

# 802.11ac

ou comment aller encore plus vite dans la  
bande des 5 GHz

# Principales différences entre 802.11n et 802.11ac

*Table 1-1. Differences between 802.11n and 802.11ac*

802.11n	802.11ac
Supports 20 and 40 MHz channels	Adds 80 and 160 MHz channels
Supports 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands	Supports 5 GHz only
Supports BPSK, QPSK, 16-QAM, and 64-QAM	Adds 256-QAM
Supports many types of explicit beamforming	Supports only null data packet (NDP) explicit beamforming
Supports up to four spatial streams	Supports up to eight spatial streams (AP); client devices up to four spatial streams
Supports single-user transmission only	Adds multi-user transmission
Includes significant MAC enhancements (A-MSDU, A-MPDU)	Supports similar MAC enhancements, with extensions to accommodate high data rates

Gast 2013

# Quelques débits d'émission

Modulation and coding schemes

MCS index <sup>[b]</sup>	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) <sup>[14][c]</sup>							
				20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7
0	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
1	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
2	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
3	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120	234	260	468	520
4	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
5	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240	468	520	936	1040
6	2	64-QAM	3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170
7	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300
8	2	256-QAM	3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
9	2	256-QAM	5/6	N/A	N/A	360	400	780	866.7	1560	1733.3

67

MCS 8 (256-QAM + 3/4) + 1 SS + 160 MHz + Long GI => débit d'émission = 702 Mb/s

Qu'en est-il en pratique des performances  
des réseaux Wi-Fi ?

# Débit théorique vs. Débit réel

- **Capacité d'émission** = débit physique max
- Débit théorique utile (tel que calculé en TD)
- Qu'en est-il en pratique ?
  - Mesures expérimentales

# Exemples de mesures

NSS	MCS	20 long	Wiki 20 long	Ratio	20 short	Wiki 20 short	Ratio	40 long	Wiki 40 long	Ratio	40 short	Wiki 40 short	Ratio	80 long	Wiki 80 long	Ratio	80 short	Wiki 80 short	Ratio
1	0	4,91154	6,5	0,7556	6,42202	7,2	0,8919	11,365	13,5	0,8418	12,3428	15	0,8229	25,08	29,3	0,8560	27,5124	32,5	0,8465
1	1	11,0467	13	0,8497	12,3346	14,4	0,8566	22,6396	27	0,8385	24,963	30	0,8321	50,936	58,5	0,8707	55,8055	65	0,8585
1	2	16,8114	19,5	0,8621	18,7616	21,7	0,8646	34,3745	40,5	0,8488	38,0674	45	0,8459	75,107	87,8	0,8554	81,9652	97,5	0,8407
1	3	21,8066	26	0,8387	24,5473	28,9	0,8494	46,8046	54	0,8668	50,6541	60	0,8442	100,13	117	0,8558	108,809	130	0,8370
1	4	34,2726	39	0,8788	38,1324	43,3	0,8807	72,2462	81	0,8919	76,6503	90	0,8517	142,19	175,5	0,8102	151,748	195	0,7782
1	5	44,8851	52	0,8632	49,5987	57,8	0,8581	92,981	108	0,8609	104,206	120	0,8684	179,06	234	0,7652	194,268	260	0,7472
1	6	50,7905	58,5	0,8682	56,5732	65	0,8704	101,756	121,5	0,8375	112,968	135	0,8368	190,13	263,3	0,7221	214,209	292,5	0,7323
1	7	57,1624	65	0,8794	61,5224	72,2	0,8521	112,218	135	0,8312	122,82	150	0,8188	212,48	292,5	0,7264	231,162	325	0,7113
1	8	69,0289	78	0,8850	75,377	86,7	0,8694	133,498	162	0,8241	144,999	180	0,8055	239,14	351	0,6813	258,18	390	0,6620
1	9	76,3202	0	###	83,5073	0	###	148,565	180	0,8254	156,682	200	0,7834	255,69	390	0,6556	269,201	433,3	0,6213
2	0	11,0244	13	0,8480	12,1527	14,4	0,8439	22,355	27	0,8280	24,7534	30	0,8251	51,158	58,5	0,8745	54,472	65	0,8380
2	1	22,0922	26	0,8497	24,6311	28,9	0,8523	46,7385	54	0,8655	50,6674	60	0,8445	96,938	117	0,8285	107,998	130	0,8308
2	2	33,7713	39	0,8659	37,2171	43,3	0,8595	70,4498	81	0,8698	76,2444	90	0,8472	137,55	175,5	0,7838	154,759	195	0,7936
2	3	45,2346	52	0,8699	51,1482	57,8	0,8849	92,9202	108	0,8604	102,85	120	0,8571	175,47	234	0,7499	190,132	260	0,7313
2	4	69,015	78	0,8848	75,8872	86,7	0,8753	131,278	162	0,8104	142,779	180	0,7932	236,08	351	0,6726	255,513	390	0,6552
2	5	88,8423	104	0,8543	100,742	115,6	0,8715	168,155	216	0,7785	185,316	270	0,6864	285,99	468	0,6111	299,509	520	0,5760
2	6	100,378	117	0,8579	111,204	130,3	0,8534	184,763	243	0,7603	201,496	270	0,7463	299,32	526,5	0,5685	308,393	585	0,5272
2	7	110,428	130	0,8494	121,759	144,4	0,8432	198,686	270	0,7359	218,933	300	0,7298	315,27	585	0,5389	312,342	650	0,4805
2	8	129,957	156	0,8331	144,061	173,3	0,8313	231,758	324	0,7153	245,29	360	0,6814	319,9	702	0,4557	320,373	780	0,4107
2	9	142,559	0	###	153,281	0	###	247,49	360	0,6875	256,789	400	0,6420	307,04	780	0,3936	319,047	866,7	0,3681
3	0	16,9368	19,5	0,8686	18,6283	21,7	0,8584	34,3667	40,5	0,8486	37,9995	45	0,8444	71,608	87,8	0,8156	83,343	97,5	0,8548
3	1	34,3849	39	0,8817	37,7671	43,3	0,8722	70,7106	81	0,8730	77,2348	90	0,8582	138,52	175,5	0,7893	151,652	195	0,7777
3	2	50,5106	58,5	0,8634	56,2272	65	0,8650	101,236	121,5	0,8332	111,385	135	0,8251	195,26	263,3	0,7416	209,801	292,5	0,7173
3	3	67,3546	78	0,8635	77,4369	86,7	0,8932	133,822	162	0,8261	137,617	180	0,7645	244,03	351	0,6952	251,82	390	0,6457
3	4	100,824	117	0,8617	109,653	130	0,8435	188,609	243	0,7762	201,167	270	0,7451	304,31	526,5	0,5780	314,291	585	0,5372
3	5	128,273	156	0,8223	141,161	173,3	0,8145	229,927	324	0,7096	243,326	360	0,6759	319,55	702	0,4552	319,164	780	0,4092
3	6	141,217	175,5	0,8047	156,426	195	0,8022	247,268	364,5	0,6784	266,918	405	0,6591	319,38	0	###	323,616	0	###
3	7	156,838	195	0,8043	162,628	216,7	0,7505	260,779	405	0,6439	278,333	450	0,6185	322,07	877,5	0,3670	320,443	975	0,3287
3	8	174,955	234	0,7477	57,1407	260	0,2198	91,6121	486	0,1885	240,508	540	0,4454	303,45	1053	0,2882	284,832	1170	0,2434
3	9	121,88	260	0,4688	41,2755	288,9	0,1429	0	540	0,0000	217,144	600	0,3619	259,99	1170	0,2222	230,532	1300	0,1773

Stage M2 Paul Grangette

- Flux Iperf entre 1 source et 1 destination proches
- 802.11ac : MCS + nb SS + largeur canal + GI fixés
- Mesure du débit au niveau applicatif

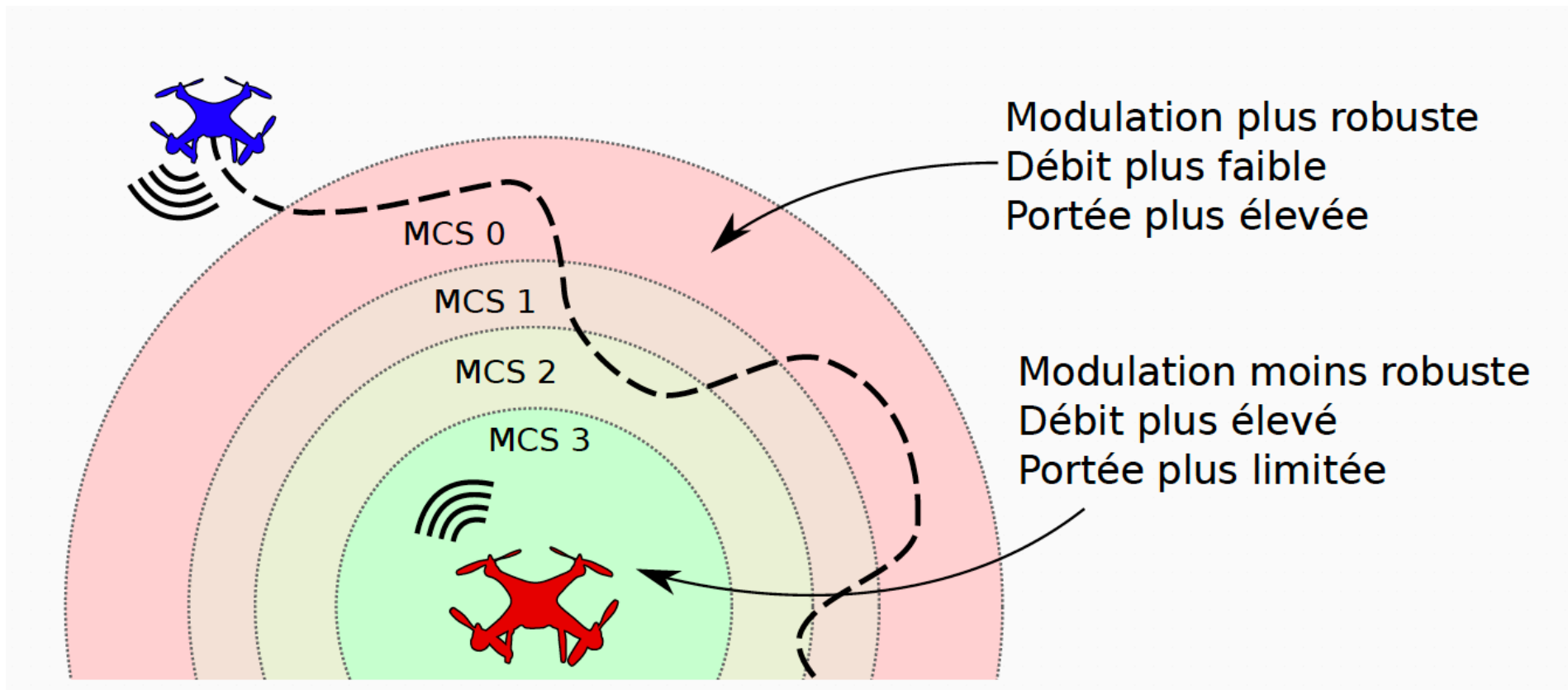
# Adaptation de débits

- Multitude de débits d'émission possibles
- Lesquels utiliser ?
  - Paramétrage = MCS + nb SS + largeur bande + GI
  - Il y a des **paramétrages robustes**
    - Trames reçues correctement même si le canal radio est mauvais
  - Il y a des **paramétrages peu robustes**
    - Trames reçues souvent en erreur quand le canal radio n'est pas très bon
      - => retransmissions => baisse de débit utile



# Adaptation de débits

## Exemple





# De nombreux algorithmes d'adaptation de débits

Thèse R. Grünblatt

Year	Algorithm Name	Abbreviation	Hardware	NS-3	OMNeT++	802.11n	802.11ac
1997	Automatic Rate Fallback	ARF	?	✓	✓	X	X
2001	Receiver Based Auto Rate	RBAR	?	X	X	?	?
2003	Received Signal Strength Link Adaptation	RSSLA	?	X	X	?	?
2004	Adaptive Automatic Rate Fallback	AARF	?	✓	✓	X	X
2004	Adaptive Multi Rate Retry	AMRR	?	✓	X	X	X
2005	Opportunistic Auto Rate	OAR	?	X	X	?	?
2005	Full Auto Rate	FAR	?	X	X	?	?
2005	Onoe	Onoe	?	✓	✓	X	X
2005	SampleRate	SampleRate	?	X	X	?	?
2005	Power-controlled Auto Rate Fallback	PARF	?	✓	X	X	X
2005	Dynamic data rate and transmit power adjustment	APARF	?	✓	X	X	X
2006	Robust Rate Adaptation Algorithms	RRAA	?	✓	X	X	X
2006	Collision Aware Rate Adaptation	CARA	?	✓	X	X	X
2007	Beacon Auto Rate Adaptation	BARA	?	X	X	?	?
2007	<b>Minstrel</b>	Minstrel	✓	✓	X	X	X
2008	Collision Detection for Auto Rate Fallback Algorithm	AARF-CD	?	✓	X	X	X
2009	<b>Minstrel-HT</b>	Minstrel-HT	✓	✓	X	✓	✓
2011	Rate Adaptation for Multi Antenna Systems	RAMAS	?	X	X	?	?
2011	Rate Adaptation using Coherence Time	REACT	?	X	X	?	?
2013	Agile Rate Adaptation for MIMO Systems	ARAMIS	?	X	X	?	?
?	IdealWifi	IdealWifi	X	✓	X	✓	✓
?	ConstantRate	ConstantRate	✓	✓	✓	✓	✓
<b>2019</b>	<b>Intel Rate Adaptation Algorithm</b>	<b>IntelRate</b>	✓	✓	X	✓	✓

# Adaptation de débit dans les cartes Intel

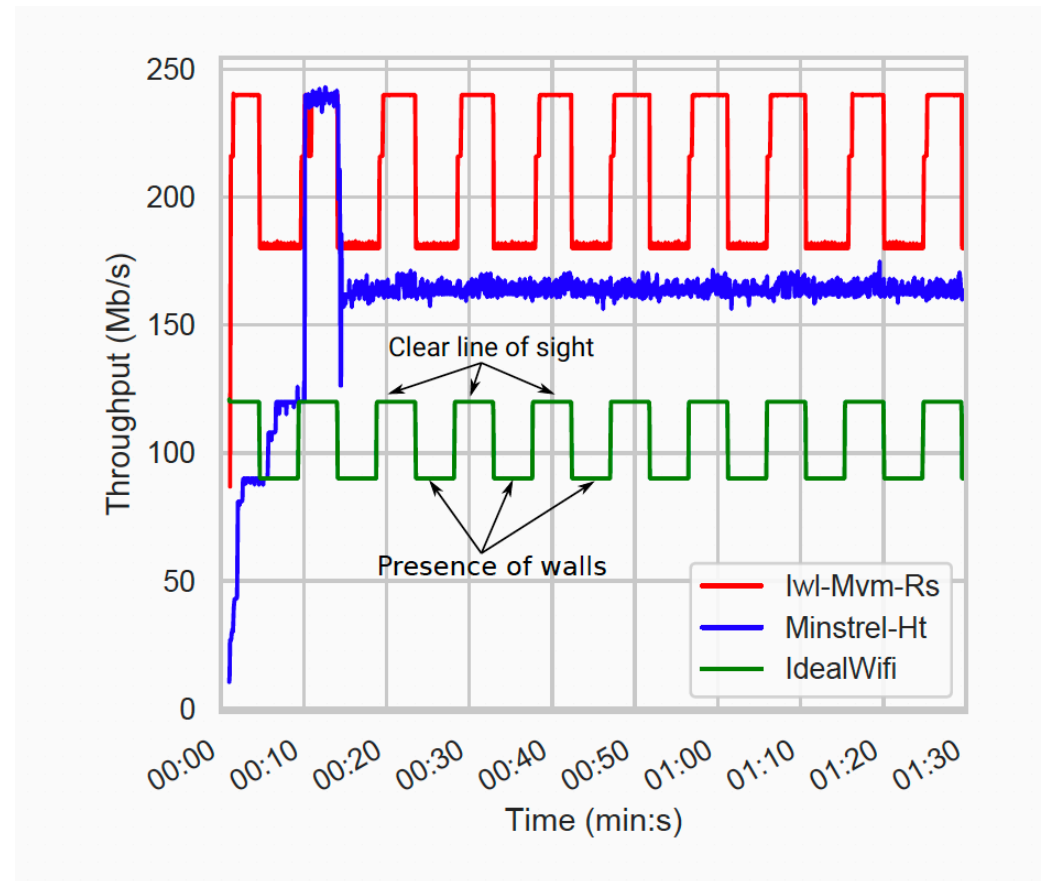
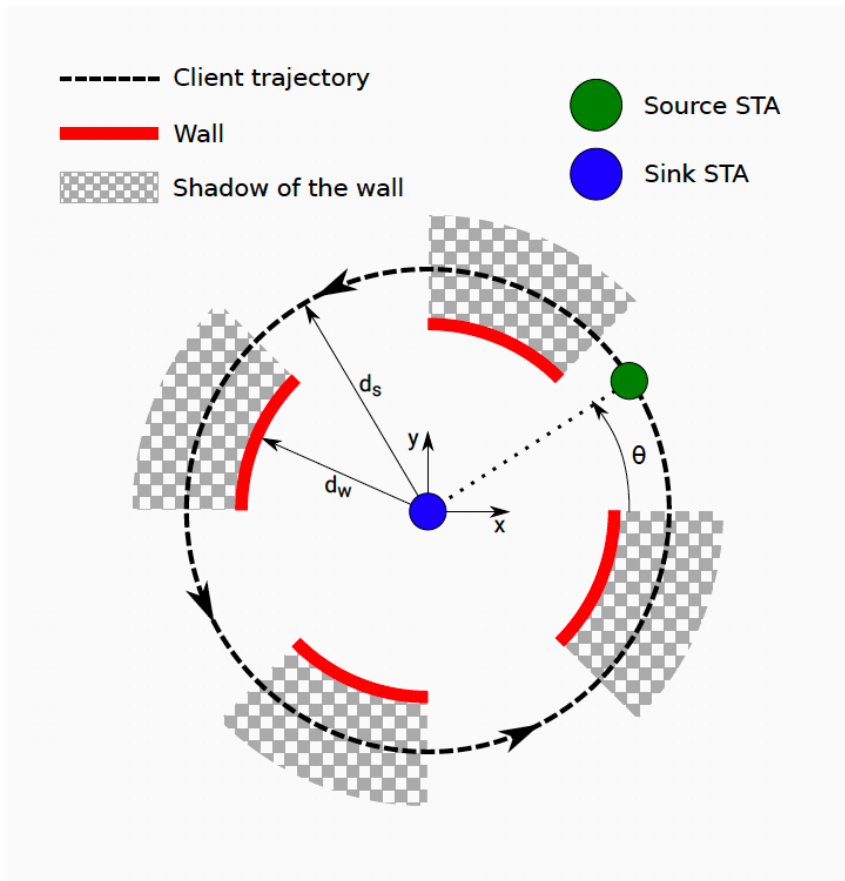
- Rétro-ingénierie de l'algo d'Intel
  - Iwl-Mvm-Rs
  - Plusieurs possibilités
    - Monitorer les trames envoyées sur le médium radio
    - Lire le driver quand cela est possible (et si l'algo se trouve dans le driver...)
  - Driver open source



Thèse R. Grünblatt



# Impact des algorithmes d'adaptation de débits

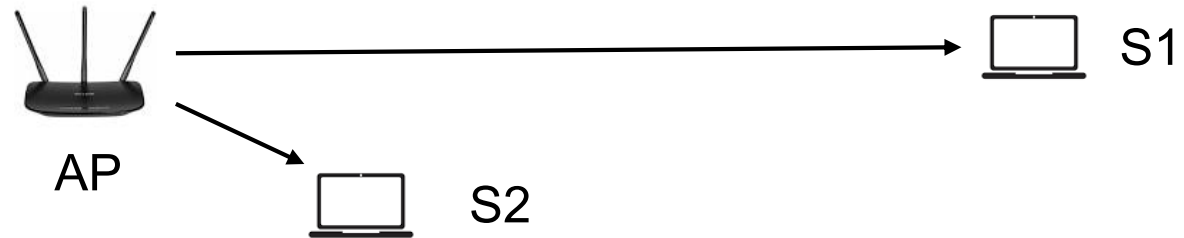


Thèse R. Grünblatt

# Partage du médium radio

- L'interopérabilité impacte les performances (comme vu en exercice)
- Le partage du médium radio aussi
  - et ce d'autant plus quand les flux qui se partagent le médium radio n'utilisent pas les mêmes débits d'émission
  - Anomalie de performances

# Pause TD



Considérons que l'AP a toujours des paquets à transmettre aux stations et qu'il alterne ses transmissions entre S1 et S2. S2 est proche de l'AP et donc le canal radio est bon. Le débit de transmission utilisé est 130 Mb/s.

En revanche S1 est très éloigné de l'AP et donc le canal radio est de mauvaise qualité. Le débit de transmission utilisé est 6 Mb/s.

Q. Quel est le débit utile obtenu par chacune des stations ? On supposera qu'il n'y a pas de perte de paquets. On utilisera le backoff moyen et les paramètres ci-dessous. Les trames envoyées ont 1000 octets de données utiles.

Paramètre	Valeur
DIFS	28 micros
RIFS	2 micros
Slot	9 micros
CW initiale	[0 ; 15]
Temps en-tête physique	20 micros
Taille en-tête MAC	40 octets
Taille ACK (niveau 2)	14 octets

# Planification d'un réseau Wi-Fi

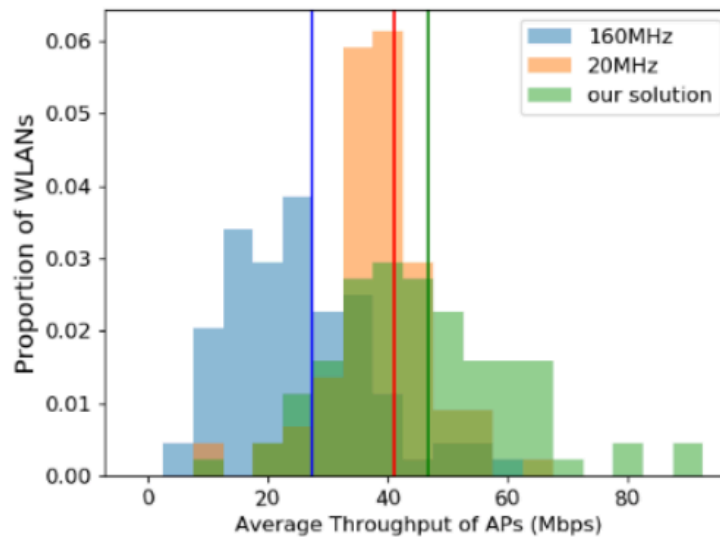
- Répondre à des questions comme :
  - Où mettre les APs ?
  - Utiliser combien d'APs ?
  - Quel canal allouer à chaque AP ?
  - Quel largeur de canal allouer à chaque AP ?
- Planification impacte les performances



# Planification d'un réseau Wi-Fi

## Impact sur les performances : un exemple

	<i>PF</i> (Mbps)			<i>ST</i> (nb of APs)			<i>TH</i> (Mbps)		
	160 MHz	20 MHz	<b>Our sol.</b>	160 MHz	20 MHz	<b>Our sol.</b>	160 MHz	20 MHz	<b>Our sol.</b>
MCS 0-3	7.70	13.54	<b>17.69</b>	7	0	<b>0</b>	17.54	15.16	<b>21.18</b>
MCS 4-7	19.22	43.60	<b>49.74</b>	3	0	<b>0</b>	32.11	44.17	<b>54.10</b>
MCS 8-11	23.68	65.97	<b>69.25</b>	2	0	<b>0</b>	36.38	66.20	<b>75.35</b>
All MCS	14.65	31.99	<b>37.72</b>	5	0	<b>0</b>	27.36	41.02	<b>46.79</b>



(c) *TH*: Average throughput of APs.

Stage M2 Amel C.

# Les nouveautés à venir en Wi-Fi

Nouvelle version du standard Wi-Fi publiée en février 2021 :

- accélération de la création d'un lien Wi-Fi
- transmissions dans les bandes 'sub 1 GHz'

Le fameux Wi-Fi 6

## Active Task Groups

Name	Tag	Description	Status
<a href="#">Task Group ax</a>	TGax	An amendment that supports High-efficiency wireless LAN. <ul style="list-style-type: none"> <li>o Improving spectrum efficiency and area throughput</li> <li>o Improving real world performance in indoor and outdoor deployments                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- in the presence of interfering sources, dense heterogeneous networks</li> <li>- in moderate to heavy user loaded APs</li> </ul> </li> </ul>	Approved March 2014
<a href="#">Task Group ay</a>	TGay	An amendment that substantially increases the data rates of 802.11 in the 60 GHz frequency band .	Approved March 2015
<a href="#">Task Group az</a>	TGaz	Next Generation Positioning - improved accuracy, scalability and adding directionality .	Approved September 2015
<a href="#">Task Group ba</a>	TGba	Wake-up Radio - low power control radion	Approved December 2016
<a href="#">Task Group bb</a>	TGbb	Light Communications	Approved May 2018
Task Group bc	TGbc	Enhanced Broadcast Service	Approved December 2018
Task Group bd	TGbd	Enhancements for Next Generation V2X	Approved December 2018
<a href="#">Task Group md</a>	TGmd	P802.11 Revision md - maintenance actions and roll-in of approved amendments	Approved March 2017

[https://www.ieee802.org/11/QuickGuide\\_IEEE\\_802\\_WG\\_and\\_Activities.htm](https://www.ieee802.org/11/QuickGuide_IEEE_802_WG_and_Activities.htm)