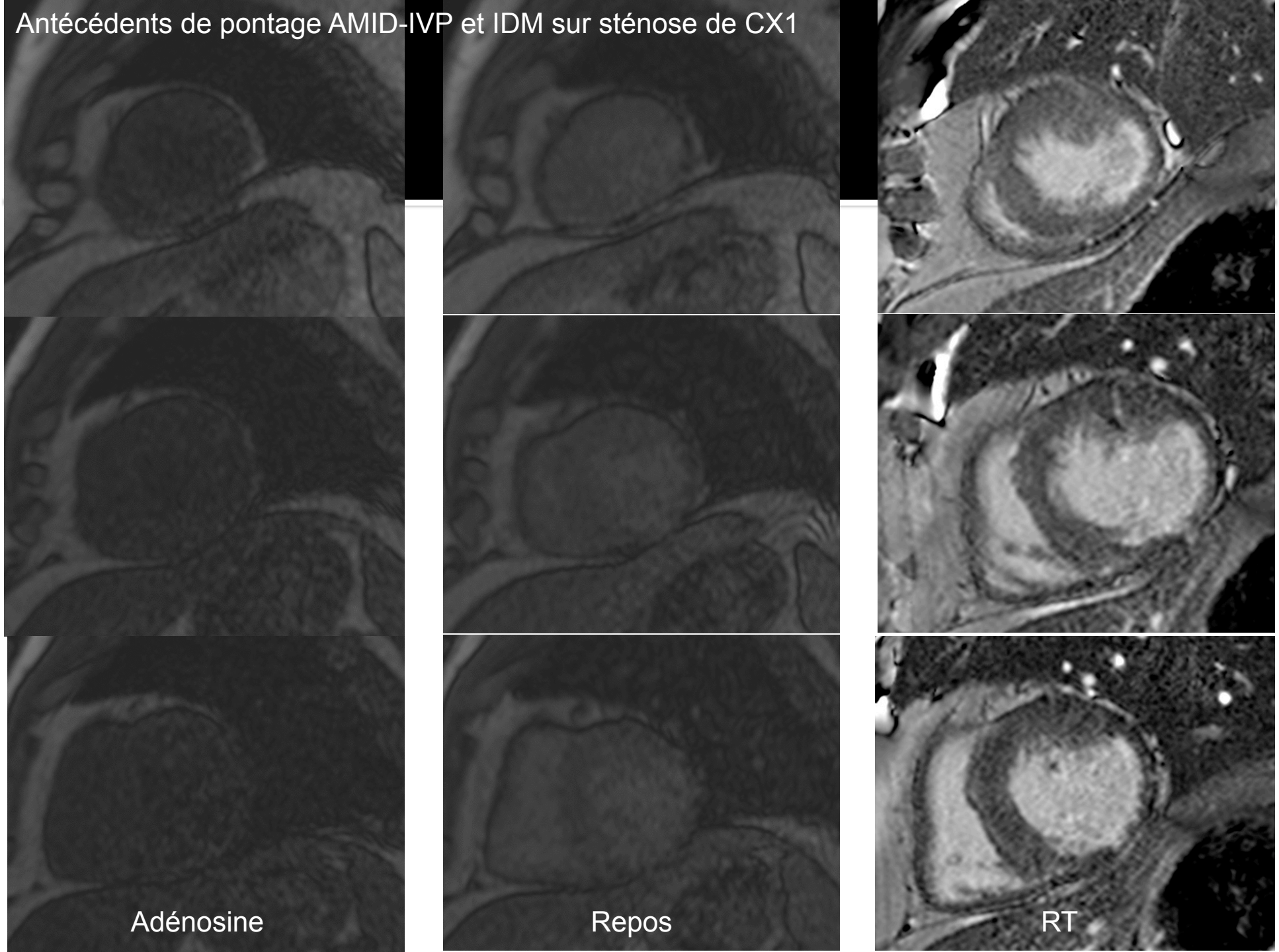
- Sous stress vasodilatateur :
  - Capacités de vasodilatation limitées en aval de la sténose
  - Contrairement aux autres territoires

  ➠ Diminution de la **réserve coronaire**

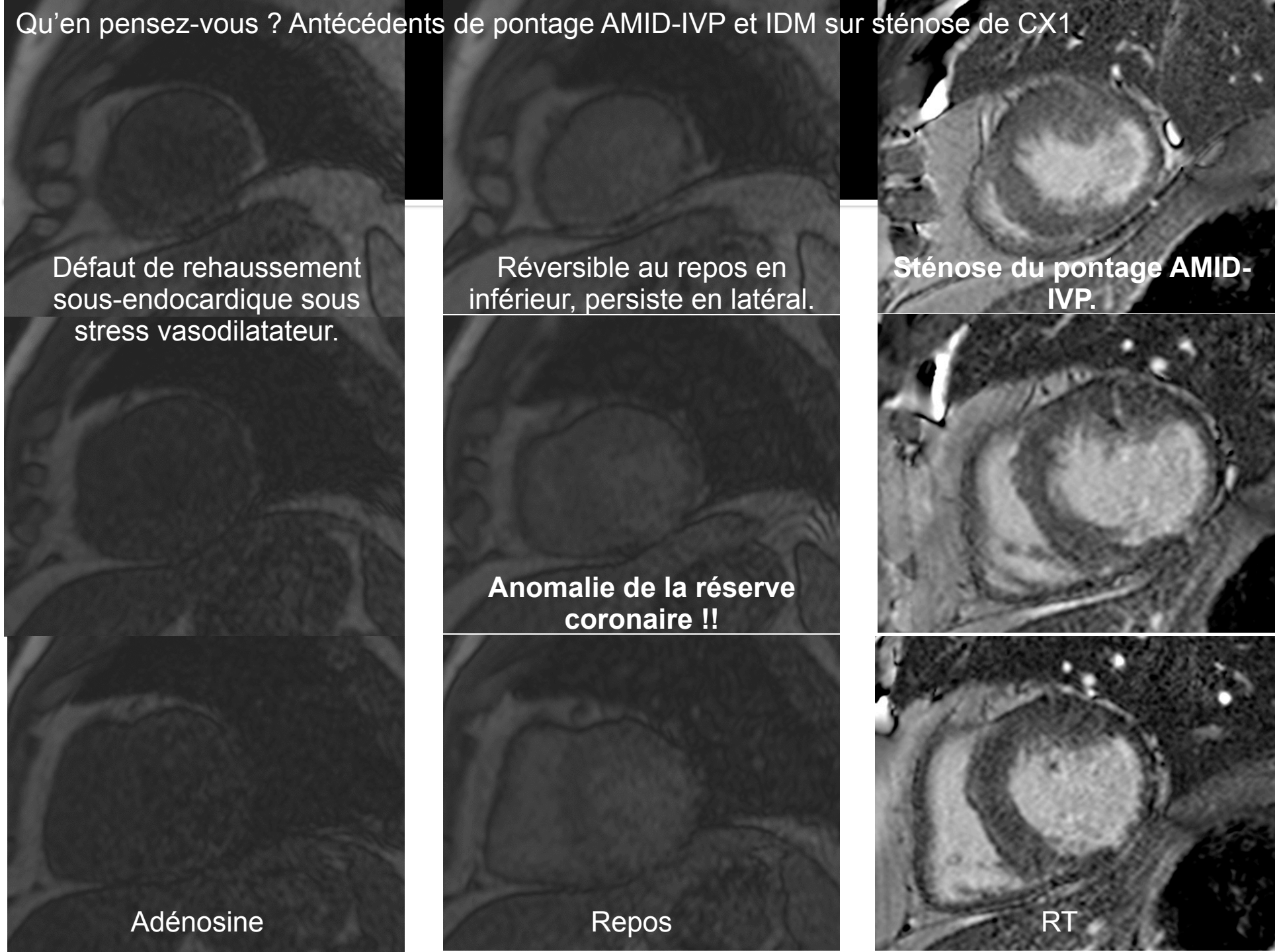







Antécédents de pontage AMID-IVP et IDM sur sténose de CX1
Adénosine
Repos
RT

Qu’en pensez-vous ? Antécédents de pontage AMID-IVP et IDM sur sténose de CX1



Focus sur l’analyse de la perfusion myocardique : l’IRM cardiaque de stress

- Dans quel cas privilégier le choix d’une IRM de stress en pratique ?

L’IRM de stress est à proposer en priorité chez un patient coronarien connu dans les cas suivants :
– autre test d’ischémie non invasif litigieux ;
– situations à risque d’échocardiographie de stress sous-maximale (limitations orthopédiques, patients âgés, limitations techniques…) ;
– situations à risque de scintigraphie de stress litigieuse (patient avec bloc de branche gauche [BBG], obèse, forte poitrine) ;
– suivi des patients multitronculaires revascularisés (multistentés ou pontés).

Quels sont les avantages de l'IRM de stress par rapport aux autres tests d'ischémie chez le patient coronarien ?

>>> Par rapport à la scintigraphie : l'IRM cardiaque a l'avantage d'avoir une meilleure résolution spatiale avec des pixels de 1,5 à 2 mm par rapport à la scintigraphie qui utilise des pixels de 10 mm, ce qui permet une réduction du nombre de faux négatifs pour les ischémies équilibrées sur lésions tritronculaires ou du tronc commun. De plus, l'IRM permet d'éviter les artéfacts d'atténuation fréquents en scintigraphie (risque de faux négatif dans le territoire inférieur des patients obèses ou dans le territoire antérieur des patientes avec forte poitrine).

>>> Par rapport à l'échographie d'effort : l'IRM cardiaque permet de s'affranchir de tous les problèmes d'échogénicité, notamment chez les patients obèses (pas de limitation d'analyse de la paroi latérale), ou d'analyse de troubles de la cinétique segmentaire existants.

Ainsi, l'IRM cardiaque de stress s'impose ces dernières années comme l'un des examens les plus performants dans le suivi d'un patient coronarien, sans aucune irradiation pour le patient. Cependant, son accès reste en pratique limité en France du fait de limites logistiques, ce qui conduit souvent à proposer cette technique en priorité aux patients coronariens les plus complexes.

Focus sur l'analyse de la perfusion myocardique : l'IRM cardiaque de stress

- Et si l'IRM cardiaque de stress était le meilleur test d'ischémie non invasive ?
- L'IRM de stress a une excellente corrélation avec la FFR dans l'évaluation de la sévérité d'une lésion coronaire selon plusieurs études, et ce de façon supérieure aux autres tests d'ischémie (scintigraphie et échocardiographie de stress) (***fig. 3***). En effet, l'utilisation de l'IRM de stress est en pleine expansion, notamment suite aux résultats de l'étude CE-MARC ayant démontré une performance diagnostique supérieure de l'IRM comparée à la scintigraphie (respectivement AUC = 0,89 et AUC = 0,74 ; $p < 0,0001$) en utilisant la coronarographie comme *gold standard* [5].

[5]. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF et al. Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC): a prospective trial. Lancet Lond Engl, 2012;379:453-460.

1. Au repos
Les artérioles coronaires peuvent se dilater pour maintenir un débit suffisant malgré une sténose.

2. À l'effort
Les besoins du myocarde augmentent fortement. La réserve coronaire permet normalement d'augmenter le débit coronaire jusqu'à **3 à 5 fois** le débit de repos.

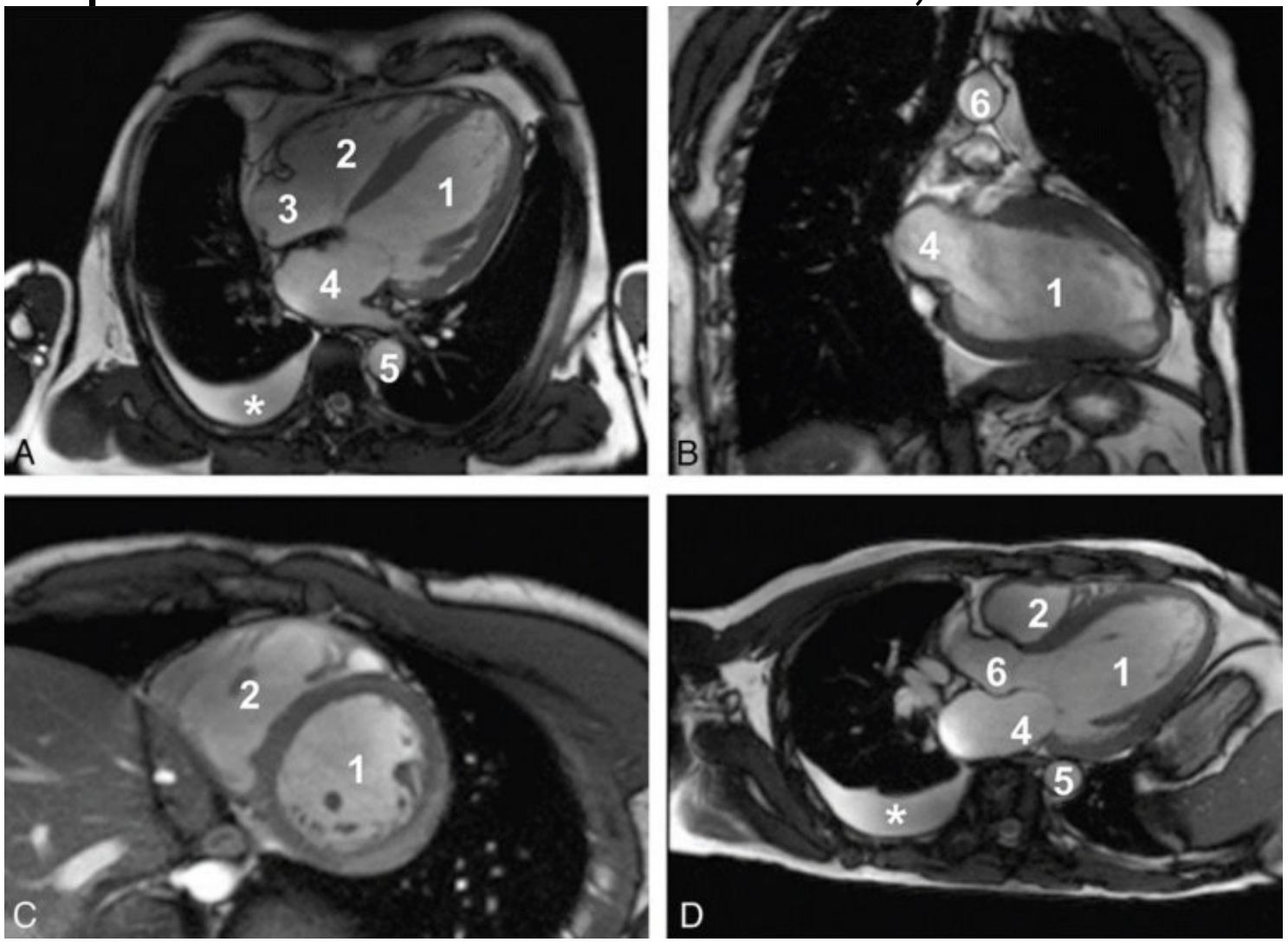
3. Si la sténose devient importante
La capacité de vasodilatation est progressivement épuisée → l'ischémie apparaît d'abord **à l'effort**, puis éventuellement **au repos**.

Sténose → réserve coronaire diminuée → incapacité à augmenter suffisamment le débit → ischémie.

Plaque instable → rupture/fissuration → thrombus → occlusion → ischémie sévère → nécrose/ infarctus

La nécrose myocardique débute préférentiellement au niveau **sous-endocardique** et progresse vers l'épicarde.

Séquences Ciné-IRM : volumes, dimensions, fonction, morphologie



Séquences ciné-IRM dans les plans grand axe horizontal (A), grand axe vertical (B), petit axe (C) et un plan passant par la chambre de chasse du VG (D).
1. VG ; 2. VD ; 3. atrium droit ; 4. atrium gauche ; 5. aorte descendante ; 6. aorte ascendante.
À noter qu'il existe un épanchement pleural droit liquidien, apparaissant en hypersignal sur ces images pondérées en T2/T1 (astérisque*).